



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE ÁREA
CONTAMINADA EM USINA TERMELÉTRICA, LOCALIZADA EM MINAS
GERAIS, BRASIL**

Fábio Henriques Fernandes

Belo Horizonte

2023

Fábio Henriques Fernandes

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE ÁREA
CONTAMINADA EM USINA TERMELÉTRICA, LOCALIZADA EM MINAS
GERAIS, BRASIL**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista**

Orientador: Prof. Dr. Evandro Carrusca de Oliveira

Coorientador: Me. João Pedro Machado de Lima

Belo Horizonte

2023

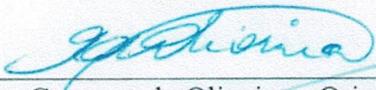
FÁBIO HENRIQUES FERNANDES

**AValiação DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE ÁREA CONTAMINADA
EM USINA TERMELÉTRICA, LOCALIZADA EM MINAS GERAIS, BRASIL**

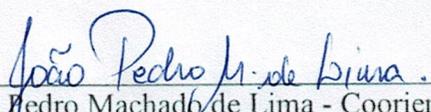
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de Aprovação: 23 / 06 / 2023

Banca Examinadora:



Evandro Carrusca de Oliveira – Orientador e Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG



João Pedro Machado de Lima - Coorientador
MSc. Analista Ambiental na CLAM Meio Ambiente



Daniel Brianezi
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG



Gilberto Cifuentes Dias Araújo
Prof. MSc. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à minha família pelo suporte para que fosse possível realizar a conclusão da graduação. Em especial aos meus pais, Maria do Carmo e José Luiz, por sempre me incentivarem a valorizar minha formação educacional.

Agradeço também ao professor Dr. Evandro Carrusca e ao meu colega de trabalho Me. João Pedro Machado de Lima por toparem me orientar ao longo desse ano de pesquisa com paciência, disponibilidade e bons direcionamentos. Aos professores Dr. Daniel Brianezi e Dr. Gilberto Cifuentes Dias Araújo, pela cortesia de aceitarem compor a banca avaliadora.

Por fim, agradeço aos colegas de curso com quem convivi durante os últimos anos, pelo companheirismo e pelas trocas de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como profissional.

RESUMO

FERNANDES, Fábio Henriques. Avaliação do processo de Gerenciamento de Área Contaminada em usina termelétrica, localizada em Minas Gerais, Brasil. 2023. 65 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

À medida que os processos industriais foram sendo consolidados, houve o consequente aumento no uso de insumos e na geração de substâncias residuais, tornando-se geradoras de contaminações nos diversos compartimentos do meio ambiente. O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) é estabelecido, então, como um conjunto de processos visando à mitigação de impactos negativos relacionados à saúde humana, ao meio ambiente e aos ecossistemas. Com o objetivo de analisar as técnicas, metodologias adotadas e os desafios nos procedimentos de GAC, foram levantados dados secundários referentes ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas nas esferas nacional e estadual, além de construídas análises relativas aos dados de relatórios produzidos por empresas de consultoria ambiental para uma Usina Termelétrica (UTE) sobre a investigação da ocorrência de passivo ambiental na área do empreendimento. Observou-se que é nítida a morosidade e desigualdade na qual acontece o desenvolvimento de metodologias e regulamentações envolvendo as áreas contaminadas, em termos de regulamentação. Em relação aos desafios relacionados aos trabalhos de Investigação Ambiental, destaca-se que como são usualmente realizados por empresas de consultoria ambiental, atravessam questões econômicas, de logística e também de qualificação profissional. Acerca do estudo de caso, pode ser observado que o GAC atuou como instrumento importante para controle ambiental da área de um empreendimento com risco alto de contaminação ambiental. Portanto, a presente pesquisa evidenciou o contexto do GAC em relação ao seu histórico e a importância à qual se deu seu surgimento, os aspectos legais envolvidos, as técnicas recomendadas pelas normas e a aplicação de parte desses conceitos em um estudo de caso desenvolvido numa usina termelétrica.

Contaminação. Controle Ambiental. Impacto ambiental.

ABSTRACT

FERNANDES, Fábio Henriques. Assessment of the Contaminated Area Management process in a thermal power plant located in Minas Gerais, Brazil. 2023. 65 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

As industrial processes were being consolidated, there was a consequent increase in the use of inputs and the generation of residual substances, which became sources of contamination in various compartments of the environment. The Management of Contaminated Area is established as a set of processes aiming to mitigate impacts related to human health, the environment, and ecosystems. In order to analyze the techniques, methodologies, and challenges in the management of contaminated area procedures, secondary data were collected regarding the subject at the national and state levels. Furthermore, analyses were conducted based on reports produced by environmental consulting firms for a thermal power plant regarding the investigation of environmental liabilities. It was observed that there is a clear slowness and inequality in the development of methodologies and regulations involving contaminated areas, in terms of national regulation. Regarding the challenges related to Environmental Investigation work, it is worth noting that since they are usually carried out by environmental consulting firms, they face economic, logistical, and professional qualification issues. As for the case study, it can be observed that the management acted as an important tool for environmental control in an area with a high risk of environmental contamination. Therefore, this research highlighted this context in terms of its history and the importance attributed to its emergence, the legal aspects involved, the techniques recommended by standards, and the application of some of these concepts in a case study conducted at a thermal power plant.

Contamination. Environmental control. Environmental impact.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	Histórico do Gerenciamento de Áreas Contaminadas no mundo	17
3.2	Arcabouço legal brasileiro	19
<i>3.2.1</i>	<i>Legislações Nacionais</i>	<i>19</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Legislações estaduais de Minas Gerais</i>	<i>20</i>
3.3	Panorama do Gerenciamento de Áreas Contaminadas em âmbito nacional e em Minas Gerais	21
3.4	Etapas do processo de investigação ambiental	26
<i>3.4.1</i>	<i>Avaliação Preliminar</i>	<i>26</i>
<i>3.4.2</i>	<i>Investigação Confirmatória</i>	<i>30</i>
<i>3.4.3</i>	<i>Modelo Conceitual</i>	<i>34</i>
3.5	Desafios envolvidos nos trabalhos de investigação ambiental	36
3.6	Contexto das Termelétricas no GAC	38
4	METODOLOGIA	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Apresentação do banco de dados	41
5.2	Caracterização ambiental da área de estudo	44
<i>5.2.1</i>	<i>Clima</i>	<i>45</i>
<i>5.2.2</i>	<i>Geologia e Hidrogeologia</i>	<i>47</i>
<i>5.2.3</i>	<i>Geomorfologia</i>	<i>48</i>
<i>5.2.4</i>	<i>Hidrologia</i>	<i>49</i>

5.3	Caracterização do empreendimento	50
5.3.1	<i>Processo operacional.....</i>	51
5.3.2	<i>Caracterização do entorno</i>	52
5.4	Análise das etapas da investigação ambiental.....	53
5.4.1	<i>Trabalhos de Avaliação Preliminar e produtos gerados.....</i>	53
5.4.2	<i>Trabalhos de Investigação Confirmatória e produtos gerados</i>	58
5.5	Avaliação do processo em relação à efetividade dos trabalhos de GAC na recuperação da área	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Número de registros de áreas contaminadas entre 2007 e 2022 em Minas Gerais, Brasil.....	22
Figura 3-2 - Áreas contaminadas de acordo com o tipo de atividade em 2022 em Minas Gerais, Brasil.....	23
Figura 3-3 - Quantidade de áreas cadastradas como contaminadas e reabilitadas em 2022 em Minas Gerais, Brasil.	23
Figura 3-4 - Substâncias químicas mais recorrentes em áreas contaminadas.	24
Figura 3-5 - Principais fontes primárias de contaminação.	25
Figura 3-6 - Fluxograma da Avaliação Preliminar proposto pela CETESB.	27
Figura 3-7 - Fluxograma da Avaliação Preliminar proposto na NBR 15.515-1:2021.	28
Figura 3-8 - Fluxograma da Investigação Confirmatória.	31
Figura 3-9 - Fluxograma da Investigação Confirmatória, proposto pela NBR 15.515-2:2011.	32
Figura 5-1 - Linha do tempo evidenciando as datas do acidente e das medidas adotadas.	42
Figura 5-2 - Histórico de uso da área entre 2005 e 2022.....	44
Figura 5-3 - Médias das temperaturas, entre os anos de 1991 e 2010, da estação n° 83587 de Belo Horizonte.....	46
Figura 5-4 - Precipitação mensal acumulada e dos índices médios de umidade atmosférica.	46
Figura 5-5 - Mapa da geologia local.....	47
Figura 5-6 - Mapa da geomorfologia local.....	49
Figura 5-7 - Mapa representativo das estruturas da UTE.....	51
Figura 5-8 - Mapa do entorno da UTE.	52
Figura 5-9 - Pontos de medição de COV.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Etapas do GAC pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas proposto pela CETESB.....	15
Tabela 3-1 - Repertório legal associado à CONAMA nº 420/09 em Investigações Ambientais.	20
Tabela 3-2 - Legislações estaduais relativas ao GAC em Minas Gerais.	20
Tabela 3-3 - Compostos orgânicos e inorgânicos recorrentes em áreas contaminadas.	25
Tabela 5-1 - Banco de dados destacando os documentos consultados.	41
Tabela 5-2 - Estruturas consideradas com potencial contaminação da UTE.....	50
Tabela 5-3 - Características das substâncias de interesse.	54
Tabela 5-4 - Plano de amostragens das áreas indicadas.	55
Tabela 5-5 - Resultados amostragem de COV.	56
Tabela 5-6 - Resumo comparativo dos trabalhos de Avaliação Preliminar.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – Área Contaminada sob Investigação

ACRe – Área Contaminada em Processo de Remediação

ACRi – Área Contaminada com Risco Confirmado

ACRu – Área Contaminada em Processo de Reutilização

AME – Área em Processo de Monitoramento para Encerramento

AP – Áreas com potencial de contaminação

AR – Área Reabilitada para uso declarado

AS – Áreas suspeitas de contaminação

BNDAC – Banco Nacional de Áreas Contaminadas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

GAC – Gerenciamento de Áreas Contaminadas

IAC – Inventário de Áreas Contaminadas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MCA – Modelo conceitual

NBR – Norma Técnica Brasileira

PPM – Parte por milhão

SQI – Substância Química de Interesse

UTE – Usina Termelétrica

COV – sigla em inglês para Compostos Orgânicos Voláteis

1 INTRODUÇÃO

À medida que os processos industriais foram sendo consolidados, com suas produções em larga escala e grandes demandas de recursos naturais, houve o consequente aumento no uso de insumos e na geração de substâncias residuais, tornando-se geradoras de contaminações nos diversos compartimentos do meio ambiente. De acordo com Moraes *et al.* (2014), durante muito tempo, substâncias perigosas eram dispostas em corpos hídricos e diretamente no solo. Entretanto, segundo explicam Canario e Bettine (2020), com o passar dos anos, a sociedade, o poder público e a própria indústria começaram a perceber que havia a necessidade de colocar em prática alterações nos processos com vista à preservação ambiental e à saúde humana.

Nesse contexto de mudança de visão, Silva *et al.* (2018) apontam que, no mundo, as questões ambientais têm sido discutidas partindo de iniciativas governamentais. Dentre elas, é válido destacar a Política Ambiental Americana (NEPA), publicada em 1969; a Conferência sobre o Meio Ambiente das Nações Unidas em Estocolmo, ocorrida em 1972; o Relatório Nosso Futuro Comum, publicado em 1987, produto do trabalho realizado pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento; e a Conferência sobre o Meio Ambiente das Nações Unidas no Rio de Janeiro, em 1992.

No Brasil, o desenvolvimento industrial, desencadeado nos anos de 1950, acarretou no desenvolvimento de diversos tipos de passivos ambientais, como contaminações por substâncias químicas cada vez mais nocivas à saúde humana (CETESB/GTZ, 2021). Em função do avanço no setor industrial, teve-se consequente geração de resíduos tanto dos próprios processos produtivos quanto do uso dos recursos, o que passou a ser uma fonte de geração de contaminações e passivos ambientais.

Segundo a versão de 2020 do Programa Nacional de Áreas Contaminadas, a partir da comprovação de qualquer contaminação em uma área de interesse, entende-se que houve geração de passivo ambiental na área (BRASIL, 2020). Romagnoli *et al.* (2021), por sua vez, explicam que a determinação do passivo ambiental envolve um conjunto de procedimentos de investigação para avaliar a existência ou não de contaminação. A contaminação por substâncias químicas nocivas à saúde coletiva é um exemplo a ser citado.

Nesse sentido, a partir da associação do surgimento de diversos problemas graves de contaminação de pessoas, animais e do meio ambiente como um todo, com o uso e descarte

indiscriminado de substâncias perigosas nos processos industriais, os estudos relacionados aos passivos ambientais começaram a se desenvolver.

De maneira geral, a preocupação com a contaminação do meio ambiente por atividades industriais começou a ser considerada, de fato, a partir de casos graves e de contaminações de grande repercussão mundial. Moraes *et al.* (2014) citam alguns exemplos: o caso Love Canal, um vilarejo localizado em Nova Iorque, onde toneladas de resíduos industriais começaram a borbulhar em quintais, porões e encanamentos residenciais; e o Desastre de Minamata, que é a denominação dada ao envenenamento de centenas de pessoas por mercúrio ocorrido na cidade de Minamata, no Japão, em consequência do lançamento, por uma indústria, de dejetos contendo mercúrio na baía da cidade.

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) é estabelecido, então, de acordo com Canario e Bettine (2020), como um conjunto de processos visando à mitigação de impactos relacionados à saúde humana, ao meio ambiente e aos ecossistemas locais. Segundo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB/GTZ, o GAC pode ser entendido como a gama de métodos e técnicas voltadas para identificar, caracterizar e implementar ações de intervenção em Áreas Contaminadas para que seja possível viabilizar novamente o uso da área de forma segura, com o objetivo de torná-la uma Área Reabilitada (CETESB/GTZ, 2021).

Em nível federal, no Brasil, o GAC é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre valores de referência para substâncias químicas presentes no solo e águas subterrâneas, sobre prevenção e qualidade do solo, além de estabelecer as diretrizes sobre o gerenciamento de áreas contaminadas no país.

De maneira geral, o Manual do GAC da CETESB divide as etapas de gerenciamento de áreas contaminadas entre Processo de Investigação e Processo de Recuperação, como mostra a Tabela 1-1. No caso da presente pesquisa, as análises estão voltadas para as etapas do Processo de Investigação.

Tabela 1-1 - Etapas do GAC pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas proposto pela CETESB.

Processo de Investigação	Definição da região de interesse
	Identificação de áreas potencialmente contaminadas
	Avaliação preliminar
	Investigação confirmatória
Processo de Recuperação	Investigação detalhada
	Avaliação de risco
	Investigação para remediação
	Projeto de remediação
	Remediação
	Monitoramento

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

Com o objetivo de materializar as discussões do trabalho, foram escolhidos como estudo de caso trabalhos de investigação ambiental desenvolvidos por empresas de consultoria ambiental para uma mesma Usina Termelétrica - UTE. As UTEs representam 31,1% na geração de energia elétrica no Brasil, o segundo lugar das matrizes brasileiras, enquanto as hidrelétricas representam 53,4%, de acordo com dados do Relatório Síntese do Ministério de Minas e Energia (2022).

Diante do contexto exposto, as discussões propostas neste trabalho estão relacionadas com os processos aplicados no gerenciamento de área contaminada realizados por empresas de consultoria ambiental para uma usina termelétrica localizada em Minas Gerais, Brasil. A partir disso, foi possível discorrer sobre as técnicas existentes e adotadas nas etapas de investigação; os desafios implicados, bem como analisar os procedimentos legais exigidos pelas regulamentações existentes a nível nacional e estadual, em Minas Gerais, com base no levantamento do histórico do desenvolvimento do GAC e os procedimentos legais vigentes até o ano de 2022.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as técnicas, metodologias adotadas e os desafios nos procedimentos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas em trabalhos de investigação ambiental realizados em uma Unidade Termelétrica localizada em Minas Gerais, Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar o panorama e as bases legais para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) a nível estadual e nacional;
- Explorar o histórico de monitoramento ambiental realizado na área estudada;
- Analisar as etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória desenvolvidas no Estudo de Caso;
- Analisar os documentos técnicos gerados em cada etapa do processo, levando em consideração os desafios implicados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico do Gerenciamento de Áreas Contaminadas no mundo

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) teve sua origem a partir da repercussão das graves consequências de casos de contaminação, desencadeados a partir do desenvolvimento industrial. Dois desses casos são bastante conhecidos e discutidos em pesquisas relacionadas ao GAC.

O primeiro é o caso conhecido como Desastre de Minamata, no Japão. Segundo explicam Silva *et al.* (2018), o desastre ocorreu em função do derramamento de mercúrio na Baía de Minamata, província de Kumamoto, Japão desde o ano de 1930. As pesquisadoras expuseram sobre o assunto que:

“Em 1956, o primeiro caso de contaminação em ser humano foi registrado, sendo uma criança com danos cerebrais. Após, apareceram outras pessoas com os sintomas: convulsões severas, surtos de psicose, perda de consciência, febre muito alta e, posteriormente, morte. De início, os médicos trataram a doença, como uma desconhecida doença contagiosa. O fato em comum entre todas as vítimas era de que todas ingeriram grande quantidade de peixes da Baía de Minamata, concluindo-se que estavam envenenadas por mercúrio, que era utilizado no completo Chisso como catalisador para a produção de plásticos” (Silva *et al.*, 2018).

Elas explicam que os resíduos dessa indústria eram despejados no mar sem qualquer tipo de tratamento e com alta concentração de mercúrio. O Brasil fez parte da Convenção de Minamata sobre mercúrio, constituído a partir de 2009, e retomou a importação de mercúrio sob a regulamentação do IBAMA a partir de então, para controlar os riscos desse tipo de insumo industrial.

O segundo grande acidente ambiental ficou conhecido como caso do Love Canal, o qual aconteceu em Nova Iorque, onde os resíduos tóxicos industriais eram dispostos num canal do rio Niagara. Segundo explica Herculano (2001), este caso serviu como alerta para que diversas comunidades próximas comesçassem a se preocupar com a disposição dos rejeitos de processos industriais. A autora ainda explica como esse caso se desenvolveu:

“Em 1892, William T. Love propôs conectar as partes alta e baixa do rio Niagara, abrindo um canal de cerca de 9,6 km de extensão e 85 metros profundidade. Em 1920, com o projeto abandonado, a área já escavada foi vendida e se tornou um vazadouro

de lixo até 1953. Após preencher todo o canal com lixo tóxico e cobri-lo com terra a área foi vendida. Porém, por volta dos anos 50, a área adjacente começou a ser urbanizada e ocupada com moradias e, em 1955, uma escola primária foi aberta em cima do retângulo de 65 mil metros quadrados (16 acres) que havia sido o canal” (Herculano, 2001).

A autora expõe que várias consequências surgiram, por exemplo, relatos de moradores que diziam que as pessoas evitavam deixar crianças brincarem descalças nas ruas e quintais porque os pés ficavam queimados com as substâncias. Houve relatos, ainda, de abortos espontâneos e nascimento de crianças com deformações físicas; além de outros tipos de limitações, como não consumir alimentos plantados naquele solo (HERCULANO, 2001).

Para além desses casos, é importante destacar a evolução de alguns países em termos de legislação e metodologias de gestão de área contaminada. Os países que começaram a desenvolver ações de remediação para problemas com contaminações foram a Holanda e os EUA (RODRIGUES JR., 2003). De acordo com o que apresentam Araújo-Moura e Filho (2014), a Holanda teve as primeiras iniciativas de política governamental sobre o GAC, com as ações voltadas para recuperar as características originais do solo e preservar sua multifuncionalidade. Os autores explanam sobre as iniciativas, também pioneiras no mundo, dos EUA a partir de casos emblemáticos, como o do Love Canal.

Para mais, a União Europeia também desenvolveu alguns instrumentos, dentre eles um indicador de políticas ambientais, relacionados às áreas contaminadas. O objetivo deste indicador, segundo Araújo-Moura e Filho (2014), era quantificar o desenvolvimento na gestão de contaminações locais, identificar os empreendimentos que mais contribuíram com contaminação do solo, classificar os principais contaminantes e abordar questões econômicas relacionadas com a remediação dos solos.

No Brasil, Günther (2006) explica que a industrialização brasileira, responsável pela formação das cidades e grandes centros urbanos, também deixou marcas que se traduziram em problemas ambientais, principalmente relacionados às contaminações por produtos químicos e disposição inadequada de resíduos sólidos. Por outro lado, a autora explica que, em meados da década de 1980, houve o incentivo ao processo de desindustrialização das metrópoles. Esse processo ocasionou a formação das cidades de porte médio e novos polos industriais, o que aumentou as áreas de contaminação em relação à espacialização do uso e ocupação do solo.

Além disso, Araújo (2014) discute como o Brasil está bem estruturado em relação aos arcabouços técnicos e jurídicos acerca da proteção e da saúde do meio ambiente e das pessoas. No entanto, a autora também mostra que a aplicação das legislações pelos Estados apresenta grande desigualdade, principalmente no que diz respeito às práticas de gestão de qualidade. Tais pontos serão apresentados na sequência.

3.2 Arcabouço legal brasileiro

3.2.1 Legislações Nacionais

No Brasil, assim como em outros países, até que fossem implementadas legislações específicas para tratar sobre o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, legislações específicas de outros assuntos foram usadas, como as de resíduos sólidos, de licenciamento ambiental, de recursos hídricos e até de uso e ocupação do solo.

A Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, normativa referência da temática em âmbito federal, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. O manual da CETESB destaca alguns pontos relevantes da referida resolução. No Artigo 3º do Capítulo I, foi estabelecido que a proteção do solo deve ser realizada de maneira corretiva, com o objetivo de restaurá-lo, em termos de sua qualidade original, ou ainda recuperá-lo de acordo com o uso pretendido da área. No Capítulo II, foram definidos os Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação, que servem de base comparativa para as ações e análises envolvidas no GAC. No Capítulo III, foi recomendada a implantação de monitoramento preventivo de qualidade do solo e de águas subterrâneas nos empreendimentos que realizam atividades com potencial de contaminação. No Capítulo IV, por sua vez, são estabelecidos os procedimentos que contemplam as etapas de identificação, diagnóstico e intervenção, assim como determina os objetivos das etapas de GAC (CETESB/GTZ, 2021).

Além disso, o manual também apresenta outras normas que, porventura, incluem assuntos relativos ao gerenciamento de áreas contaminadas e são utilizadas associadas à Resolução CONAMA nº 420/2009 (Tabela 3-1).

Tabela 3-1 - Repertório legal associado à CONAMA nº 420/09 em Investigações Ambientais.

Título	Ano	Caput
Lei Federal nº 6.766	1979	Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano, destacando-se o artigo 3º, que veda o parcelamento de terrenos aterrados com material nocivo antes do saneamento (II) e de áreas poluídas até sua correção (V).
Resolução CONAMA nº 273	2000	Estabelece a necessidade do licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e a realização de investigações ambientais e adoção de medidas de intervenção, se necessárias.
Resolução CONAMA nº 396	2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas
Lei Federal nº 12.305	2010	Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), destacando-se os artigos 3º, 17, 19, 41 e 42; 5)
Resolução CONAMA nº 463	2014	Dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação.
Decreto Federal nº 10.936	2022	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Fonte: Adaptado de CESTESB/GTZ (2021).

3.2.2 Legislações estaduais de Minas Gerais

Em Minas Gerais, as legislações vigentes pertinentes à temática e aos processos de investigação ambiental são relativamente recentes e estão compiladas e apresentadas na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Legislações estaduais relativas ao GAC em Minas Gerais.

Título	Ano	Caput
Deliberação Normativa COPAM nº 116	2008	Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais
Lei Estadual nº 18.031	2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos
Decreto Estadual nº 45.181	2009	Lei Estadual nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, em especial o artigo 4º, VI.
Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02	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
Deliberação Normativa COPAM nº 166	2011	Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2/2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos
Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 05	2017	Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências
Portaria IGAM nº 48	2019	Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais.

É importante destacar também que a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM/MG) publica anualmente o Inventário de Áreas Contaminadas e Reabilitadas em seu sítio eletrônico institucional, em conformidade com a DN COPAM nº 116/2008 e com o Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas (PNRAC), instituído pela DN COPAM/CERH nº 02/2010.

3.3 Panorama do Gerenciamento de Áreas Contaminadas em âmbito nacional e em Minas Gerais

A Resolução CONAMA n.º 420/2009 instituiu o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC), que dá publicidade, principalmente por meio dos portais institucionais, às informações sobre áreas contaminadas identificadas e suas principais características na forma de relatórios. Porém, de acordo com a última atualização da seção do BDNAC, no site do IBAMA, em agosto de 2021, há informações disponibilizadas para apenas três estados brasileiros: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (BDNAC, 2021).

Por meio desse cenário de estruturação dos processos, observa-se que, no Brasil, o GAC começou a se desenvolver enquanto conjunto de técnicas e métodos inicialmente na região sudeste. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi a pioneira em relação ao estabelecimento de ações voltadas à gestão de áreas contaminadas e as metodologias iniciais foram desenvolvidas com base nos modelos holandeses (CETESB/GTZ, 2021).

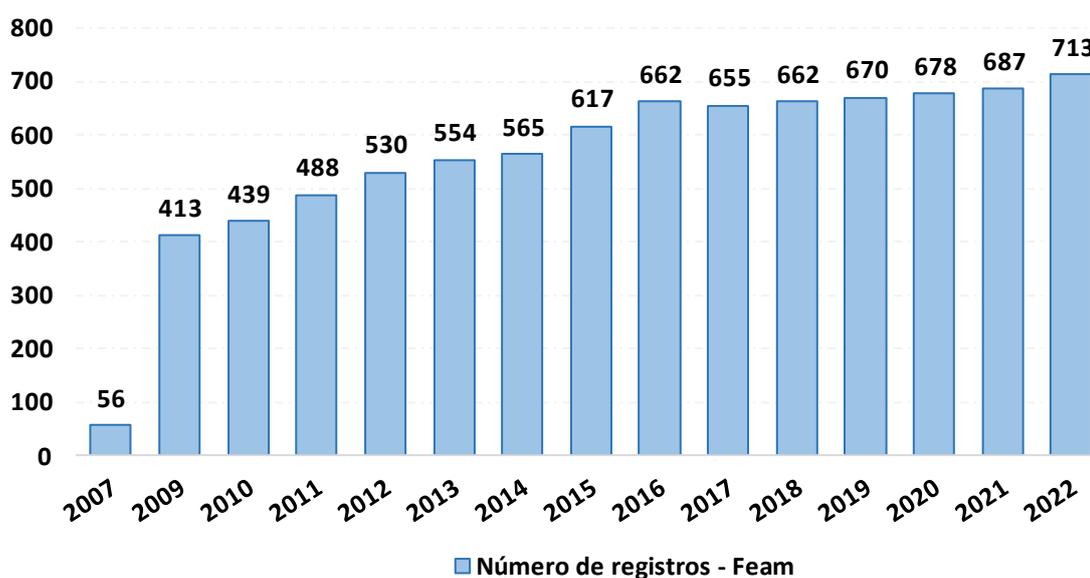
Magalhães (2000) fez uma análise comparativa entre os países pioneiros na construção de procedimentos relacionados ao GAC entre EUA, países da Europa e iniciativas brasileiras e constatou que, até a década de 1990, eram mínimas as ações estabelecidas no Brasil. Nesse sentido, a publicação da Resolução CONAMA n.º 420/2009 representou grande avanço, na medida em que o Conselho Nacional apresentava somente resoluções que tratavam da qualidade do ar e das águas, mas não havia regulamentação relacionada à qualidade do solo (MATTIASO, 2010). Vale destacar ainda que, até 2022, dos 27 estados brasileiros, 9 (nove) ainda não apresentam nenhum destaque legal relacionado ao GAC. Além disso, apenas os municípios de São Paulo/SP, Campinas/SP e Porto Alegre/RS possuem iniciativas em âmbito regional (CETESB/GTZ, 2021).

Em Minas Gerais, segundo Deliberação Normativa Copam n.º 02 de 2010, é um dos princípios do Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas a consolidação e publicidade das informações para a população sobre áreas contaminadas identificadas. No Estado, a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM publica anualmente, desde 2007, o Inventário de Áreas Contaminadas. Este documento auxilia no gerenciamento de áreas contaminadas, além de subsidiar o desenvolvimento do Programa Estadual de GAC.

De acordo com o Inventário, para o ano de 2022, foram registradas 713 áreas contaminadas no território de Minas Gerais. Apesar de não ser o estado com maior percentual –estado de São

Paulo apresenta 6.721 registros no último ano –, houve crescimento de 173% na quantidade de áreas contaminadas em Minas Gerais após a implementação da Resolução CONAMA nº 420/2009, como pode ser visualizado na Figura 3-1. O aumento na identificação das áreas representa avanço positivo para o Estado, tendo em vista que, na medida em que as metodologias e legislações estão sendo consolidadas, o arcabouço de experiências, técnicas e processos tende a tornar-se mais robusto.

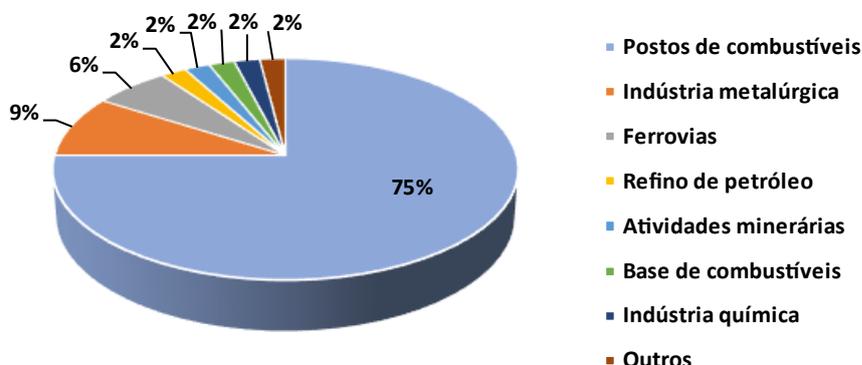
Figura 3-1 - Número de registros de áreas contaminadas entre 2007 e 2022 em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

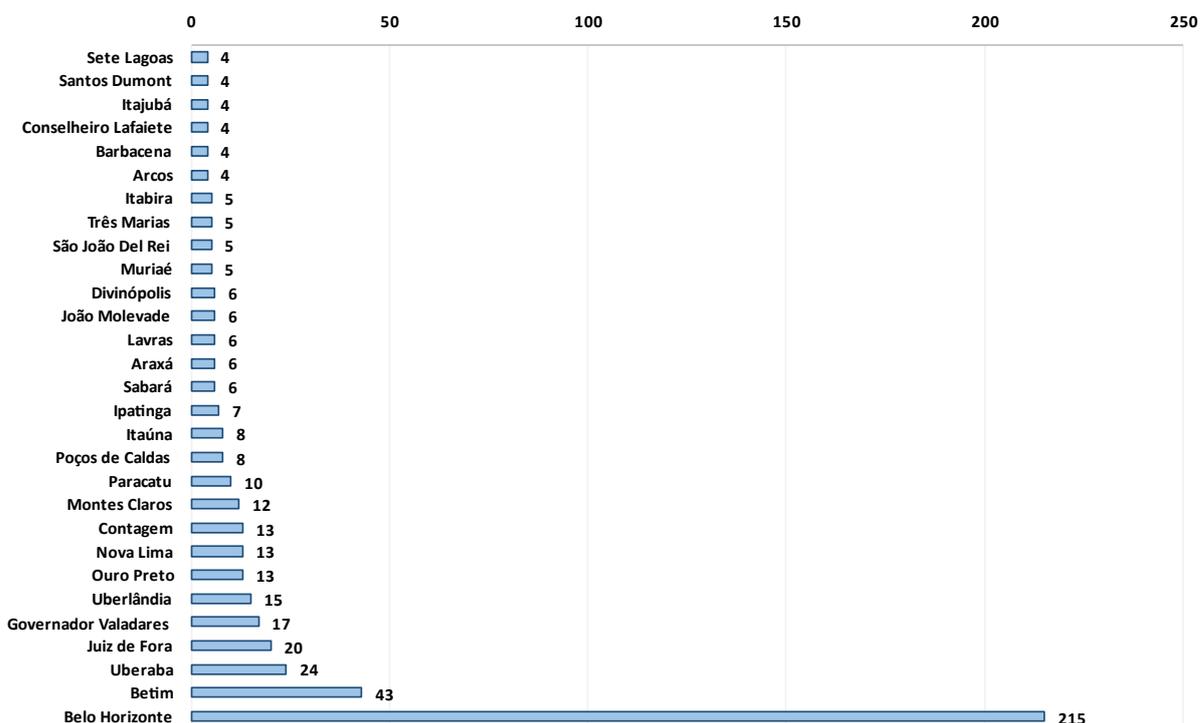
Ainda segundo o mesmo inventário, os postos de combustíveis continuam sendo a atividade com maior porcentagem de registros de áreas gerenciadas (75%), seguida pelas atividades da indústria metalúrgica (9%) e do transporte ferroviário (6%) (FEAM 2022), como ilustra a Figura 3-2. Além disso, o relatório da FEAM também aponta que as áreas cadastradas como contaminadas e reabilitadas distribuem-se em 182 municípios, sendo representativo o número de municípios com duas ou três áreas contaminadas, 22%, e com mais de quatro áreas cadastradas, constando, aproximadamente, 16%. A Figura 3-3 apresenta a quantidade de áreas cadastradas como contaminadas e reabilitadas, para municípios com quatro ou mais áreas.

Figura 3-2 - Áreas contaminadas de acordo com o tipo de atividade em 2022 em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

Figura 3-3 - Quantidade de áreas cadastradas como contaminadas e reabilitadas em 2022 em Minas Gerais, Brasil.



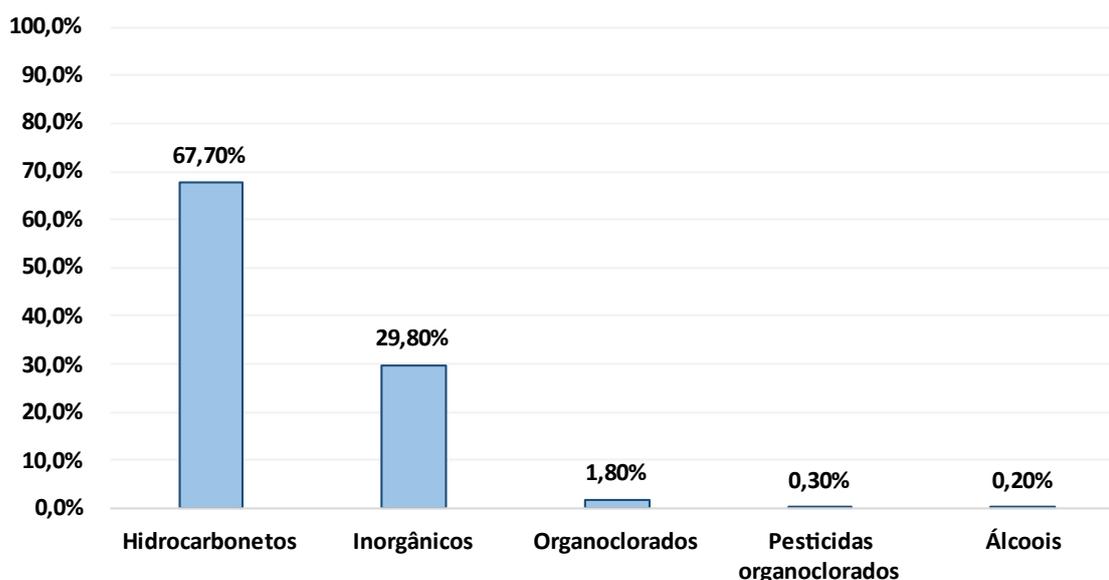
Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

É possível observar que Belo Horizonte é a cidade com mais registros de áreas contaminadas (215) em Minas Gerais, para o ano de 2022. Esta é a região com maior adensamento populacional do estado, assim é esperado que as cidades vizinhas que compõem a região

metropolitana (RMBH) também detenham número maior de registro de áreas contaminadas, como é o caso de Betim (43) e Contagem (13). As cidades de Uberaba (24), Juiz de Fora (20) e Governador Valadares (17) não compõem a RMBH, porém são municípios de referência das regiões do Triângulo Mineiro, Zona da Mata e Norte de Minas, respectivamente. São cidades em desenvolvimento urbano e industrial, o que, portanto, justifica o número maior de registros de áreas contaminadas.

O Inventário de Áreas Contaminadas também aponta que os principais contaminantes encontrados em locais registrados no estado são os compostos orgânicos, com destaque para os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (67,7%), conhecidos como BTEX – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno. São compostos encontrados em combustíveis e alguns derivados do petróleo, como óleos, graxas e solventes (FEAM, 2022). A Figura 3-4 apresenta o percentual de ocorrência das substâncias químicas mais comumente encontradas.

Figura 3-4 - Substâncias químicas mais recorrentes em áreas contaminadas.



Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

Depois dos compostos orgânicos, estão as contaminações por metais. O relatório do Inventário explica que a ocorrência deste tipo de contaminação está ligada, principalmente, à lixiviação de resíduos industriais dispostos inadequadamente.

Com relação aos compostos propriamente, dentre os compostos orgânicos, destaca-se a ocorrência de BTEX e HPA (38%), Benzeno (15%), Benzo(b)fluoranteno e 2,3,4,6-Tetraclorofenol. Em relação aos compostos inorgânicos, destacam-se Chumbo (14%) e Bário,

Alumínio e Molibdênio (9%), dentre outros. A Tabela 3-3 apresenta os compostos orgânicos e inorgânicos comumente identificados em áreas contaminadas.

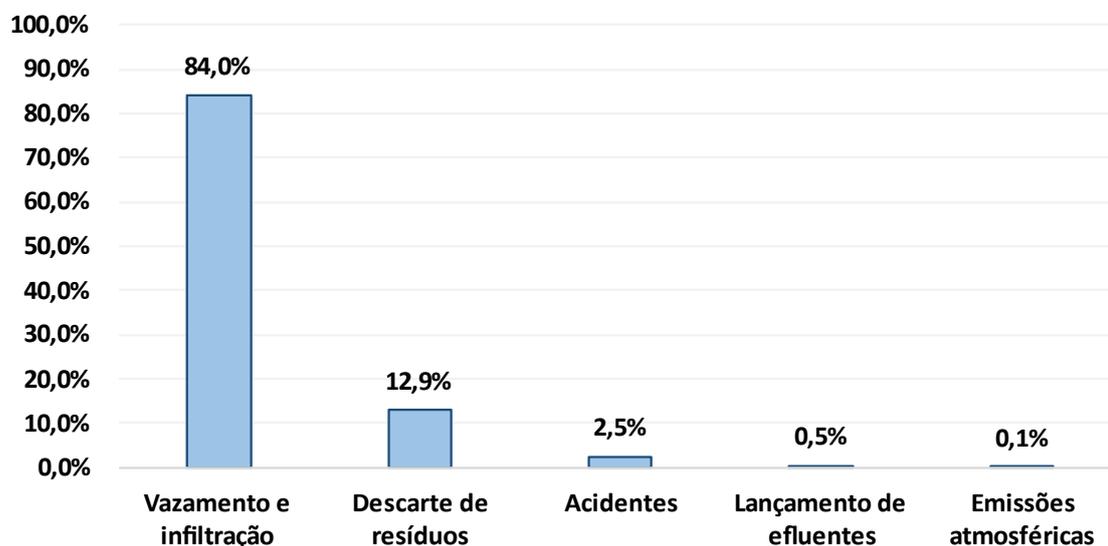
Tabela 3-3 - Compostos orgânicos e inorgânicos recorrentes em áreas contaminadas.

COMPOSTOS ORGÂNICOS	COMPOSTOS INORGÂNICOS
1,2-Dicloroetano-cis, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, 2-Etil-1-Hexanol, 3,4-Diclorofenol, Aldrin, Antraceno, Benzeno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g, h, i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, BTEX e HPA, Cloreto de vinila, Clorofórmio (triclorometano), Criseno, Dibenzo(a, h)Antraceno, Dieldrin, Estireno, Etilbenzeno.	Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Berílio, Boro, Cádmiio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Nitrato (expresso em N), Níquel, Prata, Selênio, Vanádio e Zinco.

Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

Em relação às águas subterrâneas e aos solos, o relatório do Inventário explica que são as matrizes mais impactadas pelos contaminantes. Este tipo de contaminação, por sua vez, ocorre com mais frequência a partir de vazamentos e infiltrações por produtos no solo que acabam por atingir as águas subterrâneas. Na Figura 3-5 são apresentadas as principais fontes primárias de contaminação dos solos e águas subterrâneas.

Figura 3-5 - Principais fontes primárias de contaminação.



Fonte: Adaptado de FEAM (2022).

Dessa forma, o Inventário de Áreas Contaminadas, para o ano de 2022, constatou que o número de áreas contaminadas e áreas reabilitadas no cadastro do estado de Minas Gerais vêm

umentando desde o início dos levantamentos em 2007, em função da aplicação das legislações e normativas.

3.4 Etapas do processo de investigação ambiental

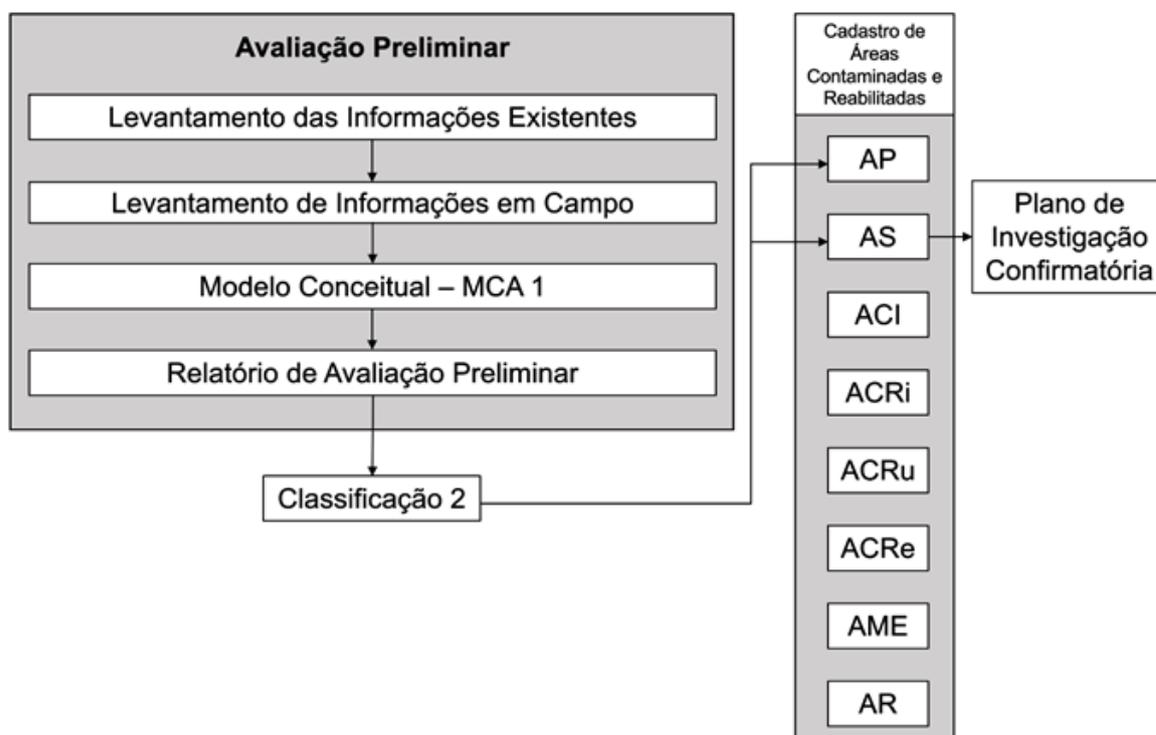
3.4.1 Avaliação Preliminar

Segundo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, a etapa de Avaliação Preliminar tem por objetivo identificar fatos, evidências, indícios ou incertezas que levem a suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, gerada a partir de fonte de contaminação primária localizada dentro dos limites da área em avaliação (CETESB/GTZ, 2021). De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 116, 27 de junho de 2008, a avaliação preliminar é a etapa inicial de avaliação realizada com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, entrevistas, imagens e fotos e inspeções em campo, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, mais sucintamente, diz que a avaliação preliminar é avaliação inicial realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.

Dessa forma, a CETESB/GTZ (2021) listou, baseada em uma lógica sequencial de execução, os seguintes aspectos a serem considerados na fase de avaliação preliminar como identificação das fontes de contaminação potenciais; identificação das substâncias químicas de interesse (SQI); constatar situações que permitam suspeitar da existência de fontes de contaminação primárias dentro da área em avaliação; constatar situações que permitam suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente; descrever as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação potenciais identificadas para os compartimentos do meio ambiente; verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, por fonte de contaminação difusa ou apresentar contaminação por fonte de contaminação natural; identificar os bens a proteger; identificar os caminhos de exposição potenciais; definir o modelo conceitual inicial da área (MCA 1); propor nova classificação da AP; verificar a necessidade de realização da etapa de Investigação Confirmatória; propor plano preliminar da etapa de Investigação Confirmatória; e identificar os responsáveis legais solidários.

Na Figura 3-6 está apresentado o fluxograma geral das etapas que envolvem a avaliação preliminar de acordo com o manual da CETESB/GTZ (2021). Essa fase, basicamente, consiste em fazer levantamentos de informações que objetivam caracterizar a área de estudo quanto às possibilidades de contaminação. Ou seja, busca-se entender, dentro de uma área delimitada, possíveis locais que sejam alvos de qualquer contaminação, assim como entender a natureza dos contaminantes e, em determinados casos, realizar testes de campo em busca de algum indício ou evidência para avaliar a necessidade de continuar com as etapas do gerenciamento ou reclassificar a área. Elas podem ser reclassificadas como áreas com potencial de contaminação (AP) e áreas suspeitas de contaminação (AS).

Figura 3-6 - Fluxograma da Avaliação Preliminar proposto pela CETESB.



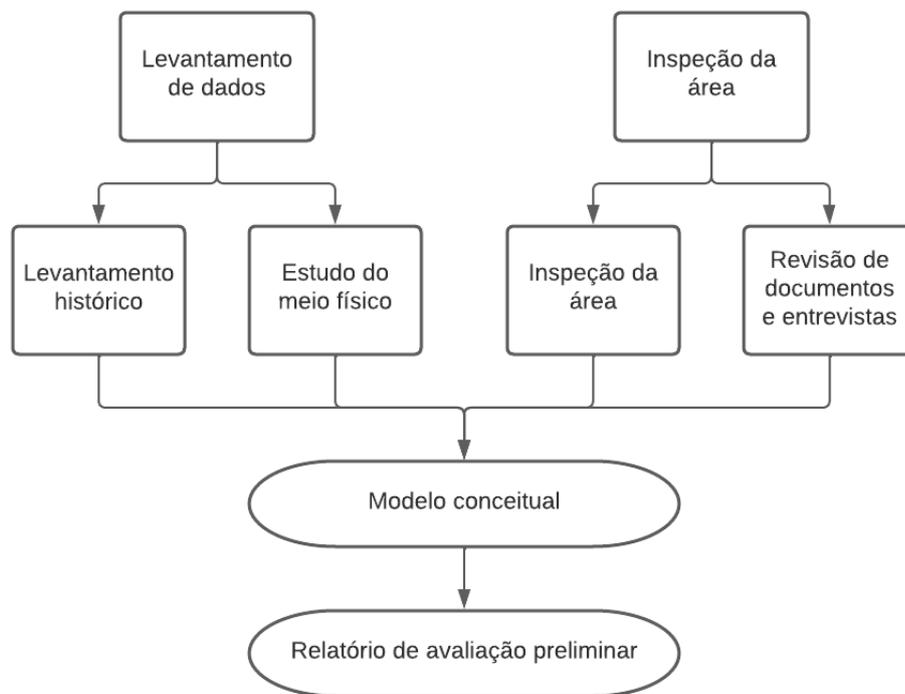
Fonte: CETESB/GTZ (2021).

Através do fluxograma disposto na Figura 3-6, é possível entender a sequência lógica proposta, que se inicia com o levantamento e a caracterização da área de estudo, por meio de dados secundários da área potencialmente contaminada, tais como tipo de solo, topografia do terreno, histórico de uso e ocupação do solo, entre outras informações.

Nesse contexto, a NBR 15.515-1:2021 estabelece os procedimentos mínimos necessários para avaliação preliminar de passivo ambiental e procura a identificação de indícios de contaminação do solo e das águas subterrâneas. A norma, então, estabelece as atividades que compõem a

avaliação preliminar, a saber: levantamento de dados, inspeção de reconhecimento da área, elaboração do modelo conceitual 1 e do relatório de avaliação preliminar. O fluxograma da Avaliação Preliminar, composto por essas atividades, está ilustrado na Figura 3-7.

Figura 3-7 - Fluxograma da Avaliação Preliminar proposto na NBR 15.515-1:2021.



Fonte: Adaptado de ABNT (2021).

A etapa do levantamento de dados, segundo recomenda a norma supracitada, é composta por: (i) Levantamento histórico –possibilita a reconstituição da maneira como foram desenvolvidas as atividades de manejo, produção, armazenamento e disposição de substâncias na área em estudo; e (ii) Estudo do meio físico –visa basear a determinação dos possíveis caminhos que as substâncias contaminantes percorreriam, além da caracterização dos bens a proteger através da coleta de dados geológicos, hidrogeológicos, meteorológicos, entre outros.

A etapa de inspeção de reconhecimento da área, por sua vez, é executada por profissionais com formação adequada para que seja feita uma vistoria bem detalhada da área de estudo (Romagnoli *et al.*, 2021). Nesse momento, a norma recomenda que seja feita, com especial atenção, entrevistas com pessoas detentoras de conhecimento sobre o local, principalmente sobre o passado. Na entrevista, devem ser levantadas investigações sobre o histórico de uso e ocupação da área, acidentes ocorridos, manuseio e armazenamento de substâncias, e demais informações relacionadas aos processos industriais e as relações com o entorno. Além disso,

também deve ser realizada nessa etapa a identificação da área, com detalhes geográficos e de georreferenciamento da localização e a denominação atual dela; assim como a inspeção do local de avaliação, que objetiva levantar o máximo de informações a respeito das condições do empreendimento, como número de funcionários, potenciais fontes de contaminação, substâncias usadas em cada processo, dentre outras (ABNT NBR 15.515-1:2021).

Quando for identificada uma fonte suspeita de contaminação, a norma técnica recomenda que seja feita a descrição do potencial fonte quanto à presença de resíduos sólidos, infiltração induzida ou vazamentos, presença de redes de tubulações, se é uma área de manutenção periódica e os materiais que são utilizados no funcionamento do local. Importante verificar se há presença de revestimento no solo ou algum tipo de contenção, descrever as substâncias químicas de interesse presentes na área e no seu entorno, os bens a proteger, analisar o uso e ocupação do solo, os aspectos do meio físico e, por fim, avaliar a existência de riscos – diretos ou indiretos.

Após essas etapas de avaliação, a norma ABNT NBR 15.515-1:2021 preconiza que seja elaborado o chamado modelo conceitual, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 16.210:2022. O modelo conceitual, descrito com mais detalhes no item 3.4.3, consiste no compilado das informações obtidas nas atividades de avaliação da área em forma de representação escrita ou gráfica, indicando informações importantes, além de apresentar um mapa georreferenciado mostrando a localização da área e do seu entorno, os acessos e os principais bens a proteger, assim como um mapa indicando as fontes suspeitas de contaminação, suas denominações e os possíveis receptores locais.

Para mais, a última etapa da avaliação preliminar consiste na elaboração do relatório técnico, por uma empresa de consultoria especializada, contendo a descrição detalhada de todo o trabalho e levantamento das informações supracitadas exigidas pela norma. No relatório técnico, então, deverá estar indicada a nova classificação da área, definindo a necessidade ou não de continuação do processo de gerenciamento, a partir dos resultados encontrados na avaliação, bem como um plano de investigação confirmatória, que constará as informações detalhadas de como está pretendida a execução da investigação – plano de amostragem, locais e quantidade de amostras, metodologias de coleta e análise.

De maneira geral, o Plano de Amostragem precisa considerar no mínimo: qualificação da equipe de profissionais; necessidade de obtenção de autorização e/ou permissão de acesso à

área; localização e tipos de fontes suspeitas e de relevante potencial de contaminação existentes ou esperadas; os meios a serem amostrados; possibilidades da existência de interferência subterrânea; cautelas necessárias para prevenir a migração de contaminantes durante e após a conclusão da amostragem; plano de recursos, infraestrutura e logística; procedimentos e precauções para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores, em atendimento à legislação vigente, e um levantamento de riscos associados às atividades específicas, incluindo as ações preventivas; número, profundidade e localização dos pontos de amostragem; substâncias a serem determinadas; técnicas e protocolos de amostragem, preparação e preservação de amostras, cadeias de custódia, amostras de controle de qualidade, métodos analíticos e respectivos limites de quantificação; o cronograma de amostragem; procedimentos de descontaminação de materiais e equipamentos retornáveis; orientação referente ao armazenamento e à destinação adequada do solo e/ou água subterrânea gerados e dos materiais utilizados na amostragem; e as normas ou procedimentos de amostragem adotados.

3.4.2 Investigação Confirmatória

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB/GTZ, 2021) define os objetivos da Investigação Confirmatória como sendo identificar a existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, causada a partir de fontes de contaminação primárias localizadas dentro dos limites da área em avaliação e, dessa forma, avaliar os volumes representativos dos compartimentos do meio ambiente definidos na etapa de Avaliação Preliminar. Em conformidade à esta, a DN COPAM nº 116/2008 define a etapa de Investigação Confirmatória como a etapa em que são feitos estudos e investigações com o intuito de comprovar a existência de contaminação em uma área com suspeita de contaminação. A DN Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, por sua vez, define como sendo a etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias químicas de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação – Anexo I da diretriz normativa.

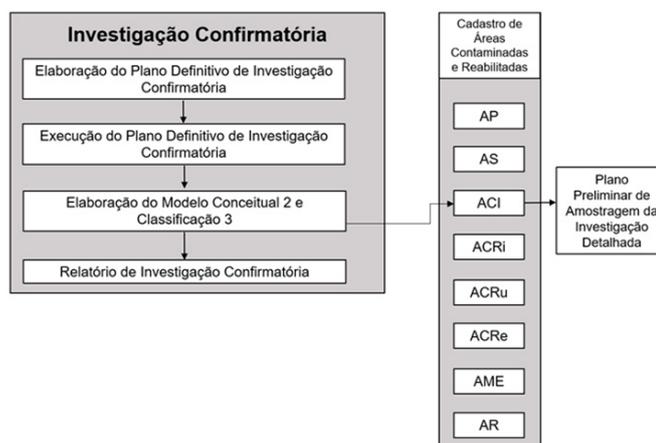
Em relação aos procedimentos legais, em Minas Gerais, a DN Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 estabelece, no art. 11, parágrafo único, que, caso sejam encontrados indícios de contaminação, o responsável pela área deverá iniciar imediatamente a Investigação Confirmatória e realizar a Declaração de Áreas Suspeitas de Contaminação ou Contaminadas, conforme estabelecido na Deliberação Normativa COPAM nº 116/2008. O cumprimento desse

processo é fundamental para o gerenciamento de áreas contaminadas, pois, à medida em que há o registro protocolado das etapas seguidas, há melhores chance de desenvolver o GAC em termos de diretrizes, normativas e processos legais (MORAES *et al.*, 2014).

Em relação aos procedimentos de execução do gerenciamento, o manual da CETESB indica que a responsabilidade pela execução da etapa de Investigação Confirmatória é do responsável legal e do responsável técnico, cabendo ao Órgão Ambiental Gerenciador a avaliação e a gestão das informações apresentadas; e estabelece as principais atividades e os objetivos da Investigação Confirmatória (CETESB/GTZ, 2021), a saber: elaborar e executar o Plano Definitivo de Investigação Confirmatória; revisar as hipóteses de liberação das substâncias químicas de interesse (SQI) a partir das fontes de contaminação primárias para os compartimentos do meio ambiente; verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, difusa ou natural; identificar os bens a proteger que podem ser efetivamente atingidos pela contaminação; identificar os caminhos de exposição; definir o segundo modelo conceitual (MCA 2); propor nova classificação da área em avaliação; verificar a necessidade de continuidade do GAC; desenvolver Plano Preliminar para a execução da etapa de Investigação Detalhada; identificar os responsáveis legais e solidários.

Além disso, o mesmo manual recomenda que ao final da Investigação Confirmatória seja produzido um relatório técnico contendo informações suficientes para reclassificar a área sob análise, conforme fluxograma da Figura 3-8.

Figura 3-8 - Fluxograma da Investigação Confirmatória.



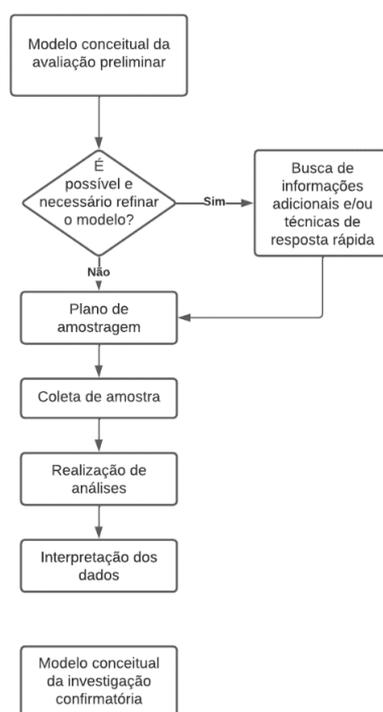
Fonte: CETESB/GTZ (2021).

A partir do fluxograma proposto no manual, a primeira etapa da Investigação Confirmatória é a elaboração do Plano Definitivo de Investigação Confirmatória, baseado no plano de investigação previsto na etapa de avaliação preliminar. A execução da Investigação Confirmatória, então, começa quando o plano definitivo estiver programado.

De acordo com a norma técnica NBR 15.515-2:2011, o processo de confirmação consiste em coleta e análises químicas das substâncias de interesse no solo e em água subterrânea, em pontos indicados como suspeitos ou com indício significativo de contaminação.

A norma também indica que, em casos específicos, a amostragem pode ser feita em outros meios como água superficial, sedimentos, gases do solo, ou biota. A interpretação dos resultados das análises dessas amostras, por sua vez, consiste na comparação entre os resultados laboratoriais obtidos com os valores orientadores indicados pelos órgãos ambientais competentes, com a avaliação das possíveis consequências quando há uma não conformidade. A Figura 3-9 apresenta o fluxograma contendo as etapas da Investigação Confirmatória.

Figura 3-9 - Fluxograma da Investigação Confirmatória, proposto pela NBR 15.515-2:2011.



Fonte: Adaptado de ABNT (2011).

A etapa em que se busca confirmar ou não a existência de contaminação é executada com base nas informações levantadas e descritas no modelo conceitual, no relatório técnico e no plano de

investigação elaborados na avaliação preliminar. Contudo, o modelo conceitual pode apresentar um nível de incerteza alto em função da disponibilidade dos dados sobre a área em estudo.

Dentro desses métodos analíticos existem técnicas específicas indicadas para os tipos de analitos. Esses analitos geralmente são COV (Carbonos Orgânicos Voláteis), TPH (hidrocarbonetos totais de petróleo), metais e semimetais, entre outros. Para cada técnica, estão indicados os meios em que elas são apropriadas – ar/gases, solo ou água. –, se são medições quantitativas ou qualitativas e ainda os fatores limitantes de cada uma delas. Além dos métodos de resposta rápida, a norma ainda recomenda métodos geofísicos, como radar de penetração no solo, resistividade elétrica, polarização induzida, magnetometria, indução eletromagnética, entre outras, relacionadas com a aplicação adequada de cada técnica – contato solo/rocha, nível de água, objetos metálicos enterrados, diferenciação de camadas etc. –, e os fatores limitantes delas.

Caso os documentos elaborados na etapa de avaliação preliminar estiverem bem fundamentados e suficientes, as condições estão adequadas para a elaboração e execução do Plano de Amostragem. A NBR 15.515-2:2011 estabelece que o plano de amostragem deve ser um documento formal detalhado. Para basear sua elaboração, várias normas podem ser utilizadas, as quais estabelecem os procedimentos mínimos para o manejo de amostras e outros ensaios para a determinação de propriedades hidrodinâmicas. A seleção das técnicas de perfuração e de instalação de poços de monitoramento a serem utilizadas para a coleta de amostra dos solos e das águas subterrâneas deve ser aquela estabelecida nas normas: ABNT NBR 15492:2007, ABNT NBR 15495-1:2007, ABNT NBR 15495-2:2008 e ABNT NBR 15847:2010.

Além disso, a distribuição espacial das substâncias contaminantes, de acordo com a norma de referência, deve ser considerada tanto no sentido horizontal quanto no vertical. A coleta de amostras dos meios deve ser orientada de acordo com o modelo conceitual, quando se espera ocorrência das maiores concentrações das substâncias de interesse.

As amostras representativas de solo devem ser coletadas com base no conhecimento de informações consistentes sobre a localização de cada fonte suspeita ou de relevante potencial de contaminação, além dos mecanismos de liberação dos contaminantes: vazamentos, emissões atmosféricas, infiltração, entre outros. Para serem representativas, as amostras de solo devem ser coletadas em local mais próximo possível de onde ocorreu a liberação dos contaminantes, face à baixa mobilidade lateral destes neste meio.

Em relação à água subterrânea, as amostras representativas de cada fonte suspeita ou de locais potencialmente contaminados relevantes devem ser coletadas em poços próximos e localizados imediatamente a jusante às possíveis fontes.

A norma também orienta sobre a profundidade de investigação ou de coleta de amostras. Este processo é definido baseado no modelo conceitual e deve considerar as características de cada fonte de contaminação, dos mecanismos de liberação dos contaminantes, das características físico-químicas do contaminante e nas características do meio físico. As amostras devem ser coletadas nas profundidades onde os contaminantes apresentem a maior probabilidade de ocorrência. A NBR15.515-2:2011 ainda estabelece uma tabela com orientações gerais para a definição da profundidade de amostragem baseada na fonte, no mecanismo de liberação e no meio afetado pelos contaminantes.

Os resultados analíticos obtidos devem ser comparados aos valores orientadores de investigação do órgão ambiental competente ou aos da Resolução CONAMA nº 420/2009. A norma recomenda que caso os resultados obtidos estejam acima dos valores de referência, a área em questão pode ser reclassificada conforme os critérios do órgão ambiental competente.

No caso de confirmação de contaminação da área, a norma estabelece que deve ser elaborado um plano de ações das etapas posteriores, de acordo com a legislação específica vigente. Se não houver confirmação devem ser apresentadas recomendações pertinentes ao caso, como o monitoramento. Quando constatado perigo ou risco iminente, o órgão ambiental competente deve ser comunicado, assim como devem ser adotadas as ações emergenciais necessárias para resguardar os receptores de risco e demais bens a proteger.

O modelo conceitual da área de estudo, então, é atualizado e validado com as informações obtidas na Investigação Confirmatória, de acordo com critérios específicos, de forma que os resultados desta fase sejam suficientes e utilizados para atualizar e complementar o modelo conceitual da Avaliação Preliminar, que deve servir de base para o planejamento e execução das etapas seguintes.

3.4.3 Modelo Conceitual

De acordo com o manual do GAC da CESTESB (CETESB/GTZ, 2021), o modelo conceitual da área (MCA) é uma representação geral das hipóteses sobre a liberação de materiais ou substâncias de fontes localizadas na Área Potencialmente Contaminada (AP) e as rotas de

exposição que estas podem seguir até atingir os bens a proteger. Sua estrutura é feita por meio de plantas georreferenciadas, textos explicativos e tabelas, capazes de demonstrar possíveis riscos ou danos ao meio ambiente e às pessoas, além de auxiliar na definição da continuação dos processos do GAC. Portanto, ele é uma síntese com a consolidação dos resultados alcançados em cada etapa da investigação de passivo ambiental.

Ainda de acordo com o manual, a elaboração do primeiro modelo conceitual (MCA 1) deve conter, primeiramente, uma análise integrada dos resultados alcançados na etapa de avaliação preliminar, que são as informações existentes sobre a área e as informações obtidas em campo sobre a contaminação e o seu entorno. Essas informações devem ser estruturadas de forma a conter plantas georreferenciadas com a representação da Área com Potencial de Contaminação (AP), das suas áreas fonte e fontes de contaminação, um texto explicativo com interpretação integrada das informações sobre os caminhos de exposição identificados, além de uma tabela com resumo dos resultados.

O segundo modelo conceitual (MCA 2), por sua vez, é a atualização do primeiro (CETESB/GTZ, 2021). Ou seja, de forma geral, ele contempla onde e quais são as fontes de contaminação constatada, além dos bens a proteger que devem ser incluídos nas investigações da etapa seguinte do gerenciamento de áreas contaminadas – a Investigação Detalhada. Sua estruturação é composta pela atualização das plantas, texto explicativo e tabela, geradas no MCA 1, que demonstram os riscos ou danos que podem ser causados aos bens a proteger, além de melhorar as bases para as próximas definições dos processos de investigação do GAC.

A complexidade do modelo conceitual está relacionada com o nível de detalhamento que é possível atingir a partir dos levantamentos e análises. Por exemplo, o manual da CETESB recomenda que nas plantas georreferenciadas sejam apresentadas a planta da área em investigação, plantas multitemporais das áreas onde estão localizadas as fontes da contaminação, assim como da vizinhança, dos bens a proteger, além da planta com os pontos de amostragem. O texto explicativo deve conseguir integrar as diversas informações obtidas nas etapas que antecedem – tais como as fontes de contaminação, as áreas localizadas na vizinhança, as contaminações detectadas nos compartimentos do meio ambiente e a exposição dos bens a proteger às SQI e vias de ingresso.

No entanto, a norma ABNT NBR 16.210:2013, que define os procedimentos para elaboração do modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas, é mais suscinto que o manual

da CETESB em relação às sugestões de técnicas de análises de informações que compõem os MCA. Segundo a norma, o MCA é composto pela representação textual ou gráfica de determinado sistema ambiental em relação aos processos biológicos, químicos e físicos que determinam a movimentação e o comportamento dos contaminantes a partir das fontes. A norma ainda estabelece que as atividades básicas as quais geram os resultados para a composição do MCA é a determinação dos limites da área objeto de estudo, o resumo das informações históricas de uso e ocupação da área, a identificação das potenciais e reais substâncias químicas de interesse, a caracterização do meio físico, a identificação e caracterização das potenciais, suspeitas e reais fontes de contaminação, os mecanismos de liberação dos contaminantes, as vias de transporte dos contaminantes, a identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger.

Além disso, a norma prevê que as incertezas que surgirão nas etapas da investigação – relacionadas com a área de estudo, os contaminantes, o entorno e etc. – devem ser identificadas, registradas, justificadas e, quando possível, quantificadas, para que sejam adotadas formas adequadas para reduzi-las a níveis aceitáveis. Nesse sentido, o modelo conceitual é ferramenta importante no GAC, à medida que é constituído da integração das informações levantadas em cada etapa e por servir de base para as definições das técnicas e metodologias a serem adotadas nos procedimentos subsequentes.

3.5 Desafios envolvidos nos trabalhos de investigação ambiental

Em termos de procedimentos e metodologias para realização das investigações ambientais no Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil, Lima *et al.* (2017) mostram que a seleção e implementação de técnicas é uma atividade que ainda precisa ser melhor desenvolvida. Além disso, Araújo (2014) explana que as ações relacionadas ao GAC são mais efetivas nas regiões mais industrializadas do país, fato esse que expõe o caráter reativo do país frente à problemática das contaminações, tendo em vista estar em busca de solução para contaminações que, porventura, já ocorreram.

A partir da estruturação nacional através da Resolução CONAMA 420/2009, Bianchi (2019) discute que as etapas para o desenvolvimento do GAC são estabelecidas de maneira padronizada, com objetivos, metodologias e procedimentos, de forma sequencial em que cada etapa é essencial para o desenvolvimento da etapa posterior. Nesse sentido, Ferrador (2018) mostra que no estado de São Paulo os números evidenciam que a atuação no GAC em termos

de técnicas é muito superior, mesmo se comparar com outros estados como Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Em relação às etapas do gerenciamento, na avaliação preliminar grande parte dos trabalhos pesquisados, como Oliveira *et al.* (2017), Ribeiro (2017) e Silva *et al.* (2020), explicam que o momento mais importante do levantamento de campo é a parte da entrevista e conversa com algum representante ou conhecedor da área em estudo. Segundo os autores demonstram, esse momento de conhecer os detalhes dos processos e funcionamento da empresa é que podem explicar e auxiliar na proposição das estratégias no gerenciamento dos casos. A dificuldade desta etapa está, no entanto, em situações em que não há pessoas ou representantes que detenham conhecimento histórico da área em estudo.

Quanto à etapa de Investigação Confirmatória, os desafios perpassam por definição do número de pontos de amostragem, assim como estabelecimento das profundidades de coleta. Etchelar (2021) explica sobre as metodologias de perfuração de poço para análise de água subterrânea e amostragem de solo.

Riyis *et al.* (2017), entretanto, fizeram uma avaliação das falhas no modelo conceitual de uma área contaminada utilizando investigação com métodos convencionais. No trabalho, os autores apontam que, após 12 anos de trabalhos de gerenciamento de área contaminada, mesmo com três empresas de consultoria atuando, mais de 70 sondagens e poços instalados, diversas amostragens de solo e água subterrânea, sistemas de remediação implantados e alto investimento financeiro a área permanece classificada como contaminada sob investigação, sem algum entendimento da interação do produto causador da contaminação com esse meio físico. Nesse sentido, o autor discute a importância de conseguir extrair o máximo de detalhes e informações da área e da contaminação para que sejam cumpridas as etapas sequenciais do GAC em atendimento aos requisitos legais.

Do ponto de vista de gestão ambiental brasileira, de maneira geral, Pereira (2020) mostra que a temática de “áreas contaminadas” ainda não é tratada com a devida relevância. Segundo o autor, como a maioria dos estados não apresenta procedimentos práticos para o cumprimento de requisitos mínimos, o estágio do país ainda é inicial, por meio de pesquisa e estabelecimento de processos. Um dos pontos mais importantes e primários a serem melhorados, segundo ele, é o cadastro de áreas contaminadas. O autor explica que o cadastro favorece a troca e disseminação de conhecimentos, além de trocas de experiências realizadas anteriormente.

Através dessas cooperações técnicas, apoio e suporte econômico para a realização de projetos dentro do tema de áreas contaminadas estima-se maior celeridade no desenvolvimento dos processos no Brasil.

3.6 Contexto das Termelétricas no GAC

Diante do que pode ser observado no item 3.3, as atividades que envolvem o uso de combustíveis são as que tem mais cadastros de contaminação em Minas Gerais. Sobretudo as que fazem o armazenamento, tendo em vista que vazamentos e infiltração são as principais fontes primárias registradas nos últimos anos. Nesse sentido, de modo semelhante, as termelétricas detêm potencial a ser considerado em relação ao risco de acidente e contaminação.

De forma simplificada, segundo explica Tolmasquim (2016), o processo fundamental de funcionamento das centrais termelétricas é a conversão de energia térmica em energia mecânica e, desta, em energia elétrica. A conversão da energia térmica em energia mecânica se dá através do uso de um fluido que produzirá trabalho em seu processo de expansão, em turbinas térmicas. A conversão da energia mecânica em elétrica acontece através do acionamento mecânico de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina. A produção da energia térmica pode se dar pela transformação da energia química dos combustíveis, através do processo da combustão, ou até da queima de biomassa, como etanol, bagaço de cana, carvão vegetal, óleo vegetal, lenha e outros.

Nesse contexto, as termelétricas representam parte desse setor ao qual o risco de contaminação é iminente. Entretanto, de maneira geral, o Gerenciamento de Áreas Contaminadas para este tipo de contaminação normalmente é um processo moroso. De Paula (2020), discute sobre a morosidade nas resoluções de determinados casos, como na termelétrica no estado de Rondônia, a qual, mesmo após 14 anos da desativação, ainda é possível sentir o odor de óleo combustível na região.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa de trabalho de conclusão de curso, a metodologia foi dividida em três etapas que se basearam em levantamento de dados secundários referentes ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas nas esferas nacional e estadual – o que inclui legislações vigentes, pesquisas com levantamentos históricos da evolução do GAC, relatórios publicados anualmente pelo poder público, entre outras referências; e dados de relatórios produzidos por empresas de consultoria ambiental para uma UTE relativos à investigação da ocorrência de passivo ambiental na área do empreendimento.

Segundo relatórios produzidos de investigação da área, em 2001 houve um vazamento de óleo combustível na base de um dos dois tanques de armazenamento, cujo conteúdo vazou sobre a bacia de contenção existente na área. Em 2014, houve atividades de remoção manual do produto, que já estava em solidificação devido à sua viscosidade. Além disso, no ano de 2008 houve um segundo acidente, desta vez em um transformador, após uma sobrepressão no interior do equipamento causado por um arco-elétrico. Nesse contexto, foram realizados trabalhos de investigação ambiental na área da UTE, no período entre 2015 e 2022.

Para a realização da pesquisa, as três etapas que foram percorridas são:

- **Etapa 1: Levantamento dos aspectos legais e normativos nacionais e estaduais**

Foi feito levantamento dos instrumentos de regulamentação envolvidos na temática da pesquisa. Dentre elas, serão avaliadas a Resolução CONAMA nº 420 de 2009, primeira norma federal específica sobre áreas contaminadas; além das normas técnicas NBR 15.515-1 e 2. No âmbito estadual, as Deliberações Normativas COPAM nº 116, 27 de junho de 2008 e COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010. Além das Normas Técnicas da ABNT, a NBR 15.515-1/2021 – Avaliação de passivos ambientais em solos e água subterrânea, a NBR 15.515-2/2011 – Investigação Confirmatória e a NBR 16.210:2013 – que estabelece o procedimento para elaboração Modelo Conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas.

- **Etapa 2: Pesquisa de dados secundários e referências bibliográficas**

As informações referentes às Áreas Contaminadas no Estado de Minas Gerais foram obtidas em sítios eletrônicos institucionais e em relatórios anuais produzidos pela FEAM. Em âmbito nacional, o site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis – IBAMA

disponibiliza os dados do Banco Nacional de Áreas Contaminadas (BNDAC), no qual direciona para sites de órgãos públicos, como o Estado de São Paulo – CETESB, de Minas Gerais – FEAM e do Rio de Janeiro – INEA, que contêm mais informações detalhadas.

Em relação às referências bibliográficas, buscou-se fazer um levantamento dos autores que desenvolveram estudos sobre o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, voltados para o histórico do desenvolvimento desses processos no mundo, no Brasil e em âmbito estadual. Além disso, buscou-se levantar estudos com análises e críticas aos processos previstos nas regulamentações vigentes, além de trabalhos que apresentam discussões sobre o panorama geral do GAC em Minas Gerais e seus desafios.

- **Etapa 3: Estudo de caso, aquisição e análise dos dados**

Para subsidiar e ilustrar as discussões relacionadas à temática pesquisada, foi selecionado um estudo de caso desenvolvido por empresas de consultoria ambiental em uma Usina Termelétrica, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil. Para isso, foi analisada uma série de documentos técnicos relacionados a trabalhos desenvolvidos na Termelétrica a partir de acidentes ambientais envolvendo produtos químicos e possíveis contaminações.

Os resultados fazem parte do conjunto de ações das investigações ambientais realizadas por consultorias técnicas especializadas no caso de suspeita de contaminação por óleo na UTE, desde o ano de 2014 até 2023. De posse desses dados, foi possível tecer algumas comparações relacionadas às técnicas e metodologias utilizadas em cada uma delas. Além de explorar o nível de detalhamento das informações colhidas em cada etapa, a escolha das técnicas para adotar nos trabalhos, a efetividade no gerenciamento, e demais dados e informações envolvidas.

Dessa forma, pretendeu-se estabelecer relações entre as teorias e técnicas existentes e recomendadas com um caso real e propor discussões acerca dos resultados desses trabalhos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os relatórios técnicos analisados para o estudo de caso explicam que em 2001 ocorreu um vazamento na base de um dos dois tanques de armazenamento de óleo combustível, cujo conteúdo estocado ficou sobre a bacia de contenção existente na área. Ademais, houve diversas notificações emitidas pela FEAM, desde então, para remediação do acidente. Em 2008, foi relatado um novo acidente, no transformador T3, na Subestação ao lado da Casa de Força, após uma sobrepresão no interior do equipamento. Dessa forma, houve derramamento de óleo mineral isolante e a grande parte do volume vazado ficou retida no local onde estava o equipamento.

Nos itens a seguir estão descritos os documentos analisados, a caracterização ambiental e do empreendimento, a análise das ações adotadas e a avaliação do processo em geral, destacando pontos como as limitações envolvidas e a efetividade na remediação da área.

5.1 Apresentação do banco de dados

Os documentos analisados que compõem o banco de dados estão relacionados com os produtos gerados pelas empresas de consultoria em cada fase do Processo de Investigação dos acidentes. Na Tabela 5-1, estão apresentados os documentos consultados, separados em ordem cronológica.

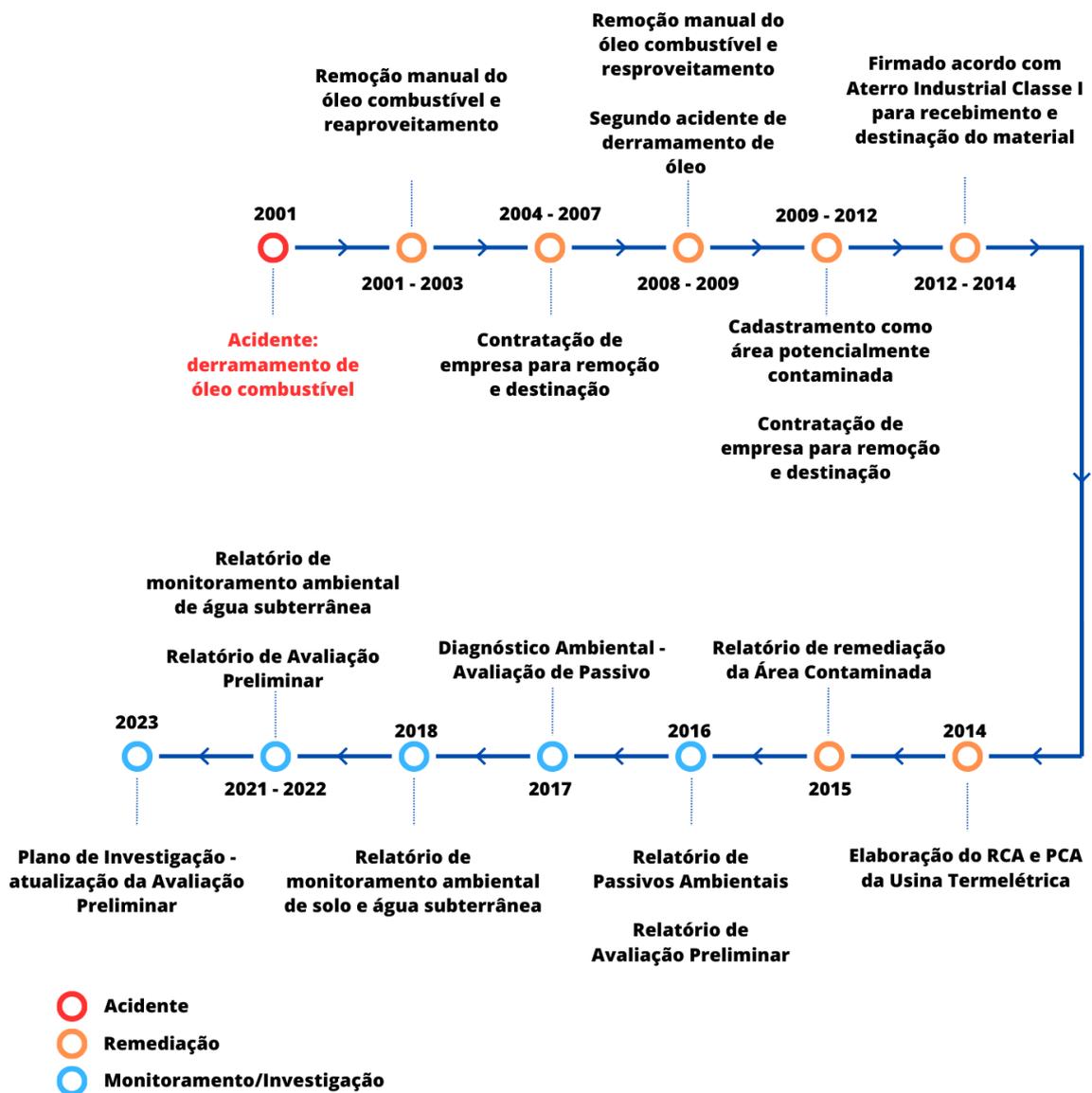
Tabela 5-1 - Banco de dados destacando os documentos consultados.

Documento	Ano	Conteúdo
Relatório de controle ambiental (RCA) e Programa de Controle Ambiental (PCA)	2014	RCA e PCA da termelétrica em estudo.
Relatório de remediação da área	2015	Apresentação das informações referentes ao acidente e às medidas tomadas.
Relatório de investigação de passivo ambiental	2016	Resultados de diagnóstico ambiental da área.
Relatório de Avaliação Preliminar	2016	Primeira avaliação Ambiental Preliminar da área do acidente.
Relatório de Avaliação de Passivo Ambiental	2017	Diagnóstico Ambiental complementar para a avaliação de passivo ambiental.
Relatório de Monitoramento Ambiental	2018	Monitoramento ambiental para subsidiar avaliação de potencial contaminação de solo e água subterrânea.
Relatório de Monitoramento Ambiental	2021/2022	Monitoramento ambiental para subsidiar avaliação de potencial contaminação água subterrânea.
Relatório de Avaliação Preliminar	2022	Avaliação Preliminar de possível passivo ambiental em solo e água subterrânea.
Plano de Investigação	2023	Atualização da Avaliação Preliminar e subsídio para a Investigação Confirmatória

Na

Figura 5-1, está apresentada a linha do tempo com todos os trabalhos relacionados ao acidente. A partir dela, foi possível compreender o processo de gerenciamento do acidente e quais as medidas adotadas. Ademais, tendo em vista o recente estabelecimento das legislações específicas para o GAC em Minas Gerais (item 3.3), foram identificados quais procedimentos legais exigidos pela FEAM e executados pela Usina e pelas consultorias ambientais ao longo do tempo.

Figura 5-1 - Linha do tempo evidenciando as datas do acidente e das medidas adotadas.



Fonte: Próprio autor (2023).

Em termos históricos, para contextualização do estudo de caso, a partir do acidente ocorrido em 2001 até o ano de 2003 foi realizado o processo de recuperação do óleo derramado. As placas foram removidas manualmente, esquentadas para liquidificá-las e, em seguida, o líquido foi filtrado para separar o óleo de partículas residuais.

No período entre 2004 e 2007, com a baixa demanda do óleo reutilizado, começou-se a busca por empresas que fizessem a remoção e destinação do óleo. No entanto, de 2008 a 2009, a demanda pela reutilização do óleo aumentou novamente e foi retomado o mesmo processo anterior de remoção manual.

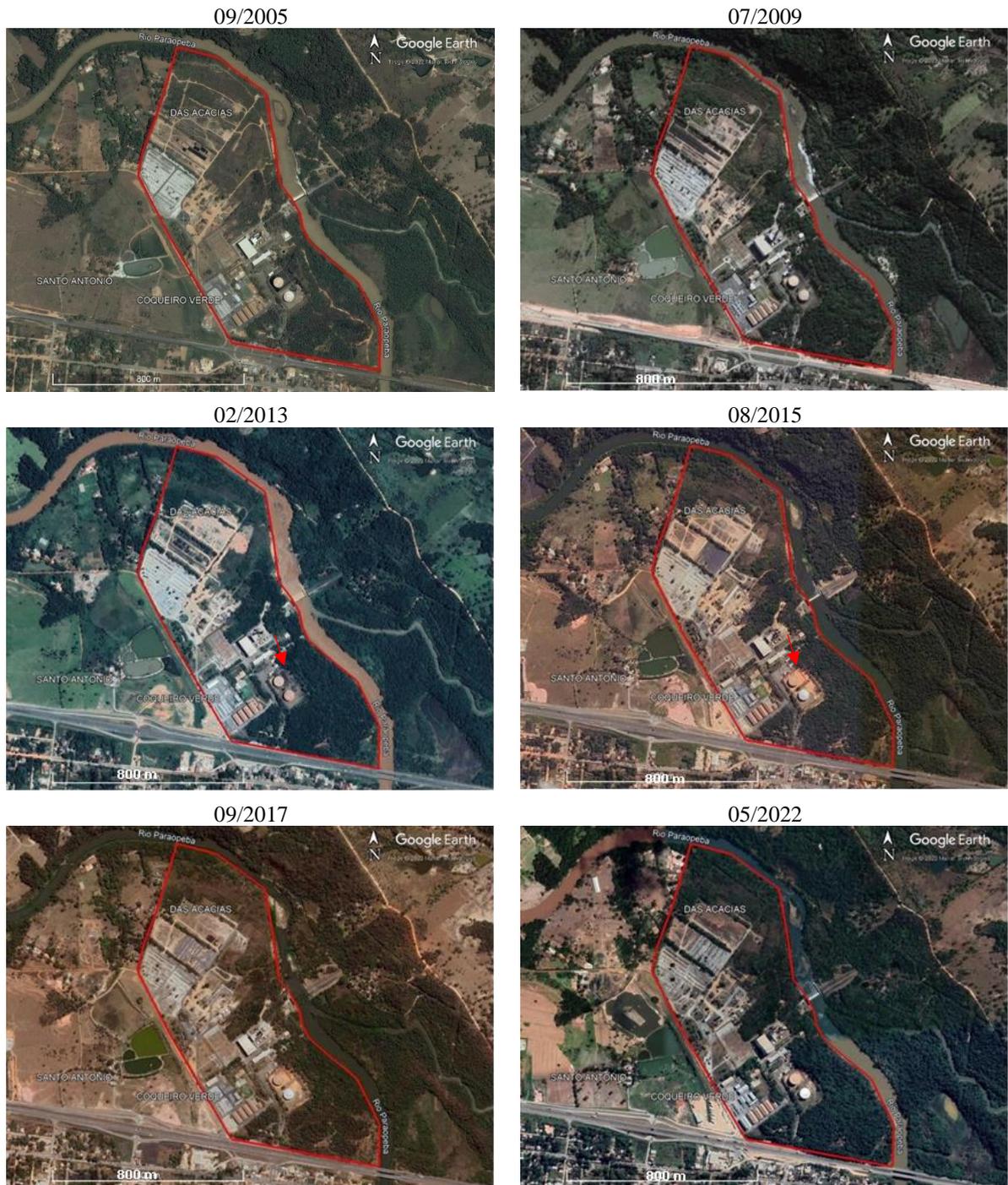
De 2009 a 2012, a demanda voltou a diminuir e a busca por empresa capacitada para remoção e destinação foi novamente aberta. De 2012 a 2014, foi feita, portanto, a remoção do óleo e a destinação final para um Aterro Industrial Classe I. Ainda em 2014, um novo documento contendo o Relatório de controle ambiental (RCA) e o Programa de Controle Ambiental (PCA) da UTE foi elaborado. Já no ano seguinte, realizou-se o primeiro relatório de remediação dos acidentes, em atendimento às notificações da Gerência de Áreas Contaminadas da FEAM.

Em 2016, foi exigido, pela FEAM, o primeiro trabalho de investigação de passivo ambiental, com a realização das etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória. Em 2017, 2018, 2021 e 2022 foram realizados relatórios de monitoramento de solo e água subterrânea, em atendimento às análises e solicitações do órgão ambiental.

Durante esses anos de monitoramento, os parâmetros analisados não-conformes foram os metais alumínio, cobalto total, ferro, manganês e níquel. No ano de 2022, um novo trabalho de investigação ambiental começou a ser desenvolvido, com a elaboração da Avaliação Preliminar e do Plano de Investigação para subsidiar a etapa de Investigação Confirmatória.

As imagens da série histórica obtidas via *Google Earth* (Figura 5-2), apresentada nos relatórios, mostram as alterações nas condições do solo ao longo do tempo, cujo período adotado foi de 2005 a 2022. É possível observar que de 2013 para 2015 (onde estão indicando as setas vermelhas) houve a mudança no visual do solo na área do tanque de armazenamento, o que indicou a remoção do material contaminante.

Figura 5-2 - Histórico de uso da área entre 2005 e 2022.



Fonte: Google Earth (2005 a 2022)

5.2 Caracterização ambiental da área de estudo

Segundo explica Souza (2011), a caracterização ambiental tem o objetivo de subsidiar as correlações entre as atividades previstas na área da investigação com os aspectos ambientais ali existentes. Usualmente, essa etapa consiste na compilação de dados secundários sobre os

aspectos que podem ser afetados pela contaminação ou, ainda, que podem influenciar na dinâmica do acidente e nas substâncias químicas de interesse.

Nesse sentido, apesar de ser informação fundamental nos trabalhos de GAC, e em quase todos os estudos ambientais, geralmente é construída na etapa de Avaliação Preliminar. A partir da caracterização ambiental da área, o profissional à frente do trabalho consegue ter uma visão macro da situação, tecer análises primárias e subsidiar as próximas ações a serem adotadas.

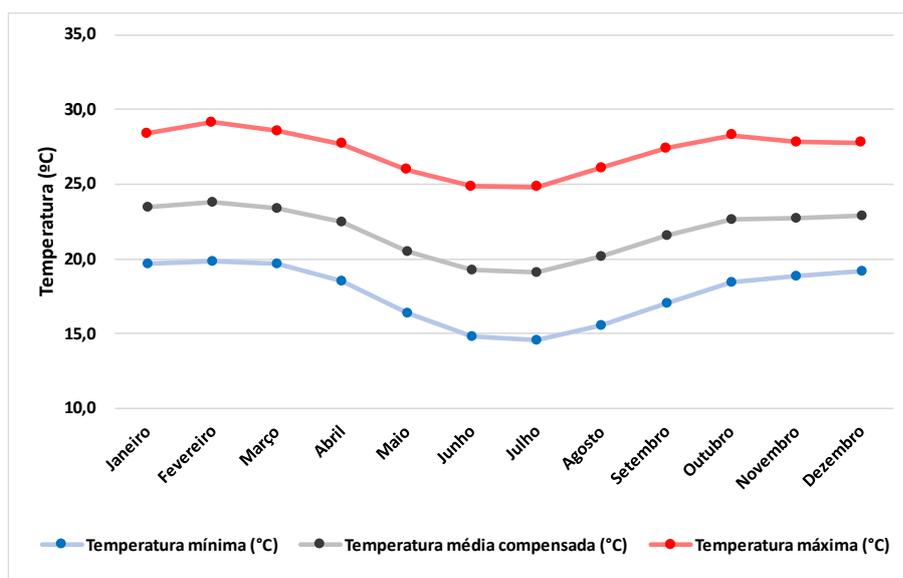
Nos itens 5.2.1 a 5.2.4, a seguir, está descrita, de forma breve e resumida, a caracterização ambiental da área da Termelétrica adotada nos relatórios analisados das empresas de consultoria.

5.2.1 *Clima*

No último relatório de Avaliação Preliminar, desenvolvido em 2022, cujos dados estão mais atualizados, foram utilizados dados da estação meteorológica de código de nº 83587 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Belo Horizonte – MG, por falta de estações pluviométricas nas redondezas da Termelétrica. O relatório citou Ávila *et. al* (2014) e Martins *et. al* (2018) para explicar que o relevo em Minas Gerais influencia de forma bastante direta no clima. Nesse sentido, nas áreas de maior altitude o clima é mais ameno, enquanto nas áreas de menor altitude o clima é mais quente.

Na Figura 5-3 estão apresentados os dados da estação meteorológica de Belo Horizonte, entre os anos de 1991 e 2010. A partir das médias das temperaturas máxima, média e mínima, para esse período, é possível visualizar a tropicalidade do clima local, com baixa variabilidade anual e, portanto, baixa amplitude térmica. Entre os meses de novembro a março, período chuvoso, foram registradas as maiores precipitações. Enquanto entre junho e agosto, período seco, foram registradas as menores.

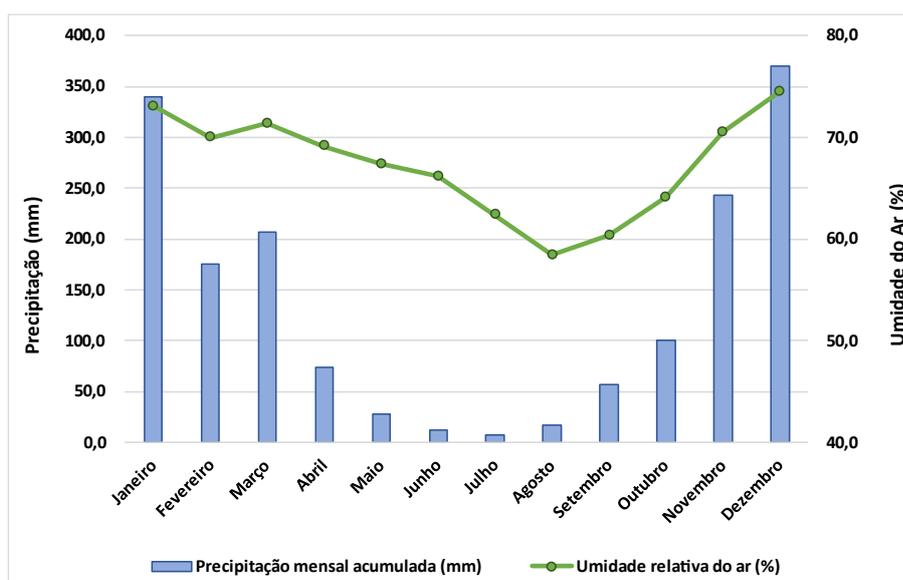
Figura 5-3 - Médias das temperaturas, entre os anos de 1991 e 2010, da estação n° 83587 de Belo Horizonte.



Fonte: INMET (1991 a 2010).

Em relação à pluviosidade, foram considerados os dados da mesma estação meteorológica, para o mesmo período, e estão apresentados na Figura 5-4. Por ela, observa-se que as maiores precipitações ocorrem no verão, entre os meses de novembro a março. Em contrapartida, nos meses de junho a agosto, inverno cujo período é seco, foram registrados os menores valores de precipitação. A umidade relativa do ar segue a mesma tendência da precipitação, sendo que o menor valor médio para o período é registrado em agosto.

Figura 5-4 - Precipitação mensal acumulada e dos índices médios de umidade atmosférica.



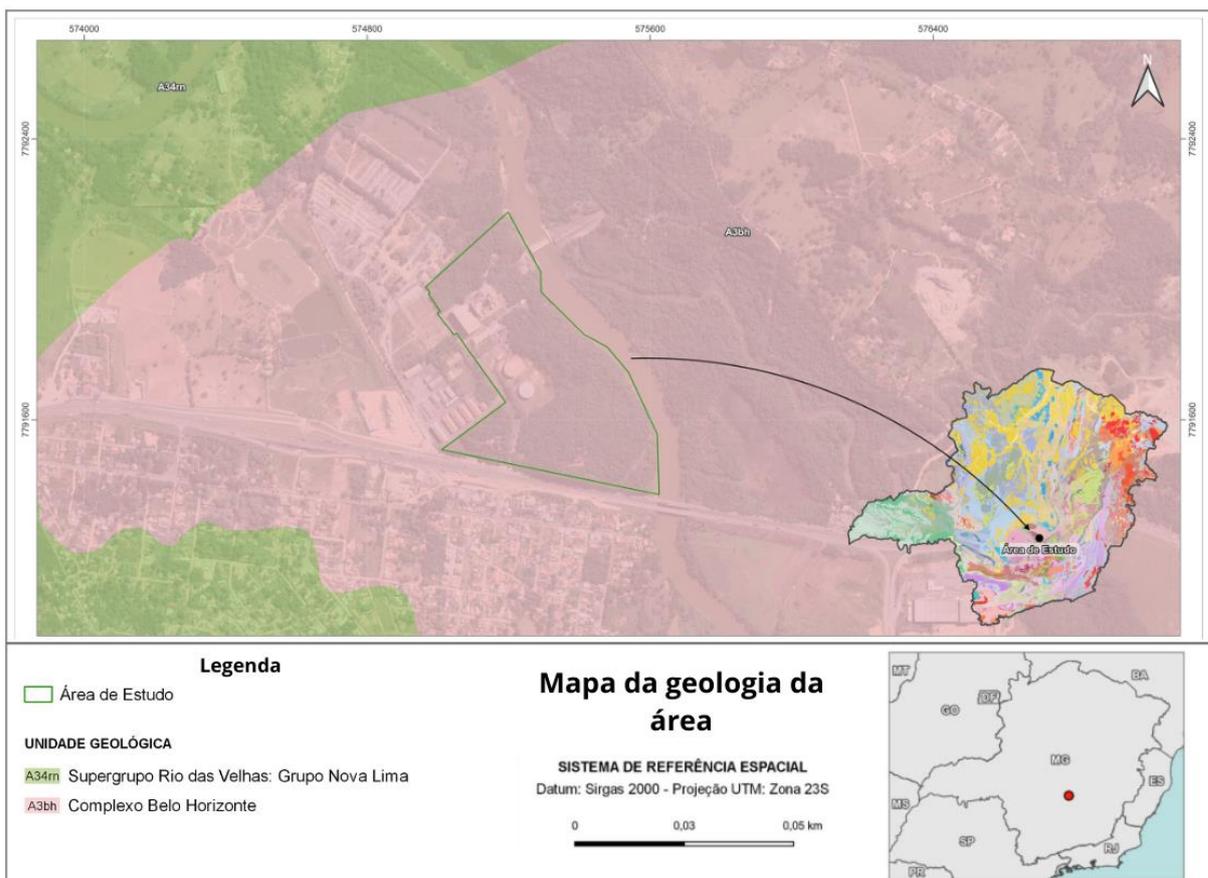
Fonte: INMET (1990 a 2010).

5.2.2 Geologia e Hidrogeologia

Os relatórios apresentam dados que caracterizam a área na porção sul do extremo sul do Cráton do São Francisco. Renger *et. al* (1994) explicam que o local é composto por rochas do embasamento cristalino, pertencentes ao Complexo Belo Horizonte. Este, por sua vez, é constituído da litologia do tipo granito e gnaiss-granítico, tanto intrusivos quanto formados por ganitização das rochas sedimentares.

Próximo à área de estudo, de acordo com os relatórios das consultorias, há presença do Grupo Nova Lima, do Supergrupo Rio das Velhas. Os afloramentos observados durante os trabalhos de campo indicaram boa preservação e distribuição homogênea, principalmente nas porções localizadas no extremo nordeste da área. No mapa da Figura 5-5, apresentado no último relatório de Avaliação Preliminar, mostra-se a geologia local.

Figura 5-5 - Mapa da geologia local.



Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Acerca da dinâmica das águas subterrâneas locais, ela está diretamente ligada à composição litológica das unidades estratigráficas presentes na área, de acordo com o que explicam os

autores dos relatórios. O grau de intemperismo e de fraturamento das rochas também estão diretamente ligados à dinâmica hidrogeológica. Ademais, os autores explicam que os aquíferos fissurais são representados pelos granitóides arqueanos e paleoproterozóicos, que por suas vezes, são associações vulcânica-máfica-ultramáfica, vulcanoclástica e vulcânica-sedimentar-química pertencentes ao Grupo Nova Lima.

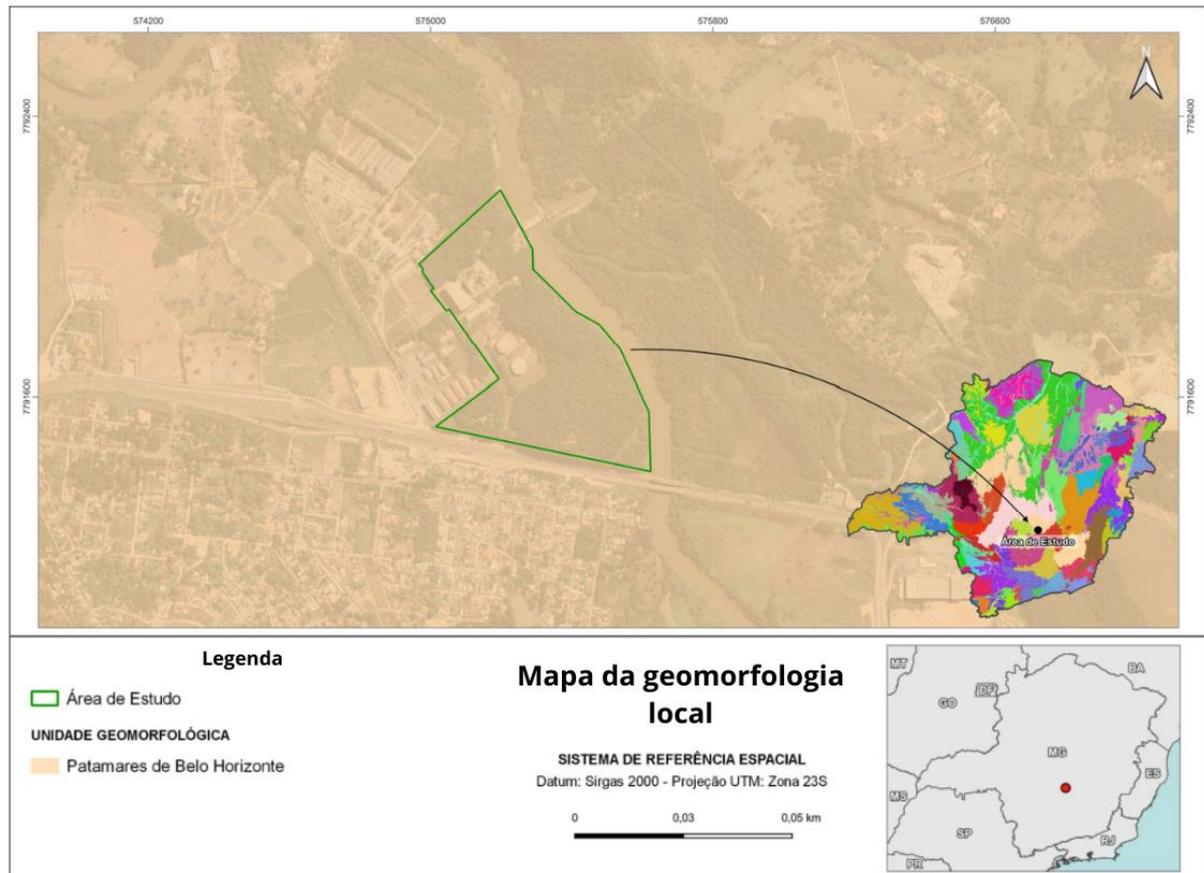
Conquanto, as condições razoáveis do fluxo subterrâneo podem ser encontradas em lentes de Formação Ferrífera intercaladas aos xistos impermeáveis, tendo em vista que, por vezes, o Grupo Nova Lima comporta-se como um aquífugo.

5.2.3 Geomorfologia

A geomorfologia da área é caracterizada no contexto da unidade geomorfológica de Depressão de Belo Horizonte, que segundo apresentam os relatórios essa denominação foi dada inicialmente por Barbosa e Rodrigues (1967).

Segundo Magalhães e Saadi (1994) explicam que a Unidade é caracterizada por um conjunto de colinas suaves, côncavo-convexas, encostas policonvexas de declividades variadas, pedimentos ravinados, formas aplainadas e espigões de vertentes mais íngremes. Os vales, por suas vezes, são côncavos, entulhados por sedimentos arenosos e argilosos. Neles, por causa da intensa alteração e dissecação de rochas cristalinas do embasamento arqueano, são encontrados mantos de intemperismo espessos. No mapa da Figura 5-6, está apresentada a classificação geomorfológica descrita da região.

Figura 5-6 - Mapa da geomorfologia local.



Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

5.2.4 Hidrologia

De acordo com o que explicam os relatórios técnicos das consultorias, a área do empreendimento é caracterizada por uma alta densidade hídrica. As diversas drenagens, com padrão dendrítico, estão de acordo com as características do substrato litológico, geomorfológico e pedológico local, os quais são compostos por rochas gnáissicas, colinas e cobertura de solo espessa, predominantemente de textura argilosa.

Ademais, o local está inserido no interflúvio das bacias dos rios Betim e Paraopeba. Os autores dos relatórios explicam que como o rio Paraopeba recebe grande contribuição advinda do Betim, por isso foi considerada possibilidade de contaminação e degradação da qualidade do corpo hídrico por causa da urbanização e consequentes despejos irregulares de resíduos e efluentes não tratados.

5.3 Caracterização do empreendimento

Da mesma forma que a caracterização ambiental, a descrição das características e processos do empreendimento são fundamentais na compreensão da contaminação. Ainda de acordo com Souza (2011), a caracterização do empreendimento vai ao encontro com a ambiental, na medida em que há um complemento de informações que contribuem para as análises primárias.

Na Tabela 5-2, estão descritas as estruturas da usina que foram visitadas na última Avaliação Preliminar (2022), além das características de funcionamento resumidas de cada uma delas, enquanto na Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Figura 5-7 é apresentada a visão espacial das estruturas da UTE.

Tabela 5-2 - Estruturas consideradas com potencial contaminação da UTE.

Estruturas visitadas	Descrição
Área de pintura e jateamento de areia	Processos de pintura e jateamento de areia ocorriam diretamente sobre o solo, com geração de resíduos perigosos, resquícios de pó de lixamento e tinta.
Captação de água	Capitação e descarte realizados no rio Paraopeba. Vazão de operação: 10,4 m ³ /h. Para ser devolvida, passava por esfriamento, de modo a preservar a fauna do rio.
Tratamento de água e efluentes	Tratamento físico-químico anterior à utilização da água captada. O tratamento de efluentes tinha uma caixa separadora de água e óleo e tanques de decantação.
Tanques de armazenamento de óleo combustível	Há dois tanques de armazenamento na UTE do tipo A2. O óleo era utilizado para queimadores de caldeira, possuía alto poder calorífico e permanecia na fase líquida apenas em temperaturas acima dos 70 °C.
Descarga de óleo	Área utilizada para descarga de óleo combustível. Foram identificadas incrustações de óleo nas superfícies não impermeabilizadas.
Área da caldeira e do tanque de armazenamento do efluente do luvo	Identificados resquícios de oxidação pela lavagem da fuligem gerada durante o processo de produção de vapor e queima de combustível.

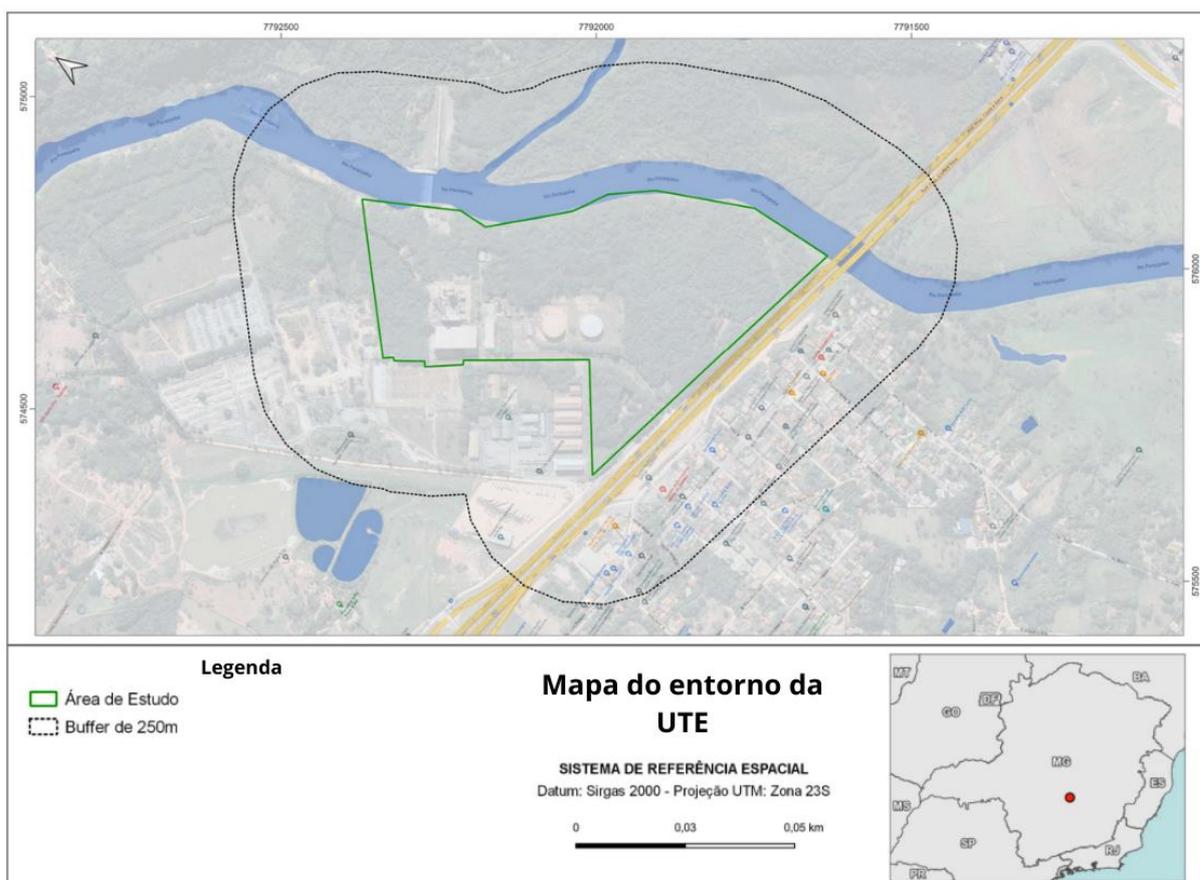
Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

5.3.2 Caracterização do entorno

No último relatório de Avaliação Preliminar realizado (2022), foi considerado um *buffer* com 250 metros de distância a partir do perímetro da UTE para identificação de mais áreas de interesse, seguindo orientações da normativa ABNT NBR 15515-1:2021. Foi verificado que a área está localizada no perímetro urbano, com áreas comerciais e residenciais próximas. Estão incluídos na região centro de pesca esportiva, um restaurante, uma unidade do Corpo de Bombeiros Militar de Juatuba, uma mercearia e uma transportadora; além de unidades residenciais, vegetação e pequeno trecho do rio Paraopeba.

No mapa da Figura 5-8 está ilustrada a área considerada. O mesmo relatório apresenta que, segundo análises realizadas na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE SISEMA, não foram identificadas áreas de interesse para o GAC dentro desse *buffer* de 250 metros.

Figura 5-8 - Mapa do entorno da UTE.



Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

5.4 Análise das etapas da investigação ambiental

Neste item, estão propostas as análises em relação ao banco de dados, levando em consideração a cronologia dos fatos, as técnicas aplicadas e os produtos gerados em cada etapa realizada. Nesse sentido, serão discutidos os trabalhos envolvidos no Processo de Investigação da área, de acordo com Tabela 1-1, adaptada de CETESB (2021). Ao todo foram realizados dois trabalhos de investigação: em 2016, com Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória; e em 2022, com a Avaliação Preliminar indicando a necessidade de realizar a Investigação Confirmatória.

5.4.1 Trabalhos de Avaliação Preliminar e produtos gerados

O início da primeira investigação ambiental na área da UTE se deu após a remoção superficial total do material vazado, finalizada entre 2014 e 2015. De março a abril de 2016, em atendimento à solicitação da FEAM, foi realizada a etapa de Avaliação Preliminar da área. Os procedimentos técnicos adotados neste trabalho foram subsidiados pela norma técnica da ABNT NBR 15515-1, de 2011. Em suma, foram analisadas as atividades e operações presentes na usina, além dos aspectos ambientais que estão relacionados aos processos produtivos da UTE e das práticas adotadas no manuseio, armazenamento e controle dos materiais e substâncias de risco ao meio ambiente. O relatório deste trabalho foi constituído de informações tais como a metodologia adotada, as caracterizações ambientais e do empreendimento – como a localização do empreendimento, a pesquisa sobre o histórico de uso e ocupação do solo, a descrição das operações e os sistemas de controle ambiental do empreendimento. Além disso, foi apresentado o levantamento e os registros da inspeção de campo, o modelo conceitual I e um plano de investigação.

Em conformidade com à norma supracitada, foi realizado tanto o levantamento de informações secundárias quanto a inspeção da área. Seguindo recomendações da COPAM 02/2010, na etapa de inspeção, foram realizadas 58 (cinquenta e oito) perfurações para medições de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), em profundidades distintas de 0,5 e 1,0 metro. Elas foram distribuídas da seguinte forma: 2 pontos na oficina mecânica, 5 pontos na área de descarga, 7 pontos na área da casa de bombas, 12 pontos na área dos transformadores e 32 pontos na área de armazenamento dos tanques de óleo combustível. Na maioria dos pontos não foram evidenciadas concentrações de vapores (obtidos valores nulos – 0 ppm). Em um ponto, apenas, foi detectada uma concentração alta com valores entre 600 e 1.100 ppm na profundidade de 1,0

metro, na área de descarga de óleo do empreendimento. A partir dos levantamentos, foi recomendado pelo relatório que houvesse a continuação dos trabalhos de investigação em duas áreas: uma área potencialmente contaminada (APs) e uma área contaminada (AC). A Área da Caldeira, especificamente junto ao tanque de armazenamento do efluente de lavagem do LUVO, foi classificada como área contaminada (AC) em função de já se ter encontrado concentrações de metais alumínio e manganês na água subterrânea em um poço de monitoramento. A área da Casa de Força, especificamente na fossa séptica, foi definida como área potencialmente contaminada (AP), tendo em vista presença equipamentos antigos. Nas demais áreas, não foi indicada a necessidade de continuação da investigação.

Em relação ao modelo conceitual, de maneira geral, representou a situação da área quanto às possíveis contaminações existentes e sua relação com a vizinhança, levando em consideração os bens a proteger nela existentes. Foi ressaltado também que nas áreas onde existia histórico de acidentes (subestação e área de armazenamento de óleo), através do diagnóstico ambiental realizado em 2016, não foram encontrados contaminantes no solo nem na água, evidenciando que a remediação adotada foi eficiente. Na Tabela 5-3, foram apresentadas algumas características determinantes das áreas sugeridas como potencialmente contaminadas.

Tabela 5-3 - Características das substâncias de interesse.

Modelo conceitual da UTE						
Área	Fonte	Classif.	SQI	Mecanismo de Liberação	Via de transporte	Bens a proteger
Tanque de armazenamento do efluente do LUVO	Efluente da lavagem do LUVO	AC	Metais (Níquel e Manganês)	Lavagem do LUVO e armazenamento do efluente em tanque subterrâneo para posterior tratamento.	Permeabilidade do solo e lençol freático	Solo e água subterrânea
Fossa séptica geral da usina	Fossa séptica	AP	Material orgânico sanitário	Infiltração no solo e liberação de vapores.	Permeabilidade do solo e lençol freático	Solo e água subterrânea

Nota 1: SQI – Substâncias Químicas de Interesse.

Nota 2: LUVO: trocador de ar regenerativo, recipiente que funciona como troca de calor que ajuda a aumentar e eficiência da caldeira

Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Como foi indicada a continuação dos trabalhos em dois locais do empreendimento, a execução desta etapa foi apresentada na proposta de plano de amostragem. O escopo básico considerado foi subsidiado pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, na versão do ano de 2001. No plano, foi indicada a adoção da amostragem direcionada, a qual é realizada a partir do conhecimento já existente a respeito das fontes e vias de disseminação da contaminação, evidências visuais de contaminação do solo ou aplicação de métodos de

screening na área. Os pontos selecionados previamente levaram em conta o tipo de contaminante, a topografia local, o fluxo da água subterrânea e a expectativa da suposta percolação do efluente nas áreas. Na Tabela 5-4, foram apresentados os resumos das atividades que foram sugeridas de serem realizadas para a investigação das áreas indicadas.

Tabela 5-4 - Plano de amostragens das áreas indicadas.

Pontos de amostragem	Especificidades do procedimento	Quantidade de amostras	Parâmetros de análise	Fluxo prioritário provável da água subterrânea
Efluente do LUVO				
PM0 Posto já instalado	Consonância com a NBR 9603 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	1 amostra de água subterrânea	Metais contemplados na Resolução CONAMA 396/2008, bem como pH e condutividade.	Sudoeste para nordeste
PM1		1 amostra de solo e uma amostra de água subterrânea		Sudoeste para nordeste
PM2		1 amostra de solo e uma amostra de água subterrânea		Sudoeste para nordeste
PM3		1 amostra de solo e uma amostra de água subterrânea		Sudoeste para nordeste
Fossa séptica				
PM4	Consonância com a NBR 9603 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	1 amostra de solo e uma amostra de água subterrânea	<i>E.coli</i> contemplado na Resolução CONAMA 396/2008	Noroeste para sudeste
PM5				Noroeste para sudeste
PM6				Noroeste para sudeste
PM7				Sudoeste para nordeste

Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Na sondagem, planejada em consonância com a NBR 9603 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), previu-se a adoção de procedimentos tais como localização do ponto de sondagem com o auxílio do GPS; montagem do trado; perfuração e retirada do piso, quando necessário; limpeza da área de amostragem para a eliminação de qualquer fragmento presente na superfície; uso da cavadeira para a retirada da primeira amostra próxima à superfície do solo; posicionamento do trado sobre o ponto a ser sondado e início da perfuração; para a coleta de amostras em diversas profundidades, introdução de amostradores tubulares no furo, juntamente com o trado; amostragem do solo e remoção do amostrador do extrator; remoção da amostra do tubo do amostrador, descartando a parte superior e inferior (aprox. 2,5 cm), para eliminar o solo despreendido de horizontes superiores ou adicionado durante o posicionamento do amostrador no furo; e transferência da amostra para saco plástico impermeável autosselante, para ser

encaminhada à análise laboratorial. Destaca-se que somente o poço PM0 já existia na área, enquanto os demais seriam instalados para viabilizar a sondagem.

A segunda investigação ambiental teve o objetivo de subsidiar o processo de desmobilização da UTE para nova utilização do terreno ou uma possível futura venda. Até o momento em que esta pesquisa de TCC foi desenvolvida, a única etapa da investigação que está concluída é a Avaliação Preliminar. Nela estão contidas as caracterizações ambientais e do empreendimento, as metodologias aplicadas, o histórico das avaliações de áreas contaminadas realizadas anteriormente, as medições de campo de compostos orgânicos voláteis (COV), além do Modelo Conceitual I e o Plano de Monitoramento.

O levantamento do histórico e das caracterizações foi auxiliado pelos trabalhos anteriores desenvolvidos da área, desde o primeiro relatório após a remoção do óleo. Desta vez, os trabalhos foram subsidiados pela versão de 2021 da norma ABNT NBR 15.515-1.

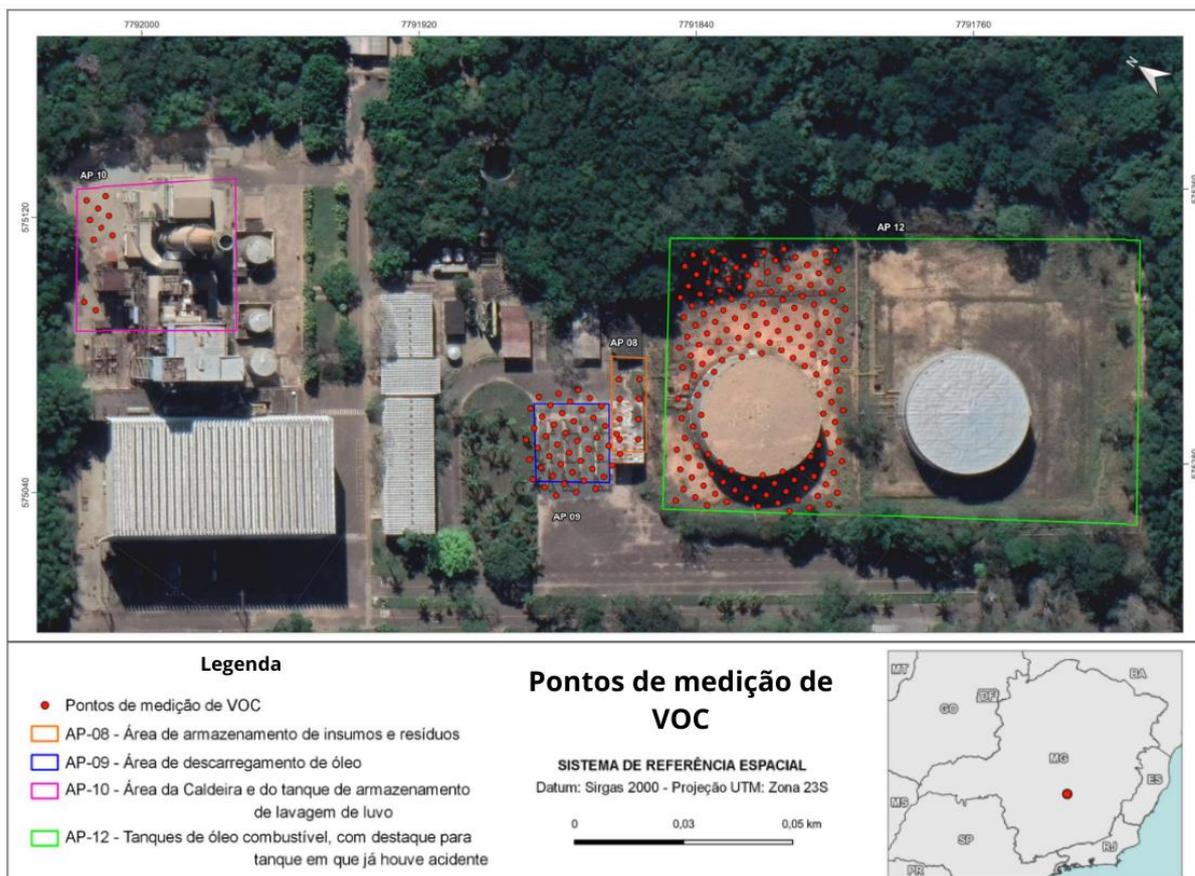
Da mesma forma que na primeira investigação, o método adotado para verificar algum indício de contaminação foi a medição de compostos orgânicos voláteis (COV). Dessa forma foram realizados 233 pontos de medição, sendo que na área de armazenamento de insumos e resíduos foram definidos 8 (oito) pontos, na área da caldeira, foram analisados 10 (dez) pontos, no espaço pertencente ao descarregamento de óleo foram 47 (quarenta e sete) pontos e, por fim, na área dos tanques de óleo, em que foi analisado o primeiro tanque, o número de pontos de amostragem foi de 168, espaçados numa malha de 5x5 m. Na Tabela 5-5, estão descritas as áreas e os resultados da medição apresentados no relatório.

Tabela 5-5 - Resultados amostragem de COV.

Área	Quantidade de pontos analisados	Número de pontos com concentração acima de 0,0 ppm	Faixa de concentração (ppm)
Armazenamento de insumos e resíduos	8	0	-
Caldeira e do tanque de armazenamento do efluente do LUVO	10	0	-
Descarregamento de óleo	47	4	0,1 – 0,9
Tanques de óleo combustível, com destaque para tanque em que já houve acidente	168	18	0,1 – 0,7

Observa-se que as áreas avaliadas não apresentaram concentrações próximas às aferidas na investigação realizada em 2016. O mapa da Figura 5-9 está ilustrada a distribuição dos pontos de medição de COV. De toda forma, a etapa de Investigação Confirmatória foi recomendada, com base na justificativa de novo uso do terreno ou futura de venda do terreno e instalações.

Figura 5-9 - Pontos de medição de COV.



Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Em relação ao modelo conceitual, todas as áreas da UTE (vide Fonte: Adaptado de relatório de empresa de consultoria (2022).

Figura 5-7) foram reclassificadas como áreas com potencial de contaminação (AP). As Substâncias Químicas de Interesse (SQIs), suas relações com as APs e os pontos de monitoramento de solo e água subterrânea constam identificadas e explanadas detalhadamente no relatório intitulado Plano de Investigação Confirmatória.

No Plano, ficaram estabelecidas as profundidades de coleta de solo e as Substâncias Químicas de Interesse (SQI) para solo e água subterrânea. Além disso, aspectos de metodologia de amostragem foram explanados, o que envolveu tratar sobre os procedimentos, materiais e

equipamentos de segurança, cadeia de custódia, escolha e análise laboratorial e incerteza. O estudo também indicou a existência de 14 Áreas com Potencial de Contaminação (APs), as quais serão monitoradas por meio de 28 pontos de coleta de solo e 20 poços de avaliação da qualidade da água subterrânea.

Dessa forma, no Plano de Investigação Confirmatória definiu a coleta de solo seguindo as orientações dispostas na DN COPAM nº 108/2007, de modo a caracterizar as condições ambientais do solo amostrado, sendo recomendada coleta no ponto de maior concentração detectada por leitura de Compostos Orgânicos Voláteis ou, em casos de não detecção, na profundidade de 0,5 m.

Com relação ao método de amostragem de água subterrânea, foi recomendado o método de baixa vazão, que consiste em uma purga controlada do poço, utilizando-se baixas vazões de bombeamento, ligeiramente inferiores à capacidade de produção do poço, causando o mínimo de rebaixamento possível. Quanto ao quantitativo, devem ser coletadas amostras de 1 L, de modo a atender às variadas análises a serem realizadas em laboratório. Cita-se que o volume pode variar em função do método utilizado pela equipe responsável, devendo ser descrito na metodologia do relatório.

5.4.2 Trabalhos de Investigação Confirmatória e produtos gerados

Até o momento em que esta pesquisa foi desenvolvida houve somente um trabalho de Investigação Confirmatória, realizado em 2016. Apesar de no plano de investigação ter sido prevista a coleta de oito amostras, foram executadas 20 (vinte) sondagens ambientais. A partir das sondagens realizadas, foram instalados 10 (dez) poços de monitoramento de água subterrânea e coletadas 41 (quarenta e uma) amostras de solo.

As coletas de solo foram analisadas quanto aos parâmetros BTEX, PAH e TPH *fingerprint*. Salienta-se que nenhuma delas apresentou concentrações dos compostos superiores aos valores orientadores adotados, entretanto em uma amostra (a 2,0 metros de profundidade) foram detectados traços de BTEX; em uma amostra foi identificada concentração acima do limite para Benzeno (a 4,0 metros de profundidade); e em três amostras para PHA (uma a 2,0 e duas a 2,8 metros de profundidade). Dos 10 poços analisados, houve somente duas não-conformidades, para manganês e níquel, em um dos poços.

Diante dos resultados obtidos, então, ficou descaracterizada a existência de plumas de contaminação por hidrocarbonetos adsorvida no solo local e dissolvida na água subterrânea. Dessa forma, a investigação foi encerrada e somente os monitoramentos anuais seguiram sendo exigidos.

5.5 Avaliação do processo em relação à efetividade dos trabalhos de GAC na recuperação da área

Tendo em vista que os dois trabalhos de investigação foram realizados com objetivos diferentes (o primeiro para avaliar a situação após o acidente e a segunda para subsidiar o processo de desmobilização do empreendimento), comparando as etapas comuns nos dois períodos é possível observar alguns pontos de destaque. Ressalta-se que todos os trabalhos realizados listados no banco de dados foram feitos obedecendo as notificações da FEAM e seguindo estratégias determinadas pela empresa que gerencia a Usina no decorrer do tempo.

Em relação à Avaliação Preliminar, destaca-se que em ambas as campanhas as buscas por evidências de contaminação a partir do óleo diesel foram feitas através de medições de compostos orgânicos voláteis (COV). Enquanto na primeira campanha foram medidos em 58 pontos, na segunda foram feitas 233 amostragens.

Na campanha ocorrida após a remoção do óleo vazado, duas áreas (Tanque de armazenamento do efluente do LUVU e Fossa séptica geral da usina) apresentaram concentrações entre 600 e 1.100 ppm. A partir dessa evidência foi recomendada a continuação do GAC para a Investigação Confirmatória. Na segunda campanha, por sua vez, não houve valores expressivos de concentrações de COV encontradas em nenhuma amostra avaliada. No entanto, a realização da etapa de Investigação Confirmatória está sendo planejada para subsidiar o processo de desmobilização do empreendimento. Na Tabela 5-6, está compilado o resumo comparativo entre as duas Avaliações Preliminares.

Tabela 5-6 - Resumo comparativo dos trabalhos de Avaliação Preliminar.

Campanhas	Método de avaliação	Número de amostras aferidas	Áreas amostradas com concentrações anômalas	Faixa de concentração máxima (ppm)	Recomendações finais
1ª Campanha (2016)	COV	58	2	600 – 1.100	Realizar Investigação Confirmatória nas duas áreas
2ª Campanha (2022)	COV	233	0	0,1 – 0,9	Realizar Investigação

					Confirmatória em todo o empreendimento
--	--	--	--	--	--

Nota: Destaca-se que a Investigação Confirmatória da 2ª campanha não foi recomendada pelos resultados obtidos na Avaliação Preliminar, mas sim por fazer compor as informações que subsidiarão a desmobilização da UTE.

Em relação ao único trabalho de Investigação Confirmatória que foi realizado na área do empreendimento até então, em nenhum ponto foi encontrada concentração anômala de algum parâmetro que justificasse o detalhamento da contaminação. Portanto, a investigação atuou como instrumento de comprovação de não contaminação da área. Porém, foi recomendada a continuação dos monitoramentos de solo e água subterrânea para garantir a manutenção desse cenário.

De maneira geral, pode-se avaliar que o GAC atuou nesse processo todo como instrumento ambiental importante para o controle de um empreendimento industrial, com altos riscos de causar danos aos bens a proteger. Isso se deu tanto no primeiro momento, para avaliar as consequências ambientais do acidente quanto na segunda campanha, ao atestar que a área está ambientalmente conforme com as legislações para seguir o processo de desmobilização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se fazer algumas ponderações acerca do Gerenciamento de Áreas Contaminadas, explanação do histórico e do desenvolvimento de metodologias em Minas Gerais e outros estados do Brasil. Foi feita a visita no âmbito das normas técnicas e análise em relação aos desafios que cercam os trabalhos das consultorias ambientais; além de observações sobre o estudo de caso adotado para ilustrar as discussões.

No primeiro momento, a partir do histórico levantado do GAC no Brasil e em Minas Gerais, é nítida a morosidade e desigualdade na qual acontece o desenvolvimento de metodologias e regulamentações envolvendo as áreas contaminadas; ao mesmo tempo, há o aumento quase que exponencial de registros de contaminações. Por um lado, é ótimo aumentar o registro de áreas contaminadas, potencialmente contaminadas e remediadas, o que demonstra certa preocupação com a temática. Em contrapartida, tem-se evidência que há muita negligência em relação ao meio ambiente por parte dos estados e municípios que ainda não estabeleceram caminhos legais para o gerenciamento das contaminações.

Em relação aos desafios relacionados aos trabalhos de investigação ambiental, destaca-se que como são usualmente realizados por empresas de consultoria ambiental, atravessam questões econômicas, de logística e de qualificação profissional. A instalação de poços, definição do quantitativo de amostragens, do tempo de trabalho, entre outras questões são variáveis que afetam a qualidade dos resultados obtidos.

Acerca do estudo de caso, pode ser observado que o GAC atuou como instrumento importante para controle ambiental da área de um empreendimento com risco alto de contaminação ambiental. Por um lado, pode-se observar certa morosidade na investigação das consequências do acidente ocorrido em 2001. Em adição, os trabalhos de investigação ambiental ocorreram de forma a atestar as condições ambientais, passando por desafios comuns desses tipos de projetos, mas atendendo às exigências legais exigidas pelo órgão público regulador.

Portanto, a presente pesquisa evidenciou, de forma sucinta, o contexto do GAC em relação ao seu histórico, bem como demonstrou a importância à qual se deu seu surgimento, os aspectos legais envolvidos, as técnicas recomendadas pelas normas e a aplicação de parte desses conceitos em um estudo de caso desenvolvido numa usina termelétrica. Nesse sentido, tendo em vista o aumento do número de registros em todo o Brasil, é uma oportunidade de trabalho que as consultorias ambientais estão sendo cada vez mais demandadas. À medida que mais

profissionais especializados nesse tipo de trabalho estiverem atuando e quanto mais qualificadas forem suas experiências, as metodologias e normas técnicas podem se estabelecer com mais consistência e adaptadas a todas as regiões brasileiras.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Antônia Angélica Correia de. **O Brasil no contexto do gerenciamento de áreas contaminadas: um olhar crítico para as regiões desiguais do país.** 2019. 35 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

Araújo Moura, A. A. C. de, & Caffaro Filho, R. A. (2015). Panorama do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil após a resolução CONAMA 420/09. *Águas Subterrâneas*, 29(2), 202–2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.27972>. Acesso em: 16 jun.2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma Técnica 15.515-1. Avaliação Preliminar.** 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma Técnica 15.515-2. Investigação Confirmatória.** 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma Técnica 16.210. Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento.** 2013.

BARBOSA, G. V. & RODRIGUES, D. M. S. **Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte:** UFMG, IGC, 130p. 1967.

da Silva Bianchi, Sinara, and Eduardo Sanberg. **Remoção como alternativa para gerenciamento de áreas contaminadas.** *Cippus* 7.2 (2019): 29-41.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 420.** 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana. **Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas.** 2020.

Canario, Paula Giovana Grangeiro, and Sueli do Carmo Bettine. **Gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil: Uma análise crítica.** *Geosciences= Geociências* 39.03 (2020): 751-764.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Manual do Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

DE PAULA, G. M *et. al.* **Termoelétrica e Recursos Hídricos: O caso do derramamento de Óleo Diesel em Guajará-Mirim/Rondônia**. 2020.

ETCHELAR, Cecília Balsamo. **Investigação confirmatória para desativação e encerramento de atividade industrial**. 2021.

FERRADOR, Amauri. **Gerenciamento de áreas contaminadas: uma análise sobre as práticas e procedimentos utilizados no estado de São Paulo para aplicação em regiões do país com recursos financeiros e humanos limitados**. 2018.

GÜNTHER, Wanda M. R. **Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana**. 2006. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_08.pdf. Acesso em: 16 abr. 2023.

HERCULANO, Selene. **Justiça ambiental: de Love Canal à Cidade dos Meninos, em uma perspectiva comparada**. 2001. Disponível em: https://professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/JUSTI%C3%87A_AMBIENTAL_de_Love_Canal__v5_%C3%A0_Cidade_dos_Meninos.pdf. Acesso em: 02 dez. 2022.

LIMA, Suzy Darley; OLIVEIRA, Andrea Ferreira; GOLIN, Rossean; CAIXETA, Danila Soares; LIMA, Zoraidy Marques; MORAIS, Eduardo Beraldo. **Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil**. 2017.

MAGALHÃES, Jeanete Solange Braga. **Avaliação da Gestão de Sítios Contaminados por Resíduos Perigosos nos EUA, Canadá, Países Europeus e Brasil, e Exemplo de um Manual Simplificado de Avaliação de Saúde Ambiental destes Sítios para o Brasil**. 2000.

MAGALHÃES, Antônio e SAADI, Allaoua. **Ritmos da dinâmica fluvial neo-cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do Rio das Velhas na região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil**. 1994.

MATTIASO, D.P. **Nova Fase para Gestão de Solos Contaminados**. 2010.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº 02**. 2010.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº 108**. 2007.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº 116**. 2008.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Inventário de Áreas Contaminadas**. 2021.

MORAES, Sandra Lúcia; TEIXEIRA, Cláudia E. e MAXIMIANO, Alexandre M. S. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. 2014.

PEREIRA, Raphael M. L. **Gerenciamento de áreas contaminadas no Rio de Janeiro: uma análise comparativa com base nas práticas realizadas em São Paulo e Minas Gerais**. 2020.

RIBEIRO, Crisleine Bühler Carvalho. **Gerenciamento de áreas contaminadas – Avaliação ambiental preliminar de um empreendimento industrial**. 2017. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/57017/R%20-%20E%20-%20CRISLEINE%20BUHLER%20CARVALHO%20RIBEIRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 dez 2022.

RIYIS, Marcos Tanaka; DERRITE, Rafael Muraro, HIRAI, Edegar Yoshio; LIMA, Elias Manoel de Brito; CEOLIM, Julia do Amaral; JESUS, Lucas Scarpanti. **Avaliação das falhas no modelo conceitual de uma área contaminada utilizando investigação com métodos convencionais**. 2017.

RODRIGUES JR., J. J. **Proposta Metodológica para Gerenciamento de Áreas Contaminadas: uma Aplicação no estado do Rio de Janeiro**. 2003.

ROMAGNOLI, Josiane de Moura; Silva, Ludmila A. S. Oliani; Samudio, Edgar Manuel Miranda. **Avaliação Preliminar de Passivos Ambientais em Área de Deposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. Revista Faculdade do Saber - ISSN 2448-335. 2021.

SILVA, Alecrícia Barros; VALVERDE, Francislainy Teles Almeida; LEMOS, Guilherme Matheus Coelho; FERNANDES, João Messias; BARROS, Rosana Gonçalves; BÁRBARA,

Vinícius Fagundes. **Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de serviços em Goiânia/GO.** 2020. Disponível em: <http://www.sustenere.co/index.php/nature/article/view/CBPC2318-2881.2020.003.0007/2109>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SILVA, Rafaela Rodrigues; CASTELO BRANCO, Jeffer; THOMAZ, Silvia Maria Tagé e CÉSAR, Augusto. **Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução em longo prazo.** 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/Bw9HVgLf4LtP3chrKntRgvp/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SILVA, Robson Willians da Costa; FILHO, Walter Malagutti. **O emprego de métodos geofísicos na fase de investigação confirmatória em cemitérios contaminados.** 2009.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear.** Rio de Janeiro. 2016.