



Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira
Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

CAROLINA BARCELOS SILVA DE ANDRADE

AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA PARA
CONSUMO HUMANO POR DERIVADOS DE PETRÓLEO
NA BACIA DO RIO PIRACICABA - MG

Área de concentração:

Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Projeto de Pesquisa vinculado a Linha:

Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves

Itabira, MG

2022

Carolina Barcelos Silva de Andrade

Avaliação do risco de contaminação da água para consumo humano por derivados de petróleo na bacia do Rio Piracicaba, Minas Gerais

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), na Universidade Federal de Itajubá. Área de concentração: Instrumentos da política de recursos hídricos.

APROVADA EM 24 DE JUNHO DE 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Debora Mello Salles
VALE S.A

Eliane Maria Vieira
Profª UNIFEI

José Augusto Costa Gonçalves
Orientador UNIFEI

Itabira - Minas Gerais
2022

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Hugo, ao nosso filho Thiago e
à minha mãe Dalma.

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo, pelo amor e companheirismo.

Ao meu filho Thiago, que viveu comigo toda essa trajetória.

A minha mãe, por todo amor e encorajamento para conseguir chegar até aqui.

A minha família pelo incentivo à busca do conhecimento e aprimoramento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves pela orientação e conhecimentos repassados.

Ao meu amigo Geraldo Madeira por todo incentivo e troca de experiência.

Aos colegas do ProfÁgua pelo aprendizado e amizade na jornada.

Aos professores Eliane Vieira e Gláucio Marques, pela valiosa contribuição na qualificação.

Aos professores do Profágua-UNIFEI, gratidão!

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Obrigada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“O sentido da vida, é o que você quiser que ele seja.

Nós somos o universo contemplando a si mesmo”

Stephen Hawking

RESUMO

ANDRADE, Carolina Barcelos de. **Avaliação do risco de contaminação da água para consumo humano por derivados do petróleo na bacia do Rio Piracicaba, Minas Gerais**. 2022. 137 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2021.

A disponibilidade dos recursos hídricos para consumo humano é um desafio em várias regiões do mundo e tem intensificado em função da contaminação da água por atividades antrópicas, tornando-a imprópria para o consumo desde sua origem nos mananciais. A água contaminada é considerada um problema de saúde pública por expor a população a substâncias que causam desde doenças crônicas de variada gravidade, até a morte. Uma das fontes de contaminação mais importantes são as atividades que utilizam combustíveis fósseis, liberando no ambiente os hidrocarbonetos de petróleo (HP), sendo que o ecossistema aquático é considerado um dos destinos finais desses contaminantes. A hipótese que investigamos nesse trabalho é de que exista um número relevante de captações de água para consumo humano próximas de áreas contaminadas por HP e, também, de postos de combustíveis. O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar a potencialidade da contaminação ambiental pelas atividades de armazenamento e de distribuição de combustíveis em postos através do panorama das contaminações do solo e/ou da água subterrânea de 2014 a 2020, obtida a partir dos dados disponibilizados anualmente pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), contribuindo para nortear os órgãos públicos quanto às áreas de maior atenção para realização de análises de qualidade de água com foco em identificar a presença de HP, tomando como local de estudo a circunscrição hidrográfica do rio Piracicaba (MG). Para alcançar o objetivo proposto, foram obtidos os dados de licenciamento ambiental e localização dos “postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação” através do site de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema) no período de 2014 a 2020, bem como as informações sobre áreas contaminadas por HP disponibilizados no inventário anual de áreas contaminadas da FEAM. Para avaliar se havia sobreposição das áreas de contaminação por postos de combustíveis com os locais de captação de água para consumo humano, foram definidos Raios Arbitrários Fixos (RAF) a partir da literatura, considerando a Zona de Influência (40 metros), Zona de Transporte (150 metros), Zona de Contribuição de baixa e média vulnerabilidade (300 metros) e Zona de Contribuição de alta vulnerabilidade (500 metros) e, adicionalmente, utilizamos os dados obtidos no buffer de 100 metros em torno das áreas contaminadas e dos postos de combustíveis seguindo a metodologia prevista na Resolução CONAMA N°273 para fins de comparação. Utilizando mapas em formato *shapefile* com as coordenadas geográficas da distribuição dos empreendimentos e das áreas contaminadas, foram inseridos os RAF e avaliada a presença ou não de outorgas de uso da água, uso insignificante e a presença de corpos d’água no entorno das áreas contaminadas e dos empreendimentos. A

captação de água subterrânea para o consumo humano foi identificada no entorno de 10 das 15 áreas contaminadas por HP. Ao todo, 50 outorgas de captação e 28 usos insignificantes da água para consumo humano estavam presentes na amostra, mas o mais preocupante nesses achados foi o volume de captação há até 150 metros da contaminação, totalizando 81,3m³/dia captados sem o adequado monitoramento para o risco evidente de contaminação por HP. Na amostragem relativa aos postos de combustíveis, foram observados 438 registros de outorgas de uso da água distribuídas em pelo menos um dos *buffers* de seu entorno, sendo 372 desses registros de outorgas subterrâneas e 66 registros de outorgas superficiais. As 372 outorgas de uso da água subterrânea para consumo humano tem uma média de 6,8 m³/dia de captação, sendo 96 delas com a captação igual ou inferior a 1 m³/dia, ou seja, menos de 25% das outorgas de uso da água subterrânea identificadas na amostragem correspondem à captação de baixo volume, para provável abastecimento de uma única residência. As outorgas com captação entre 1,01 e 10 m³/dia são mais representativas na amostra, correspondendo a 262 registros, demonstrando que a captação de água para consumo humano identificada nas proximidades dos postos de combustíveis é distribuída, muito provavelmente, para várias residências diferentes. Em relação à classificação de risco adotada no presente trabalho, foram identificadas 242 captações de baixo risco, 79 de médio risco e 26 captações de alto risco, totalizando 4.386 m³/dia captados há até 500 metros de distância de postos de combustíveis e 694 m³/dia captados há até 500 metros de áreas contaminadas por HP. Já os corpos d'água superficiais foram bastante representativos na amostragem, gerando um elevado número desses recursos hídricos na classificação de risco, sendo um total de 345 trechos, com 59 deles classificados como alto risco, 56 médio risco e 230 baixo risco de contaminação por HP. Ao avaliarmos o monitoramento atual exigido pela legislação, com a amostragem da água num raio de 100 metros em torno do empreendimento comparado ao buffer de 150 metros proposto nesse trabalho, nota-se um aumento relevante das captações de água identificadas com apenas 50 metros acrescidos ao raio de amostragem e, também, o volume de água a ser monitorado na CH DO₂, havendo captação de 350,8 m³/dia nas outorgas e 54m³/dia no uso insignificante presentes no buffer de 150 metros, enquanto o buffer de 100 metros apresenta captação de 195,7 m³/dia nas outorgas e 32m³/dia no uso insignificante da água. Sendo assim, sugere-se a avaliação da qualidade da água para consumo humano identificada na amostragem na CH DO₂, e deve-se considerar que a avaliação da presença de contaminação em uma captação de água é um indício para a análise de outras captações da região para avaliar a possível dispersão dos contaminantes HP para localidades que não tenham proximidade com postos de combustíveis.

Palavras-chave: Hidrocarbonetos de Petróleo, BTEX, água subterrânea.

ABSTRACT

ANDRADE, Carolina Barcelos de. **Assessment of the contamination risk of water resources for human consumption by petroleum derivatives in Rio Piracicaba basin, Minas Gerais.** 2022. 137 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2021.

The availability of water resources for human consumption is a challenge in several regions of the world and has intensified because of the contamination of water by human activities, making it unfit for consumption. Contaminated water is considered a public health problem because it exposes the population to substances that cause from varying severity chronic diseases, to death. The main sources of contamination are in places of greater urbanization and industrialization, where there is also the greatest demand for water consumption by the population. One of the most important sources of contamination is activities that use fossil fuels, releasing Petroleum Hydrocarbons (PH) into the environment, and the aquatic ecosystem is considered one of the final destinations of these contaminants that generate adverse health outcomes for all living organisms of the world, including human beings. The hypothesis that we investigated in this work is that the presence of gas stations close to water resources for human consumption may pose a risk of water contamination by PH and routine quality analyzes of these resources are not carried out in order to identify such contaminants. The general objective of this research is to assess the potential of environmental contamination by fuel storage and distribution activities gas stations through the panorama of soil and/or groundwater contamination from 2014 to 2020, obtained from the data made available annually by FEAM, contributing to guide public bodies as to the areas of greatest attention for carrying out water quality analysis focusing on identifying the presence of PH, taking the hydrographic circumscription of the Rio Piracicaba (MG). To achieve the proposed objective, data on environmental licensing and location of "reeller stations, service stations or refueling points, retail system installations, floating fuel stations and aviation fuel sales stations" were obtained through the IDE-Sisema website on period 2014-2020, as well as information on PH contaminated areas made available in FEAM's annual contaminated areas inventory. To assess whether there was an overlap of contamination areas with water catchment sites for human consumption, Fixed Arbitrary Rays (FAR) were defined from the literature, considering the Influence Zone (40 meters), Transport Zone (150 meters), Contribution Zone of low and medium vulnerability (300 meters) and Contribution Zone of high vulnerability (500 meters). Using maps in *shapefile* format with the geographic coordinates of the projects distribution and contaminated areas, the FAR were inserted and the presence or absence of water use permits, insignificant use and the presence of water bodies around the contaminated areas were evaluated and of the gas stations. Additionally, used in the 100 meter buffer obtained in contaminated areas and from gas stations according to the methodology provided for in Resolução CONAMA N°23 for comparison purposes. Using maps in *shapefile* format with geographical coordinates of the gas station and contaminated areas, the RAFs were inserted and the presence or absence of water use permits, insignificant use and the presence of water bodies around the contaminated areas and gas station were evaluated. Water catchments for human consumption was identified around 10 of the 15 HP contaminated areas. In all, 50 abstraction grants and 28 insignificant uses of water for human consumption were present in the sample, but the most worrying in these findings was the volume of catchment up to 150 meters from the contamination, totaling 81.3 m³/day captured without adequate

monitoring. for the obvious risk of HP contamination. In the sampling related to gas stations, 438 records of water use permits were observed, distributed in at least one of the buffers in their surroundings, 372 of these records of underground grants and 66 records of superficial grants. The 372 grants for the use of water for human consumption have an average of 6.8 m³/day of abstraction, 96 of them with catchment equal to or less than 1 m³/day, that is, less than 25% of the grants for use of water identified in the sampling correspond to low volume catchment, for probable supply of a single residence. Groundwater abstraction between 1.01 and 10 m³/day are more representative in the sample, corresponding to 262 records, demonstrating that the catchments of water for human consumption identified in the vicinity of gas stations is most likely distributed to several different residences. Regarding the risk classification adopted in the present study, 242 low-risk, 79 medium-risk and 26 high-risk catchments were identified, totaling 4,386 m³/day collected up to 500 meters away from gas stations and 694 m³/day catchment up to 500 meters from areas contaminated by HP. The surface water bodies were quite representative in the sampling, generating a high number of these water resources in the risk classification, with a total of 345 stretches, with 59 of them classified as high risk, 56 medium risk and 230 low risk of contamination by HP. When evaluating the current monitoring required by the legislation, with the sampling of water in a radius of 100 meters around compared to the 150-meter buffer proposed in this work, a significant increase in water catchment identified with only 50 meters added to the sampling radius and also the volume of water to be monitored in CH DO2. There are uptake of 350.8 m³/day in grants and 54 m³/day in insignificant use present in the 150-meter buffer, while the 100-meter buffer presents uptake of 195.7 m³/day in the grants and 32 m³/day in the insignificant use of water. Therefore, it is suggested to evaluate the quality of water for human consumption identified in the sampling in CH DO2, and it should be considered that the evaluation of the presence of contamination in a water catchment is an indication for the analysis of other catchments in the region to evaluate the possible dispersion of HP contaminants to locations that are not close to gas stations.

Key words: Petroleum Hydrocarbons, BTEX, groundwater

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Caracterização das zonas saturadas e não saturadas do solo.....	26
Figura 2: Mapa de vazão para classificação de uso insignificante da água em Minas Gerais.....	29
Figura 3: Percentual de áreas contaminadas e reabilitadas por atividade econômica em MG.....	33
Figura 4: Distribuição das fases de hidrocarbonetos de petróleo em caso de vazamento de tanques subterrâneos.....	36
Figura 5: Fluxograma detalhando as etapas desenvolvidas na metodologia dessa pesquisa.....	42
Figura 6: Mapa com os limites da circunscrição hidrográfica do rio Piracicaba, MG.....	44
Figura 7: Mapa da bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....	45
Figura 8: Hidrogeologia da CH DO2.....	47
Figura 9: Mapa dos tipos de solo que ocorrem na CH DO2.....	47
Figura 10: Demonstração de como os poços de monitoramento devem ser posicionados em torno dos empreendimentos.....	55
Figura 11: Fluxograma demonstrando a variação na determinação do perímetro de proteção de poços.....	57
Figura 12: Fluxograma demonstrando a classificação de Medeiros (2018) a respeito do risco de contaminação de um recurso d'água subterrâneo, propondo a distância de amostragem dos buffers de Raio Calculado Fixo (RCF).....	59
Figura 13: Mapa demonstrando em zoom parte da área de amostragem com a identificação dos empreendimentos, os pontos de captação de água e os limites dos recursos hídricos superficiais na cidade de Coronel Fabriciano, MG.....	61
Figura 14: Mapa demonstrando a metodologia de inserção de buffers para avaliar a presença de áreas de captação de água para consumo humano e áreas contaminadas com HP's na cidade de João Monlevade, MG.....	63
Figura 15: Mapa dos tipos de captação em torno de área contaminada e a presença de corpo d'água superficial no município de João Monlevade, MG.....	64
Figura 16: Estrutura de exposição dos resultados obtidos no trabalho.....	66

Figura 17: Sobreposição dos pontos de captação de água para consumo humano e as áreas contaminadas por HP advindos de postos de combustíveis e afins na CH DO2.....	68
Figura 18: Mapa demonstrando a presença da outorga de uso da água para consumo humano no buffer de 40 metros e demais outorgas próximas à contaminação por HP (contaminação por vazamento e infiltração no solo e água subterrânea) havendo registros de outorgas em todos os buffers de amostragem, município de Coronel Fabriciano, MG.....	70
Figura 19: Mapa demonstrando a distribuição dos corpos d'água superficiais em relação às áreas contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis.....	75
Figura 20: Mapa demonstrando a sobreposição dos buffers amostrais nas áreas de maior adensamento populacional. Em função dessa sobreposição, uma mesma captação de água para consumo humano teve vários registros diferentes na amostragem.....	77

QUADROS

Quadro 1: Fontes de recursos hídricos das áreas urbanas do Brasil.....	24
Quadro 2: Contaminação por Hidrocarbonetos de Petróleo no mundo.....	32
Quadro 3: Padrão de potabilidade para consumo de acordo com a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 referente a componentes BTEX.....	37
Quadro 4: Principais compostos químicos presentes na gasolina e seu potencial de risco à saúde humana.....	38
Quadro 5: Listagem dos empreendimentos considerados na amostragem.....	49
Quadro 6: Delimitação de perímetro de proteção.....	52
Quadro 7: Métodos de definição de zonas de proteção para fontes hídricas.....	56
Quadro 8: Delimitação dos perímetros de raio calculado fixo.....	60
Quadro 9: Escala de pontuação adotada para avaliar o risco de contaminação das captções de água por HP de acordo com o registro de captação nos <i>buffers</i> de amostragem.....	65
Quadro 10: Distribuição das áreas contaminadas por HP's provenientes de postos de combustíveis e afins nas cidades na CH DO2, segundo site do Sisema.....	67
Quadro 11: Presença e ausência de outorgas de captação de água para consumo humano em pelo menos um dos <i>buffers</i> de ZI, ZT e ZC em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.....	69

Quadro 12: Número de registros de outorgas subterrâneas e superficiais em pelo menos um dos buffers de coleta em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.....	71
Quadro 13: Presença e ausência de captação de uso de insignificante em pelo menos um dos buffers de ZI, ZT e ZC em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.....	73
Quadro 14: Número de pontos de captação de água de “uso insignificante” subterrânea em pelo menos um dos <i>buffers</i> de coleta nas áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.....	74

GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo da captação das outorgas de uso da água subterrânea nos <i>buffers</i> de amostragem.....	72
Gráfico 2: Comparativo da captação das outorgas de uso da água superficial nos <i>buffers</i> de amostragem.	72
Gráfico 3: Distribuição das outorgas de “uso insignificante” da água subterrânea nos <i>buffers</i> de amostragem.....	74
Gráfico 4: Número de corpos d’água superficiais identificados em cada buffer de amostragem no entorno das áreas contaminadas por HP.....	76
Gráfico 5: Comparativo entre o número de registro de outorgas de uso da água de captação superficial e subterrânea nos diferentes <i>buffers</i> amostrais do entorno dos postos de combustíveis e afins.....	78
Gráfico 6: Variação no número de registros de captação de água subterrânea nos buffers de amostragem.....	79
Gráfico 7: Variação no número de registros de captação de água superficial nos buffers de amostragem em torno dos postos de combustíveis.....	80
Gráfico 8: Variação do número de registros de captação de Uso Insignificante da água (superficial e subterrânea) identificados em cada buffer de amostragem no entorno dos postos de combustíveis e afins.....	81
Gráfico 9: Variação no número de registros de captação de Uso Insignificante da água (superficial e subterrânea) nos buffers de amostragem em torno dos postos de combustíveis.....	81
Gráfico 10: Número de corpos d’água superficiais presentes no entorno dos empreendimentos postos de combustíveis e afins.....	82

Gráfico 11: Número de captações de água de baixo, médio e alto risco identificadas na amostragem, considerando separadamente outorgas de uso da água e uso insignificante da água para consumo humano.....	83
Gráfico 12: Classificação de Risco das outorgas de uso da água para consumo humano identificadas por município.....	84
Gráfico 13: Classificação de Risco dos Usos Insignificantes da água para consumo humano identificadas por município.....	84
Gráfico 14: Número de cursos d'água superficiais em cada classificação de risco adotada nesse trabalho.....	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1. Recursos hídricos para consumo humano.....	21
3.1.1 Captação de água para consumo humano.....	21
3.1.2 Captação de águas subterrâneas para consumo humano.....	26
3.1.3 Outorgas de uso da água e uso insignificante da água para consumo humano.....	28
3.1.4 Legislação sobre atividades de risco ambiental de compostos derivados do Petróleo.....	30
3.2. Contaminação dos recursos hídricos por Hidrocarbonetos de Petróleo (HP).....	31
3.3. Avaliação de risco em áreas contaminadas por derivados de Petróleo.....	34
3.4. A metodologia de monitoramento de postos de combustíveis no licenciamento ambiental	38
4. METODOLOGIA.....	42
4.1 Caracterização da área de estudo.....	47
4.1.1 Aspectos Geológicos.....	45
4.1.2 Aspectos Hidrogeológicos.....	46
4.1.2 Aspectos Pedológicos.....	46
4.2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DAS ÁREAS CONTAMINADAS DA CH DO2.....	48
4.3. LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES SOBRE OS EMPREENDIMENTOS – POSTOS DE COMBUSTÍVEIS.....	48
4.4. IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DAS OUTORGAS DE USO DA ÁGUA - POÇOS E CAPTAÇÃO SUPERFICIAL.....	50
4.5. GEORREFERENCIAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS E DOS PONTOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	50
4.6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DOS POSSÍVEIS CONTAMINANTES DE HP DOS EMPREENDIMENTOS ESTUDADOS.....	51
4.7. LEGISLAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE FONTES DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	51

4.7.1 Raio de amostragem para avaliação de passivos ambientais em torno de Postos Revendedores de Combustíveis e afins.....	53
4.7.2. Perímetro de Proteção dos Recursos Hídricos na prática.....	55
4.7.3. Proposta metodológica para criação de perímetros de atenção à contaminação de fontes de água para consumo humano.....	59
4.7.3.1. <i>Postos de combustíveis versus áreas contaminadas por postos de combustíveis</i> ..	59
4.7.3.2. Áreas contaminadas versus outorgas de uso da água para consumo humano.....	62
4.7.3.3. Áreas contaminadas versus copos d'água superficiais.....	62
4.8. AVALIAÇÃO DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO POR HP NAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA.....	64
5. RESULTADOS.....	65
5.1. RESULTADOS DAS COLETAS REALIZADAS NO ENTORNO DAS ÁREAS CONTAMINADAS POR HP ORIUNDOS DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA CH DO2.....	66
5.1.1. Áreas Contaminadas por HP versus Captação de Água para o Consumo Humano.....	66
5.1.2. Áreas Contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis <i>versus</i> uso insignificante da água.....	73
5.1.3. Áreas Contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis <i>versus</i> cursos d'água superficiais.....	75
5.2. RESULTADOS DAS COLETAS REALIZADAS NO ENTORNO DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA CH DO2.....	76
5.2.1. Postos de Combustíveis versus Captação de Água para o Consumo Humano.....	76
5.2.2. Postos de Combustíveis versus uso insignificante da água para consumo humano.....	80
5.2.3. Postos de Combustíveis versus cursos d'água superficiais.....	81
5.3. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO POR HP DAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	82
6. DISCUSSÃO.....	85
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	88

REFERÊNCIAS.....90
APÊNDICES.....101

1. INTRODUÇÃO

A água constitui, dentre os diversos recursos naturais existentes, um dos mais importantes por ser insumo fundamental à vida. Esse recurso se configura como elemento insubstituível em diversas atividades humanas e contribui no equilíbrio do meio ambiente. Ele define diretamente o desenvolvimento que uma região pode alcançar, sendo um bem de valor inestimável, precioso, que deve ser, a qualquer custo, conservado e protegido. A Lei 9.433/1997, também conhecida como a Lei das Águas, cita que um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é considerar a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997).

A Organização das Nações Unidas para a Água e Saneamento (*United Nations Water - UN-Water*, 2018) ressalta que a água doce, em quantidade e qualidade suficientes, é fundamental em todos os aspectos da vida e do desenvolvimento sustentável. Essa mesma organização complementa que a Terra já reduziu 70% de suas zonas úmidas naturais ao longo do último século, o que gera perda e impacto significativo na fauna e flora dos ecossistemas de água doce e poderá impactar 45% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e 52% da população de todo o mundo estarão em risco até 2050.

O desperdício e outras inúmeras causas afetam negativamente a qualidade do recurso disponível para o atendimento da crescente demanda. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a continuidade de eventos críticos dos últimos anos no Brasil e no mundo, tem evidenciado a importância do sistema de gestão de recursos hídricos. Essa agência complementa a necessidade de investimentos em infraestrutura, a fim de garantir a oferta de água em volume e condições necessárias para o desenvolvimento do País.

Nesse contexto, Hilpert *et al.* (2015) retratam os combustíveis fósseis como potencial contaminador dos recursos hídricos, podendo ser derramados acidentalmente, vazarem durante o armazenamento ou terem sua liberação sob a forma de vapor e atingindo águas superficiais, subterrâneas e o solo. O ecossistema aquático é considerado o destino final dos Hidrocarbonetos de Petróleo (HP) e esses contaminantes geram resultados adversos à saúde de todos os organismos vivos do mundo, incluindo os seres humanos (VARJANI, 2017).

Dentre os possíveis contaminantes HP, os hidrocarbonetos monoaromáticos - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) - são poluentes comuns encontrados em plumas de águas

subterrâneas e em outros recursos hídricos (MAZZEO *et al.*, 2010; COSTA *et al.*; 2011). Esses contaminantes são tóxicos e cancerígenos e podem ser liberados no ambiente durante a entrega, armazenamento e a distribuição dos combustíveis nos postos (WANG, 2003). Estudos têm identificado, também, a presença persistente de compostos BTEX no ar e o transporte desses compostos do ar para os corpos d'água como resultado das chuvas (DUTTA *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2012).

Os contaminantes BTEX são contaminantes com alto potencial para afetar a saúde humana e sua ingestão está associada a doenças crônicas e potencialmente fatais como câncer e lesões hepáticas, além da exposição a eles causar sonolência e irritação de órgãos (ZHANG *et al.*, 2012; TUNSARINGKARN *et al.* 2012). Estudos recentes relataram a presença de compostos BTEX na água potável, indicando extensos riscos à saúde que podem não ser imediatamente evidentes (MITRA; ROY, 2011; REDDY *et al.* 2012).

Apesar do risco à saúde pública que os contaminantes BTEX significam ao atingirem a água para consumo, eles não são o foco dos levantamentos de contaminação dos recursos hídricos utilizados pelas populações humanas e nem das técnicas de tratamento e/ou remediação em função da dificuldade de identificação desses compostos na água (FAYEMIWO *et al.*, 2017). Além disso, eles podem ter variadas fontes de contaminação (EL-NAAS *et al.*, 2014), sendo mais comum que os levantamentos de contaminantes foquem na identificação de hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH) e relacionados a acidentes ambientais (BOJES; POPE, 2007). Sendo assim, nos levantamentos de dados de contaminação convencionais das bacias hidrográficas realizados por órgãos como o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) não incluem a avaliação da presença desses contaminantes.

Lima *et al.* (2017) afirmam que o gerenciamento de áreas contaminadas por combustíveis fósseis se configura como um grande desafio ambiental para os órgãos reguladores, empreendedores e sociedade em geral, por considerar que o uso dessas áreas pode conferir riscos à saúde humana. Adicionalmente, áreas muito populosas com intenso consumo de combustível podem oferecer maior liberação desses compostos no meio ambiente e resultarem na diluição dos contaminantes para o meio aquoso, ocasionando maior exposição da população a efeitos adversos cumulativos difíceis de mensurar e identificar (HILPERT *et al.*, 2015).

Em termos de legislação ambiental, a Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) n° 273 apresenta os sistemas que um posto de combustível deve possuir para proteção do solo e da água subterrânea: equipamentos e sistemas de monitoramento, equipamento para detecção de vazamentos, sistemas de drenagem, tanques de armazenamento, tratamento e controle de efluentes proveniente dos tanques e dispositivo para recolhimento de óleo lubrificante usado (BRASIL, 2000). No estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa - DN n°. 108 do Conselho Estadual de Política Ambiental (MINAS GERAIS, 2007) estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental dos diversos tipos de postos de combustíveis e enfatiza a obrigatoriedade do prévio licenciamento ambiental ou licença ambiental de Funcionamento - AAF, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis, conforme as normas da Resolução CONAMA n° 273.

Para fins de monitoramento da contaminação de solo e água subterrânea por derivados do petróleo, um dos compostos utilizados atualmente pelos órgãos ambientais é o HTP (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), que abrange diversos hidrocarbonetos. A legislação brasileira que determina os Valores Orientadores para substâncias contaminantes é a Resolução CONAMA n° 420/2009. No Estado de Minas Gerais, esses valores são definidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010, que se baseia nas determinações descritas na resolução nacional.

Apesar de estabelecer limites de valores de concentração de diversas substâncias, essas normativas não contemplam o HTP em seu escopo. Desse modo, órgãos ambientais brasileiros como a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG), utilizam a “Lista Holandesa de Valores de Qualidade do Solo e da Água Subterrânea” (CETESB, 2016), que estabelece esses valores para o parâmetro HTP. Além disso, o modelo de avaliação de risco utilizado atualmente pelos principais órgãos ambientais não define os parâmetros físico-químicos e toxicológicos para o HTP, e assim, não conseguem determinar as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA’s) para este parâmetro.

Desse modo, as dificuldades técnicas de monitoramento dos compostos advindos do petróleo ficam evidentes quando analisamos os dados de áreas contaminadas no Estado de Minas Gerais, onde cerca de 73% correspondem a postos de combustíveis. O vazamento e a infiltração nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneos de Combustíveis (SASCs) de postos de serviço é a principal fonte de contaminação, atingindo solo e águas subterrâneas (FEAM, 2018).

A água subterrânea é cada vez mais utilizada nos sistemas de abastecimento das cidades e é susceptível à contaminação por compostos BTEX que infiltram e se dispersam no solo através da própria força de gravidade ou pela ação da lixiviação (MORAES *et al.*, 2013). Esses compostos presentes na água subterrânea e no solo podem atingir, também, águas fluviais e, dessa forma, representam importante fonte de contaminação hídrica (MITRA; ROY, 2011; REDDY *et al.* 2012).

Desse modo, é imperativo que seja avaliada a possível correlação espacial entre postos de combustíveis, dados sobre áreas contaminadas por compostos de petróleo e os locais de captação de água para consumo humano nas bacias hidrográficas brasileiras. As implicações para a saúde humana e do ecossistema aquático são extremamente relevantes nesse contexto.

Portanto, este trabalho apresenta relevância ao avaliar as informações sobre a contaminação por derivados do petróleo nos recursos hídricos localizados na bacia do rio Piracicaba (MG), que possui expressiva atividade econômica e concentração urbana. Consequentemente, os resultados deste estudo poderão subsidiar informações para tomada de decisão dos comitês da bacia, prefeituras municipais, e outros atores interessados na busca pela garantia da segurança hídrica para a região.

Diante disso, este trabalho está em conformidade com a área de concentração “Regulação e Governança de Recursos Hídricos”, por contribuir na tomada de decisão de atores que atuam na gestão dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (CBH – Piracicaba), além de prefeituras municipais, e outros atores interessados pela gestão hídrica dessa bacia. Além disso, está em concordância com a linha de pesquisa “Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos”, pois, a partir de seus resultados, será possível colaborar para a conscientização, prevenção e para o gerenciamento das áreas contaminadas e debates sobre os impactos e riscos que podem comprometer a segurança hídrica da respectiva bacia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a potencialidade da contaminação ambiental por postos de combustíveis, por meio do panorama das contaminações dos recursos hídricos, referente ao período de 2014 a 2020, obtido a partir dos dados disponibilizados anualmente pela FEAM, contribuindo com a criação de uma metodologia de avaliação de risco para nortear os órgãos

públicos quanto às áreas de maior atenção para realização de avaliações de qualidade da água, tomando como local de estudo a circunscrição hidrográfica do rio Piracicaba (MG).

2.2. Objetivos específicos

- i) Identificar e avaliar os dados referentes ao cenário de contaminação por postos de combustíveis entre 2014 e 2020, com base no Cadastro de Áreas Contaminadas da FEAM na bacia do Rio Piracicaba - MG;
- ii) Propor uma metodologia de avaliação de risco de contaminação por HP nas captações de água para consumo humano no entorno de postos de combustíveis e áreas contaminadas que possa ser aplicada em outras bacias hidrográficas;
- iii) Avaliar se há correlação das áreas contaminadas por postos de combustíveis com os pontos de captação de água subterrânea, superficial e uso insignificante da água para consumo humano (através das outorgas), bem como corpos d'água superficiais na bacia do Rio Piracicaba - MG;
- iv) Avaliar se há correlação dos dados referentes à localização dos postos de combustíveis, pontos de captação de água subterrânea, superficial e uso insignificante da água para consumo humano (por meio das outorgas), bem como dos corpos d'água superficiais na bacia do Rio Piracicaba - MG;
- v) Sugerir uma classificação de risco para as áreas em torno dos postos de combustíveis que devem ser investigadas quanto à presença de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo em relação aos pontos de captação de água para consumo humano.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Recursos hídricos para consumo humano

O acesso à água potável é um direito humano defendido mundialmente (Organização das Nações Unidas, 2010) sendo a sua disponibilidade considerada como uma prestação de serviço em quantidade suficiente e qualidade confiável, referindo-se à necessidade da água para consumo humano, estar isenta de agentes patogênicos e de níveis tóxicos de produtos químicos (BOS, 2017).

Para o devido gerenciamento de um recurso hídrico, devem ser seguidos alguns passos importantes, citados a seguir: iniciando-se pelo reconhecimento dos usos de recursos hídricos que efetivamente ocorrem na bacia hidrográfica; o levantamento da condição de qualidade do corpo d'água para identificar a condição de qualidade do respectivo corpo hídrico, considerada a variação sazonal natural da sua qualidade e a representatividade das amostras. Além disso, deve ser feita a identificação dos parâmetros prioritários de qualidade da água; estabelecimento de metas intermediárias progressivas de melhoria da qualidade da água e, por fim, deverá ser elaborado o programa de efetivação do enquadramento. Esse deve ser aprovado pelo respectivo Comitê de Bacia, onde estarão contempladas as metas intermediárias progressivas de qualidade da água, associadas a um cronograma de medidas e ações necessárias (ANA, 2007).

O Brasil possui, indiscutivelmente, um potencial hídrico abundante, mas com sua distribuição desigual ao longo do território, se mostrando mais abundante a água doce na região norte do país, onde há, também, menor densidade populacional. As desigualdades em termos de volume do recurso hídrico e a demanda por esse recurso é um desafio contínuo para o país e tem se intensificado com a variação da pluviosidade, que teve redução significativa em regiões de alta densidade populacional ou regiões que já vivenciam escassez hídrica. Além disso, a poluição das águas superficiais revela intenso desafio para o tratamento desse recurso para o consumo humano, favorecendo a intensificação da busca por poços para obtenção de água subterrânea nos últimos anos e tornando ainda mais complexo o gerenciamento dos recursos hídricos no país (ANA, 2017).

Para o estabelecimento dos padrões de qualidade para consumo no território brasileiro, vem sendo utilizados critérios definidos por agências internacionais tal como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e por agências ambientais de outros países, principalmente Canadá e Estados Unidos (UMBUZEIRO *et al.*, 2010). Em termos de Legislação, as referências que asseguram a qualidade da água para consumo humano são estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Através dessa Portaria, são estabelecidos procedimentos e responsabilidades que visam a prevenção de doenças e promoção de saúde da população, subsidiando a vigilância e o controle da qualidade da água.

Os padrões de qualidade da água para consumo estabelecidos na referida Portaria destinam-se à avaliação das concentrações das substâncias consideradas aceitáveis e seguras à saúde da população e são definidas por meio de previsões de modelos matemáticos, considerando as

características gerais da população e as informações toxicológicas das substâncias químicas de interesse disponíveis (UMBUZEIRO, 2012).

O monitoramento dos recursos hídricos brasileiros tem revelado, cada vez mais, a degradação da qualidade da água nos grandes centros urbanos e nos açudes do Nordeste, prioritários para o controle da poluição hídrica e proteção de mananciais. No entanto, apesar das relevantes informações sobre a degradação desses recursos, alguns estados do país não realizam qualquer monitoramento de qualidade da água e onde há monitoramento, existem deficiências quanto à representatividade temporal e espacial (ANA, 2017). Desse modo, o conhecimento das demandas e da situação dos recursos hídricos brasileiros ainda se mostram como desafiadoras e preocupantes num momento em que as mudanças climáticas impactam a disponibilidade desse bem tão necessário ao ser humano e aos ecossistemas.

3.1.1. Captação de águas superficiais para consumo humano em Minas Gerais

Para captação de água nos municípios brasileiros, O Manual de Orientações Técnicas para Elaboração e Apresentação de Propostas e Projetos para Sistemas de Esgotamento Sanitário, elaborado pela Funasa (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017) estabelece os critérios e os procedimentos referentes à apresentação das propostas e posterior pedido de financiamento. No entanto, os municípios brasileiros adotaram suas próprias técnicas de captação ao longo da história, sendo construídos em torno das fontes de recursos hídricos tão necessárias ao seu desenvolvimento. Os meios de obtenção dos recursos hídricos podem ser a partir das águas superficiais, chamados mananciais, ou a partir das fontes subterrâneas de água (Quadro 1).

Quadro 1: Fontes de recursos hídricos das áreas urbanas do Brasil.

SEDES URBANAS ABASTECIDAS POR TIPO DE MANANCIAL						
Região Geográfica	Estados	Tipo de Abastecimento			Sem Informação	Total de Municípios na UF
		Misto	Subterrâneo	Superficial		
Norte	AC	2	4	16	0	22
	AM	8	44	10	0	62
	AP	2	4	10	0	16
	PA	13	108	21	1	143
	RO	5	10	37	0	52
	RR	5	9	1	0	15
	TO	10	84	45	0	139
	Sub-total	45	263	140	1	449
Nordeste	AL	11	16	75	0	102
	BA	32	78	307	0	417
	CE	12	64	108	0	184
	MA	11	158	43	5	217
	PB	17	34	165	7	223
	PE	14	17	153	1	185
	PI	8	174	40	2	224
	RN	3	76	85	3	167
	SE	8	20	47	0	75
Sub-total	116	637	1023	18	1794	
Centro-Oeste	DF	1	0	0	0	1
	GO	38	56	152	0	246
	MS	8	62	8	0	78
	MT	20	58	61	2	141
Sub-total	67	176	221	2	466	
Sudeste	ES	7	0	71	0	78
	MG	171	170	512	0	853
	RJ	11	1	77	3	92
	SP	126	331	184	4	645
Sub-total	315	502	844	7	1668	
Sul	PR	89	221	86	3	399
	RS	67	286	134	9	496
	SC	58	68	165	2	293
	Sub-total	214	575	385	14	1188
Total Brasil		757	2.153	2.614	41	5.565

Fonte: ANA (2010).

Os serviços de abastecimento de água prestados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), tem como fontes outorgadas em todo o estado de Minas Gerais, 595 captações superficiais e 912 captações subterrâneas, cuja soma das vazões outorgadas totalizam 59,15 m³/s. Em 2020, 82,3% do volume total de água aduzido nos sistemas da COPASA foram captados em fontes superficiais, 10,7% em fontes subterrâneas e 6,7% em fontes mistas (COPASA,2020).

O uso da água superficial na bacia do rio Piracicaba, área de estudo do presente trabalho, é predominante para o abastecimento industrial, representado, principalmente, pelas indústrias de mineração e siderurgia que possuem uma vazão média demandada de 6,48 m³/s, estando as

maiores demandas na Região do Vale do Aço. O consumo humano é o segundo maior uso consuntivo, correspondendo a vazão de 0,89 m³/s. Em porcentagem, o consumo industrial corresponde por 80% do uso hídrico na bacia, o consumo humano 11%, já com notável indisponibilidade hídrica em vários trechos e outros em estado de atenção para esse parâmetro (DE CASTRO *et al.*, 2021).

O uso dos mananciais para o abastecimento de água para a população brasileira é fonte primária na maior parte das bacias hidrográficas do país, não apenas no estado de MG, culminando em conflitos de gestão por diversas razões. Além da dependência do regime hídrico para manutenção da quantidade e qualidade das águas superficiais utilizadas, a captação das águas superficiais inclui conflitos existentes e potenciais em função do uso de recursos hídricos que atendem a mais de um município ou usuário podendo, inclusive, estarem em limites geográficos federais diferentes, regidos por legislações distintas nos estados e municípios que utilizam os recursos hídricos. Além disso, a contaminação dos recursos hídricos é fator importante que afeta sua demanda e o gerenciamento dos mesmos, já que os efluentes domésticos e industriais têm como destino as águas superficiais e podem atingir e contaminar as águas subterrâneas (ANA, 2010).

O monitoramento da qualidade da água é importante no sentido de apontar tendências e áreas prioritárias para o controle da poluição hídrica e o enquadramento de corpos hídricos em classes de qualidade segundo os usos preponderantes da água. Para tal, a ANA considera o Índice de Qualidade das Águas (IQA), composto por nove parâmetros comumente utilizados em avaliações de qualidade de água: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez.

Além disso, um sistema convencional de abastecimento de água é constituído por unidades de captação, adução, estação de tratamento, reservação, redes de distribuição e ligações domiciliares. Em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) do tipo completa, a água bruta passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação e correção de pH. Para avaliar a eficiência do processo é feita uma análise de todas essas etapas nos laboratórios das unidades de tratamento de água, atendendo aos requisitos legais e de controle interno de qualidade (COPASA, 2020). Sendo assim, o tratamento convencional não avalia a presença ou permite a remediação de contaminantes advindos de derivados do Petróleo,

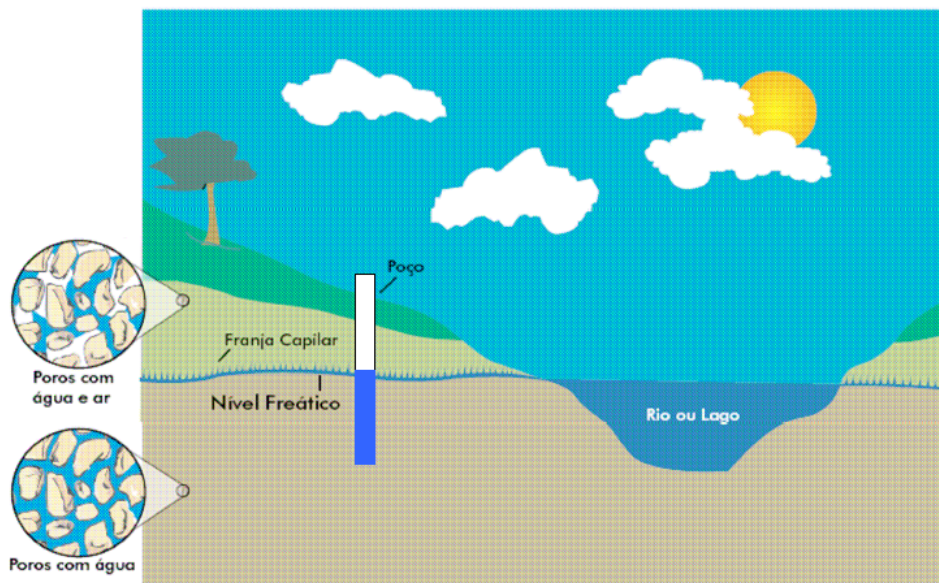
expondo a necessidade de estudos que busquem avaliar a exposição das fontes de consumo humano a esses contaminantes.

3.1.2. Captação de águas subterrâneas para consumo humano

A água subterrânea representa cerca de 98% do total de água doce disponível na Terra (ALVAREZ; ILLMAN, 2005). Com o uso intensivo de hidrocarbonetos por humanos, compostos aromáticos como BTEX e os PAHs são relatados como causadores da poluição das águas subterrâneas (ANNESER *et al.*, 2008).

A Figura 1 apresenta a distribuição de água no solo. Com o aumento da profundidade, encontram-se a zona não saturada, onde a água e o ar preenchem os espaços vazios entre os grânulos do solo; e a zona saturada, onde os espaços vazios do solo são totalmente preenchidos por água. O nível freático ocorre no limite entre as duas zonas (MMA, 2004).

Figura 1: Caracterização das zonas saturadas e não saturadas do solo.



Fonte: MMA (2007).

As águas subterrâneas correspondem a toda a água encontrada na zona saturada. A precipitação pluviométrica é responsável pela maior parte da recarga de água subterrânea, onde as águas das chuvas entram por infiltração na área de recarga. Depois de infiltrar através da superfície do solo, parte da água das chuvas fica retida nos poros, sendo parte da umidade do solo, enquanto o restante percola pelos poros até atingir a camada impermeável. Como parte do ciclo hidrológico, o nível freático flutua naturalmente durante o ano todo e esta flutuação varia de

centímetros até algumas dezenas de metros, dependendo da área e da quantidade de chuvas no local (GUIGUER, 2000).

Os aquíferos são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água para nascentes, ou para poços, em quantidades economicamente viáveis de extração (GUIGUER, 2000). Nem toda água subterrânea pode ser considerada como aquífero, uma vez que para ser aquífero, a formação deve armazenar e transmitir água entre dois pontos. De acordo com Cleary (2007), classifica-se os aquíferos como não confinados (livres, freáticos) e confinados. Os aquíferos livres ocorrem quando a superfície que limita a zona saturada coincide com o nível freático; esses são totalmente aflorantes em toda a sua extensão e o limite superior do aquífero está sujeito à pressão atmosférica (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 2013). Já o aquífero confinado é aquele que se encontra entre duas camadas impermeáveis, com a água exercendo pressão sobre o topo e a base das camadas limitantes – água sob pressão superior à pressão atmosférica. Os aquíferos livres ou freáticos são os mais comuns, mais explorados pela população e mais vulneráveis à contaminação.

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas superficiais, tornando-as fundamentais para o abastecimento público (MMA, 2007) e sua exploração se dá pela escavação de poços:

- Qualidade: elevado padrão de qualidade físico-química e microbiológica;
- Quantidade: volumes maiores do que os das águas superficiais;
- Distribuição: ocupam áreas muito maiores do que a calha de um rio ou lagoa, o que permite a perfuração de poços nos locais onde ocorrem as demandas;
- Usos: além dos usos comuns das águas subterrâneas em diversos setores, como abastecimento, indústria, agricultura, entre outros; quando em temperatura elevada a água pode ser utilizada na indústria ou no turismo – como águas termais;
- Custos: o valor de perfuração dos poços e os prazos de execução são geralmente inferiores aos necessários para as obras de captação e transporte de águas de rios e lagoas.
- Meio ambiente: os impactos ambientais referentes às instalações para a exploração das águas subterrâneas são menores, quando instalados e operados de forma adequada, ficando restritos à área do poço tubular.

É necessário enfatizar a importância das águas subterrâneas no abastecimento público. Dados do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) reportaram que aproximadamente 8 milhões de domicílios brasileiros utilizam a água de poços ou de nascentes como fonte de abastecimento de água. Apesar disso, dos quase 3,5 milhões de poços levantados pelo Censo em 2017, apenas 308 mil constam no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (ANA, 2019). Desse modo, além do tratamento convencional da água para consumo humano não considerar os poluentes que são o foco do presente trabalho, uma parte significativa da captação dos poços sequer terá tratamento de água ou monitoramento de sua qualidade antes de ser consumida pela população.

3.1.3. Outorgas de uso da água e uso insignificante da água

A gestão dos recursos hídricos no Brasil teve uma caminhada que inicia apenas como uma proteção da água a partir de direitos de vizinhança quanto à sua contaminação (Constituição Imperial de 1824), como bem de domínio privado e de valor econômico limitado (Código civil de 1916), alcançando a classificação que difere águas públicas de uso comum, águas comuns e particulares apenas no Código das Águas (BRASIL, 1934). A Constituição de 1988 extinguiu essas classificações de uso particular e considerou as águas como bens do Estado, ou seja, todas as águas do território brasileiro são bens públicos.

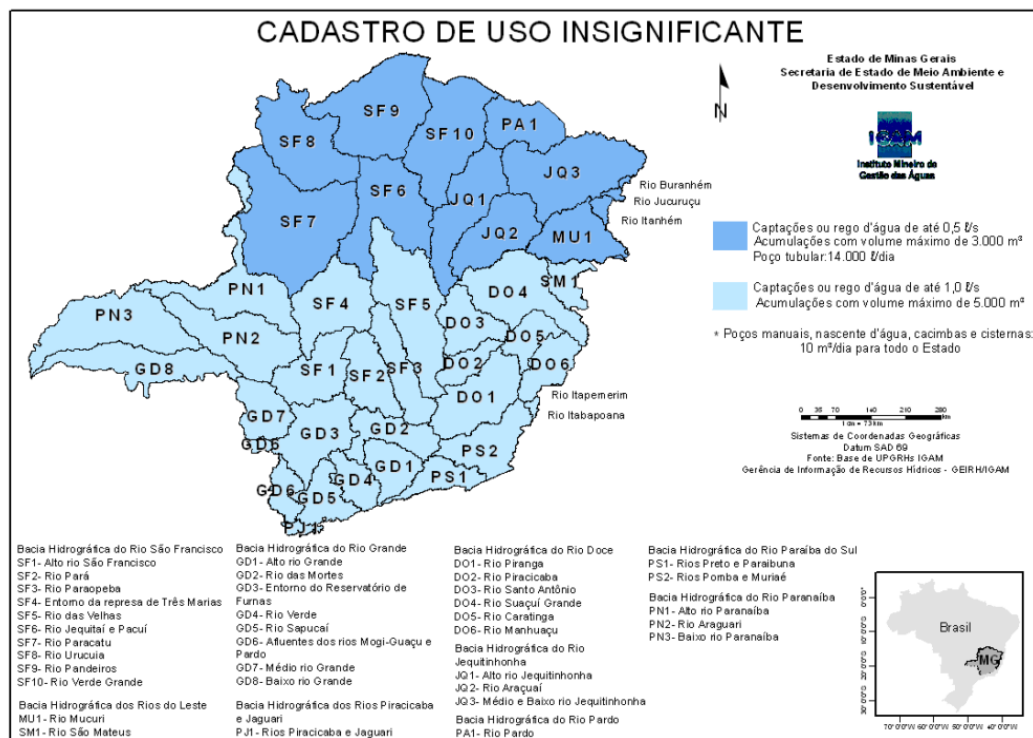
A gestão efetiva sob essa perspectiva vai ocorrer somente após a instituição da Lei das Águas (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, com seus objetivos, fundamentos, instrumentos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa legislação é um marco porque assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água para toda a população. A ferramenta que garante o gerenciamento dos recursos hídricos é a Outorga de uso da água que, segundo a PNRH, se faz necessário para os seguintes usos da água:

- i) derivação ou captação de parcela da água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- ii) extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

- iii) lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- iv) aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- v) outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Além das situações que o uso da água deve ser outorgado, existem aquelas que podem ser dispensadas de outorga, variando de acordo com o corpo hídrico e o órgão gestor. Os usos insignificantes de água são estabelecidos quando a vazão captada é menor que a definida em legislação como a mínima para se obter a solicitação da outorga por parte do usuário. De acordo com a PNRH, independem da outorga: o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes (BRASIL, 1997). Ainda assim, os valores específicos que dispensam a outorga variam entre as unidades federativas e também com a gestão do recurso hídrico, havendo diferenças definidas se os recursos são de domínio federal ou estadual e também em relação aos diferentes Comitês de Bacias Hidrográficas. Para a bacia do Piracicaba, os valores de referência são descritos na Figura 2.

Figura 2: Mapa de vazão para classificação de uso insignificante da água em Minas Gerais.



Fonte: IGAM.

3.1.4. Legislação sobre atividades de risco ambiental de compostos derivados do Petróleo

Nos últimos anos, tem-se verificado o aumento dos estudos e das discussões sobre as áreas contaminadas com a finalidade de recuperá-las, reintegrando-as aos sistemas naturais e humanos. A ocorrência de vazamentos de compostos do petróleo tem aumentado, na medida em que expandiu o número de postos de combustíveis. Isto leva a uma preocupação por parte dos órgãos ambientais, em função dos riscos associados à contaminação das águas subterrâneas e conseqüentemente para a segurança e saúde da população (CETESB, 2020).

No caso da ocorrência de um passivo ambiental como o derramamento de combustíveis em sistemas de águas – tanto superficiais quanto subterrâneas – há uma necessidade cada vez maior de reabilitação dessas áreas, tanto para as populações locais quanto para a indústria (GÜNTHER, 2006).

Apesar disso, os acidentes com derramamento não são a única fonte desse tipo de contaminação. Considerando a complexidade da infraestrutura e logística associadas à cadeia produtiva do petróleo, são diversas as origens de áreas contaminadas por hidrocarbonetos, inclusive o transporte por caminhões ou dutos. Em escala local, quando se trata dos postos revendedores de combustíveis, a principal origem da contaminação é de vazamentos provenientes de Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASCs (VIVIAN, 2015).

Os SASCs são compostos por tanques de armazenamento e tubulações subterrâneas, entre outros. Referente à normatização para o armazenamento, manuseio e transporte de óleos lubrificantes, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 362 de 23 de junho de 2005, determina em seu artigo número 14, que as unidades de armazenamento usadas ou contaminadas devem ser construídas e mantidas de forma a evitar infiltrações, vazamentos, ataque pelo seu conteúdo, entre outros riscos associados, bem como, condições de segurança no seu manuseio, carregamento e descarregamento.

Na década de 1970, verificou-se no Brasil um aumento nas instalações de postos de combustíveis, quando os tanques de armazenamento de combustível eram construídos em chapa de aço simples, com uma vida útil de 20 a 25 anos. Após este período, os postos de combustíveis não fizeram a substituição destes tanques, o que ocasionou a ocorrência de vazamentos e contaminação do meio ambiente (OLIVEIRA; LOUREIRO, 1998).

O número de postos revendedores autorizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) vem crescendo, com aumento de 3% entre 2014 e 2019 (ANP, 2020). Até 2019 o país contava com 40.970 postos revendedores de combustíveis com autorização para o funcionamento e, deste total, mais de 10 % (total de 4.466) estão localizados em Minas Gerais.

No âmbito nacional, a Resolução CONAMA nº 420/2009 trata da gestão de áreas contaminadas de forma descentralizada e aderente às diferentes funções de cada esfera de governo, atribuindo às diversas responsabilidades, mas visando um objetivo comum. Essa resolução apresenta orientações básicas para que se possa identificar e fazer a gestão ambientalmente adequada das áreas contaminadas. Em casos de escassez de água e alta exploração das águas subterrâneas, o que acarreta o demasiado rebaixamento nos níveis dos aquíferos, foi indicado que o sucesso na gestão deste recurso, e seu uso controlado, serão maiores quanto mais os usuários participarem efetivamente do processo (CONICELLI, 2014).

A definição sobre contaminação de uma área segundo a Resolução CONAMA nº420/2009 é considerada como a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

3.2. Contaminação dos recursos hídricos por Hidrocarbonetos de Petróleo (HP)

Diversos estudos realizados no mundo demonstram a capacidade de contaminação da água pelos HP, sendo que eles são considerados a classe de poluentes orgânicos que mais contamina as águas subterrâneas no mundo (NADIM *et al.*, 2000). Em levantamento recente realizado por Logeshwaran *et al.* (2018), observou-se a presença de componentes BTEX na água subterrânea usada para consumo humano em diversos países do mundo (Quadro 2), demonstrando a relevância de levantamentos contínuos nas fontes de recursos hídricas usadas para consumo humano.

Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM), o número de áreas contaminadas vem crescendo desde 2007. Considerando as atividades econômicas que mais causam poluição, os postos de combustíveis são responsáveis pelo maior número de áreas contaminadas, tanto o comércio varejista de combustíveis quanto os

revendedores de gasolina, álcool e diesel (FEAM, 2020), como mostrado na Figura 3. Outros empreendimentos representativos são a indústria metalúrgica, ferrovias e refino e armazenamento de petróleo. Quanto à contaminação por postos de combustíveis, estes dados seguem a tendência nacional: 71,1% da contaminação teve sua origem em postos de combustíveis (MMA, 2020).

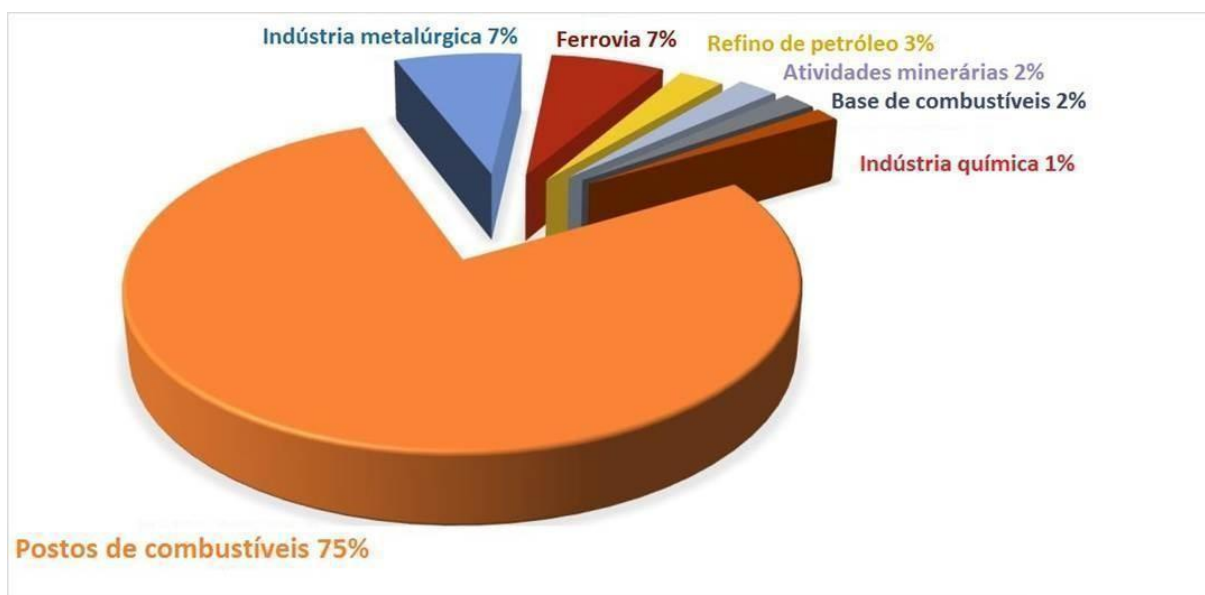
Quadro 2: Contaminação por Hidrocarbonetos de Petróleo no mundo.

LOCALIZAÇÃO	CONCENTRAÇÃO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA	REFERÊNCIA
Sub-ártico Canadense	Benzeno (2.0 – 990.0 µg/L), Tolueno (6.5 – 27.9µg/L), Etilbenzeno (0.7–27.9 µg/L), Total xilenos (2.0 –17.1µg/L)	AMEC 2009; AMEC 2011
China	Benzeno (16 – 976 µg/L), Tolueno (8 – 1301 µg/L), Etilbenzeno (18 –1169µg/L), p-xilenos (9.2 – 1041 µg/L),o-xilenos (16 – 1732 µg/L),Total BTEX (67 – 6487 µg/L)	KCG, 2012; Chiu et al. 2017
Austrália	n-alkanes (1000 mg/L), BTEX (25mg/L)	McGovern et al. 2002
	C10-C14 (66–1,546,000 µg/L), C15-C28 (216–22,762 µg/L), C29-C36 (105–2,103).	Faustorilla et al. 2017
Itália	n-alkanes (200 – 7176 µg/L)	Riccardi et al. 2008
Coréia do Sul	Toluene, etilbenzeno, xileno (12229– 19105µg/L)	Lee et al. 2001
Nigéria	Hidrocarbonetos de petróleo totais (1.58 –13.03 mg/L)	Adewuyi and Olowu, 2012
Sérvia	Hidrocarbonetos de petróleo totais (0.05 – 2140 mg/L)	Marić et al. 2015
Estados Unidos	Benzeno (<5 µg/L), Tolueno (<1000 µg/L), etilbenzeno (700 µg/L), Total xileno (10000 µg/L)	US Environmental Protection Agency, 2013
Índia	Acenafteno (62.9 µg/L), Fluoreno (47.56 µg/L), Fenantreno (123.1 µg/L), Antraceno (25.4 µg/L), Fluoranteno (41.5 µg/L)	Brindha and Elango, 2017

Fonte: adaptado de Logeshwaran *et al.* (2018).

Neste contexto, Carneiro *et al.* (2020) realizaram o levantamento das áreas contaminadas por compostos orgânicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas (MG) e verificaram que os postos de combustíveis representaram a principal atividade econômica poluidora (94%), o que ocorreu por vazamento ou infiltração (98,7%) e houve a contaminação pelos BTEX. Ainda segundo o estudo, o número de áreas declaradas é baixo, em relação ao número de empreendimentos com potencial de causar contaminações (Figura 3).

Figura 3: Percentual de áreas contaminadas e reabilitadas por atividade econômica em MG.



Fonte: FEAM, 2020

Apesar dos riscos dos compostos BTEX e demais HP para a saúde humana e deles não serem o foco dos levantamentos convencionais de contaminantes presentes na água para consumo humano (FAYEMIWO *et al.*, 2017), a contaminação de poços de captação de água subterrânea por essas substâncias é relatada em vários estudos brasileiros (BRITO *et al.*, 2005; PEDROSA *et al.*, 2006; FORTE, 2007; DA SILVA, 2015; RODRIGUES, 2015; DA CUNHA; ARAUJO, 2019; MORAES; OLIVA, 2019; SOARES *et al.*, 2019). Esses dados evidenciam a relevância de considerar a sua presença na água para abastecimento através das análises de qualidade realizadas pelos órgãos ambientais.

Além da contaminação já demonstrada pela literatura nas águas subterrâneas, as águas superficiais também são afetadas por esses contaminantes. Eles não estão presentes apenas no recurso hídrico utilizado para consumo humano, podendo acumular no sedimento e estarem presentes nos organismos vivos utilizados na alimentação humana, como peixes (LOKHANDE

et al., 2009; ASEJEJE *et al.*, 2021), levando à circulação desses compostos tóxicos e carcinogênicos a todos os níveis das cadeias tróficas.

Em situações de vazamentos de HP em subsuperfície, estes podem se particionar em cinco fases distintas (CETESB, 2001):

Fase livre - quando existe produto puro em fase separada (imiscível ou parcialmente miscível) que apresenta mobilidade no meio poroso, podendo ser bombeado por fluir para o interior do poço;

Fase residual - produto puro em fase separada (imiscível ou parcialmente miscível) que não apresenta mobilidade no meio poroso (não pode ser bombeado por não fluir para o interior do poço);

Fase vapor - quando o contaminante se encontra volatilizado, apresenta alta mobilidade, ocupando os espaços vazios existentes no solo, podendo acumular-se em espaços confinados como garagens subterrâneas, porões e utilidades (gás, telefonia, bueiros, entre outros);

Fase adsorvida - quando os contaminantes estão retidos nas partículas do solo por processos de adsorção, sobretudo em solos com alto teor de argila ou de matéria orgânica; e

Fase dissolvida - quando o contaminante se encontra dissolvido na água subterrânea, apresenta mobilidade muito elevada e é responsável pelo transporte do contaminante a grandes distâncias da fonte de contaminação

O problema da contaminação de áreas adjacentes aos postos de combustíveis está relacionado com a difícil detecção do vazamento nos estágios iniciais (CETESB, 2001). Acrescenta-se que a alta solubilidade dos compostos BTEX em água aumentam o risco de contaminação subterrânea (ANNESER *et al.*, 2008), pois podem estar presentes dissolvidos na água subterrânea e podem restringir o uso de poços para abastecimento público instalados nas imediações de postos combustíveis. A alta mobilidade desses compostos no sistema solo-água está relacionada com o baixo coeficiente de partição octanol-água, o que conduz a uma baixa adsorção no solo, favorecendo a contaminação das águas subterrâneas (NAKHLA, 2003).

3.3. Avaliação de risco em áreas contaminadas por derivados de Petróleo

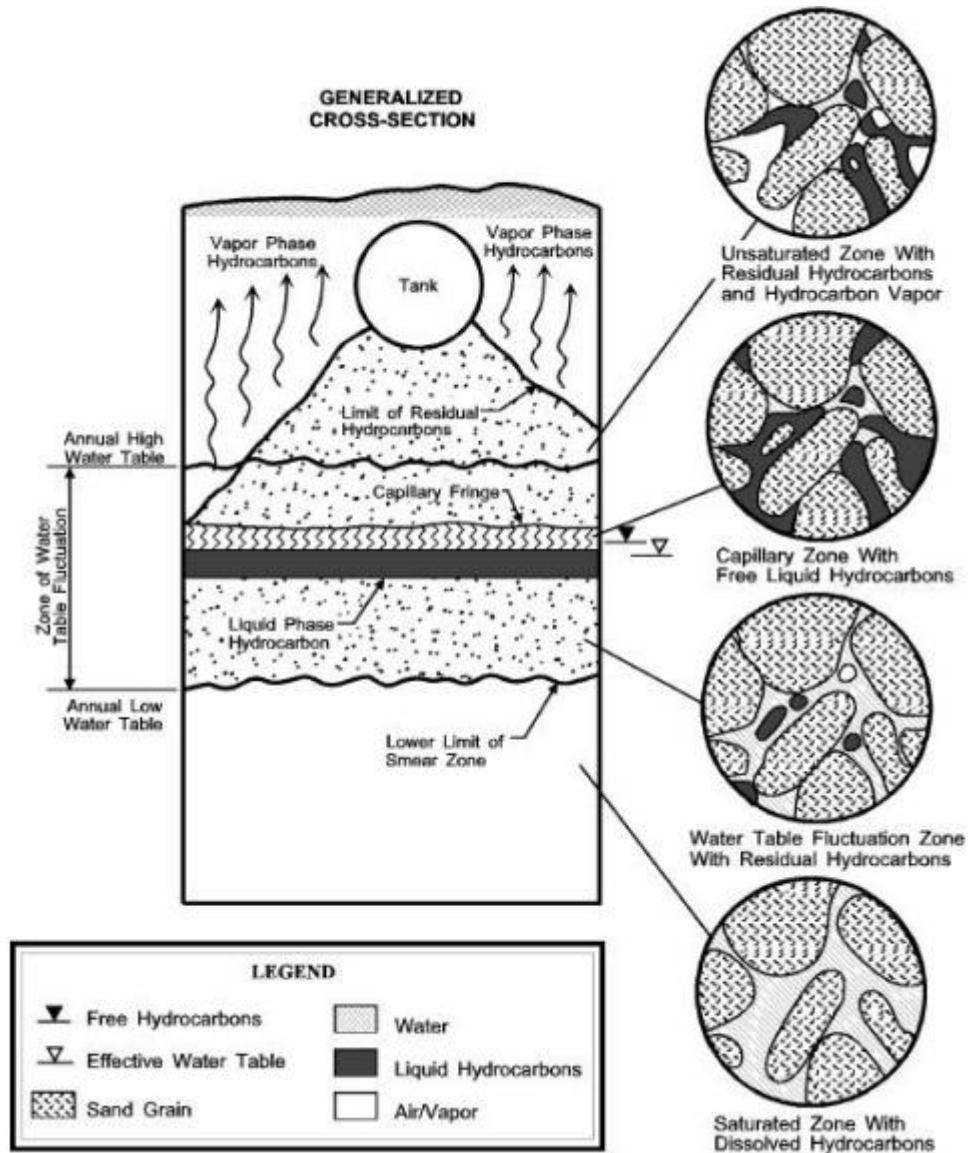
No Brasil, o gerenciamento de áreas contaminadas é constituído em uma série de etapas sequenciais (CONAMA, 2009):

- I. Identificação de áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória;
- II. Diagnóstico da área a partir da investigação detalhada e avaliação de risco, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação; e
- III. Intervenção a partir da execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução dos riscos identificados na etapa posterior, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas.

Quando ocorre o contato acidental do combustível com o solo, os hidrocarbonetos derivados de petróleo tornam-se distribuídos em três fases (Figura 4): de gás, líquido e na sólida. A fração de baixo ponto de ebulição vaporiza-se preenchendo os espaços dos poros no solo. Outra parte se mantém no estado líquido nos espaços dos poros. Essa fração líquida pode, eventualmente, se dissolver na água subterrânea, chamada fase dissolvida, ou flutuar na superfície da água subterrânea (fase livre) e migrar a relativas distâncias, dependendo da matriz do solo. Os hidrocarbonetos podem também ser sorvidos pelas partículas de solo (fase retida). Nesse caso a migração dos contaminantes pode ser efetivamente retardada pela quantidade de matéria orgânica contida no solo (SAARI, 2009).

Em áreas contaminadas por produtos derivados de petróleo, as substâncias químicas de interesse SQI monitoradas são, geralmente, os compostos da série BTEX, os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo – HTP (do inglês Total Petroleum Hydrocarbon - TPH) e os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – PAHs (SPECK, 2019). O parâmetro HTP é um parâmetro indicativo, utilizado para estimar a presença de compostos derivados de petróleo no ambiente. Existem diferentes métodos para avaliar HTP, mas nenhum deles é capaz de abranger toda a composição de hidrocarbonetos presentes no petróleo, sendo o valor de HTP restrito ao método de análise utilizado (QUINTÃO, 2015).

Figura 4: Distribuição das fases de hidrocarbonetos de petróleo em caso de vazamento de tanques subterrâneos.



Fonte: USEPA (1996).

Na Resolução CONAMA 420/2009, encontram-se os Valores Orientadores para solos e para águas subterrâneas que se aplicam a uma série de substâncias químicas. O Valor de Referência de Qualidade (VRQ) é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. O Valor de Prevenção (VP) é a concentração de valor limite de determinada substância no solo e o Valor de Investigação (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

A Resolução CONAMA 420/2009 não estabelece valores orientadores para HTP e os resultados para este parâmetro são normalmente comparados com a Lista Holandesa de Valores de Qualidade do Solo e da Água Subterrânea – Valores STI, conhecida informalmente como Lista Holandesa. A Lista Holandesa estabelece para o parâmetro HTP os valores de 5.000 mg kg^{-1} para solo e de $600 \mu\text{g L}^{-1}$ para água subterrânea como limites para intervenção (CETESB, 2016).

Já os compostos BTEX são utilizados como indicadores específicos para se caracterizar a contaminação de áreas por gasolina, pois são solúveis em água e, portanto, são os poluentes que primeiro atingirão as águas subterrâneas (AHMAD *et al.*, 2007).

O Quadro 3 apresenta os valores máximos permitidos em água para consumo humano em relação aos principais compostos químicos da gasolina (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos – BTEX) definidos pela Portaria GM/MS Nº 888. Esses compostos são associados a vários problemas crônicos de saúde (Quadro 4) e sua presença na água para consumo é um risco para toda a população.

Em relação aos HPA, as fontes desses compostos podem ocorrer de forma natural (combustão acidental em florestas e etc) ou antropogênicas. As fontes antropogênicas podem ser pirolíticas, associadas à queima incompleta de combustíveis e de biomassa; e as fontes petrogênicas, que são locais ou pontuais, como efluentes domésticos, indústria de petróleo e a introdução direta de petróleo por meio de derrames acidentais ou vazamento de combustíveis líquidos derivados de petróleo (USEPA, 2003).

Quadro 3: Padrão de potabilidade para consumo de acordo com a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 referente a componentes BTEX.

Parâmetros	Valor Máximo Permitido – VMP (mg/L)
Benzeno	0,005
Tolueno	0,2
Etilbenzeno	0,17
Xilenos	0,3

Quadro 4: Principais compostos químicos presentes na gasolina e seu potencial de risco à saúde humana.

Composto	Efeitos no Organismo Humano
Benzeno	Sistema Hematológico, Sistema Imunológico e Sistema Nervoso, carcinogênico
Tolueno	Sistema Imunológico, Sistema Nervoso, cancerígeno
Etilbenzeno	Desenvolvimento (efeitos durante os períodos em que os órgãos estão se desenvolvendo), sistema nervoso, carcinogênico
Xileno	Desenvolvimento (efeitos durante os períodos em que os órgãos estão se desenvolvendo), hepático (fígado), neurológico (sistema nervoso), renal (sistema urinário ou rins)

Fonte: Adaptado da Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (2021).

Dos mais de 100 HPA reconhecidos pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), apenas 16 deles são considerados prioritários no monitoramento ambiental dos chamados Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Ao contrário dos BTEX que são bastante solúveis, os HPA, geralmente se encontram adsorvidos nas partículas sólidas do solo e/ ou sedimento, pois apresentam baixa solubilidade aquosa e alta hidrofobicidade (BONILLA *et al.*, 2009). Os valores orientadores para os diferentes HPA podem ser consultados em CETESB (2018).

3.4. A metodologia de monitoramento de postos de combustíveis no licenciamento ambiental

A Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000, que estabelece diretrizes para prevenção e controle da poluição, além de prever um detalhamento de estudos para o licenciamento convencional, deu início ao processo de licenciamento ambiental para postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos de combustíveis e postos revendedores de aviação. No estado de Minas Gerais, a aplicação dessa legislação se deu através da Deliberação Normativa do COPAM nº 50, de 28 de novembro de 2001. Esta DN foi alterada em 2007 pela DN COPAM nº 108, de 24 de maio de 2007, que

incorporou diretrizes para a paralisação temporária das atividades, investigação de passivo ambiental e encerramento das atividades.

A DN nº 74, de 9 de setembro de 2004 do COPAM determina, a nível estadual, critérios de acordo com o porte e com o potencial poluidor dos empreendimentos passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental (MINAS GERAIS, 2004). O porte do empreendimento também é determinado com base no tipo de atividade e características específicas do empreendimento como, por exemplo, área construída, capacidade de armazenamento e outros, e é dada na também escala para pequeno (P), médio (M) ou grande (G). Os empreendimentos enquadrados nas classes 1 e 2, potenciais causadores de impactos ambientais não significativos, estão sujeitos à Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF). Os empreendimentos enquadrados nas classes 3 a 6, potenciais causadores de impactos ambientais significativos, estão sujeitos ao licenciamento ordinário e, portanto, devem ser submetidos às fases de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO).

Assim, tanto a DN COPAM 74/04 quanto a Resolução 237/97 dispensa os empreendimentos das classes 1 e 2 do licenciamento ambiental convencional, podendo ser apresentada apenas a Autorização Ambiental de Funcionamento, o que inclui parte dos postos de combustíveis que se enquadram na Resolução CONAMA nº273/1997. Para postos com tancagem inferior a 90 m³, por exemplo, a Autorização Ambiental de Funcionamento foi substituída pela Licença Ambiental Simplificada (LAS), emitida após entrega do Relatório Ambiental Simplificado (RAS). Já a atividade de transporte de combustíveis em MG exige a apresentação de Plano de Emergência Ambiental (PEA).

Para cumprir as exigências e obter a LAS ou a LO, é necessário o atendimento de exigências da DN COPAM nº 108/2007, entre elas:

I - SASC com tanque que não atenda as especificações das normas ABNT NBR 13.212, 13.312 ou 13.785 deverá ser testado a cada 12 meses;

II - SASC com tanque de parede simples, conforme normas NBR 13.212 ou NBR 13.312, ou parede dupla, conforme norma NBR 13.785, sem monitoramento eletrônico intersticial, deverão seguir as seguintes diretrizes: tanques instalados há mais de 10 (dez) anos, deverá ser testado a cada 12 meses; tanques instalados há menos de 10 (dez) anos, deverá ser testado a

cada 24 meses; tanque de parede dupla, conforme NBR 13.785, e monitoramento eletrônico intersticial contínuo, deverá ser testado a cada 60 meses.

III - Nos casos de realização de ensaios que resultem na ocorrência de não estanqueidade do sistema, o responsável pelo empreendimento deverá interromper imediatamente a operação do SASC, retirar imediatamente o produto do tanque caso o mesmo não esteja estanque, comunicar ao órgão ambiental os resultados, bem como as providências já adotadas e a serem tomadas, no prazo máximo de 60 (sessenta) dias a partir da data da emissão do laudo conclusivo do ensaio de estanqueidade.

Ainda segundo a DN COPAM nº 108/2007, devem ser estabelecidos Poços de Monitoramento (PMs) para avaliar a água subterrânea de acordo com a ABNT NBR13.895 e as informações de coleta desses PMs deve estar contido nos relatórios ambientais que visam manter as licenças ambientais de funcionamento.

Além disso, seguindo as exigências da Resolução CONAMA nº 273/2000, a avaliação preliminar do empreendimento deve conter o devido georreferenciamento, com o croqui das instalações atuais, superficiais e subterrâneas, edificações, Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASC, Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis - SAAC, rede de drenagem oleosa com ponto de lançamento final do efluente, troca de óleo e lavagem.

Os dados geológicos do terreno da região onde se insere o empreendimento devem contemplar a análise de solo considerando a sua permeabilidade e dados hidrogeológicos do local, com indicação inferida da direção e sentido do fluxo e profundidade estimada da água subterrânea através de execução de sondagem até o lençol freático ou até a profundidade de 8 (oito) metros, o que ocorrer primeiro. A sondagem poderá ser dispensada caso o empreendimento apresente informações com relação ao nível do lençol freático devido a existência de poço tubular ou estudo geológico/hidrogeológico anterior.

Adicionalmente, deve ser apresentado croqui georreferenciado com identificação de poços de captação de água do entorno em um raio de 100 metros através de levantamento de campo, bem como dos corpos d'água superficiais mais próximo e classificação do SASC de acordo com a NBR 13.786. Se o SASC ou o SAAC tiver tubulações enterradas, faz-se necessário executar malha de investigação para verificação da provável contaminação do subsolo, com realização de pontos de *soil gas survey* (pesquisa de vapor no solo) através de uma malha com

espaçamento aproximado de 5m X 5m, por toda a área de interesse do empreendimento com medições do teor de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) a 0,5 metro e 1,0 metro de profundidade.

Os dados coletados nesses monitoramentos exigidos para o licenciamento ambiental dos postos revendedores de combustíveis são parte da fonte de informações utilizada pela FEAM para elaborar a lista de áreas contaminadas do estado de MG. Ainda assim, grande parte da contaminação de solo e água subterrânea, bem como água superficial, pode estar sendo subamostrada, uma vez que parte desses empreendimentos não segue as adequações exigidas pela legislação ambiental para seu funcionamento (INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - IDE - SISEMA, 2021).

Em estudo realizado por Mesquita (2018), foi avaliada a situação de licenciamento ambiental de postos de combustíveis no estado de MG, sendo que 67% deles funcionavam com Licença Ambiental Simplificada (LAS) e essa categoria é seguida pela Licença de Operação Corretiva (LOC) em 21% da amostra. As LOC's são solicitadas para empreendimentos que extrapolam os limites de porte pequeno, ou seja, tanques maiores que 90 m³, e que já estão em funcionamento quando requerem ao órgão a licença ambiental. Postos que possuíam a Licença de Operação (LO) convencional correspondiam apenas a 12% da amostra.

Quando os dados do tipo de licenciamento foram correlacionados à presença de autos de infração, os resultados demonstraram que 40% dos autos eram direcionados para empreendimentos com Licença de Operação Corretiva – LOC, 35% desses eram para portadores de AAF – Autorização Ambiental de Funcionamento e 25% para Licença de Operação – LO. Desse modo, a autora concluiu que o licenciamento ambiental com dados superficiais através da anterior Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), substituída pelas LAS's, não permite o levantamento de informações que minimizem os riscos de vazamentos e contaminações desse tipo de empreendimento (MESQUITA, 2018).

Sendo assim, as deficiências do processo de licenciamento abrem precedentes para que existam áreas de contaminação desconhecidas e dimensões de contaminação que podem se estender para além das exigências legais de monitoramento, chegando às fontes de água consumidas pelas populações humanas. Com a falta de monitoramento rotineiro desses recursos para a presença dos contaminantes HP's, há a possibilidade de estarem sendo ignorados, resultando

em relevante impacto para a saúde pública. Portanto, a avaliação da possibilidade desses contaminantes atingirem fontes de água potável deve ser foco de trabalhos e levantamentos que possam nortear e direcionar as investigações de contaminação pelos órgãos ambientais oficiais.

4. METODOLOGIA

A pesquisa será de caráter documental, sendo concentrada na análise de dados técnicos oriundos dos relatórios da FEAM, no período de 2014 a 2020, referente às áreas contaminadas por postos de combustíveis na circunscrição hidrográfica do rio Piracicaba – MG (CH DO2). Adicionalmente, a localização dos postos de combustíveis existentes nessa bacia foi considerada como área de risco potencial de contaminação. Por fim, foram elaborados mapas e análises para avaliação do risco de contaminação por derivados do petróleo nas captações de água para consumo humano no entorno das áreas contaminadas por HP, bem como no entorno dos postos de combustíveis existentes na CH DO2.

Para facilitar a compreensão das análises, os resultados desse trabalho serão divididos em relação às amostragens realizadas no entorno das áreas contaminadas por postos de combustíveis e, posteriormente, em relação às amostragens realizadas no entorno dos postos de combustíveis existentes na bacia do Piracicaba, abordando separadamente as informações obtidas em tópicos que facilitarão o entendimento do leitor. Os detalhes metodológicos seguiram a estrutura do fluxograma da Figura 5 e são abordados nos tópicos a seguir.

Figura 5: Fluxograma detalhando as etapas desenvolvidas na metodologia dessa pesquisa.



Fonte: Autora.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

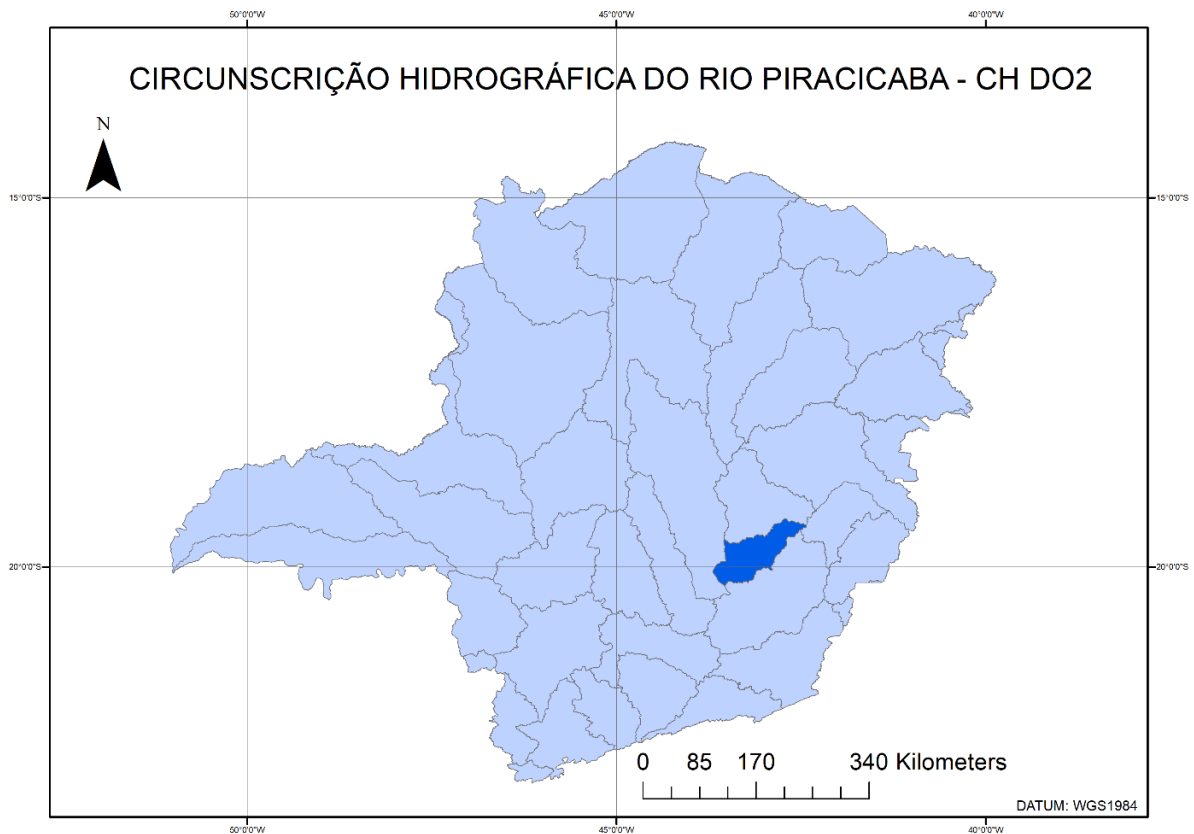
Em Minas Gerais, no nível do gerenciamento dos recursos hídricos, adotou-se a nomenclatura Unidades Estratégica de Gestão (UEG) para designar regiões hidrográficas com características comuns e que integralizam os comitês de bacias. No caso deste estudo, Afluentes do Rio Doce (DO) é a UEG, em que se insere a Circunscrição Hidrográfica (CH) da Bacia do rio Piracicaba (CERH, 2020). De forma geral, as CHs orientam a estruturação e formação de comitês de bacia hidrográfica.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (CBH DO2), que foi criado pelo Decreto Estadual nº 40.929, de 16 de fevereiro de 2000, um órgão normativo e deliberativo, que tem por objetivo incentivar o gerenciamento de recursos hídricos na região, fomentar o debate sobre as questões hídricas e a mediar/julgar os conflitos relacionados ao uso da água. O CBH DO2 ainda tem as funções de aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Doce e o respectivo Plano de Ação (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

A CH DO2, inserida totalmente no Estado de Minas Gerais (Figura 6), é composta pela bacia do rio Piracicaba – principal curso d'água – com área de drenagem de 5.465,38 km² e por uma área incremental a jusante da foz deste rio com 216,13 km², totalizando 5.681 km² de área de drenagem, como ilustra a Figura 6. O rio Piracicaba nasce no município de Ouro Preto, a 1.680 m de altitude, possui extensão de 241 km e seus principais afluentes são o rio Peixe, rio Santa Bárbara e rio da Prata. Além dos rios mais importantes, o rio Piracicaba recebe a descarga de dezenas de ribeirões e córregos durante o seu percurso, que contribuem para a sua rede de drenagem (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ENGECORPS, 2015).

O rio Piracicaba deságua no rio Doce, sendo seu afluente da margem esquerda, representando aproximadamente 7,98% do território da bacia do rio Doce. A pequena área incremental a jusante da confluência do rio Piracicaba com o rio Doce, incluindo um trecho deste, tem como principal curso d'água o ribeirão Ipanema (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

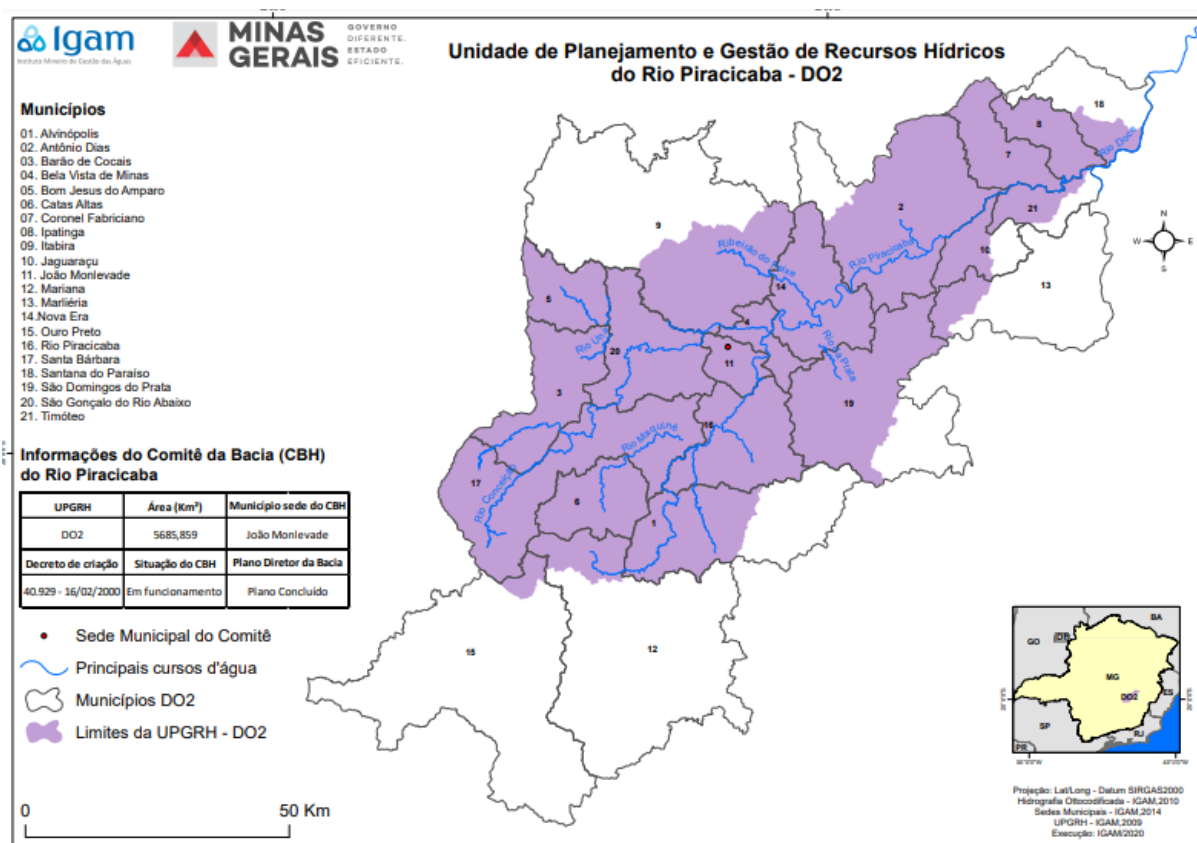
Figura 6: Mapa com os limites da circunscrição hidrográfica do rio Piracicaba, MG.



Fonte: Autora.

Na bacia do rio Piracicaba localizam-se 21 municípios (Figura 7), entre esses, 17 possuem sedes dentro de seus limites, sendo: Antônio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Itabira, Jaguaráçu, João Monlevade, Marliéria, Nova Era, Rio Piracicaba, Santa Bárbara, São Domingos do Prata, São Gonçalo do Rio Abaixo, Timóteo; sendo que 4 municípios têm suas sedes fora dos limites da bacia, são eles Alvinópolis, Mariana, Ouro Preto e Santana do Paraíso. Segundo dados do IBGE, censo de 2010, a CH DO2 possui aproximadamente 761 mil habitantes, com cerca de 95% destes na área urbana e os 5% restantes na zona rural, sendo assim, a bacia com maior população dentre aquelas que fazem parte do rio Doce (IGAM, 2019).

Figura 7: Mapa da bacia hidrográfica do rio Piracicaba.



Fonte: http://comites.igam.mg.gov.br/images/mapas/Mapas_2020___/Mapas_PDF/DO2_A3_2020.pdf

4.1.1. Aspectos geológicos

O relevo da CH DO2 é bastante acidentado, com predominância de serras e colinas, abrangendo áreas do Quadrilátero Ferrífero, Serra do Espinhaço, Planaltos Dissecados do Centro Sul e o Leste de Minas Gerais. De maneira geral, a geologia da CH DO2 é composta pelo Quadrilátero Ferrífero e pelo Embasamento Cristalino, sendo que no Quadrilátero Ferrífero, cerca de 95% das estruturas são do Arqueano ou Proterozóico. As rochas são agrupadas em quatro formações: Complexo Granito-gnáissico (embasamento) Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi. O Embasamento Cristalino é constituído por rochas cristalinas, com formação intrusiva, composto por rochas granito-gnaisses, migmatitos e está relacionado com Arqueano. Todas as demais formações que ocorrem na área da bacia do rio Piracicaba com exceção a área do Quadrilátero Ferrífero, estão relacionadas aos complexos cristalinos (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Na região da CH DO2 predomina a erosão em sulcos, seguida da laminar condicionada pelo intenso escoamento superficial distribuído nas vertentes das colinas côncavo-convexas. Os principais condicionantes são as chuvas intensas (1400 – 1300 mm/ano) que afetam quase toda a unidade, e os solos susceptíveis à erosão, como os Argissolos. A susceptibilidade nesta unidade é predominantemente forte (52%) e média para o trecho drenado pelos afluentes da margem direita do rio Piracicaba, ocupando 34% da área total (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

4.1.2. Aspectos hidrogeológicos

A maior parte da UPGRH DO2 situa-se sobre os sistemas aquíferos fissurados, enquanto em uma pequena parte da unidade são encontrados sistemas aquíferos granulares (Figura 8). Os sistemas aquíferos fissurados são encontrados em 96% da área da CH DO2, sendo que 44% deles ocorre sobre os sistemas aquíferos em rochas cristalinas, composto de rochas granitóides de composições diversas; 36% sobre os sistemas aquíferos fissurados xistosos; e 16% sobre sistemas aquíferos fissurados em quartzitos (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

4.1.3. Aspectos pedológicos

Na CH DO2 predominam os solos das classes latossolos, argilossolos e cambissolos (Figura 9). Destas classes, os argilossolos são os de maior erodibilidade e os latossolos, os de menor. Os latossolos são predominantemente vermelho-amarelos, e se caracterizam por serem profundos e bem drenados. São encontrados principalmente nos planaltos dissecados e os latossolos amarelos ocorrem de maneira restrita junto à foz do rio Piracicaba. Esses últimos são solos profundos e bem estruturados, porém são ácidos e de baixa fertilidade (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

4.2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DAS ÁREAS CONTAMINADAS DA BACIA DO RIO PIRACICABA-MG

A FEAM publica, todos os anos, a Lista de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, por município e por responsável (desde 2009 até 2020); e por CH somente a partir de 2014. Para a amostragem do presente trabalho, foi utilizada como base a coleta de dados dos inventários de 2014 a 2020, nos quais era possível verificar com detalhes todas as áreas contaminadas/reabilitadas do estado. Os dados coletados consideraram as informações: o nome e o CNPJ do empreendimento, município, coordenadas geográficas do empreendimento e qual o ramo de atividade econômica do mesmo. Quanto às informações detalhadas da área contaminada, temos: classificação e etapa de gerenciamento, fonte de contaminação, meios impactados, contaminantes, presença/ausência ou a situação da fase livre.

Retirou-se da coleta de dados os 4 municípios que têm a sede fora da CH DO2 (Alvinópolis, Mariana, Ouro Preto e Santana do Paraíso). Isso foi necessário, uma vez que, ao verificar a lista separada por bacias hidrográficas, foi constatado que a FEAM excluiu estes 4 municípios da lista da CH DO2, alocando-os em outras bacias hidrográficas (por exemplo, Ouro Preto consta na bacia do rio Piranga CH DO1).

Foram coletadas todas as informações que se referiam ao gerenciamento das áreas contaminadas e reabilitadas, assim como contaminantes e presença de fase livre. Os dados coletados foram processados em planilhas de Excel e transformados em gráficos para melhor apresentação dos resultados. As coordenadas geográficas foram utilizadas para criar *shapefiles* de pontos para distribuir os empreendimentos estudados nos mapas e realizar a coleta de informações proposta através do *software* ArcGis 10.0.

4.3. LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES SOBRE OS EMPREENDIMENTOS – POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Para o devido mapeamento dos postos de combustíveis localizados na CH DO2, foram obtidos os dados de empreendimentos licenciados através do site IDE-Sisema (<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>), extraindo as informações a respeito dos empreendimentos classificados como “*Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação*” contidos nos limites dos municípios que fazem parte da área de estudo. Esses dados foram usados para estruturar as planilhas de análise, bem como o mapeamento dos empreendimentos na CH DO2. O período de intervalo de coleta de dados

foi de 2014 a 2020. Foi identificada discrepância entre as informações dos postos de combustíveis ativos na CH DO2 (157 postos ativos), segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (<https://www.gov.br/anp/pt-br>) e os empreendimentos licenciados (39 empreendimentos conforme os dados disponibilizados no site do SISEMA), demonstrando que parte significativa dos empreendimentos não tem os dados de licenciamento disponíveis para o público no site IDE-Sisema (Quadro5).

Quadro 5: Listagem dos empreendimentos considerados na amostragem

Município	Número de Postos em funcionamento (ANP)	Número de postos Licenciados (IDE Sisema)
Antônio Dias	2	0
Barão de Cocais	6	1
Bela Vista de Minas	2	0
Bom Jesus do Amparo	7	2
Catas Altas	3	2
Coronel Fabriciano	21	7
Ipatinga	43	6
Itabira	20	1
Jaguaraçu	2	1
João Monlevade	14	6
Marliéria	1	0
Nova Era	7	2
Rio Piracicaba	2	1
Santa Bárbara	4	3
São Domingos do Prata	5	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	3	2
Timóteo	15	5
TOTAL	157	39

Fonte: Autora.

A localização dos empreendimentos listados pela ANP foi identificada através do Google Maps, com confirmação visual do empreendimento no local e obtendo-se as coordenadas geográficas do mesmo. A partir dessas coordenadas, foi possível elaborar o mapeamento dos empreendimentos da CH DO2 e a efetivação da coleta de dados e elaboração dos mapas.

4.4. IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DAS OUTORGAS DE USO DA ÁGUA - POÇOS E CAPTAÇÃO SUPERFICIAL

Os usos consuntivos de recursos hídricos de uma bacia são conhecidos por meio do banco de dados das outorgas e cadastros de usos insignificantes de captação concedidas pelo órgão ambiental competente, neste caso, no Estado de Minas Gerais, o IGAM. Dessa forma, estes dados foram coletados junto à Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IDE-SISEMA (<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>). Entre os dados disponibilizados, têm-se o número do processo, coordenadas geográficas, portaria, ano da portaria, vazão de captação, curso d'água, CH, finalidade, modelo de uso, tipo, data de publicação e validade.

Para delimitar o tipo de captação, foram considerados apenas os dados que incluíam o termo “consumo humano” como parte da descrição da finalidade, os demais dados de outorgas e uso insignificante que não incluíam consumo humano foram retirados no processo de amostragem. Os dados analisados se referem, então, às portarias de outorgas e cadastros de usos insignificantes emitidos e disponibilizados no IDE-SISEMA até a data de 31 de outubro de 2021, ou seja, todos os usos de recursos hídricos na bacia regularizados e dentro da validade, nesta data. Além disso, os dados foram separados quanto ao tipo de fonte hídrica, sendo classificados como água subterrânea ou superficial.

4.5. GEORREFERENCIAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS E DOS PONTOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Para o geoprocessamento dos dados coletados, utilizou-se o software ArcGis versão 10.0, devido à sua capacidade técnica em geoprocessamento. Como os dados extraídos do IDE-SISEMA já eram georreferenciados, em formato shapefile, os mesmos foram diretamente inseridos no ArcGis. Assim como os dados obtidos em formato Excel, os dados shapes também passaram por filtros e seleções necessárias, utilizando ferramentas próprias no software ArcGis.

Um shapefile com a delimitação da CH DO2 foi utilizado para delimitar apenas a área de estudo nos mapas obtidos do IDE-SISEMA, eliminando informações de outras bacias hidrográficas dos dados coletados.

A avaliação posterior do volume de captação de água das outorgas teve como base os valores de vazão média e tempo de captação para cálculo da captação diária, além de serem

consideradas as informações de consumo per capita do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, do Serviço Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS - <http://www.snis.gov.br/>).

Para avaliar a dimensão das captações outorgadas que estão na área amostral, optou-se por considerar a média de consumo *per capita* no Estado de Minas Gerais como um padrão para a interpretação dos dados encontrados. Os dados mais recentes indicam um consumo *per capita* de 159,8 litros/habitante/dia em MG (SNSI, 2021). Aplicando-se o padrão médio de 4 pessoas/residência, a estimativa é que uma outorga de baixa captação seja suficiente para abastecimento de uma residência com um consumo diário médio próximo de 1 m³. A partir disso, estipulou-se 3 classes de captação diária: até 1 m³/dia, de 1,01 m³ a 10 m³/dia e acima de 10 m³/dia e os resultados foram apresentados considerando essas faixas de captação.

4.6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DOS POSSÍVEIS CONTAMINANTES DE HP DOS EMPREENDIMENTOS ESTUDADOS

Após a distribuição da localização dos postos de combustíveis no mapa da CH DO2, procedeu-se a criação das áreas de possível dispersão dos contaminantes de HPs. Para isso, considerou-se como base metodológica o levantamento de literatura sobre os métodos de delimitação de proteção de afluentes para abastecimento. Para detalhar as métricas consideradas, é importante detalhar as variadas metodologias existentes para essa finalidade.

4.7. LEGISLAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE FONTES DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, instituída pela Lei 13.199 de janeiro de 1999 (MINAS GERAIS, 1999) estabelece a necessidade de serem determinadas áreas de proteção e conservação dos recursos hídricos do estado, embora não seja definido nessa lei as áreas dos perímetros de proteção. Outros estados brasileiros apontam os perímetros com foco na proteção de água subterrânea (Quadro 6).

A portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM N° 231 de julho de 1998 define que as áreas ou perímetros de proteção de poços ou mananciais deverão ser conceituadas três diferentes zonas segundo suas características hidráulicas: a ZI ou zona de influência; a ZC ou zona de contribuição e a ZT, zona de transporte (DNPM, 1998):

Quadro 6: Delimitação de perímetro de proteção de água subterrânea em estados brasileiros.

ESTADOS	NÚMERO DA LEI OU DECRETO	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO	
		SANITÁRIA	ALERTA CONTRA POLUIÇÃO
Distrito Federal	Decreto Nº. 22.358 de 31 de agosto de 2001	30 m	-
Dispõe sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território do Distrito Federal de que trata o inciso II, do artigo 12, da Lei Nº 2.725 de 13 de junho de 2001, e dá outras providências.			
Mato Grosso	Decreto Nº. 1.291 de 14 de abril de 2000	3 m	-
Regulamenta o inciso VI do artigo 2º da Lei Nº 7.153 de 21.07.99, que altera o 4º do artigo 1º da Lei Nº 7.083 de 23/12/98, que dispõe sobre o licenciamento de poços tubulares no Estado de Mato Grosso, consoante a Lei Nº 6.945, de 05/1/97, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências.			
Pernambuco	Decreto Nº. 20.423 de 26 de março de 1998	10 m	Distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de 50 dias .
Regulamenta a Lei Nº 11.427 de 17/1/1997, que dispõe sobre a Conservação e a Proteção de Águas Subterrâneas do Estado de Pernambuco e dá outras providências (regulamentada através do Decreto Nº 20.423/98).			
Rio Grande do Sul	Decreto Nº. 42.047, 26 de dezembro de 2002	10 m	Deverá coincidir com a zona de contribuição do poço.
Regulamenta disposições da Lei Nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos.			
São Paulo	Decreto Nº. 32.955 de 07 de fevereiro de 1991	10 m	Distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de 50 dias .
Regulamenta a Lei Nº 6.134, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.			

Fonte: Barbosa (2007)

i) A zona de influência (ZI) é aquela associada ao cone de depressão (rebaixamento da superfície potenciométrica) de um poço em bombeamento ou de uma fonte ou nascente natural, considerado aqui como um afloramento da superfície piezométrica ou freática, equivalente a um dreno.

ii) A zona de contribuição (ZC) é a área de recarga associada ao ponto de captação (fonte ou poço), delimitada pelas linhas de fluxo que convergem a este ponto.

iii) A zona de transporte (ZT) ou de captura é aquela entre a área de recarga e o ponto de captação. É esta zona que determina o tempo de trânsito que um contaminante leva para atingir

um ponto de captação, desde a área de recarga. Em geral, este tempo depende da distância do percurso ou fluxo subterrâneo, das características hidráulicas do meio aquífero e dos gradientes hidráulicos.

A zona de influência ZI, associada ao perímetro imediato do poço ou fonte, define uma área onde serão permitidas apenas atividades inerentes ao poço ou fontes e delimita também um entorno de proteção microbiológica. Suas dimensões serão estabelecidas em função das características hidrogeológicas e grau de vulnerabilidade ou risco de contaminação de curto prazo. Nesta zona, não serão permitidas quaisquer edificações e deverá haver severas restrições à atividade agrícola ou outros usos considerados potencialmente poluidores.

As zonas de contribuição e de transporte (ZC e ZT) serão estabelecidas objetivando uma segura proteção para contaminantes mais persistentes, como produtos químicos industriais ou outras substâncias tóxicas, por exemplo. Sua definição e dimensões serão baseadas em função principalmente das atividades, níveis e intensidade de ocupação e utilização da terra, levando-se em conta também as estimativas sobre o tempo de trânsito.

A obrigatoriedade da elaboração de perímetros de proteção da fonte pelos titulares de alvará de pesquisa de águas classificadas como minerais ou potáveis de mesa, conforme a Portaria Nº231/1998 do DNPM, foi de extrema relevância quanto à proteção e preservação dessas fontes. No entanto, o que acontece na prática é que parte dessas áreas de proteção ainda são utilizadas e ocupadas de forma inadequada, especialmente em função de fatores econômicos e imobiliários das áreas mais populosas (MEDEIROS, 2018).

4.7.1. Raio de amostragem para avaliação de passivos ambientais em torno de Postos Revendedores de Combustíveis e afins

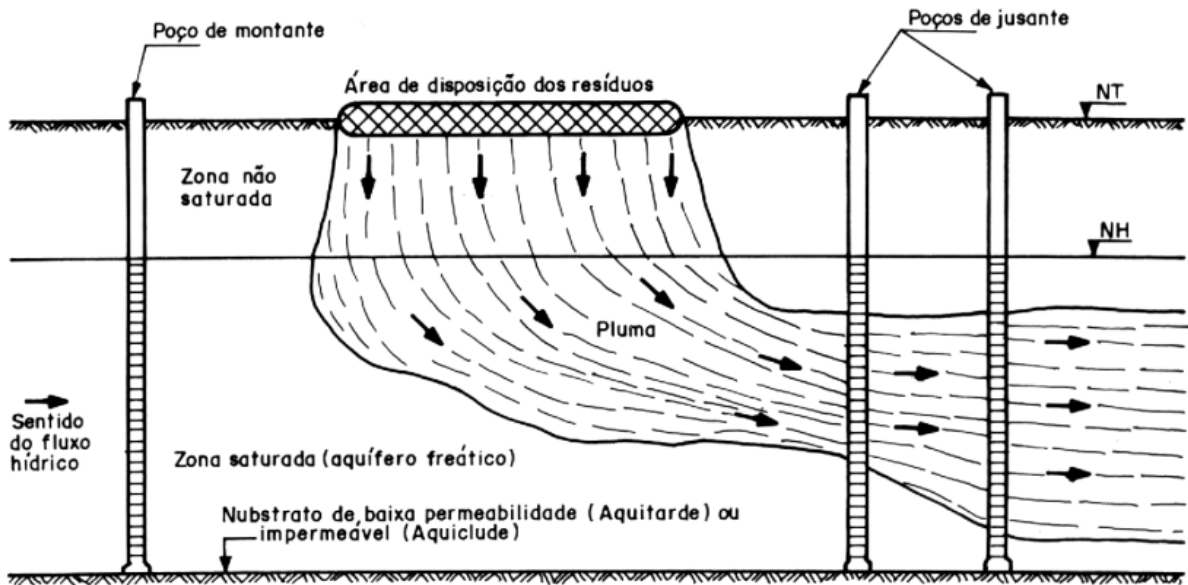
A Deliberação Normativa COPAM nº 108 de 24 de maio de 2007 estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis detalhando as normas técnicas exigidas para a instalação e monitoramento das atividades desses empreendimentos. Para o monitoramento dos passivos ambientais referentes à contaminação dos recursos hídricos por esses empreendimentos citados, essa DN determina que seja seguida a NBR-13.895 (ABNT, 1997), que define a construção de poços de monitoramento e amostragem, sendo instalados num raio de 100 metros em torno dos empreendimentos.

Esse mesmo raio amostral de 100 metros em torno das áreas dos postos revendedores de combustíveis e afins é mencionado na Resolução CONAMA nº273 de 2000 ao se referir à caracterização ambiental, servindo como raio padrão para obtenção dos dados como, por exemplo, a presença de clínicas médicas, hospitais, sistema viário, habitações multifamiliares, escolas, indústrias ou estabelecimentos comerciais.

O monitoramento específico da contaminação nos poços em torno dos empreendimentos ocorre no caso de passivo ambiental. A DN COPAM nº108 define os critérios que determinam a necessidade de investigação do passivo ambiental e quando isso é necessário, devem ser realizadas sondagens. A metodologia de sondagem ocorre até a profundidade de 8 metros ou do nível do lençol freático, em quantidade suficiente para investigação da área (mínimo de três sondagens por empreendimento) com medição de Compostos Orgânicos Voláteis – COV, a cada metro, devendo ser coletada, no mínimo, uma amostra de solo por sondagem no ponto de maior leitura de COV e uma de água subterrânea por sondagem, quando houver. Estas sondagens têm também como objetivo possibilitar a eventual instalação em definitivo dos poços de monitoramento. As análises devem ser acompanhadas de laudos laboratoriais das amostras de solo, coletadas conforme normas brasileiras vigentes ou internacionais, constando a composição qualitativa e quantitativa dos parâmetros Hidrocarbonetos Poliaromáticos - HPA e Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos - BTEX. Estas análises deverão ser efetuadas por laboratório cadastrado na FEAM.

A determinação da localização dos poços de monitoramento no raio de 100 metros em torno dos empreendimentos leva em conta as informações hidrogeológicas e o mapa piezométrico da localidade para que os poços sejam localizados em pontos estratégicos, como demonstrado na Figura 10 (ABNT, 1997).

Figura 10: Demonstração de como os poços de monitoramento devem ser posicionados em torno dos empreendimentos.



Fonte: ABNT (1997).

4.7.2. Perímetro de Proteção dos Recursos Hídricos na prática

Avaliando-se a literatura internacional, a delimitação do perímetro de proteção dos recursos hídricos para consumo humano, historicamente tem sido usada tanto as zonas circulares de raio fixo, raio arbitrário, como formas elípticas simplificadas. Mas por causa da grande carência de uma sólida base científica, sua implementação foi, na prática, muitas vezes difícil, pela confiabilidade questionável e falta de fundamentação (FOSTER *et al*, 2003). Atualmente, existem muitos métodos para a definição de zonas de proteção, desde os mais simples aos mais complexos e caros (Quadro 7):

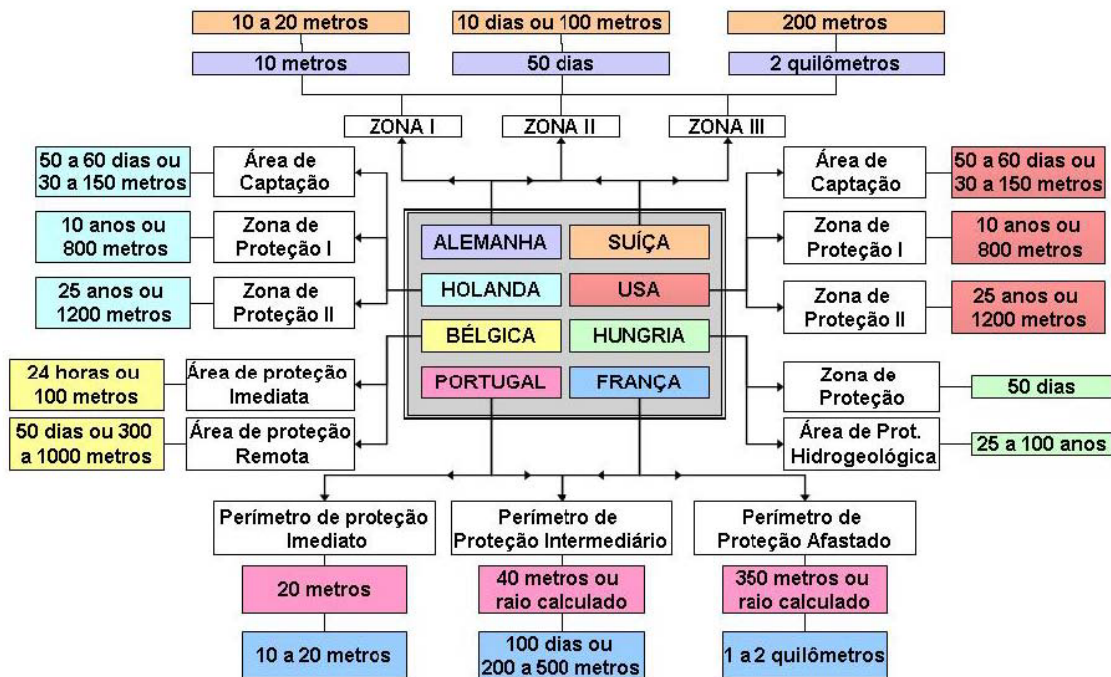
Quadro 7: Métodos de definição de zonas de proteção para fontes hídricas.

Método de delimitação	Custo	Confiabilidade	Descrição
Raio arbitrário fixo/calculado	baixo	mínima	Usa valor de raio fixo, ou calculado usando dados de taxa de bombeamento, porosidade total e espessura saturada. A área criada é circular. Não considera anisotropias do aquífero.
Formas simples variadas	↓	↓	Combina equações analíticas de fluxo uniforme com tempo de trânsito e contorno de fluxo, para gerar formatos- padrão ao redor do poço. O formato deve ser definido por um hidrogeólogo experiente.
Modelos hidrogeológicos analíticos			Utiliza a lei de Darcy para definir a velocidade real média, com base nos gradientes e tipos de aquíferos existentes. A área é calculada usando-se uma equação analítica.
Mapeamento hidrogeológico			Usa a identificação de feições geológicas que controlam o fluxo d'água (variações e contatos litológicos, divisores de água entre outros). Com as feições plotadas em um mapa é delimitado o PPP. O fluxo é definido através de um mapa potenciométrico.
Modelos numéricos de fluxo de água subterrânea (com definição de transporte de partículas)			Baseia-se em um modelo numérico, que usa equações de fluxo e transporte para definir o tempo de trânsito de partículas no aquífero.
			alto

Fonte: traduzido de Foster *et al.* (2003).

As próprias variações das características locais afetam a efetividade desses perímetros de proteção. Entre elas, pode-se citar: a presença de cursos d'água que possuem fontes de contaminação a montante da área de contribuição ao aquífero podem afetar a qualidade da água, caso seja um rio influente (fornece água ao aquífero). Nos aquíferos estratificados o gradiente vertical pode causar drenança entre as diferentes unidades aquíferas, levando à necessidade de avaliar cada unidade separadamente. Além disso, situações de bombeamento sazonal da água de poços que alterem as zonas de proteção em cada período ou de extração a longos períodos que afetem o nível da água. Por fim, áreas pavimentadas e com alterações no relevo; solos cársticos, com padrão de infiltração totalmente imprevisível (FOSTER *et al.*, 2003). Como reflexo disso, verifica-se as variações da legislação em diferentes países apresentando valores que diferem enormemente nas definições dos perímetros de proteção adotados (Figura 8).

Figura 11: Fluxograma demonstrando a variação na determinação do perímetro de proteção de poços.



Fonte: Barcelos (2007).

Desse modo, na ausência de estudos mais detalhados ou na impossibilidade de proteger totalmente o perímetro em torno da fonte hídrica, pode ser útil a definição de raios previamente delimitados para as ZI, ZC e a ZT, os chamados Raios Arbitrários Fixos (RAF). Apesar deles não considerarem as variedades de características das áreas de amostragem e seu uso para definir onde os empreendimentos podem se estabelecer não ser recomendado (FOSTER *et al.*, 2003), eles simplificam a metodologia, apresentam baixo custo e podem ser uma ferramenta útil se utilizados como ferramenta para delimitar e implantar áreas com controle da qualidade da água contínuas, inspeção das instalações industriais e implementação de medidas para mitigação da contaminação ou mesmo monitoramento em poços e locais de captação em torno de empreendimentos já instalados que ofereçam possibilidade de contaminação.

Para determinação de valores de perímetro de RAF para as ZI, ZC e a ZT de forma a simplificar uma metodologia generalista, aplicável a outras bacias hidrográficas e de baixo custo, considerou-se estudos brasileiros que obtiveram Raio Calculado Fixo (RCF). Foi elaborada uma revisão de literatura em busca de trabalhos que aplicaram o RCF em situações de perfil de solo e tipos de aquíferos similares, para assim adotar os raios já calculados desses trabalhos como forma de coleta de dados padronizada para a área da CH DO2.

Segundo Foster *et al.* (2003), a definição do RCF é medida por meio de uma equação volumétrica, em que são necessários dados de vazões de bombeamento, comprimento da seção filtrante (screened-interval), porosidade do aquífero e o tempo de trânsito selecionado. A Equação (1) aplicada para a definição do raio é:

$$r_{min} = FS \sqrt{\frac{Q.t}{n.H.\pi}} \text{ Eq. 1}$$

Onde r_{min} = raio do perímetro de proteção para as zonas 2 e 3 (metros); Q= Volume anual médio de bombeamento (m^3 /ano); t= tempo de trânsito, que de acordo com o documento de Diretrizes de Proteção de Poços da EPA, é de 2 anos para zona 2 e 5 anos para zona 3; n= porosidade do aquífero; H = seção filtrante de bombeamento da água do aquífero; $\pi = 3.1416$; FS = fator de segurança, que é de 1,3 quando todos os valores são conhecidos e de 1,5 quando um ou mais valores não são conhecidos. Este método não leva em consideração alguns critérios técnicos importantes, além de não avaliar as heterogeneidades do aquífero.

O RCF demanda conhecimento das características do solo em torno das fontes de água para seu cálculo e determinação, sendo exigido, como descrito anteriormente pela Portaria N°231/1998 do DNPM para a determinação dos perímetros de proteção de poços ou mananciais. No entanto, diante da necessidade de definição de perímetros que visem maior atenção ao monitoramento das contaminações, o presente trabalho foi baseado na análise de estudos brasileiros que determinaram RCFs e elaborado, a partir do trabalho de Medeiros (2018), uma proposta metodológica simplificadora para indicar áreas de atenção em torno de “*Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação*”.

Essa metodologia de RCF leva em consideração o conceito de tempo de trânsito até a captação, que indica qual a distância necessária para o contaminante alcançar o poço em um determinado tempo (MEDEIROS, 2018). Desse modo, a metodologia simplificada visa abranger várias cidades simultaneamente e facilitar a coleta de dados, eliminando a necessidade de levantamento de múltiplas informações para caracterizar cada ponto de amostragem, fato que inviabilizaria o volume de resultados que são necessários para a finalidade dessa pesquisa.

A opção pela metodologia baseada de Medeiros (2018) teve como principal justificativa o tipo de solo encontrado na área de estudo da mesma, predominantemente de Latossolos Vermelho-Amarelos, assim como a CH DO2 e a classificação do aquífero avaliado, sendo identificado

como “aquífero fraturado”, assim como são os aquíferos predominantes na área de estudo do presente trabalho.

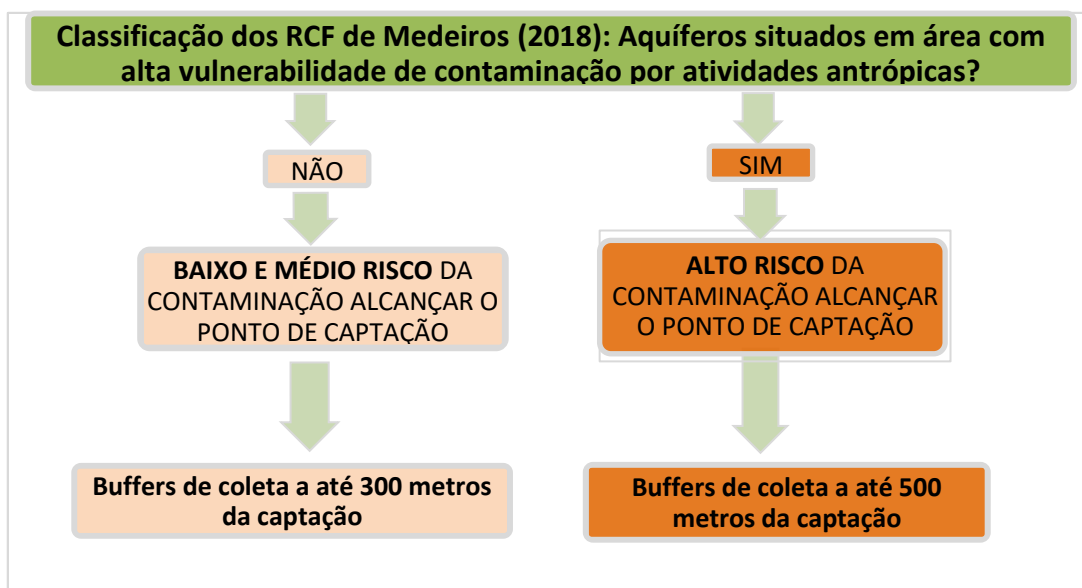
4.7.3. Proposta metodológica para criação de perímetros de atenção à contaminação de fontes de água para consumo humano

Os parâmetros obtidos nessa pesquisa e os testes preliminares para sua validação são apresentados nos próximos tópicos:

4.7.3.1. Postos de combustíveis versus áreas contaminadas por postos de combustíveis

Para a determinação dos perímetros do estudo de Medeiros (2018), foram elaborados *buffers* de diferentes raios circunferências em relação às Zonas de Contribuição, Zonas de Transporte e Zonas de Influências. A autora considera que os recursos hídricos podem ter duas situações de risco de contaminação: baixa e média vulnerabilidade e alta vulnerabilidade de contaminação. Essas classificações dizem respeito às condições do entorno do recurso hídrico, bem como de suas características que possam facilitar a dispersão da contaminação até eles. Desse modo, quando há maior risco de contaminação, o RCF de amostragem tem maior extensão, considerando 500 metros de raio, e para o recurso hídrico em local de baixa e média vulnerabilidade de contaminação, é considerado o RCF de 300 metros (Figura 12).

Figura 12: Fluxograma demonstrando a classificação de Medeiros (2018) a respeito do risco de contaminação de um recurso d’água subterrâneo, propondo a distância de amostragem dos buffers de Raio Calculado Fixo (RCF).



Fonte: Autora.

Apesar da amostragem ser baseada em um Raio Calculado Fixo, por não haver estudos em cada área avaliada no presente trabalho, a nomenclatura ideal para a amostragem é Raio Arbitrário Fixo - RAF. Nesse trabalho, serão usados os RAF descritos no Quadro 8, incluindo o RAF de 500 metros, uma vez que as áreas avaliadas correspondem, em sua maioria, localidades com forte adensamento populacional e múltiplos postos de combustíveis localizados próximos um do outro, oferecendo maior número de possíveis fontes de contaminação a serem consideradas.

Quadro 8: Delimitação dos perímetros de raio calculado fixo.

	Raio Calculado Fixo
Zona de influência	40 metros
Zona transporte	150 metros
Zona de Contribuição	300 metros e 500 metros

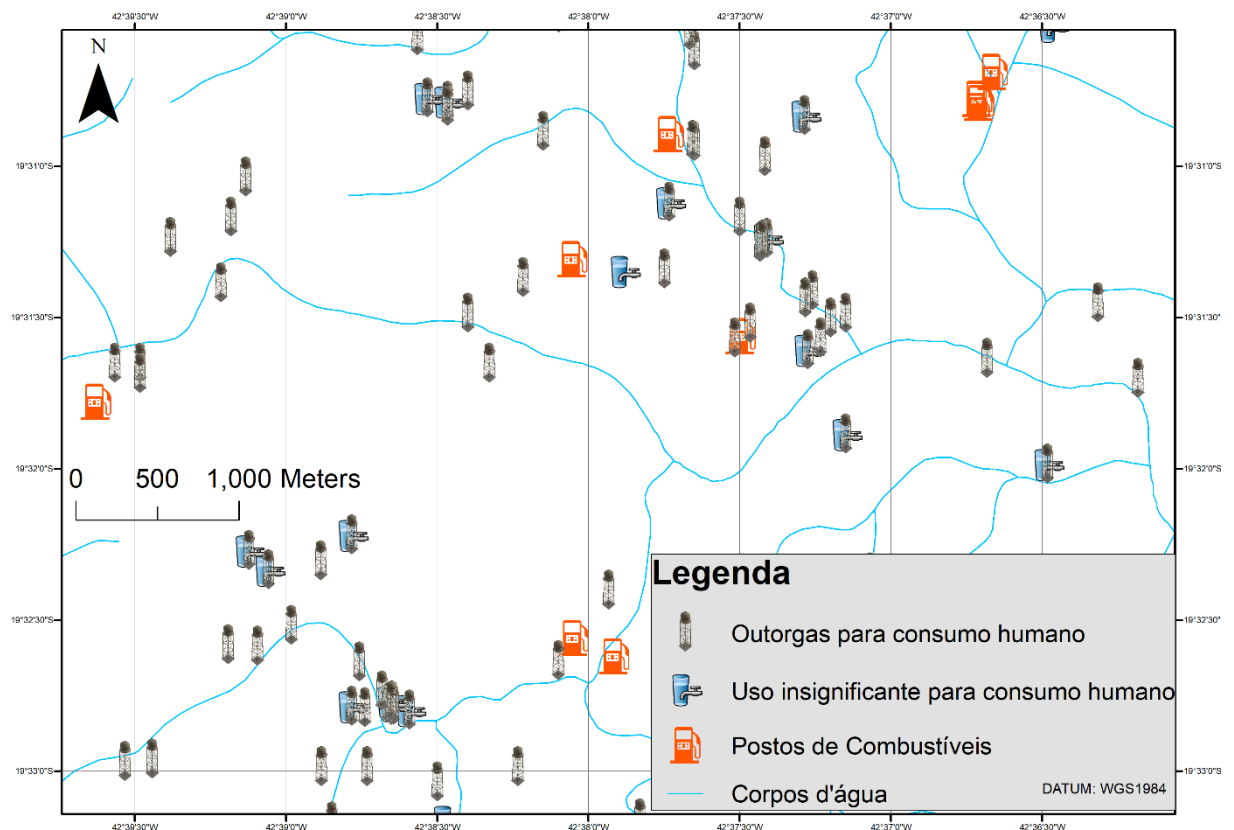
Fonte: Medeiros (2018).

As águas subterrâneas influenciam no fluxo de águas superficiais, pois, em diversas regiões, são interligadas. Hidrólogos e hidrogeólogos consideram a interdependência existente entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, já que as águas subterrâneas se interligam aos rios (DE SOUZA, 2006). Na CH DO2, apesar da maioria das fontes de água para consumo humano corresponderem à água subterrânea, a contribuição em volume consumido é maior em relação à água superficial que corresponde a mais de 80% do volume utilizado (COPASA, 2020). Desse modo, a metodologia do RAF foi adotada também para avaliar o risco de contaminação das fontes superficiais de água para consumo humano, permitindo uma amostragem que considerasse todas as fontes hídricas da área de estudo.

Para realizar a aplicação do RAF a partir do trabalho de Medeiros (2018), optou-se por proceder a criação das circunferências de raio fixo, nomeadas aqui como *buffers* em torno da localização das áreas contaminadas no período amostral e não dos pontos de captação de água, já que o objetivo é avaliar o potencial que os empreendimentos têm de contaminar o ambiente e, a partir disso, o potencial dos contaminantes dispersarem e ameaçarem a potabilidade da água para consumo humano. Assim, nessa metodologia, propõe-se avaliar se há recursos hídricos e pontos de captação de água no entorno de áreas contaminadas por HP (dados FEAM 2014-2020) e, também, dos empreendimentos de venda e distribuição de derivados do petróleo. Serão

realizadas coletas das outorgas, usos insignificantes e cursos d'água superficiais em torno das áreas contaminadas identificadas e, posteriormente, a mesma amostragem será realizada considerando esses recursos hídricos para consumo humano no entorno dos postos de combustíveis. O risco dessa dispersão fica claro quando observamos a localização dos empreendimentos, as captações para consumo humano e a distribuição da água superficial nos pontos de maior adensamento populacional (Figura 13).

Figura 13: Mapa demonstrando em zoom parte da área de amostragem com a identificação dos empreendimentos, os pontos de captação de água para consumo humano e os limites dos recursos hídricos superficiais na cidade de Coronel Fabriciano, MG.



Fonte: Autora.

Como a localização das áreas contaminadas por HP estão situadas, em sua maioria, nas áreas mais populosas da CH DO2, optou-se por usar todas as circunferências adotadas em Medeiros (2018), incluindo a circunferência de raio 500 metros, que se aplica a áreas com maior risco de contaminação do recurso hídrico por terem maior potencial dos contaminantes dispersarem e atingirem maiores distâncias. Além disso, foi considerado o raio de 100 metros para o *buffer* que segue a amostragem prevista pela DN COPAM nº108 e a Resolução CONAMA nº273, que é o padrão para a coleta de amostras em torno dos postos de combustível na rotina de coleta

disposta na Licença de Operação do empreendimento ou na Autorização Ambiental de Funcionamento. Essa amostragem de 100 metros será sempre disposta de maneira isolada nos resultados para fins de comparação do que é fiscalizado com os resultados obtidos no presente trabalho.

4.7.3.2. *Áreas contaminadas versus outorgas de uso da água para consumo humano*

Para definir o risco de ocorrência de contaminação dos recursos hídricos, foi determinada a presença ou ausência de outorgas de captação de água e uso insignificante da água para consumo humano (dados do IGAM) no entorno dos “*Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação*” considerando os 4 raios de amostragem (40, 150, 300 e 500 metros). Considerando as áreas já contaminadas, foi elaborada a mesma metodologia amostral, inserindo os 4 RAF’s em torno da localização das áreas contaminadas por HP do período de 2014 a 2020 (dados da FEAM), além do buffer de 100 metros, e avaliada a presença ou ausência de outorgas de captação de água e uso insignificante da água para consumo humano.

Para obtenção desses dados de presença e ausência das outorgas e dos usos insignificantes da água nas áreas de risco de contaminação, foi utilizado o *software* Arcgis 10.0, sobrepondo-se os mapas de delineamento da CH DO2 obtidos no site IDE-Sisema (código do arquivo MG_bacias_hidrograficas_estaduais), o mapa de coordenadas geográficas dos empreendimentos foi obtido a partir do georreferenciamento dos endereços listados no site da ANP e as coordenadas geográficas das áreas contaminadas obtidas a partir dos Inventários Anuais de Áreas Contaminadas da FEAM.

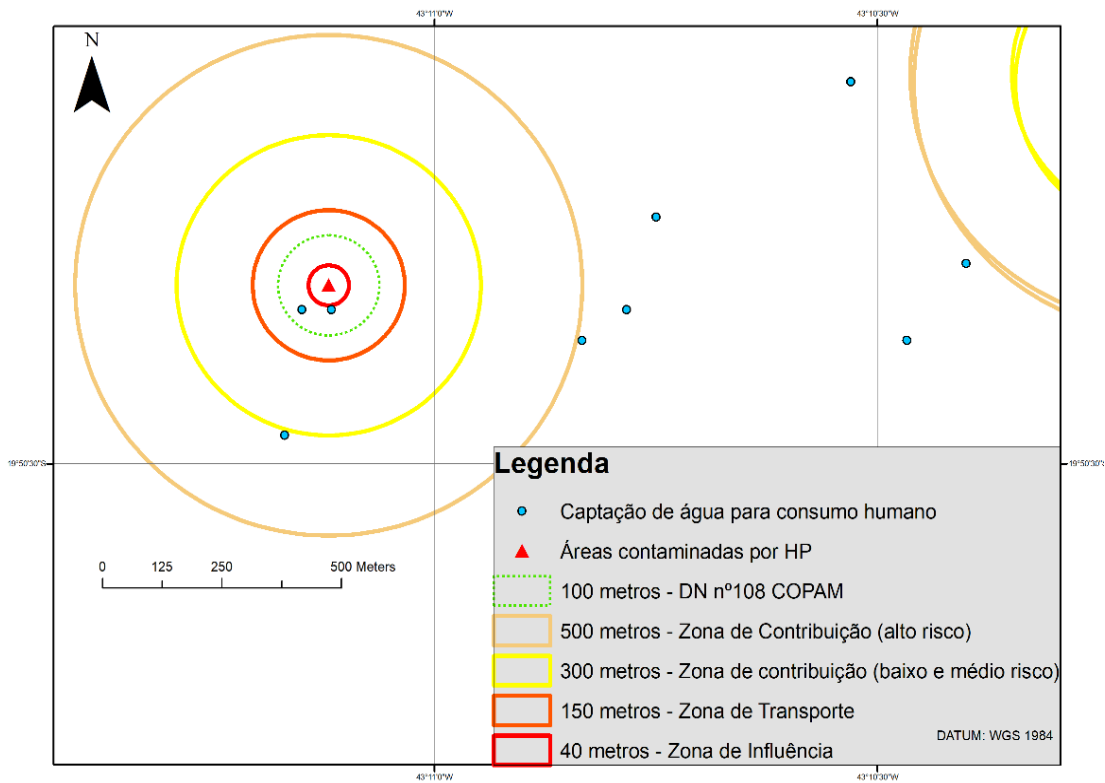
Em torno das áreas contaminadas e dos empreendimentos, foram aplicados os 4 buffers (Quadro 8) e definido se havia sobreposição das circunferências sobre a localização das outorgas e dos pontos de captação de uso insignificante da água para consumo humano (Figura 14), identificando captações superficiais e de água subterrânea. Esses dados foram exportados para tabelas de Excel e analisados posteriormente.

4.7.3.3. *Áreas contaminadas versus copos d’água superficiais*

Para avaliar se havia presença de corpos d’água superficiais nos limites dos buffers das áreas contaminadas e dos empreendimentos, foi realizada a sobreposição deles sobre o shapefile de

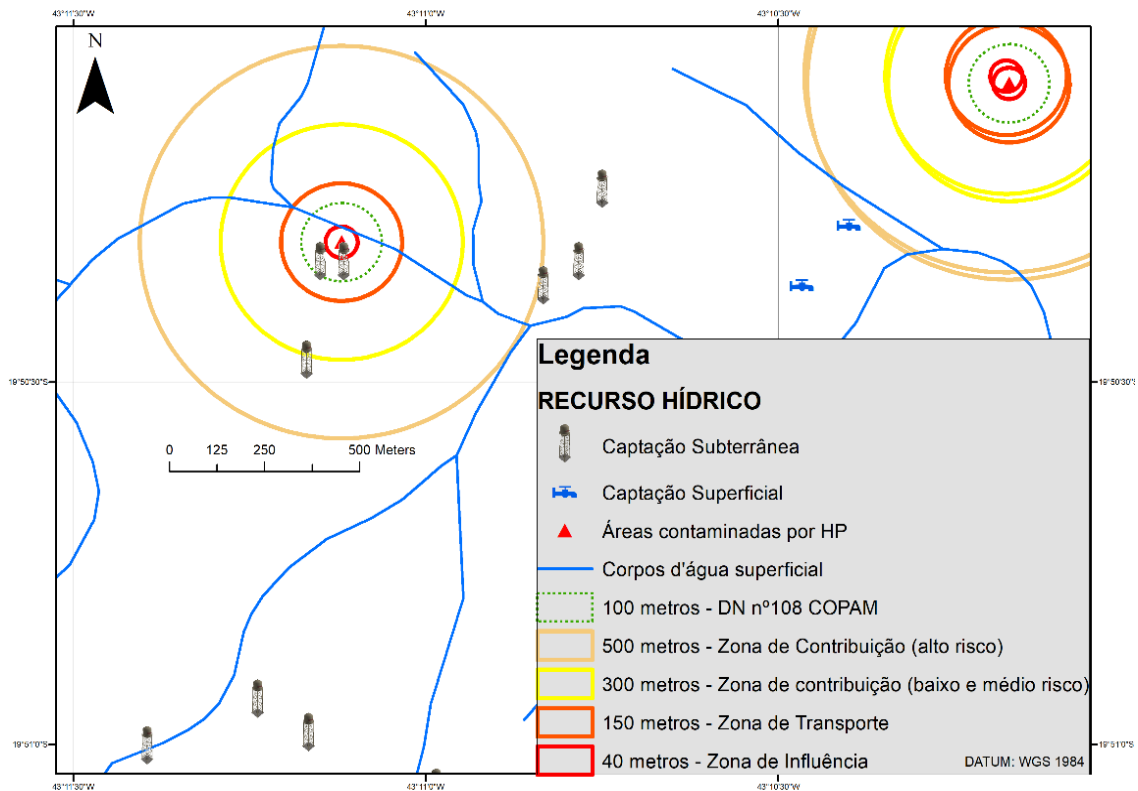
hidrografia da CH DO2 e realizada a coleta de dados avaliando se havia a presença do recurso hídrico nas proximidades definidas na amostragem ou não, utilizando-se o shapefile de hidrografia (código do arquivo ide_0101_do_hidro_otto_lin). Essa metodologia de amostragem pode ser observada na Figura 15.

Figura 14: Mapa demonstrando a metodologia de inserção de buffers para avaliar a presença de áreas de captação de água para consumo humano e áreas contaminadas com HP's advindo de um posto de combustível na cidade de João Monlevade, MG.



Fonte: Autora.

Figura 15: Mapeamento dos tipos de captação em torno de área contaminada advindo de um posto de combustível e a presença de corpo d'água superficial no município de João Monlevade, MG.



Fonte: Autora.

4.8. AVALIAÇÃO DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO POR HP NAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA

Após a coleta de dados com a identificação dos registros de outorgas expostas ao risco de contaminação em torno dos postos de combustíveis e afins e das áreas contaminadas por HP no período amostral, procedeu-se a classificação de risco das outorgas de uso da água, do uso insignificante da água para consumo humano e dos corpos d'água superficiais. Para tal, adotou-se uma escala de pontuação que define as captações com maior risco (Quadro 9), quanto maior o risco de um ponto de captação, maior a pontuação:

Quadro 9: Escala de pontuação adotada para avaliar o risco de contaminação das captações de água por HP de acordo com o registro de captação nos *buffers* de amostragem.

Amostragem no entorno de:	Pontuação conforme a presença de captação de água para consumo humano nos <i>buffers</i>			
	40 metros	150 metros	300 metros	500 metros
Postos de Combustíveis	4 pontos	3 pontos	2 pontos	1 ponto
Áreas Contaminadas por postos de combustíveis	8 pontos	6 pontos	4 pontos	2 pontos

Fonte: Autora.

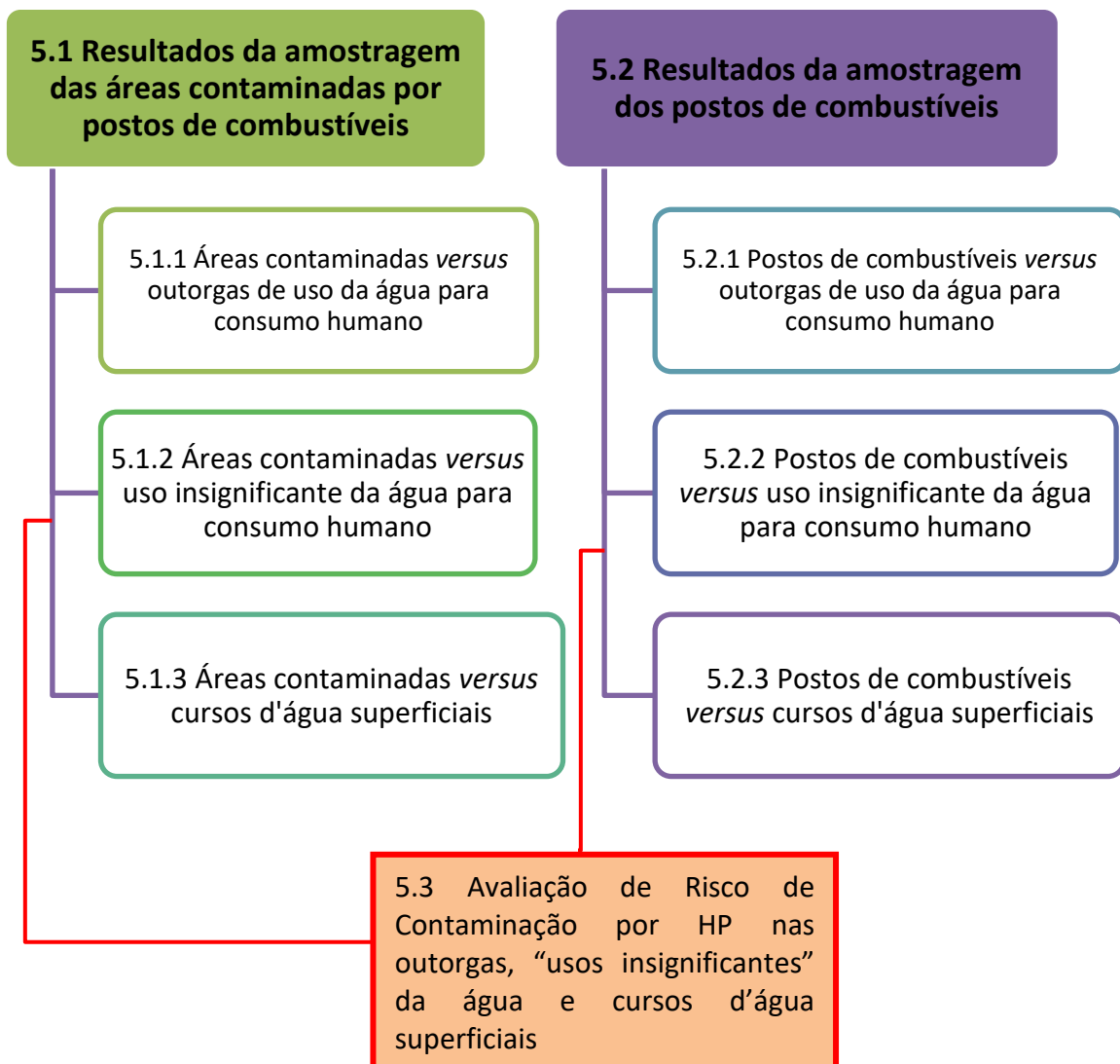
A partir dos valores de pontuação obtidos para cada uma das outorgas de uso da água, cada um dos usos insignificantes da água e cada corpo d'água superficial, efetuou-se a soma dos valores e o *total de pontos* classificados de acordo com 3 níveis: até 3 pontos – baixo risco de contaminação; entre 4 e 6 pontos – médio risco de contaminação; acima de 6 pontos – alto risco de contaminação por HP. Os resultados dessas classificações estão disponíveis nos Apêndices A, B e C) do presente trabalho.

5. RESULTADOS

Os empreendimentos e as áreas contaminadas consideradas no presente trabalho estão restritos à área amostral proposta, ou seja, estão nos limites dos municípios que possuíam a sede dentro da CH DO2. No entanto, a disposição dos *buffers* de amostragem era imprevisível quanto às limitações territoriais de cada município. Sendo assim, se um *buffer* foi além do limite de um município da CH DO2, todas as captações de água e cursos d'água superficiais nesse *buffer* foram coletadas, já que o trabalho visava classificar o risco de contaminação e a exclusão de fontes hídricas por causa dos limites municipais seria uma forma de restringir as informações que podem ser relevantes para avaliações futuras de qualidade de água.

A apresentação dos resultados foi dividida em dois pontos principais: coletas realizadas no entorno das áreas contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis e coletas realizadas no entorno dos postos de combustíveis existentes na bacia do rio Piracicaba e os tópicos relativos aos tipos de recursos hídricos avaliados (Figura 16), finalizando com a avaliação de risco proposta, que engloba as duas amostragens realizadas.

Figura 16: Estrutura de exposição dos resultados obtidos no trabalho.



Fonte: Autora.

5.1. RESULTADOS DAS COLETAS REALIZADAS NO ENTORNO DAS ÁREAS CONTAMINADAS POR HP ORIUNDOS DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA CH DO2

5.1.1. Áreas Contaminadas por HP versus Captação de Água para o Consumo Humano

As áreas contaminadas por HP's na CH DO2 entre 2014 e 2020 corresponderam a 23 pontos de amostragem, sendo que 15 delas (APÊNDICE D) tiveram a fonte poluidora classificada como empreendimentos "Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação" licenciados no período de amostragem na área de estudo (Quadro 10).

Dos 39 empreendimentos dessa classificação de postos de combustíveis e afins listados como licenciados nos dados do IDE referentes ao período amostral, 29 deles estão localizados nos 8 municípios com áreas contaminadas amostradas. No entanto, há grande discrepância entre os dados obtidos no site do IDE e as informações sobre postos de combustíveis ativos nas cidades da CH DO2, sendo que constam como ativos no site na ANP, nesses municípios com contaminação, 115 postos de combustíveis e afins.

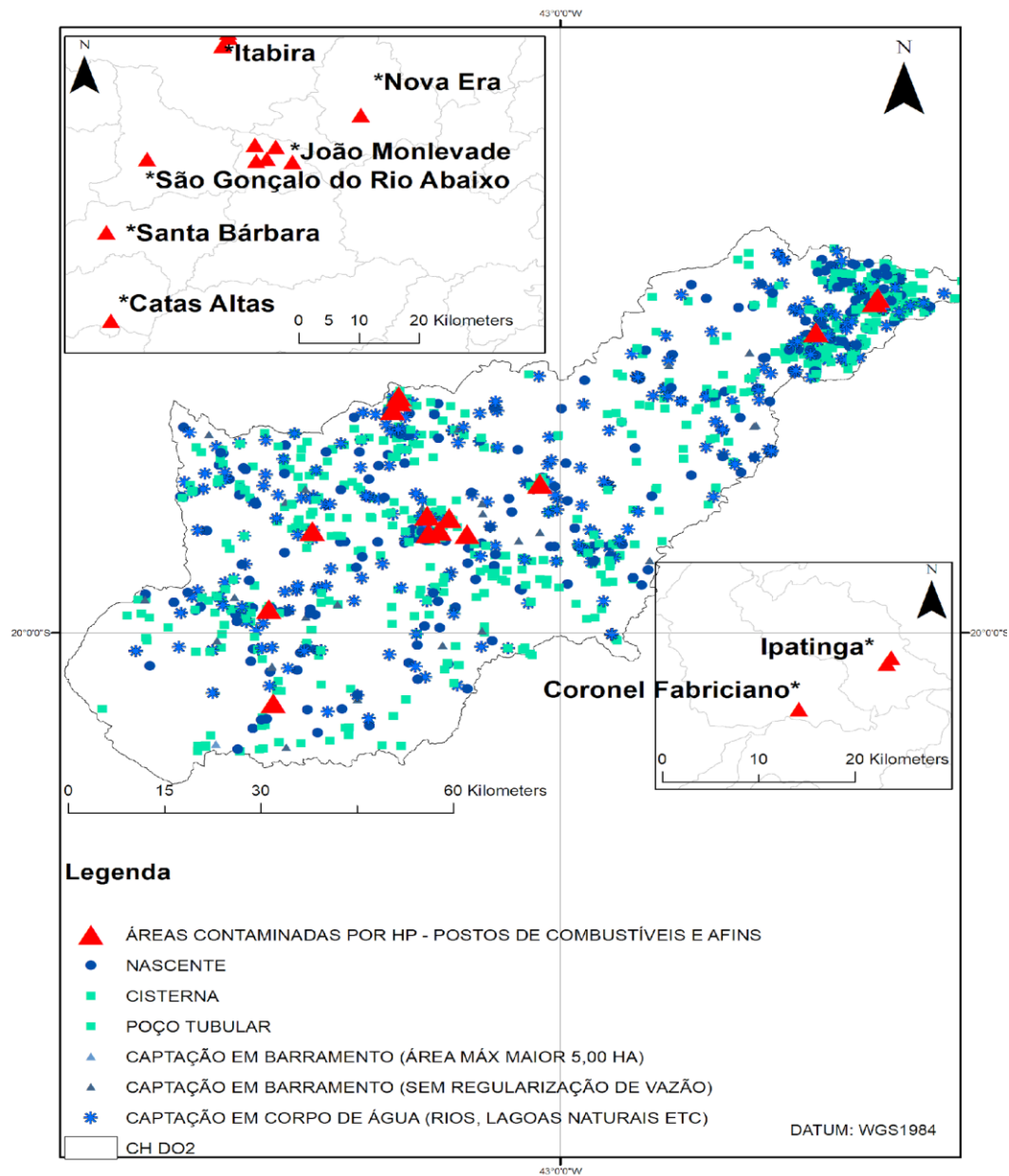
Quadro 10: Distribuição das áreas contaminadas por HP's provenientes de postos de combustíveis e afins nas cidades na CH DO2, segundo site do Sisema.

Cidade	População (2020) IPEA	Áreas Contaminadas	Nº de Postos de Combustíveis (IDE-Sisema)	Nº de Postos de Combustíveis ativos (ANP)
Catas Altas	5.421	1	2	3
Coronel Fabriciano	110.290	1	7	21
Ipatinga	265.409	2	6	43
Itabira	120.904	3	1	20
João Monlevade	80.416	5	6	14
Nova Era	17.551	1	2	7
Santa Bárbara	31.604	1	3	4
São G. do Rio Abaixo	11.019	1	2	3
Total	642.614 habitantes	15	29	115

Fonte: Autora.

As 15 áreas contaminadas por HP na CH DO2 no período amostral foram ocorrências de vazamento ou infiltração, sendo que apenas 1 delas foi apontada como contaminação de solo e 1 com contaminação de água subterrânea, estando as demais associadas tanto com contaminação de solo, quanto de água subterrânea. A sobreposição das áreas contaminadas com os locais de captação de água para consumo humano foi identificada em vários pontos da amostragem (Figura 17).

Figura 17: Mapa da sobreposição dos pontos de captação de água para consumo humano e as áreas contaminadas por HP advindos de postos de combustíveis e afins na CH DO2.



Fonte: Autora.

Avaliando-se o entorno das áreas contaminadas por postos de combustíveis em relação à presença de captação de água subterrânea e superficial para o consumo humano, esse tipo de captação foi identificado no entorno de 10 das 15 áreas contaminadas por HP (Quadro 11). A captação da água superficial demonstrou menor presença nos *buffers* de risco de contaminação, estando presentes apenas 3 locais de captação de água superficial outorgadas.

Quadro 11: Presença e ausência de outorgas de captação de água para consumo humano em pelo menos um dos *buffers* de ZI, ZT e ZC em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.

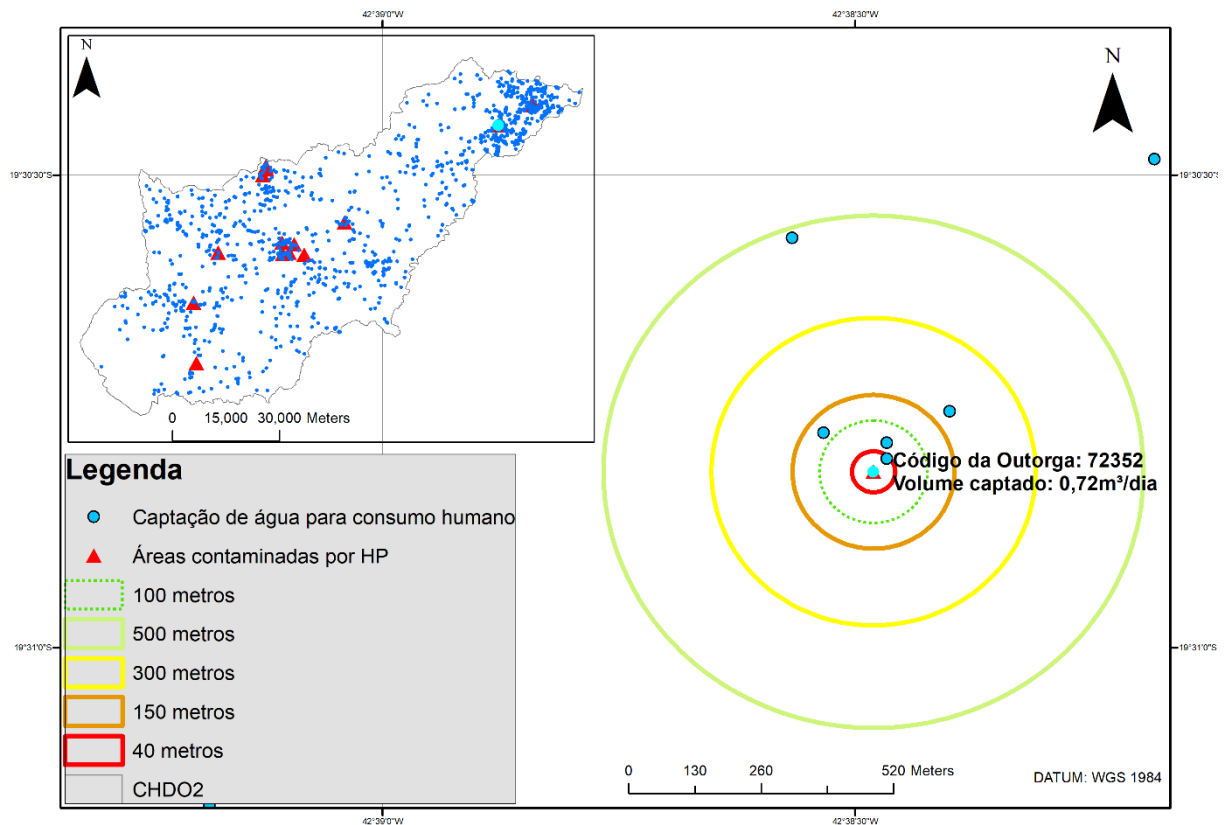
Município	CONTAMINANTE IDENTIFICADO	TIPO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA	
		SUBTERRÂNEA	SUPERFICIAL
Catas Altas	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Coronel Fabriciano	Hidrocarbonetos	presença	presença
Ipatinga	Hidrocarbonetos	presença	ausência
Ipatinga	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Itabira	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Itabira	Benzeno	ausência	presença
Itabira	Benzeno; Etilbenzeno; Naftaleno; TPH	presença	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	presença	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	presença	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	presença	ausência
João Monlevade	Benzeno; Tolueno	ausência	ausência
João Monlevade	Benzeno, Xilenos	presença	ausência
Nova Era	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Santa Bárbara	Hidrocarbonetos	presença	ausência
São Gonçalo do Rio Abaixo	Hidrocarbonetos	presença	presença

Fonte: Autora.

Ressaltando a localização das outorgas de uso da água nos *buffers* em torno das áreas contaminadas por HP, 1 delas estava situada dentro do perímetro de 40 metros (Figura 18) em torno da contaminação (Zona de Influência), sendo esse o perímetro de maior risco dos contaminantes chegarem ao recurso hídrico. Além disso, foram encontradas captações de água subterrânea em todos os outros *buffers* de risco e captações de água superficial nos *buffers* de 300 e 500 metros (em Coronel Fabriciano), demonstrando o potencial de contato da água para

consumo humano com os contaminantes HP. Algumas outorgas estavam fora dos limites dos municípios da CHDO2, mas foram incluídas como resultado por fazerem parte da classificação de risco adotada nesse trabalho.

Figura 18: Mapa demonstrando a presença da outorga de uso da água para consumo humano no *buffer* de 40 metros e demais outorgas próximas à contaminação por HP (contaminação por vazamento e infiltração no solo e água subterrânea) havendo registros de outorgas em todos os *buffers* de amostragem, município de Coronel Fabriciano, MG.



Fonte: Autora.

Dentre as outorgas em torno das áreas contaminadas, foram identificadas 44 de captação subterrânea e 6 de captação superficial (as captações no *buffer* de 100 metros não são contabilizadas duas vezes por fazerem parte do *buffer* de 150 metros), somando-se os registros em todos os *buffers* de amostragem (Quadro 12). O maior número de captações subterrâneas na amostra é esperado uma vez que todas as áreas contaminadas estão situadas em locais próximos de maior adensamento populacional, onde o recurso hídrico superficial geralmente está contaminado por efluente doméstico e, muito possivelmente, não seja visado para consumo humano.

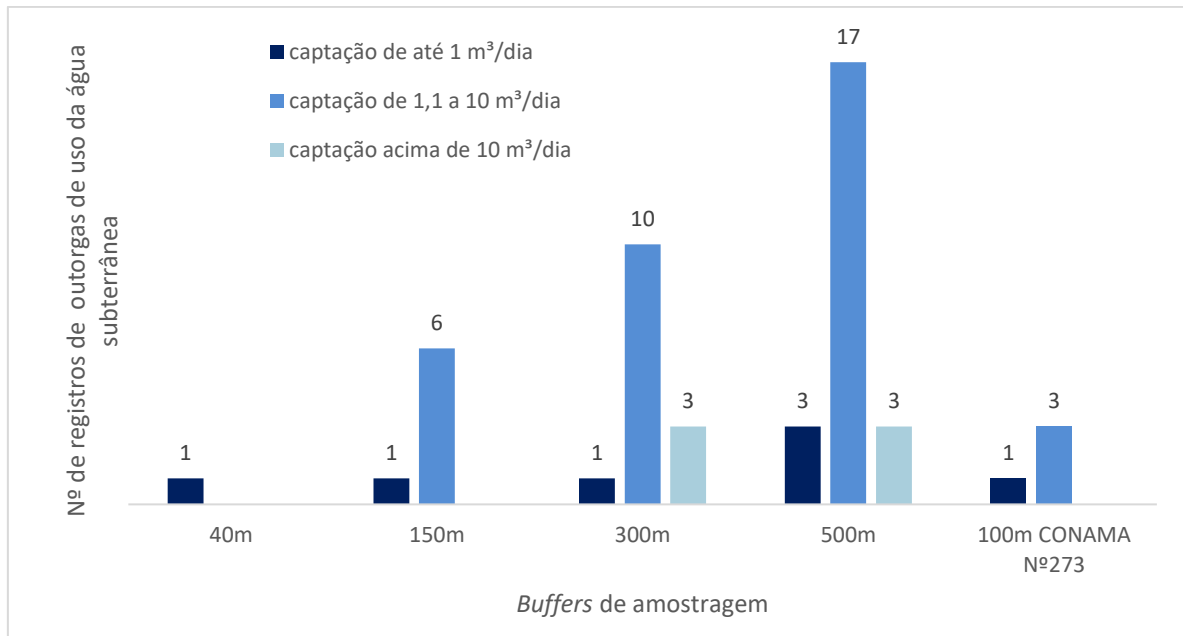
Quadro 12: Número de registros de outorgas subterrâneas e superficiais em pelo menos um dos buffers de coleta em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.

Município de Localização da Outorga	Buffers em torno das áreas contaminadas					
	40m	150m	300m	500m	Total	100m (CONAMA n°273)
Coronel Fabriciano	1	3	4	5	13	2
Ipatinga	0	0	2	3	5	0
Itabira	0	0	2	4	6	0
João Monlevade	0	4	5	8	17	2
Santa Bárbara	0	0	1	3	4	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	0	0	2	3	5	0
Total de outorgas por buffer	1	7	16	26	50	4

Fonte: Autora.

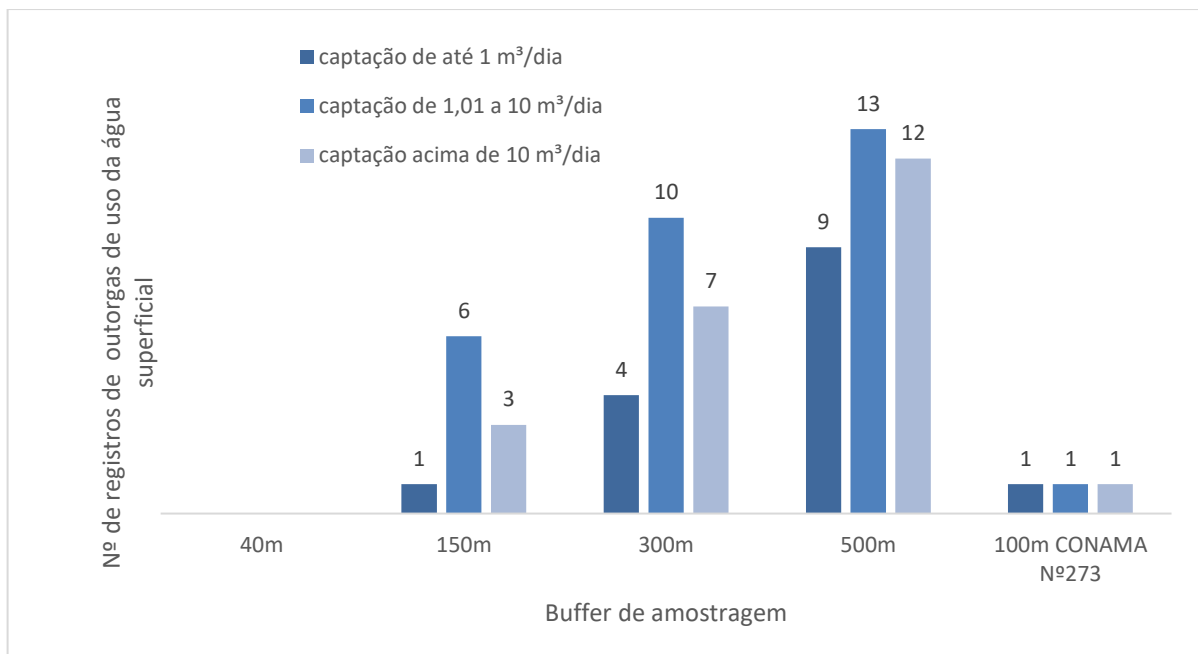
Ao analisarmos o volume de captação diária de água subterrânea para consumo humano referente às outorgas no entorno das áreas contaminadas (Gráfico 1), há um total de 442,9 m³/dia, sendo que apenas uma das outorgas se encontra no *buffer* de 40 metros, com captação de 0,72 m³/dia. Já a captação superficial corresponde a 54,5 m³/dia de água das outorgas distribuídas nos *buffers* de 150, 300 e 500 metros (Gráfico 2). Esses dados demonstram a captação de volume considerável de água para consumo humano de forma tão próxima das áreas contaminadas, ressaltando a necessidade de avaliação da possível contaminação ambiental por HP alcançarem esse recurso.

Gráfico 1: Comparativo de registros das outorgas de uso da água subterrânea nos *buffers* de amostragem.



Fonte: Autora.

Gráfico 2: Comparativo de registros de outorgas de uso da água superficial nos *buffers* de amostragem.



Fonte: Autora.

5.1.2. Áreas Contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis *versus* uso insignificante da água

Quando avaliamos os pontos de captação de água para consumo humano registrados no IGAM na classificação de “uso insignificante” presentes em torno das áreas contaminadas, foram identificadas 7 localidades contaminadas por HP que tinham captações de uso insignificante em pelo menos um *buffer* de amostragem (Quadro 12). Foram 26 pontos identificados no total (*buffers* de 100, 150, 300 e 500 metros), sendo a maioria (16 registros) no *buffer* de 500 metros (Quadro 13) e todos eles classificados como captação subterrânea.

Quadro 13: Presença e ausência de captação de uso de insignificante em pelo menos um dos buffers de ZI, ZT e ZC em torno das áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.

Município	CONTAMINANTE IDENTIFICADO	TIPO DE CAPTAÇÃO DE USO INSIGNIFICANTE DA ÁGUA	
		SUBTERRÂNEA	SUPERFICIAL
Catas Altas	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Coronel Fabriciano	Hidrocarbonetos	presença	ausência
Ipatinga	Hidrocarbonetos	presença	ausência
Ipatinga	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Itabira	Hidrocarbonetos	presença	ausência
Itabira	Benzeno	ausência	ausência
Itabira	Benzeno; Etilbenzeno; Naftaleno;TPH	ausência	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	presença	ausência
João Monlevade	Hidrocarbonetos	presença	ausência
João Monlevade	Benzeno; Tolueno	ausência	ausência
João Monlevade	Benzeno, Xilenos	presença	ausência
Nova Era	Hidrocarbonetos	ausência	ausência
Santa Bárbara	Hidrocarbonetos	presença	ausência
São G. do Rio Abaixo	Hidrocarbonetos	ausência	ausência

Fonte: Autora.

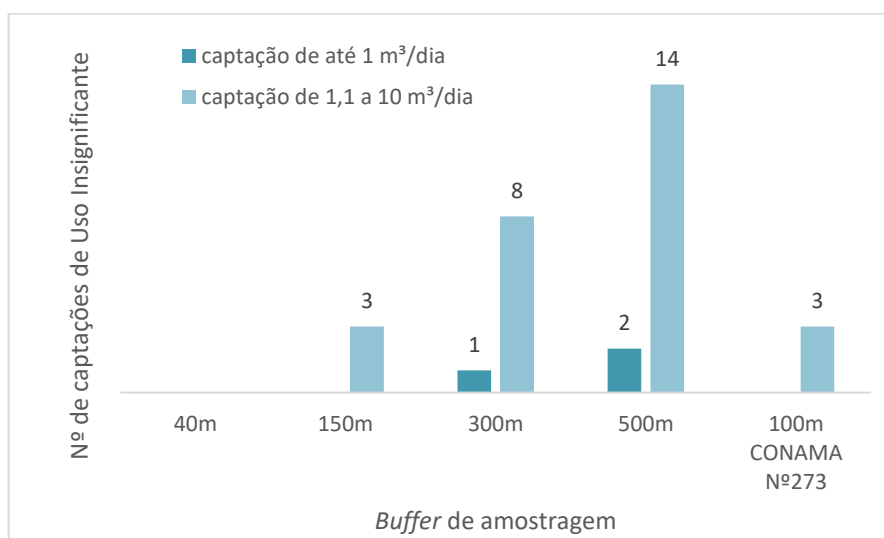
Quadro 14: Número de pontos de captação de água de “uso insignificante” subterrânea em pelo menos um dos *buffers* de coleta nas áreas contaminadas por HP entre 2014 e 2020.

Município de Localização da Outorga	Buffers em torno das áreas contaminadas					
	40m	150m	300m	500m	Total de outorgas	100m (CONAMA nº273)
Coronel Fabriciano	0	1	2	2	6	1
Ipatinga	0	0	1	5	6	0
Itabira	0	0	2	2	4	0
João Monlevade	0	2	4	6	14	2
Santa Bárbara	0	0	0	1	1	0
Total de outorgas por buffer	0	3	9	16	28	3

Fonte: Autora.

Em relação aos volumes captados por dia nos *buffers* de amostragem, 27,6 m³/dia são captados há até 150 metros das áreas contaminadas, 58 m³/dia são captados há até 300 metros e 83,8 m³/dia no *buffer* de até 500 metros. A captação de uso insignificante foi, em média, 6,3 m³/dia, com um total de 196,4 m³/dia de água captada para o consumo humano numa distância de até 500 metros das áreas contaminadas. A maior parte desse volume corresponde a captações de 1,01 a 10m³/dia (Gráfico 3).

Gráfico 3: Distribuição das outorgas de “uso insignificante” da água subterrânea nos *buffers* de amostragem.

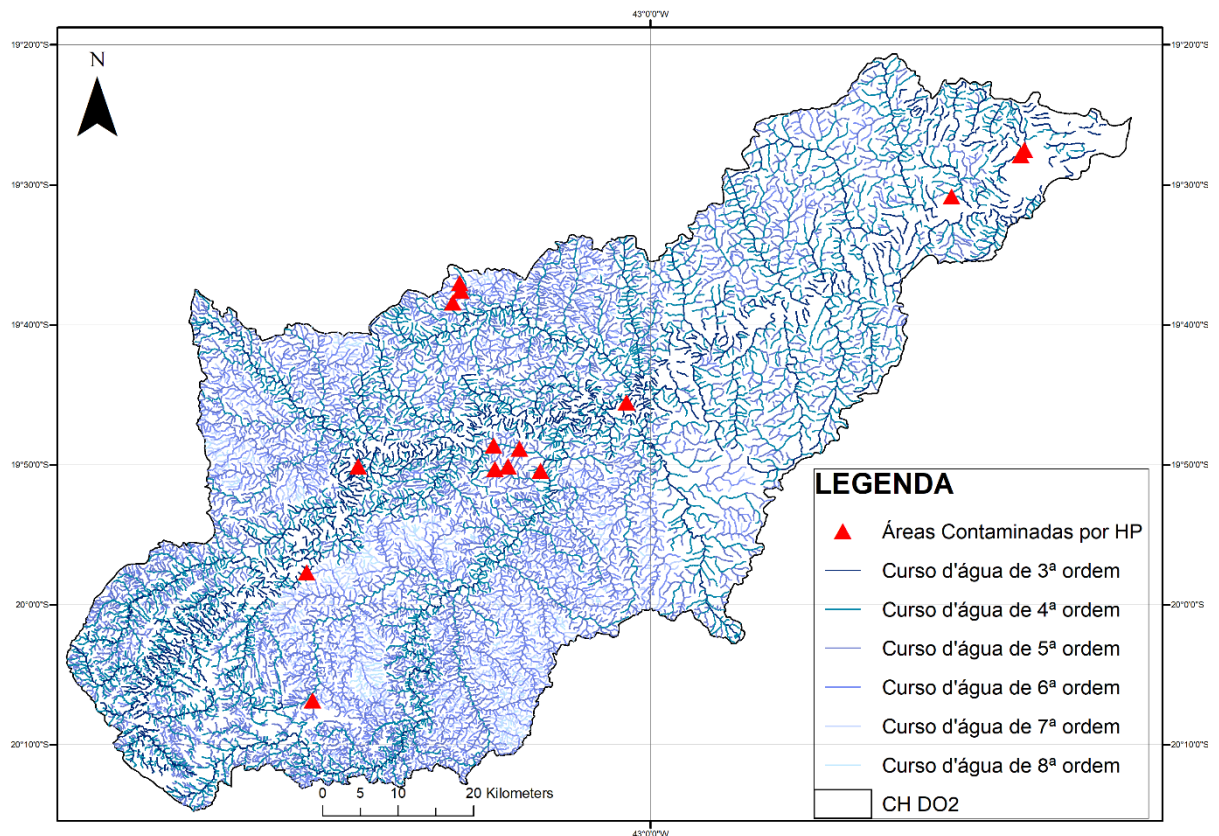


Fonte: Autora.

5.1.3. Áreas Contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis *versus* cursos d'água superficiais

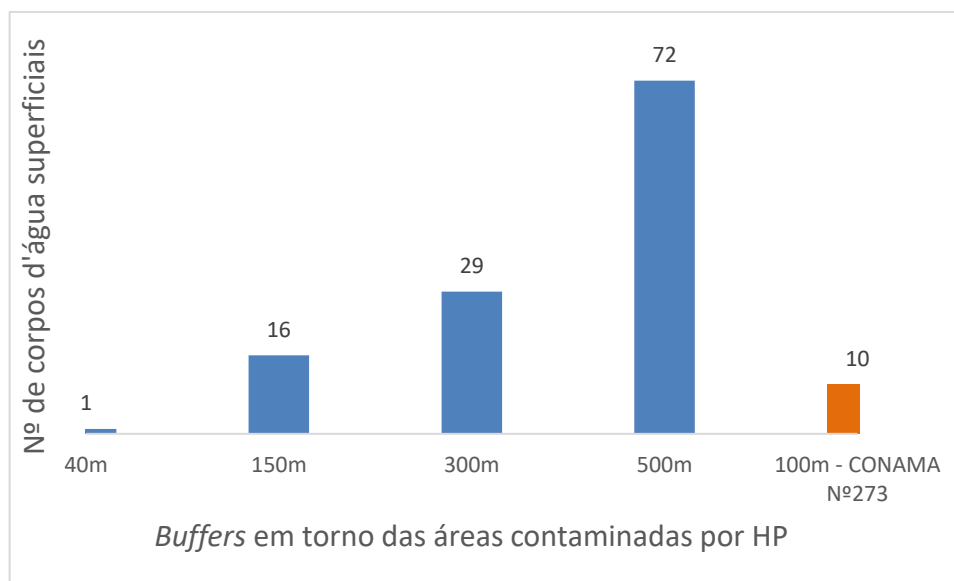
Há um número relevante de corpos d'água superficiais próximos às áreas contaminadas (Figura 19), estando presentes em todos os *buffers* de amostragem, havendo 118 corpos d'água presentes na área de risco em torno dos pontos contaminados por postos de combustíveis (Gráfico 4). Apenas 1 corpo d'água de 4ª ordem estava presente no *buffer* de 40 metros, enquanto 16 corpos d'água foram identificados no *buffer* de 150 metros, sendo eles classificados entre 3ª e 6ª ordem. Mais de 50% estava no *buffer* de 500 metros, mas com cursos d'água que, muitas vezes se ligavam a outros presentes em *buffers* mais próximos do ponto de contaminação, interligados pela própria rede fluvial.

Figura 19: Mapa demonstrando a distribuição dos corpos d'água superficiais em relação às áreas contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis.



Fonte: Autora.

Gráfico 4: Número de corpos d'água superficiais identificados em cada buffer de amostragem no entorno das áreas contaminadas por HP.



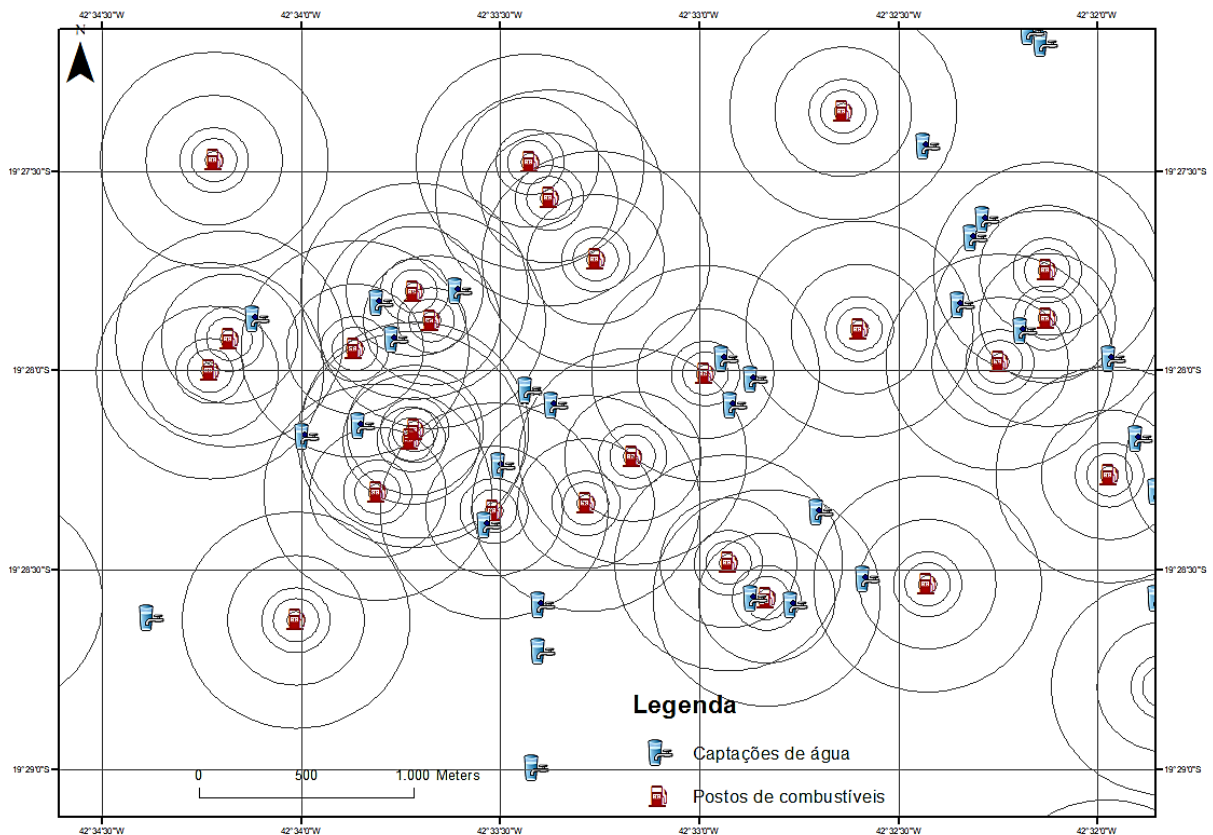
Fonte: Autora.

5.2. RESULTADOS DAS COLETAS REALIZADAS NO ENTORNO DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA CH DO2

5.2.1. Postos de Combustíveis *versus* Captação de Água para o Consumo Humano

A partir da identificação de pontos de captação de água para consumo humano em torno dos 157 empreendimentos “*Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação*”, verificou-se que várias outorgas estavam presentes em mais de um *buffer* de amostragem em razão da proximidade de vários postos de combustíveis na área urbana (Figura 27). Das 227 outorgas de água subterrânea e superficial identificadas nos *buffers* de risco da amostra, 143 delas aparecem em mais de um *buffer*, ou seja, estão situadas próximas de mais de um empreendimento. Sendo assim, os dados apresentados a seguir consideram cada registro de uma outorga em torno de cada ponto amostral (postos de combustíveis) para estabelecer sua avaliação de risco de contaminação por HP, podendo uma mesma outorga estar presente em torno de um ou mais pontos amostrais e, portanto, podem haver múltiplos registros dela no resultado final da coleta.

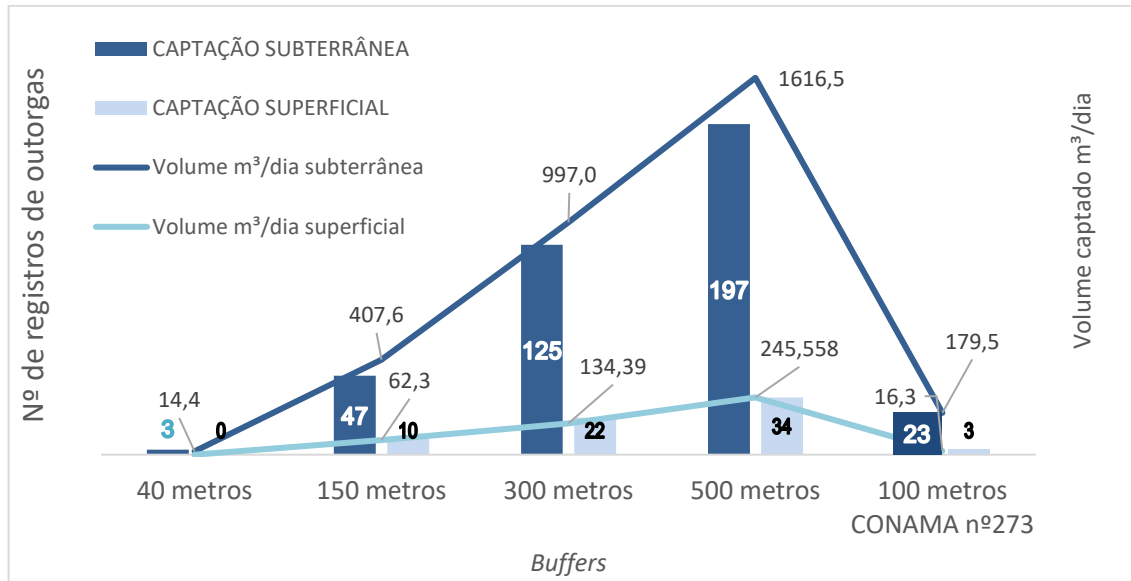
Figura 20: Mapa demonstrando a sobreposição dos buffers amostrais nas áreas de maior adensamento populacional. Em função dessa sobreposição, uma mesma captação de água para consumo humano teve vários registros diferentes na amostragem.



Fonte: Autora.

Avaliando-se o entorno dos empreendimentos, foram observados 438 registros de outorgas de uso da água distribuídas em pelo menos um dos *buffers* de seu entorno, sendo 372 desses registros de outorgas subterrâneas e 66 registros de outorgas superficiais (Gráfico 5). As outorgas consideradas no buffer de 100 metros não são contabilizadas nesse total geral. Como mencionado anteriormente, a utilização da amostragem de 100 metros nesse trabalho tem como finalidade comparar o que é proposto na legislação ambiental, que determina a coleta de amostras próximas dos postos de combustíveis seguindo esses 100 metros de entorno. Na exposição dos resultados, o buffer de 100 metros é diferenciado exatamente para permitir a avaliação da sua efetividade amostral em comparação aos demais.

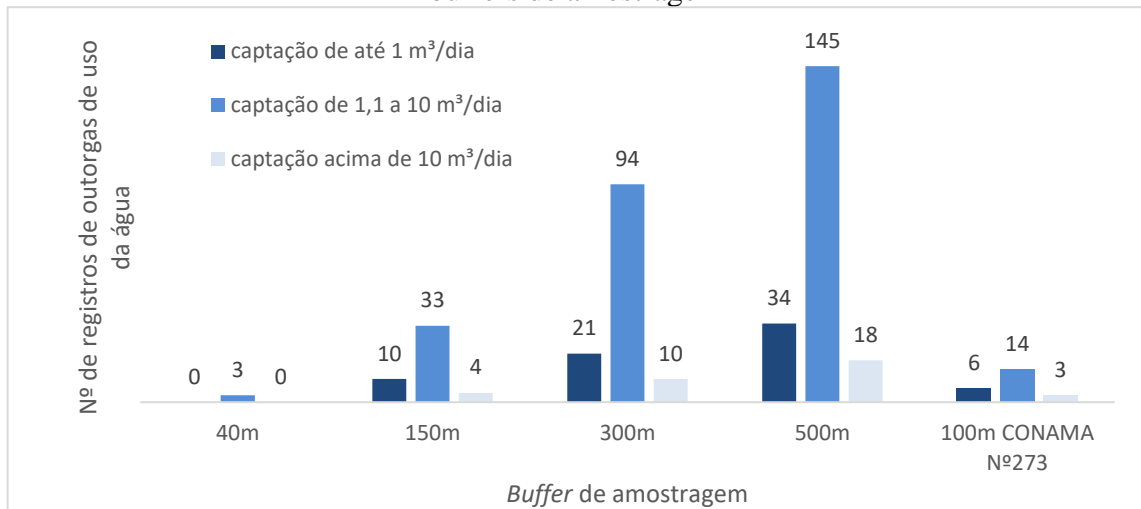
Gráfico 5: Comparativo entre o número de registro de outorgas de uso da água de captação superficial e subterrânea nos diferentes *buffers* amostrais do entorno dos postos de combustíveis e afins



Fonte: Autora.

Há o total de 438 registros de captação de água subterrânea em torno dos postos de combustíveis. Sendo que, 65 têm a captação igual ou inferior a 1 m³/dia, ou seja, menos de 25% das outorgas de uso da água subterrânea identificadas na amostragem correspondem à captação de baixo volume, para provável abastecimento de uma única residência (Gráfico 6). As outorgas com captação entre 1,01 e 10 m³/dia são mais representativas na amostra, correspondendo a 275, demonstrando que a captação de água para consumo humano identificadas nas proximidades dos postos de combustíveis é distribuída, muito provavelmente, para várias residências diferentes.

Gráfico 6: Variação no número de registros de captação de água SUBTERRÂNEA nos buffers de amostragem

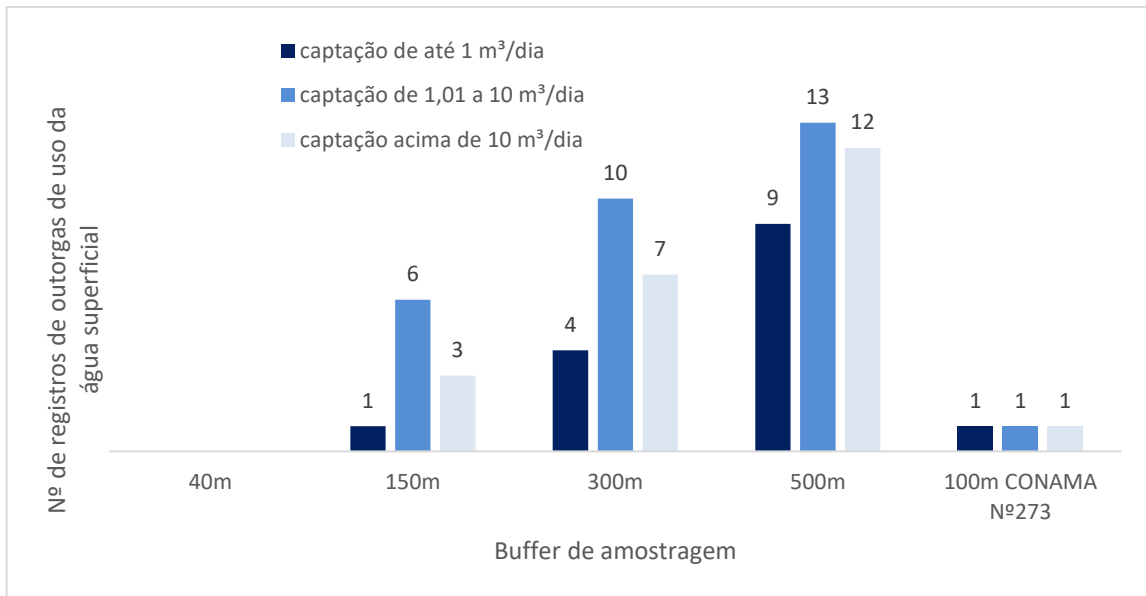


Fonte: Autora.

Além disso, 18 outorgas subterrâneas (com 32 registros nos *buffers* de amostragem) têm captação acima de 10 m³/dia, havendo, entre elas, captações de abastecimento público e de condomínios que atingem 100m³/dia. Somando-se apenas as outorgas subterrâneas localizadas até 150 metros de distância dos postos de combustíveis, 350,8 m³/dia de água são captados para consumo humano, ressaltando a relevância de atenção ao risco de contaminação por HP nesse importante volume de água nas proximidades dos locais onde estão os postos de combustíveis.

Avaliando-se esses registros de uso da água de captação superficial, foram identificadas 65 delas presentes na área amostral, com uma média diária de captação de 6,7 m³/dia. Apenas 14 desses registros tem captação abaixo de 1 m³/dia, enquanto 22 delas tem captação superior a 10 m³/dia (Gráfico 7).

Gráfico 7: Variação no número de registros de captação de água SUPERFICIAL nos buffers de amostragem em torno dos postos de combustíveis

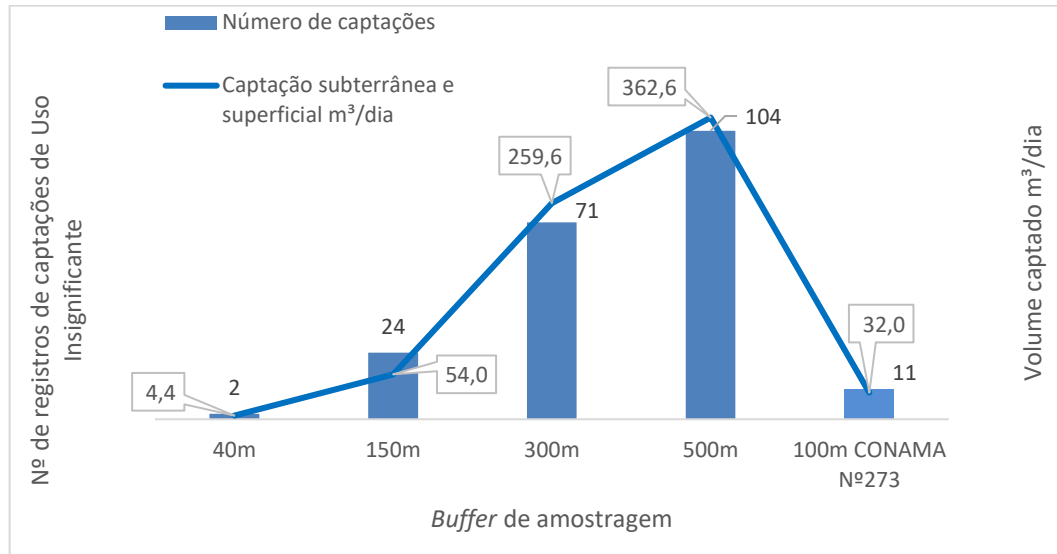


Fonte: Autora.

5.2.2. Postos de Combustíveis *versus* uso insignificante da água para consumo humano

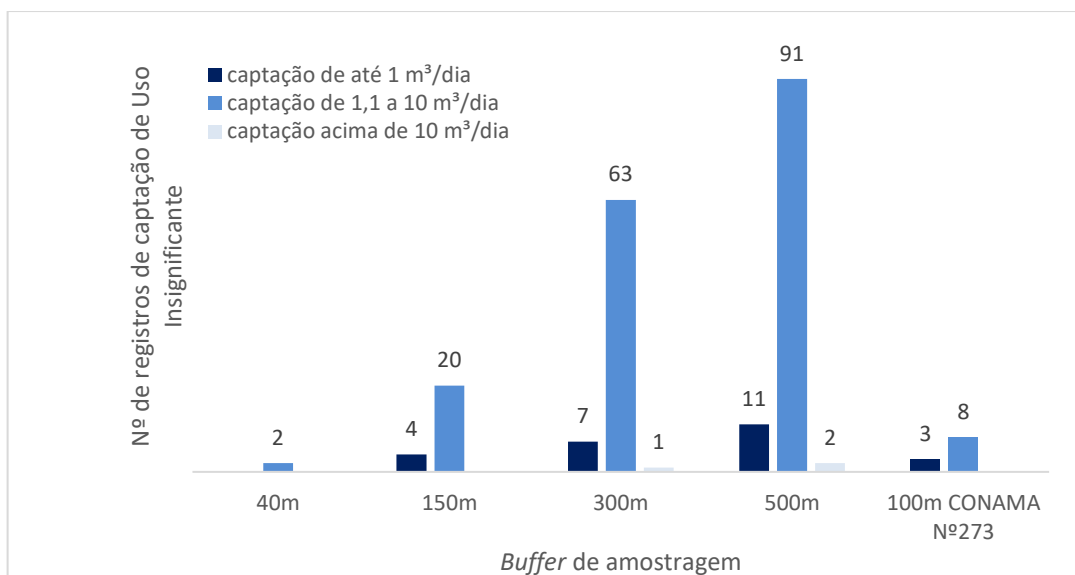
Na amostragem do uso insignificante da água, foram identificados 201 registros de captação, sendo 200 subterrâneos e 1 captação superficial (no *buffer* de 500 metros), com uma média de 6,24 m³/dia, totalizando 680,6 m³ captados por dia. As captações foram encontradas em todos os *buffers* de amostragem (Gráfico 8), incluindo o mais próximo dos postos de combustíveis, o *buffer* de 40 metros, no qual foram identificadas 2 captações de água subterrânea, totalizando 4,4 m³/dia. Assim como as outorgas de uso da água, as captações de uso insignificantes têm um valor de captação importante no entorno dos postos de combustíveis e afins, sendo a maioria dos registros (176 deles) compreendidos nos valores de captação entre 1,01 m³/dia e 10 m³/dia (Gráfico 9), ou seja, provavelmente abastecem mais de 1 residência.

Gráfico 8: Variação do número de registros de captação de Uso Insignificante da água (superficial e subterrânea) identificados em cada buffer de amostragem no entorno dos postos de combustíveis e afins.



Fonte: Autora.

Gráfico 9: Variação no número de registros de captação de Uso Insignificante da água (superficial e subterrânea) nos buffers de amostragem em torno dos postos de combustíveis.



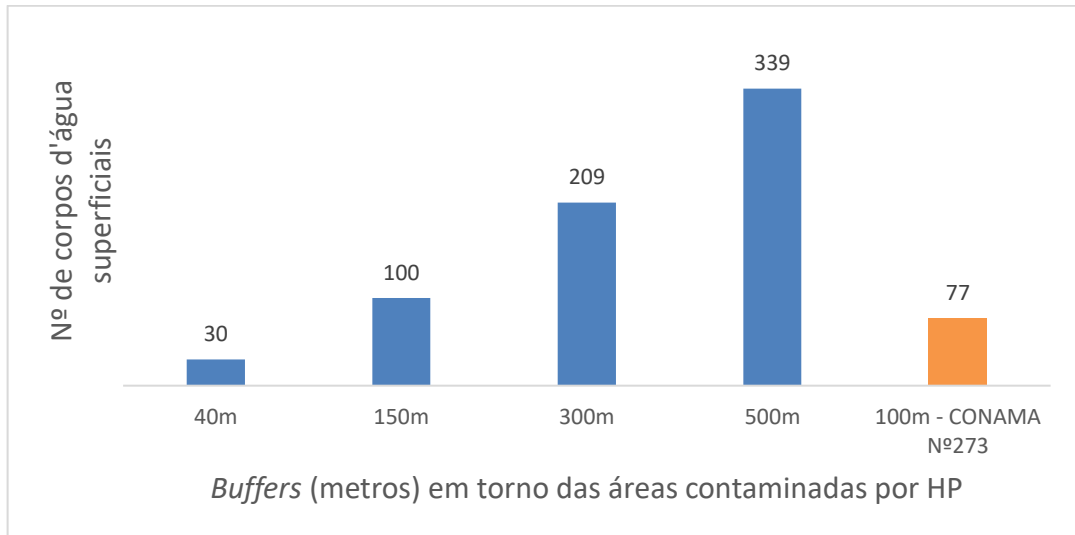
Fonte: Autora.

5.2.3. Postos de Combustíveis versus cursos d'água superficiais

O entorno dos postos de combustíveis e afins tiveram 678 corpos d'água superficiais identificados nos buffers de amostragem (Gráfico 10), estando 30 deles situados até a 40 metros desses empreendimentos e classificados entre 2ª e 5ª ordem. O expressivo número de trechos

de córregos, rios e riachos identificados nas proximidades dos postos de combustíveis é ainda mais alarmante quando consideramos que um corpo d'água pode se aproximar de postos de combustíveis e afins ao longo de diferentes trechos de toda a sua extensão.

Gráfico 10: Número de corpos d'água superficiais presentes no entorno dos empreendimentos postos de combustíveis e afins.

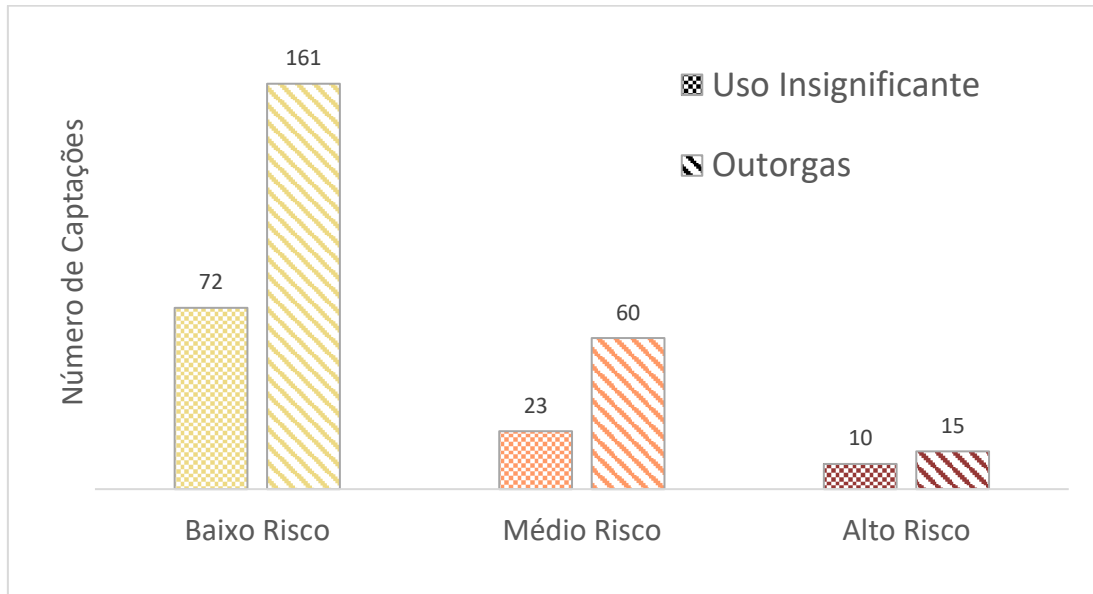


Fonte: Autora.

5.3. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO POR HP DAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Após a elaboração da classificação de risco para cada captação de água para consumo humano (Apêndice A e B) em relação à distância das áreas contaminadas por postos de combustíveis e aos postos de combustíveis existentes na CH DO2, foram identificadas 242 captações de baixo risco, 79 de médio risco e 26 captações de alto risco (Gráfico 11).

Gráfico 11: Número de captações de água de baixo, médio e alto risco identificadas na amostragem, considerando separadamente outorgas de uso da água e uso insignificante da água para consumo humano.

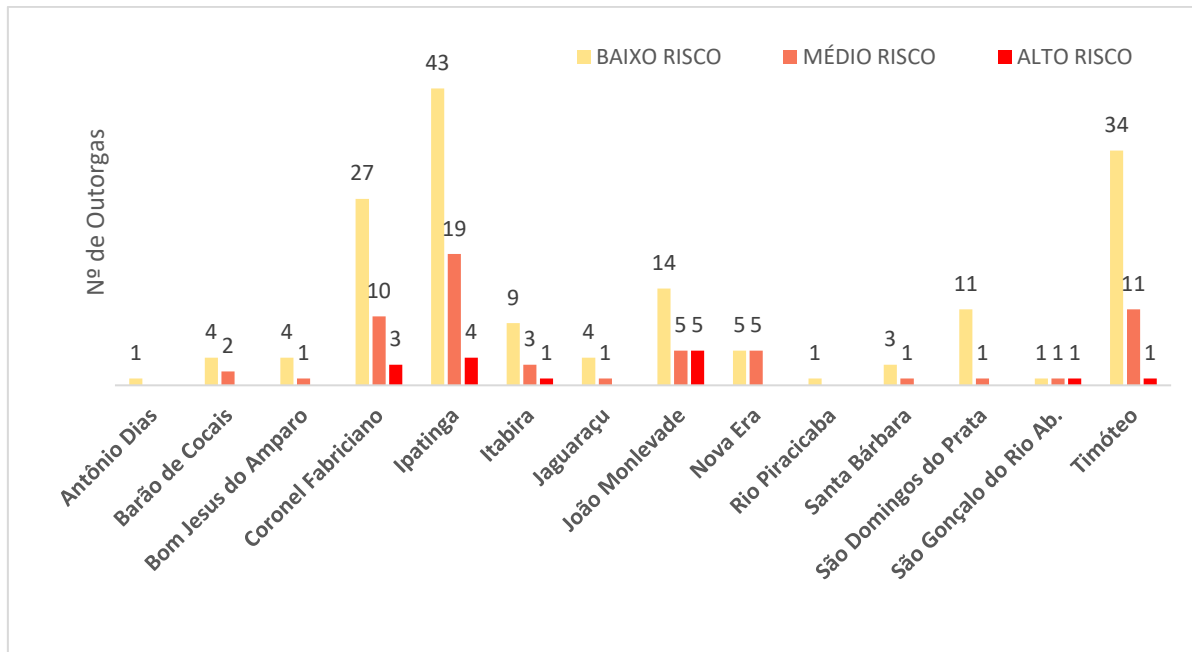


Fonte: Autora.

Totalizou-se 4.386 m³/dia captados há até 500 metros de distância de postos de combustíveis e 694 m³/dia captados há até 500 metros de áreas contaminadas por HP. Considerando-se apenas a amostragem no *buffer* de 100 metros (CONAMA N°273), foram identificados 26 outorgas e 7 usos insignificantes da água na amostragem em torno dos postos e 11 outorgas e 3 usos insignificantes em torno das áreas contaminadas por HP.

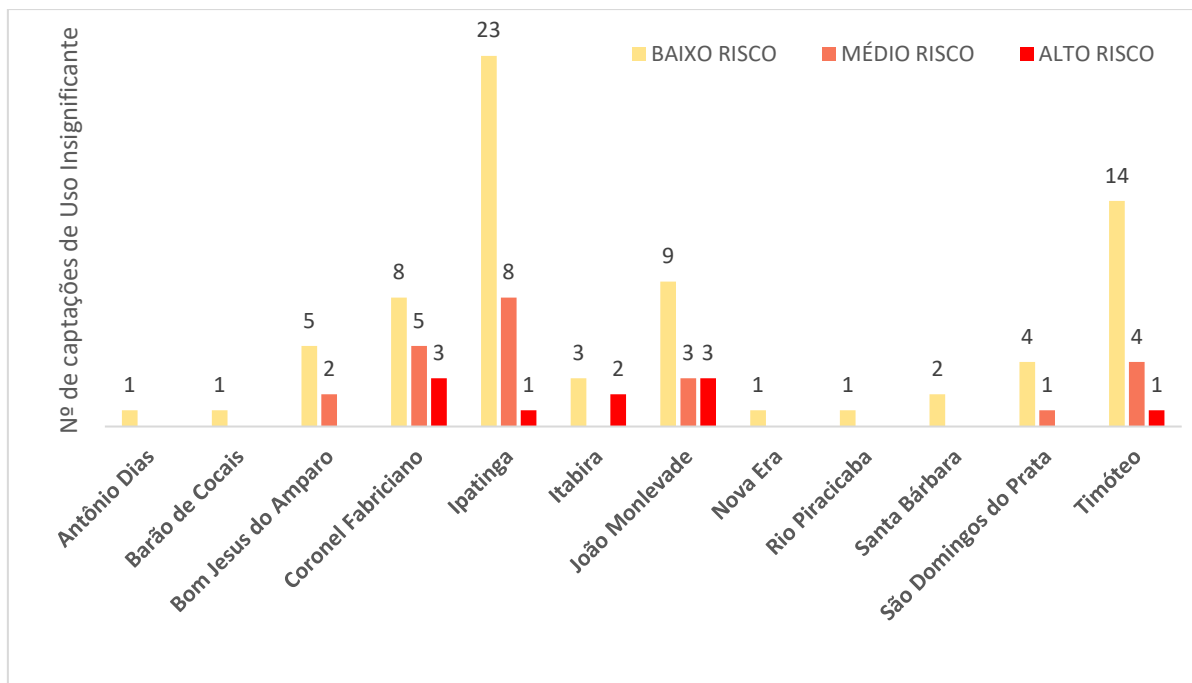
Os municípios tiveram diferenças quanto à distribuição das captações na escala de risco, ocorrendo captações de alto risco em municípios sem áreas contaminadas por HP, como é o caso de Timóteo e/ou com poucos postos em funcionamento, como é o caso de São Domingos do Prata (Gráfico 12 e 13), que também não possui áreas contaminadas por HP no período amostral. No geral, os municípios com maior registro de captações de médio e alto risco de contaminação são também os que tem maior tamanho populacional, estando as situações mais críticas em Ipatinga, Coronel Fabriciano e Timóteo, na região do Vale do Aço.

Gráfico 12: Classificação de Risco das outorgas de uso da água para consumo humano identificadas por município.



Fonte: Autora.

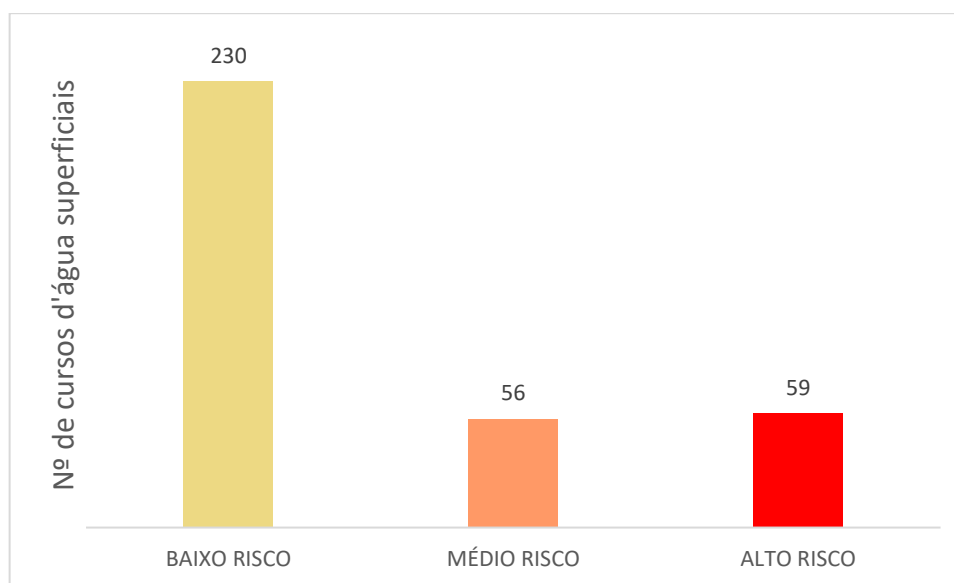
Gráfico 13: Classificação de Risco dos Usos Insignificantes da água para consumo humano identificadas por município.



Fonte: Autora.

Os corpos d'água superficiais foram representativos na amostragem, gerando um elevado número desses recursos hídricos na classificação de risco (APÊNDICE C), sendo um total de 345 trechos, com 59 deles classificados como alto risco, 56 médio risco e 230 baixo risco de contaminação por HP (Gráfico 14). Ao avaliarmos apenas o *buffer* de 100 metros (CONAMA Nº273), foram identificados 77 trechos na amostragem em torno dos postos e 10 trechos em torno das áreas contaminadas por HP.

Gráfico 14: número de cursos d'água superficiais em cada classificação de risco adotada nesse trabalho.



Fonte: Autora.

6. DISCUSSÃO

Esforços para reduzir o aporte de contaminações advindas do petróleo nos ecossistemas são cada vez mais necessários diante da detecção dessas substâncias em valores muito acima do permitido pelos órgãos reguladores (CHOKOR, 2021). A identificação dessas substâncias tóxicas e cancerígenas em alimentos (TONGO *et al.*, 2017) e nos recursos hídricos consumidos pelo ser humano (LOGESHWARAN *et al.*, 2018) é um importante indicativo da necessidade da gestão de risco de contaminação do meio ambiente pelos derivados do petróleo (ESPINOSA, 2021).

O que se propõe no Plano de Segurança da Água elaborado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2012) é garantir o monitoramento do recurso hídrico de forma que ele seja fornecido com qualidade e segurança à população. Para tal, o controle da qualidade química da água para

consumo humano requer o desenvolvimento de planos de gestão que forneçam base para a proteção do sistema e o controle do processo, garantindo-se que as concentrações das substâncias químicas não representem risco à saúde pública (WHO, 2017). Para que os objetivos de gestão relacionados a avaliar a presença de HP na água para consumo humano sejam alcançados, é preciso definir as áreas prioritárias para o monitoramento, visto a inviabilidade do monitoramento iniciar com avaliação de 100% dos recursos hídricos utilizados pela população.

Avaliando-se o monitoramento atual exigido pela legislação, com a amostragem da água em um raio de 100 metros em torno do empreendimento (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 273), comparado ao buffer de 150 metros proposto nesse trabalho, nota-se um aumento das captações de água identificadas com apenas 50 metros acrescidos ao raio de amostragem previsto na legislação ambiental. Essa importante variação entre as metodologias de amostragens altera, também, o volume de água a ser monitorado na CH DO2, havendo captação de 350,8 m³/dia nas outorgas e 54m³/dia no uso insignificante presentes no buffer de 150 metros, enquanto o buffer de 100 metros apresenta captação de 195,7 m³/dia nas outorgas e 32m³/dia no uso insignificante da água. Além disso, embora seja previsto pela DN COPAM Nº 108 e a Resolução Nº 273 CONAMA, a identificação de poços de captação de água do entorno de postos de combustíveis em um raio de 100 metros e a instalação de, no mínimo, 3 poços de monitoramento da água subterrânea, esses poços podem estar desativados e o monitoramento ter periodicidade prevista na LO muito limitada, sendo que, em alguns casos, as LO estão vencidas e sequer há o monitoramento (ARAÚJO; CASTRO, 2018).

Adicionalmente, a recomendação é que os poços de monitoramento da água subterrânea sejam instalados próximos aos SAS, perfurados na mesma cava que os tanques subterrâneos (NBR 13.895), limitando a área de amostragem em torno dos empreendimentos que podem ter várias outras fontes de HP que atinjam o recurso hídrico. As inconformidades relacionadas à estrutura física dos empreendimentos, como a falta de limpeza das canaletas e das caixas separadoras e fissuras e trincas no piso da pista de abastecimento, são comuns e podem ocasionar a contaminação ambiental por longos períodos até que sejam identificadas durante fiscalização (LIMA, 2021). Soma-se a isso a discrepância identificada no número de postos licenciados na CH DO2, segundo o site IDE-Sisema *versus* o número de postos ativos, segundo o site da ANP. Tais considerações sugerem a necessidade de adotar métodos com maior área de amostragem e

objetivando análise rotineira quanto à concentração de HP com foco na água que é consumida pela população.

Ao avaliar a CH DO2 em relação à localização das captações de água próximas das áreas contaminadas por HP (IDE-Sisema), identificou-se a dimensão do possível risco à saúde que representa o não monitoramento desse recurso hídrico em relação à concentração de HP. Ao todo, 50 outorgas de captação e 28 usos insignificantes da água para consumo humano estavam presentes na amostra, no entanto o mais preocupante nesses resultados foi o volume de captação há até 150 metros dos pontos de contaminação, totalizando 81,3m³/dia captados sem o adequado monitoramento para o risco evidente de contaminação por HP.

O monitoramento ambiental em áreas de risco potencial de contaminação por HP envolve procedimentos de elevado custo e demandam muito tempo, o que resulta em barreiras para o crescimento do monitoramento e acompanhamento de processos de remediação das áreas contaminadas (POTTER, 2019). Ao identificarmos as captações de água próximas das áreas já contaminadas e considerar que elas tem risco evidente de serem alcançadas pela pluma de contaminação, apresenta-se um volume relevante de pontos que podem receber o monitoramento rotineiro de modo mais assertivo, que não visa apenas apontar a concentração de HP, inclui-se um resultado direto da análise com a avaliação da condição do recurso hídrico que está sendo consumido na área, garantindo segurança à saúde do consumidor que faz a sua captação.

E, embora as áreas contaminadas sejam mais relevantes para o risco à saúde humana, sabe-se que todas as etapas de produção, transporte, processamento e armazenamento de petróleo e derivados têm um relevante impacto negativo e de longo prazo nos componentes do ambiente natural, mesmo com uma operação sem acidentes (GAYSINA, 2016). Desse modo, as captações de água identificadas no entorno dos postos de combustíveis nesse trabalho podem receber contaminação e devem ser avaliadas sob essa perspectiva, ressaltando-se aquelas que foram classificadas como alto risco de contaminação por HP (APÊNDICES A e B).

A presença de contaminação da água por HP proveniente de postos de combustíveis no Brasil é comum (CARNEIRO *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2019; SPECK, 2019; ZAMBIANCHI, 2016; MONTEIRO *et al.*, 2016; DAL PIZZOL, 2014; ANJOS, 2012; FORTE *et al.*, 2007), embora não seja feita a análise da água distribuída para a população quanto à concentração desses compostos em MG. As plumas com os contaminantes podem atingir o maior *buffer* amostral – de 500 metros – proposto no presente trabalho (DAL PIZZOL, 2014) e perdurarem

por mais de 10 anos no local (TERAMOTO *et al.*, 2019). Ainda assim, várias captações de água para consumo humano foram registradas mais de 1 vez nos *buffers*, estando presentes na amostragem em torno de mais de um posto de combustível (em função da proximidade de alguns desses empreendimentos) e, em alguns casos, as captações estavam presentes no entorno de áreas contaminadas e também de postos de combustíveis, tendo múltiplas fontes de possível contaminação.

Adicionalmente, a maior parte das captações identificadas corresponde à água subterrânea, sendo a captação superficial observada em apenas 1% das amostras. Águas subterrâneas podem receber os contaminantes tanto diretamente dos vazamentos dos SAS, como através do percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, infiltrando-se pela força da gravidade. Essa jornada pode permitir o contato do recurso hídrico com contaminações na superfície do solo antes de infiltrar, em camadas mais profundas dele ou mesmo através de volumes de água provenientes de outras localidades que fazem contato através dos canais subterrâneos.

Nesse contexto, a metodologia proposta nessa pesquisa se mostra como opção de baixo custo e rápida execução, sendo oportuno aliar os dados de avaliação de risco com coletas de HP das captações de água, verificando a efetividade dos *buffers* aqui propostos. Se efetivos para o apontamento de pontos assertivos para amostragem, a metodologia pode ser aplicada em outras bacias hidrográficas e se tornar ferramenta importante para os órgãos ambientais.

Sendo assim, sugere-se a avaliação da qualidade da água para consumo humano identificada na amostragem na CH DO2, e deve-se considerar que a avaliação da presença de contaminação em uma captação de água é um indício para a análise de outras captações da região para avaliar a possível dispersão dos contaminantes HP para localidades que não tenham proximidade com postos de combustíveis. Adicionalmente, ressalta-se os municípios que apresentam situações mais críticas como Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo e João Monlevade, onde a necessidade de análises da qualidade da água das captações se mostra mais emergencial.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A população consumidora das outorgas e uso insignificante da água não recebe informações quanto ao risco de captarem esse recurso nas proximidades dos postos de combustíveis ou áreas contaminadas, já que as áreas não apresentam monitoramento contínuo ou periódico de qualidade de solo e água subterrânea, como previsto na resolução CONAMA 420 (BRASIL,

2009), cujos valores orientadores são baseados em ensaios ecotoxicológicos ou em avaliação de risco ecológico. Os resultados obtidos nesse trabalho demonstraram-se um relevante volume de água consumido pela população e, também, trechos de afluentes e do próprio rio Piracicaba nas áreas consideradas de maior risco.

A CH DO2 possui um número relevante de postos de combustíveis, bem como áreas contaminadas por esses empreendimentos no período amostral, principalmente nas cidades de maior adensamento populacional, ressaltando-se a região do Vale do Aço, bem como João Monlevade e Itabira. Além desses, os demais municípios amostrados também apresentaram elevadas captações de água no entorno dos postos e das áreas contaminadas, com diversas outorgas e usos insignificantes que foram identificadas em *buffers* de mais de um posto de combustível e, simultaneamente, próximo de áreas contaminadas. Essas captações se mostram mais críticas quanto à necessidade de serem avaliadas em relação ao risco de contaminação, sugerindo-se que sejam consideradas como prioritárias nas análises quando à possível presença de HP.

Adicionalmente, com o alarmante número de outorgas e volume de água em risco de contaminação identificadas, espera-se que a metodologia de *buffers* e a classificação de risco adotados nesse trabalho possam ser utilizadas em outras circunscrições hidrográficas para avaliação das captações e elaboração de uma proposta de análise da qualidade da água para consumo humano em outras localidades.

REFERÊNCIAS

A. M. E. C. Earth and Environmental. 2009. **TCE plume refinement–South escarpment area, CFB 5 Wing Goose Bay, Newfoundland and Labrador**. Contract no: DCC# HQ06010, Commission, v. 75.

A. M. E. C. Earth and Environmental. 2011. **Site investigation central/Eastern landfill, CFB 5 Wing Goose Bay, Newfoundland and Labrador**. Contract no: DCC# IE090214, Commission, v. 2, n. 5.1.

ADEWUYI, G. O.; OLOWU, R. A. **Assessment of oil and grease, total petroleum hydrocarbons and some heavy metals in surface and groundwater within the vicinity of NNPC oil depot in Apata, Ibadan metropolis, Nigeria**. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, v. 13, n. 1, p. 166-174, 2012.

AGÊNCIA DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS E REGISTRO DE DOENÇAS. 2021. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/> Acesso em: 10 mar 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **ATLAS BRASIL: Abastecimento Urbano de Água - Panorama Nacional**. Engecorps/Cobrape: Brasília, DF. 2010. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf Acesso em: 10 mar 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. / coordenação geral, João Gilberto Lotufo Conejo ; coordenação executiva, Marcelo Pires da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília : ANA, 2007. 124p. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf Acesso em: 15 mar 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 : relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2017. 169p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view> Acesso em: 02 fev 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acesso em janeiro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2019. 100p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf Acesso em 02 fev 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Brasília: ANP, 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020.pdf>. Acesso em dezembro 2020.

AHMAD, F. *et al.* **Remediation of RDX- and HMX-contaminated groundwater using organic mulch permeable reactive barriers.** Journal of Contaminant Hydrology, v. 90, p.1-20, 2007.

ALVAREZ, P.J., ILLMAN, W.A. **Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models.** Vol 27: John Wiley & Sons. 2005.

ANJOS, R B. **Avaliação de HPA e BTEX no solo e água subterrânea, em postos de revenda de combustíveis: estudo de caso na cidade de Natal-RN.** 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.106p.

ANNESER, B. *et al.* **High-resolution monitoring of biogeochemical gradients in a tar oil contaminated aquifer.** Applied Geochemistry, v. 23, n. 6, p. 1715–1730, 2008.

ARAÚJO, A. R. A.; CASTRO, V. L. L.. **Diagnóstico ambiental em postos revendedores de combustíveis no município de Natal/RN.** Águas Subterrâneas, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29361> Acesso em 22 de mar de 2022.

ASEJEJE, G. I. *et al.* **Occurrence of BTEX from petroleum hydrocarbons in surface water, sediment, and biota from Ubeji Creek of Delta State, Nigeria.** Environmental Science and Pollution Research, v. 28, n. 12, p. 15361-15379, 2021.

BARBOSA, L. K. L. **Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa-PB.** UFPB, 2007. 101p.

BOJES H. K.; POPE P. G. **Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production sites in Texas.** Regul. Toxicol. Pharmacol. 47 (3) 288–295.2007.

BONILLA, N. *et al.* **Comparison of ultrasonic and pressurized liquid extraction for the analysis of polycyclic aromatic compounds in soil samples by gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry.** Talanta, v. 78, p. 156–164, 2009.

BOS, R. *et al.* **Manual sobre os direitos humanos à água potável e saneamento para profissionais.** IWA Publishing, 2017.

BRASIL, Constituição Política do Império do Brasil, elaborada por um Conselho de Estado e outorgada pelo Imperador D. Pedro I, em 25 de Março de 1824. Disponível em: Constituição Política do Império do Brasil, elaborada por um Conselho de Estado e outorgada pelo Imperador D. Pedro I, em 25.03.1824 Acesso em: 20 de Mar de 2021.

BRASIL, Código Civil. Decreto de Lei nº 3071 de 1º de Janeiro de 1916. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/13071.htm Acesso em 20 de Mar de 2021.

BRASIL, Decreta o Código de Águas. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acesso em: 31 de janeiro de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Diário Oficial da União, Brasília, DF, nº 5, 8 de janeiro de 2001, Seção 1. p.20-23.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: SERH, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em janeiro 2017.

BRASIL. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, n. 85, p. 127, 7 maio 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas 69 substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano de segurança da água : garantindo a qualidade e promovendo a saúde : um olhar do SUS /** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília : Ministério da Saúde, 2012.

BRINDHA, K.; ELANGO, L. **PAHs contamination in groundwater from a part of metropolitan city, India: a study based on sampling over a 10-year period.** Environmental earth sciences, v. 71, n. 12, p. 5113-5120, 2014.

BRITO, F. DO V. et al. **Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil.** In: 3o Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás. Salvador - BA. 2005.

BRITO, G. C. B.; VASCONCELOS, F. C. W. **A gestão de áreas contaminadas em Minas Gerais: o licenciamento como instrumento preventivo.** RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 19-32, 2012. Disponível em: <<https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/429/pdf>>. Acesso em janeiro 2019.

CARNEIRO, G. C. Assis *et al.* **Contaminação das águas subterrâneas por compostos orgânicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas, no estado de Minas Gerais, Brasil.** Research, Society and Development, v. 9, n. 10. 2020.

CHOKOR, A. A. **Total Petroleum and Aliphatic Hydrocarbons Profile of the River Niger Surface Water at Okpu and Iyiowa-Odekpe Regions in South-Eastern, Nigeria.** Chemistry International 7(3) (2021) 188-196.

CHIU, H. Y. *et al.* **Using intrinsic bioremediation for petroleum–hydrocarbon contaminated groundwater cleanup and migration containment: Effectiveness and mechanism evaluation.** Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 72, p. 53-61, 2017.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas**. Tampa: Princeton Groundwater, Inc, 2007. 117 p. Disponível em: https://www.clean.com.br/Menu_Artigos/cleary.pdf. Acesso em maio 2020.

COELHO, V M; DUARTE, U. **Perímetros de proteção para fontes naturais de águas minerais**. *Revista Águas Subterrâneas*, n. 17, p. 77, maio. 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Postos de Revenda**. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/postos-de-combustiveis/a-questao-ambiental/>>. Acesso em janeiro 2020

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2001. Disponível em:<http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/manual-de-gerenciamento/> Acesso em: 02 maio 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em:<<https://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2013/11/6530.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos**. 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2018/07/HPAs-Hidrocarbonetos-Polic%C3%ADclicos-Arom%C3%A1ticos.pdf> Acesso em 13 abr 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. **Relatório de Sustentabilidade: o curso da formação**. 2020. Disponível em: <https://www.copasa.com.br/media2/RelAnual2020/RelatorioAnual2020.pdf> Acesso em 24 de abr 2021.

CONICELLI, B. P. **Gestão das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Alto Tietê (SP)**. 163p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Bruno-Conicelli/publication/309619487_Gestao_das_aguas_subterraneas_na_Bacia_Hidrografica_d_o_Alto_Tiete_SP/links/581a4efe08aeffb294131cce/Gestao-das-aguas-subterraneas-na-Bacia-Hidrografica-do-Alto-Tiete-SP.pdf>. Acesso em julho 2019.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CERH. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH N° 66, DE 17 DE NOVEMBRO DE 2020**. Belo Horizonte-MG: CERH. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52900>>. Acesso em dez 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO N° 273, de 29 de novembro de 2000**. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Disponível em: http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17_01_2011_17.30.47.12d8482d5a7677bddba4bbc18cc3bcbb.pdf Acesso: em dez 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO N° 362, DE 23 DE JUNHO DE 2005**. Brasília: CONAMA. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>>. Acesso em fevereiro 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. Brasília: CONAMA. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em abril de 2019.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**: Volume I, Relatório Final. 2010. Disponível em: http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf Acesso em: 10 dez 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. DELIBERAÇÃO NORMATIVA N.º 50, de 28 de novembro de 2001, Minas Gerais. Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=133#:~:text=1%C2%B0%20A%20lo%20caliza%C3%A7%C3%A3o%20constru%C3%A7%C3%A3o,pr%C3%A9vio%20licenciamento%20ambiental%20ou%20Autoriza%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 10 dez 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. DELIBERAÇÃO NORMATIVA N.º 74, de 09 de setembro de 2004, Minas Gerais. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte. Disponível em: <http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf> Acesso em 10 dez 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. DELIBERAÇÃO NORMATIVA N.º 108, de 24 de maio de 2007, Minas Gerais. Altera a Deliberação Normativa Copam 50/01, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=6850> Acesso em: 10 dez 2020.

COMPAM **Relatório De Sustentabilidade 2020: o Curso Da Transformação**. Disponível em: <https://www.copasa.com.br/media2/RelAnual2020/RelatorioAnual2020.pdf> Acesso em: 10 jun 2021.

COSTA A. S. *et al.* **Environmental strategies to remove volatile aromatic fractions (BTEX) from petro leum industry wastewater using biomass**. Bioresour. Technol. 105 31–39. 2011.

DA CUNHA, K. P. V.; ARAÚJO, C. V. L. **Contaminação do solo de postos de combustíveis com hidrocarbonetos derivados do petróleo**. 30º Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2019.

DA SILVA, G. S. **Contaminação do subsolo por hidrocarbonetos do petróleo**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 1, p. 57-64, 2015.

DAL PIZZOL, M. C. **Investigação da Contaminação de Solo e Água Subterrânea por Hidrocarbonetos em área localizada no município de Porto Alegre, RS.** 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.43p.

DE CASTRO, M. M. *et al.* **Análise da disponibilidade hídrica superficial na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-MG.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Portaria Nº 231, de 31 DE JULHO DE 1998 Regulamenta as Áreas de Proteção das fontes de Águas Minerais. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibmlink.php?numlink=1-60-29-1998-07-31-231> Acesso em 05 abr 2020.

DE SOUZA, L. **Mudança de paradigmas urbanísticos em face da necessária proteção das águas subterrâneas: a ordenação do solo da cidade à partir de seu subsolo através do zoneamento especial ambiental.** *Águas Subterrâneas.* Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23102> Acesso em: 05 mar 2020.

DUTTA C. *et al.* **Mixing ratios of carbonyls and BTEX in ambient air of Kolkata, India and their associated health risk.** *Environ. Monit. Assess.* 148 (1–4) 97–107. 2009.

EL-NAAS M. H. *et al.* **Aerobic biodegradation of BTEX: Progresses and prospects.** *J. Environ. Chem. Eng.* 2 1104–1122. 2014.

ENGEORPS ENGENHARIA S.A. **Produto 3 - Diagnóstico Técnico: Participativo dos serviços de saneamento básico.** 2015. Disponível em: <<http://www.itabira.mg.gov.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Produto-3.pdf>>. Acesso em novembro 2019.

ESPINOSA, C.I. **Vulnerability of Human Populations to Contamination from Petroleum Exploitation in the Napo River Basin: An Approach for Spatially Explicit Risk Assessment.** *Sustainability.* 13, 9230, 2021.

FAUSTORILLA, M. V. *et al.* **Determination of total petroleum hydrocarbons in australian groundwater through the improvised gas chromatography–flame ionization detection technique.** *Journal of chromatographic science*, v. 55, n. 8, p. 775-783, 2017.

FAYEMIWO, O. *et al.* **BTEX compounds in water–future trends and directions for water treatment.** *Water Sa*, v. 43, n. 4, p. 602-613, 2017.

FORTE, E. J. *et al.* **Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos: estudo de caso na Vila Tupi, Porto Velho-Rondônia.** *Química Nova*, v. 30, n. 7, p. 1539-1544, 2007.

FOSTER, S. *et al.* **Protección de la calidad del agua subterránea.** Banco Mundial, 2003.128p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de áreas contaminadas Estado de Minas Gerais: 2020..** 35 p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2021/AREAS_CONTAMINADAS/Invent%C3%A1rio_2020_-_Final1.pdf Acesso em: 20 dez 2020.

GAYSINA D.R. 2016. **Analysis of the causes of emergency situations on trunk pipelines.** *Bulletin of Kazan Technological University*, 19(14), 129–130.

GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento**. Ontário: Waterloo Hydrogeologic. Inc., 2000.

GÜNTHER, W. M. R. **Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana**. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 2, p. 105-117, 2006. Disponível em: <http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_08.pdf>. Acesso em fevereiro 2020.

HILPERT, M. *et al.* **Hydrocarbon release during fuel storage and transfer at gas stations: environmental and health effects**. Current Environmental Health Reports, v. 2, n. 4, p. 412-422, 2015.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - IDE - SISEMA, 2021. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis> Acesso em: 30 set 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (DO2)**. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/cobranca-pelo-uso-dosrecursos-hidricos>>. Acesso em novembro 2019.

KAOHSIUNG CITY GOVERNMENT (KCG). 2012. **Sites Investigation at Petroleum-hydrocarbon Contaminated Sites Environmental Protection Bureau, Kaohsiung City Government**.

LEE, Jin-Yong *et al.* Statistical evaluation of geochemical parameter distribution in a ground water system contaminated with petroleum hydrocarbons. Journal of environmental quality, v. 30, n. 5, p. 1548-1563, 2001.

LIMA, E. C. **Licenciamento ambiental para atividade de postos revendedores de combustíveis: estudo de caso em Londrina/PR**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 98p.

LOGESHWARAN, P. *et al.* **Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches**. Environmental technology & innovation, v. 10, p. 175-193, 2018.

LOKHANDE, P. B. *et al.* **Multivariate statistical study of seasonal variation of BTEX in the surface water of Savitri River**. Environmental monitoring and assessment, v. 157, n. 1, p. 51-61, 2009.

MARIĆ, N. *et al.* **Enhanced in situ bioremediation of groundwater contaminated by petroleum hydrocarbons at the location of the Nitex textiles, Serbia**. Environmental Earth Sciences, v. 74, n. 6, p. 5211-5219, 2015.

MAZZEO D. E. C. *et al.* BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery. Sci. Total Environ. 408 (20) 4334– 4340, 2010.

MCGOVERN, T. *et al.* **Design, construction and operation of a funnel and gate in-situ permeable reactive barrier for remediation of petroleum hydrocarbons in groundwater**. Water, Air, and Soil Pollution, v. 136, n. 1, p. 11-31, 2002.

MEDEIROS, K. A. **Proposta metodológica para delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas: aplicação no Distrito Federal**. 2018. xiii, 121 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MESQUITA, E. de P. B. **Uma justificativa para o reenquadramento dos postos de combustíveis no âmbito da DN 217/17, antiga DN 74/04**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018. 45p. Disponível em: <https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2018/09/Elisa-de-Pinho-Barroso-Mesquita.pdf> Acesso em: 03 abr 2021.

MINAS GERAIS. Lei Estadual n. 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências, Belo Horizonte: Diário do Executivo, 1999. Disponível em: https://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/panorama-dos-estados/mg/lei-no13-199-99_mg.pdf Acesso em: 05 de abr 2020.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 2, de 02 de agosto de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Minas Gerais, MG, 29 dez. 2010. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Inventário de Áreas Contaminadas do Estado de Minas Gerais: 2018. Belo Horizonte, 2018. 27 p. Disponível em: <http://feam.br/images/stories/2019/DECLARACOES_AMBIENTAIS/Invent%C3%A1rio_de_AC_Final_RETIFICADO_4-1-19.pdf> Acesso em 23 de março de 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Manual de orientações técnicas para elaboração e apresentação de propostas e projetos para sistemas de esgotamento sanitário – FUNASA. Abril, 2017. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PROPOSTAS_SES_10_03_2017.pdf/0f872826-26af-4a96-b448-72e71615f0c6 Acesso em: 15 de mar 2021

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Programa nacional de recuperação de áreas contaminadas: agenda nacional de qualidade ambiental urbana: eixo: áreas contaminadas. Brasília, DF : MMA, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/recuperacao-de-areas-contaminadas>>. Acesso em março 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO. Águas Subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS.pdf>>. Acesso em janeiro 2019.

MITRA, S.; ROY, P. **BTEX: A serious ground-water contaminant**. Res. J. Environ. Sci. 5 (5) 394–398. <https://doi.org/10.3923/rjes.2011.394.398>. 2011.

MONTEIRO, D. S. *et al.* Investigação da presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em poços freáticos ao norte do recôncavo da Bahia, Brasil. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 129-140, 2016.

MORAES, S. L. *et al.* **Guia de elaboração de Planos de Intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo: IPT, 2013.

MORAES, Y. G.; OLIVA, P. C.. **Estudo integrado para identificação por hidrocarbonetos na subsuperfície de postos de combustíveis no município de Baião (Pará, Brasil).** *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 30252-30271, 2019.

NADIM, F. *et al.* **Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview.** *J. Petrol. Sci. Eng.* 26, 169-178. 2000.

NAKHLA, G. **Biokinetic modeling of in situ bioremediation of BTX compounds - impact of process variable and scaleup implications.** *Water Research*, v. 37, n. 6, p. 1296–1307, 2003.

OLIVEIRA, L. I.; LOUREIRO, C. O. **Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação preliminar.** *Águas Subterrâneas*, n. 1, 1998. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22287/14630>>. Acesso em janeiro 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **O direito humano à água e saneamento.** 2010. Disponível em: https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf Acesso em: 13 jan 2020.

PEDROSA, T. R. M. A. M. *et al.* 2006. **Caracterização de plumas contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método Radar de Penetração do Solo (GPR).** *Revista de Geologia* 19: 73-86.

PORTO, D. C. **Investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleo combustível: estudo de caso em Ribeirão Preto (SP) – Empresa Viação Garcia.** 2014. 53 f. Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11931/3/LD_COEAM_2014_2_05.pdf> Acesso em: 20 jan. 2019.

POTTER, T. L. **Analysis of Petroleum Contaminated.** In: Calabrese, E. J.; Kostecki, P. T. *Principles and practices for petroleum contaminated soils.* Routledge; 1ª ed. 2019. 668.

QUINTÃO, R. **Estudo comparativo da distribuição de hidrocarbonetos em amostras de sedimentos de rio por cromatografia a gás com detector por ionização em chama.** 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

REDDY C. M. *et al.* **Composition and fate of gas and oil released to the water column during the Deepwater Horizon oil spill.** *Proc. Natl Acad. Sci.* 109 (50) 20229–20234. 2012.

RICCARDI, C. *et al.* **Characterization and distribution of petroleum hydrocarbons and heavy metals in groundwater from three Italian tank farms.** *Science of the total Environment*, v. 393, n. 1, p. 50-63, 2008.

RODRIGUES, G. M. A. **Atividade de armazenamento e distribuição de combustível nos centros urbanos: os postos de combustíveis e a saúde pública**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 88p.

SAARI, E. **Towards minimizing measurement uncertainty in total petroleum hydrocarbon determination by gc-fid**. Acta Univ. Oul. A. v. 544, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento. Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto, 2021. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em 20 de fev de 2022.

SOARES, M. D. R. *et al.* **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por postos de revendas de combustíveis**. X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Fortaleza, CE. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 2019. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/XI-083.pdf> Acesso em: 10 abr 2021.

SPECK, V. **Avaliação ecotoxicológica de água subterrânea contaminada por hidrocarbonetos derivados de petróleo: uma contribuição ao processo legal de licenciamento**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de pós-graduação em Perícias Criminais Ambientais. Florianópolis, 2019. 154p.

TERAMOTO, E. H. *et al.* **Simulações da migração de plumas dissolvidas de compostos BTEX geradas por LNAPL trapeado**. Águas Subterrâneas, 33(3), 280–291. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i3.29529> Acesso em: 03 de mar de 2022.

TONGO I, OGBEIDE O, EZEMONYE L. **Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria**. Toxicol Rep 4:55–61. 2017

TUNSARINGKARN T. *et al.* **Occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds in Bangkok, Thailand**. Int. J. Occup. Environ. Med. 3 117–125. 2012.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2013. **Drinking water contaminants**. Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/> Acesso em 13 de mar 2021.

UMBUZEIRO, G. A. **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo: Limiar, 2012. Disponível em: <https://www.abas.org/arquivos/guiapotabilidade.pdf> Acesso em 10 jun 2020.

UMBUZEIRO, G. A. *et al.* **Toxicologia, padrões de qualidade de água e a legislação**. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, São Paulo, v.5, n.1, Resenha, jan./abr. 2010.

UNITED NATIONS WATER (UN-WATER) (Coord). **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: Relatório-síntese 2018 sobre Água e Saneamento**. Resumo Executivo. Unesco: Brasil. 2018.

USEPA - Environmental Protection Agency. **How to effectively recover free product at leaking underground storage tanks sites – a guide for state regulators**. Washington, 1996. 165 p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/fprg.pdf> Acesso em 05 jun de 2020.

USEPA, 2003. **Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: PAH Mixtures** U. S. Environmental Protection Agency Region sand Office of Science and Technology. Washington. Disponível em http://www.epa.gov/nheerl/download_files/publications/PAHESB.pdf . Acesso em: 02 de nov 2020.

VARJANI, S. J. **Microbial degradation of petroleum hydrocarbons**. Bioresource Technol. 223, 277-286. 2017.

VIVIAN, R. B. **Análise de contaminação em solo e água subterrânea por hidrocarbonetos derivados de petróleo**. 113p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7649/VIVIAN%2c%20RAFAEL%20BITENCOURT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

WANG Z. *et al.* **Characteristics of spilled oils, fuels, and petroleum products: 1. composition and properties of selected oils**. United States Environmental Protection Agency. Report No.: EPA/600/R 03/072, 2003.

WHO. **World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality**. Geneva: WHO. Fourth edition. 2011. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> Acesso em: 13 de dez de 2021.

ZAMBIANCHI, R. **Gerenciamento integrado em um posto de combustível. Trabalho de Conclusão de Curso**. Especialização (lato sensu) em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. UNESP, Ourinhos/SP. 2016. 119p.

ZHANG Y. *et al.* **Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China**. J. Environ. Sci. 24. 2012.

APÊNDICE A: Classificação de risco de contaminação por HP dos usos insignificantes da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificaç ão de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
7965			2	1					3	Santa Bárbara
8062								2	2	Santa Bárbara
8386			2	1					3	Barão de Cocais
8392				1					1	Rio Piracicaba
8890		3	2	1					6	São Domingos do Prata
8907			2	1					3	São Domingos do Prata
8910			2	1					3	São Domingos do Prata
8930			2	1					3	São Domingos do Prata
8959				1					1	São Domingos do Prata
9165				1				2	3	João Monlevade
9218			2	1		6	4	2	15	João Monlevade
9219			2	1		6	4	2	15	João Monlevade
9224		3	2	1					6	João Monlevade
9517			2	1					3	João Monlevade
9559		3	2	1					6	João Monlevade
9593			2	1			4	2	9	João Monlevade
9634			2	1					3	João Monlevade
9640			2	1					3	João Monlevade
9643			2	1					3	João Monlevade
9650				1					1	João Monlevade
9655			2	1					3	João Monlevade
9672							4	2	6	João Monlevade
9697				1				2	3	João Monlevade
9703			2	1					3	João Monlevade

APÊNDICE A (Continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos usos insignificantes da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
12189			2	1					3	Timóteo
12190			2	1					3	Timóteo
12192			2	1					3	Timóteo
12193			2	1					3	Timóteo
12194			2	1					3	Timóteo
12210		3	2	1					6	Timóteo
12215				1					1	Timóteo
12301				1					1	Timóteo
12320			2	1					3	Timóteo
12625				1					1	Timóteo
12707			2	1					3	Timóteo
12708			2	1					3	Timóteo
12709		3	2	1					6	Timóteo
12711		3	2	1					6	Timóteo
12714		3	2	1					6	Timóteo
12736			2	1					3	Timóteo
12789	4	3	2	1					10	Timóteo
12802			2	1					3	Timóteo
12811				1					1	Timóteo
12973			2	1					3	Coronel Fabriciano
12988			2	1					3	Coronel Fabriciano

APÊNDICE A (Continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos usos insignificantes da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
13003		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
13017			2	1					3	Coronel Fabriciano
13029				1					1	Coronel Fabriciano
13056			2	1					3	Coronel Fabriciano
13165						6	4	2	12	Coronel Fabriciano
13169						6	4	2	12	Coronel Fabriciano
13247	4	3	2	1					10	Coronel Fabriciano
13259		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
13291		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
13292		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
13293		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
13295				1					1	Coronel Fabriciano
13306				1					1	Coronel Fabriciano
13320				1					1	Ipatinga
13344			2	1					3	Coronel Fabriciano
13700			2	1					3	Ipatinga
13744				1					1	Ipatinga
13773		3	2	1					6	Ipatinga
13777				1					1	Ipatinga
13778				1					1	Ipatinga
13780		3	2	1					6	Ipatinga
13781				1					1	Ipatinga
13789		3	2	1					6	Ipatinga

APÊNDICE A (Continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos usos insignificantes da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
13794			2	1					3	Ipatinga
13831		3	2	1					6	Ipatinga
13842				1					1	Ipatinga
13853			2	1					3	Ipatinga
13871			2	1					3	Ipatinga
13889			2	1					3	Ipatinga
13893				1					1	Ipatinga
13899			2	1					3	Ipatinga
13909				1					1	Ipatinga
13910			2	1					3	Ipatinga
13918								2	2	Ipatinga
13920								2	2	Ipatinga
13928			2	1					3	Ipatinga
13948				1					1	Ipatinga
13950		3	2	1					6	Ipatinga
13967			2	1				2	5	Ipatinga
13974		3	2	1					6	Ipatinga
13979			2	1					3	Ipatinga
13991				1					1	Ipatinga
13994			2	1				2	5	Ipatinga
14000			2	1			4	2	9	Ipatinga
14027				1					1	Ipatinga
14038				1					1	Ipatinga

APÊNDICE A (Continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos usos insignificantes da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
14069				1					1	Ipatinga
14254			2	1					3	Ipatinga
14450				1					1	Ipatinga
14451				1					1	Ipatinga
14468				1					1	Ipatinga

APÊNDICE B: Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
3544				1					1	Timóteo
3672				1					1	Coronel Fabriciano
4022		3	2	1					6	Ipatinga
4056			2	1					3	Coronel Fabriciano
4268			2	1					3	Ipatinga
5561						6	4	2	12	Coronel Fabriciano
5969			2	1					3	Santa Bárbara
5993				1					1	Ipatinga
6354		3	2	1					6	Nova Era
6846				1					1	Ipatinga
7662			2	1					3	Timóteo
8796		3	2	1					6	Timóteo
8937		3	2	1					6	Timóteo
12187				1					1	Coronel Fabriciano
14885				1					1	Ipatinga
16809			2	1					3	Ipatinga
16937			2	1					3	Timóteo
17095		3	2	1					6	Timóteo
17714		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
18619			2	1					3	Ipatinga
19283			2	1					3	Nova Era

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
19394		3	2	1					6	Nova Era
21012			2	1			4	2	9	Ipatinga
27601			2	1					3	Ipatinga
27648		3	2	1					6	Ipatinga
30826	4	3	2	1					10	Timóteo
32466				1					1	Ipatinga
32615				1					1	Ipatinga
34243				1					1	Ipatinga
35543			2	1					3	Coronel Fabriciano
35629			2	1					3	São Domingos do Prata
36156			2	1					3	Timóteo
36220			2	1					3	Timóteo
36309				1					1	Ipatinga
37405		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
37409		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
37469				1					1	Ipatinga
37631		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
37832			2	1					3	Timóteo
37898			2	1					3	Timóteo
38539				1					1	Ipatinga
38571			2	1		6	4	2	15	João Monlevade

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
39467			2	1					3	João Monlevade
39559		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
41638			2	1					3	João Monlevade
41792			2	1					3	Timóteo
42598			2	1					3	Ipatinga
42791		3	2	1					6	São Domingos do Prata
43066				1					1	Ipatinga
44758				1					1	Bom Jesus do Amparo
45424			2	1		6	4	2	15	João Monlevade
45479			2	1		6	4	2	15	João Monlevade
47745			2	1					3	Antônio Dias
47815								2	2	Santa Bárbara
48389				1					1	João Monlevade
50827			2	1					3	Coronel Fabriciano
52631						6	4	2	12	Coronel Fabriciano
57597				1					1	Ipatinga
60136				1					1	Ipatinga
64587		3	2	1					6	Ipatinga
65597			2	1				2	5	Ipatinga
67567				1					1	Bom Jesus do Amparo
68291			2	1					3	Barão de Cocais

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
70562			2	1					3	Coronel Fabriciano
70450				1					1	João Monlevade
70457			2	1					3	São Domingos do Prata
70490			2	1					3	Timóteo
70494				1					1	São Domingos do Prata
70506			2	1					3	Timóteo
70520	4	3	2	1					10	Ipatinga
70562			2	1					3	Coronel Fabriciano
70599				1					1	Bom Jesus do Amparo
70625				1					1	Itabira
70654			2	1					3	Jaguaraçu
70656		3	2	1					6	Bom Jesus do Amparo
70683				1					1	Ipatinga
70712			2	1					3	Timóteo
70713				1					1	Timóteo
70760		3	2	1					6	Ipatinga
70798		3	2	1					6	Ipatinga
70802			2	1					3	Timóteo

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
70803				1					1	Ipatinga
70913				1					1	Coronel Fabriciano
70927		3	2	1					6	Timóteo
70928			2	1					3	Coronel Fabriciano
70940			2	1				2	5	João Monlevade
70955			2	1					3	Itabira
70964				1					1	Jaguaraçu
70978			2	1					3	Timóteo
71035			2	1					3	João Monlevade
71036				1					1	João Monlevade
71060			2	1					3	Ipatinga
71104		3	2	1					6	João Monlevade
71143				1					1	Ipatinga
71159		3	2	1					6	Ipatinga
71181				1				2	3	João Monlevade
71196			2	1					3	Timóteo
71213				1					1	João Monlevade
71228				1					1	Rio Piracicaba
71229			2	1					3	Nova Era
71230		3	2	1					6	Nova Era
71278			2	1					3	Ipatinga

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
71284				1					1	Ipatinga
71287			2	1					3	Nova Era
71290			2	1					3	São Domingos do Prata
71291			2	1					3	São Domingos do Prata
71293			2	1					3	São Domingos do Prata
71322			2	1					3	Ipatinga
71330				1					1	São Domingos do Prata
71352			2	1					3	João Monlevade
71469				1					1	Timóteo
71547		3	2	1					6	Ipatinga
71617		3	2	1					6	João Monlevade
71652			2	1					3	São Domingos do Prata
71664		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
71665		3	2	1					6	Timóteo
71724				1					1	Timóteo
71741		3	2	1					6	Timóteo
71762				1					1	Ipatinga
71764				1					1	Ipatinga
71765				1					1	Ipatinga
71766			2	1					3	Ipatinga
71811				1					1	Timóteo

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
71832			2	1					3	Itabira
71867				1					1	Ipatinga
71879			2	1				2	5	São Gonçalo do Rio Ab.
71895		3	2	1					6	Barão de Cocais
71960			2	1					3	Coronel Fabriciano
71972		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
71973			2	1					3	Ipatinga
71981			2	1					3	Timóteo
71988		3	2	1					6	João Monlevade
71990			2	1					3	Barão de Cocais
71998		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
72000				1					1	Coronel Fabriciano
72002			2	1					3	Coronel Fabriciano
72004		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
72012				1					1	Coronel Fabriciano
72014				1					1	Coronel Fabriciano
72019			2	1					3	Coronel Fabriciano
72023				1					1	Coronel Fabriciano
72026				1					1	Coronel Fabriciano
72063				1					1	São Domingos do Prata
72078		3	2	1					6	Ipatinga

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
72082				1					1	Santa Bárbara
72113		3	2	1					6	Ipatinga
72140		3	2	1					6	Ipatinga
72163		3	2	1					6	Timóteo
72173			2	1					3	Coronel Fabriciano
72184			2	1					3	Ipatinga
72207				1					1	Coronel Fabriciano
72223		3	2	1					6	Nova Era
72229				1					1	João Monlevade
72260				1					1	Ipatinga
72286				1					1	Timóteo
72308		3	2	1					6	Itabira
72335				1					1	Itabira
72352					8	6	4	2	20	Coronel Fabriciano
72376				1				2	3	Itabira
72379				1					1	Ipatinga
72382				1					1	Ipatinga
72401				1					1	Itabira
72410			2	1					3	Coronel Fabriciano
72439				1					1	Timóteo
72477		3	2	1					6	Ipatinga

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
72603			2	1					3	Coronel Fabriciano
72483			2	1					3	Barão de Cocais
72514		3	2	1					6	Jaguaraçu
72568				1					1	Itabira
72569				1					1	Ipatinga
72590			2	1					3	Ipatinga
72596				1					1	Coronel Fabriciano
72597			2	1					3	Bom Jesus do Amparo
72599				1					1	Ipatinga
72600			2	1					3	São Gonçalo do Rio Ab.
72603			2	1					3	Coronel Fabriciano
72620			2	1					3	Timóteo
140041		3	2	1					6	João Monlevade
143429		3	2	1					6	Barão de Cocais
165531		3	2	1			4	2	12	Santa Bárbara
166100			2	1					3	Barão de Cocais
167473			2	1					3	São Domingos do Prata
167938			2	1			4	2	9	São Gonçalo do Rio Ab.
167951		3	2	1		6	4	2	18	João Monlevade
168414				1					1	João Monlevade
168482				1					1	João Monlevade

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
168487				1					1	João Monlevade
168528			2	1					3	João Monlevade
169463			2	1					3	Nova Era
169761		3	2	1					6	Nova Era
169783			2	1					3	Nova Era
172188		3	2	1					6	Itabira
172189				1					1	Itabira
172625							4	2	6	Itabira
172626				1			4	2	7	Itabira
173321				1					1	Jaguaraçu
173415				1					1	Timóteo
173532			2	1					3	Timóteo
173665			2	1					3	Timóteo
174148			2	1					3	Timóteo
174263				1					1	Timóteo
174338			2	1					3	Timóteo
174342		3	2	1					6	Timóteo
174349		3	2	1					6	Timóteo
174354		3	2	1					6	Timóteo
174357		3	2	1					6	Timóteo
174407			2	1					3	Timóteo

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
174428				1					1	Timóteo
174477				1					1	Timóteo
174506			2	1					3	Timóteo
174729				1					1	Timóteo
174779				1					1	Coronel Fabriciano
174843			2	1					3	Coronel Fabriciano
174874				1					1	Coronel Fabriciano
175018				1					1	Coronel Fabriciano
175134		3	2	1					6	Ipatinga
175151				1					1	Coronel Fabriciano
175185		3	2	1					6	Coronel Fabriciano
175205			2	1					3	Coronel Fabriciano
175206				1					1	Ipatinga
175382				1					1	Ipatinga
175786				1					1	Ipatinga
175787				1					1	Ipatinga
175859		3	2	1					6	Ipatinga
175916			2	1					3	Ipatinga
175951		3	2	1					6	Ipatinga
175963			2	1					3	Ipatinga

APÊNDICE B (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP das outorgas de uso da água para consumo humano identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco	Município de localização da Outorga
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m		
176018			2	1					3	Ipatinga
176083		3	2	1					6	Ipatinga
176108			2	1					3	Ipatinga
176119			2	1			4	2	9	Ipatinga
176250			2	1					3	Ipatinga
176303				1					1	Ipatinga
176534				1					1	Ipatinga

APÊNDICE C: Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2070				1				2	3
29260	4	3	2	1				2	12
56531			2	1					3
60790				1					1
60984				1					1
78038								2	2
91507		3	2	1					6
97793	4	3	2	1					10
127206		3	2	1					6
137031			2	1					3
148163		3	2	1		6	4	2	18
161968				1					1
191806			2	1					3
220511				1					1
231863			2	1					3
231864			2	1					3
234869			2	1					3
234870			2	1					3
234871			2	1					3
313244				1					1
313798			2	1			4	2	9
314107	4	3	2	1		6	4	2	22
314110			2	1			4	2	9

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2070				1				2	3
363507		3	2	1				2	8
381827				1					1
382010				1					1
382012		3	2	1					6
382013	4	3	2	1					10
382015		3	2	1					6
382016			2	1					3
382017			2	1					3
382018		3	2	1					6
382019		3	2	1					6
382022			2	1			4	2	9
382025				1					1
384495			2	1					3
384545				1					1
394477		3	2	1					6
462469	4	3	2	1					10
465675		3	2	1					6
481736			2	1					3
487979				1					1
518113			2	1					3
543769				1					1

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
558104		3	2	1					6
593448				1					1
598947		3	2	1			4	2	12
602963			2	1					3
605855				1					1
605856				1					1
605857			2	1					3
610208				1					1
620403			2	1					3
630912				1					1
632989		3	2	1					6
632990		3	2	1					6
651553				1					1
652778				1					1
657444		3	2	1				2	8
674796		3	2	1					6
687085				1					1
698219				1					1
721492			2	1					3
722997		3	2	1					6
726872				1					1
738989			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
748990			2	1					3
750971				1					1
798345		3	2	1				2	8
798402				1					1
799717				1					1
853629				1					1
870542		3	2	1					6
879891			2	1					3
884146			2	1					3
889035		3	2	1					6
891397				1			4	2	7
893742	4	3	2	1					10
896256		3	2	1				2	8
902323		3	2	1					6
906571				1					1
909024				1					1
914376			2	1					3
929949				1					1
978599				1					1
992428				1					1
1016749			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
1016762				1					1
1016782				1					1
1016857	4	3	2	1					10
1032282			2	1					3
1035448			2	1					3
1052755	4	3	2	1					10
1054671		3	2	1					6
1068317			2	1					3
1090846	4	3	2	1					10
1096909			2	1					3
1100853				1					1
1112942			2	1			4	2	9
1114787		3	2	1					6
1126355				1					1
1128465			2	1					3
1139520				1					1
1149411			2	1				2	5
1161859				1					1
1186614		3	2	1					6
1186636				1					1
1186904			2	1					3
1186931		3	2	1					6

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
1193418		3	2	1				2	8
1196377				1					1
1200515			2	1					3
1212719			2	1					3
1216346				1					1
1233596				1					1
1271098				1					1
1273255		3	2	1					6
1284265			2	1					3
1309005			2	1					3
1318525				1				2	3
1335605				1					1
1362652		3	2	1					6
1383456				1					1
1384160				1					1
1391728				1					1
1403246				1					1
1422246		3	2	1			4	2	12
1428511				1					1
1430877			2	1					3
1433393			2	1					3
1434939		3	2	1					6

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
1434940		3	2	1		6	4	2	18
1434949				1					1
1434952				1					1
1434959				1					1
1435093			2	1					3
1435129			2	1					3
1435189			2	1					3
1435241								2	2
1437259	4	3	2	1					10
1477825			2	1					3
1481493				1					1
1491814				1					1
1497928				1					1
1497947				1					1
1497982				1					1
1528868		3	2	1					6
1534464			2	1					3
1540657			2	1					3
1555508			2	1					3
1587231			2	1					3
1600672				1					1

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
1611484				1					1
1612182				1					1
1638971			2	1					3
1641589			2	1					3
1650692				1					1
1659241		3	2	1					6
1664257				1					1
1664684			2	1					3
1683239			2	1					3
1684458				1					1
1688073			2	1					3
1692750			2	1					3
1695962	4	3	2	1			4	2	16
1708013		3	2	1		6	4	2	18
1713469				1					1
1722801			2	1					3
1738025		3	2	1					6
1740762				1					1
1740950				1					1
1746575		3	2	1					6
1755101		3	2	1		6	4	2	18
1765346			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
1772674				1					1
1790733				1					1
1793528			2	1					3
1820337			2	1					3
1823078		3	2	1					6
1829024				1					1
1829549				1					1
1856672	4	3	2	1				2	12
1862996		3	2	1					6
1865335			2	1				2	5
1894445				1					1
1895981		3	2	1					6
1919160			2	1					3
1933661			2	1					3
1965260	4	3	2	1					10
1973930		3	2	1					6
1979216			2	1					3
1986849				1				2	3
1987166			2	1				2	5
1995488		3	2	1					6
1998224				1					1
2007718				1				2	3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2009017			2	1					3
2011669				1					1
2014044				1					1
2014845		3	2	1					6
2020371			2	1					3
2048371				1			4	2	7
2062104				1				2	3
2083172				1					1
2090230			2	1					3
2107762			2	1					3
2112077				1					1
2121487	4	3	2	1					10
2128197			2	1					3
2129765				1				2	3
2142012				1				2	3
2147405	4	3	2	1					10
2152307			2	1					3
2164180			2	1					3
2169680			2	1					3
2171829				1					1
2171837			2	1					3
2171886		3	2	1					6

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2241190		3	2	1					6
2171891				1					1
2186873			2	1					3
2188298								2	2
2206976		3	2	1					6
2210704		3	2	1			4	2	12
2214031				1					1
2220001				1				2	3
2240474	4	3	2	1					10
2240751			2	1					3
2241061				1					1
2241190		3	2	1					6
2241191			2	1					3
2245499		3	2	1					6
2260567			2	1					3
2269423			2	1					3
2273885		3	2	1					6
2283576			2	1					3
2283593				1					1
2283663	4	3	2	1					10
2283664			2	1					3
2283665			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2283697		3	2	1					6
2283701			2	1					3
2309271			2	1					3
2322790				1					1
2333722			2	1					3
2339590				1		6	4	2	13
2341503			2	1					3
2341893		3	2	1					6
2346931		3	2	1			4	2	12
2369190			2	1				2	5
2369222	4	3	2	1			4	2	16
2421111			2	1					3
2430166				1		6	4	2	13
2439311				1					1
2456989				1					1
2486889				1					1
2490227				1					1
2499324	4	3	2	1			4	2	16
2500427			2	1					3
2501989				1					1
2508176				1		6	4	2	13
2514948				1				2	3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2523712			2	1					3
2554054		3	2	1					6
2573097		3	2	1					6
2573332		3	2	1					6
2588042				1					1
2605418				1					1
2605419		3	2	1					6
2610067			2	1					3
2616399		3	2	1	8	6	4	2	26
2634773				1				2	3
2640529				1					1
2643667				1					1
2662185				1					1
2673377				1					1
2673426				1					1
2673463		3	2	1					6
2674464								2	2
2674465								2	2
2680874			2	1					3
2703852			2	1					3
2703994			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2711497			2	1					3
2719056			2	1					3
2723932			2	1					3
2726869				1					1
2733399		3	2	1					6
2735493	4	3	2	1					10
2737170			2	1					3
2738951				1					1
2742514			2	1					3
2750124			2	1					3
2774024			2	1					3
2777998		3	2	1					6
2788264		3	2	1					6
2788768			2	1					3
2813050	4	3	2	1					10
2818141				1					1
2826429			2	1					3
2873645		3	2	1					6
2884873				1					1
2885026			2	1					3
2910305			2	1					3
2917393			2	1					3

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
2933444				1				2	3
2933458				1		6	4	2	13
2933459				1		6	4	2	13
2964934				1					1
3019906				1					1
3028170				1				2	3
3033486								2	2
3033639				1					1
3034438				1					1
3049391				1					1
3051170	4	3	2	1					10
3051183				1					1
3051184				1				2	3
3051202			2	1					3
3051244				1					1
3051257		3	2	1		6	4	2	18
3051271				1				2	3
3054153			2	1					3
3064217				1					1
3074061	4	3	2	1					10
3076311		3	2	1					6
3115803		3	2	1					6

APÊNDICE C (continuação): Classificação de risco de contaminação por HP dos cursos d'água para superficiais identificados na amostragem. As classes de risco são: até 3 pontos – baixo risco; entre 4 e 6 pontos – médio risco; acima de 6 pontos – alto risco.

Código IGAM	Buffer em torno de postos de combustíveis e afins				Buffer em torno das áreas contaminadas				Classificação de risco
	40m	150m	300m	500m	40m	150m	300m	500m	
3249786		3	2	1					6
3135322		3	2	1		6	4	2	18
3148421	4	3	2	1					10
3150183	4	3	2	1					10
3179204	4	3	2	1					10
3184117			2	1					3
3184135			2	1					3
3184165			2	1					3
3194306				1					1
3201126	4	3	2	1		6	4	2	22
3214059				1				2	3
3223303		3	2	1				2	8
3226353				1					1
3226354				1					1
3226355	4	3	2	1					10
3242766				1				2	3
3243263		3	2	1		6	4	2	18
3249786		3	2	1					6
3249894	4	3	2	1					10
3262153	4	3	2	1					10

APÊNDICE D: Áreas contaminadas por HP oriundos de postos de combustíveis e afins na CH DO2 no período de 2014 a 2020, segundo dados da FEAM.

Ano	Município	X	Y	Nome do Empreendimento	Classificação	Etapa	Fonte de contaminação:	Meios Impactados	Contaminantes	Fase Livre?	Situação
2014	Catas Altas	-43.4027	-20.1139	POSTO MARTINS	ACI - Área Contaminada sob Intervenção	Intervenção/Remediação	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	Removida
2014	Coronel Fabriciano	-42.6413	-19.5136	VIAÇÃO SÃO ROQUE	AI - Área Contaminada sob Investigação	Investigação Confirmatória	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2014	Ipatinga	-42.5592	-19.4643	AUTO POSTO MAGALHAES & CIA LTDA - POSTO CENTRAL 10	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2014	Itabira	-43.2354	-19.6398	POSTO CAMPESTRE ITABIRA	AI - Área Contaminada sob Investigação	Investigação Confirmatória	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2014	João Monlevade	-43.1695	-19.8348	COMÉRCIO COMBUSTÍVEL MONLEVADÉ (EX POSTO MACHADÃO)	ACI - Área Contaminada sob Intervenção	Investigação Detalhada/ Avaliação de Risco	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Sim	Não removida

2014	João Monlevade	-43.1869	-19.8101	EMPREENHIMENTO SANTO EXPEDITO - POSTO MACHADÃO II	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	Removida
2014	João Monlevade	-43.1853	-19.8384	POSTO LULU	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2014	Nova Era	-43.0288	-19.7588	POSTO E CASA MUZZI	ACI - Área Contaminada sob Intervenção	Investigação Detalhada/ Avaliação de Risco	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	Removida
2014	Santa Bárbara	-43.4094	-19.9613	MARIA JOSÉ SANTOS PENA - COMERCIAL PENA	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2014	São G.R Abaixo	-43.3481	-19.835	COMERCIAL MAPES DE COMBUSTÍVEL - POSTO RECREIO	AI - Área Contaminada sob Investigação	Investigação Confirmatória	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2015	Ipatinga	-42.5547	-19.4581	POSTO PINHEIRO E CARVALHO LTDA	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	Removida

2015	João Monlevade	-43.1696	-19.8346	EMPREENHIMENTOS SANTO EXPEDITO LTDA - ME - POSTO MACHADÃO II	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	Removida
2015	Nova Era	-43.0136	-19.7289	POSTO E CASA MUZZI LTDA - POSTO ESPERANÇA	ACI - Área Contaminada sob Intervenção	Intervenção/Remediação	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Sim	Em processo de remoção
2015	Santa Bárbara	-43.4094	-19.9613	COMERCIAL SANTA BARBARA DE COMBUSTIVEIS AUTOMOTIVOS LTDA - POSTO H7	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Hidrocarbonetos	Não	-
2016	João Monlevade	-43.1311	-19.8402	POSTO GIRA SOL 3 (EX IRMÃOS JORGE)	AI - Área Contaminada sob Investigação	Investigação Confirmatória	Vazamento ou Infiltração	Solo	Benzeno; Tolueno	Não	-
2017	Itabira	-43.2262	-19.6255	ARAÚJO HIPERMERCADO S/A - POSTO ARAÚJO	ACI - Área Contaminada sob Intervenção	Investigação Detalhada/Avaliação de Risco	Vazamento ou Infiltração	Água Subterrânea	Benzeno	Não	-
2018	Itabira	-43.2272	-19.617	POSTO CAMPESTRE ITABIRA - MATRIZ	AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação	Monitoramento para reabilitação	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Benzeno; Etilbenzeno; Naftaleno; TPH (Hidrocarbonetos Totais de petróleo)	Não	-

2020	João Monlevade	-43.1559	-19.814	POSTO LONGANA LTDA. - POSTO LONGANA	AI - Área Contaminada sob Investigação	Investigação Detalhada/ Avaliação de Risco	Vazamento ou Infiltração	Solo, Água Subterrânea	Benzeno, Xilenos	Não	
------	----------------	----------	---------	-------------------------------------	--	--	--------------------------	------------------------	------------------	-----	--