



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE - PRODEMA

CRISTIAN JOSÉ SIMÕES COSTA

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA CONTAMINAÇÃO POR
HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO EM AQUÍFERO NA CIDADE DE JOÃO
PESSOA-PB

JOÃO PESSOA PB

2023

CRISTIAN JOSÉ SIMÕES COSTA

**DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA CONTAMINAÇÃO POR
HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO EM AQUÍFERO NA CIDADE DE JOÃO
PESSOA-PB**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente

ORIENTADORA: Nataly Albuquerque dos Santos - UFPB

COORIENTADOR: Raoni Batista dos Anjos - UFRN

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPB - Biblioteca Central

C838d Costa, Cristian José Simões.

Diagnóstico socioambiental da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo em aquífero na cidade de João Pessoa PB / Cristian José Simões Costa. - João Pessoa, 2023.

134 f. : il.

Orientação: Nataly Albuquerque dos Santos.

Coorientação: Raoni Batista dos Anjos.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Poluição das águas subterrâneas. 2. Postos de combustíveis. 3. Aquífero. 4. Hidrocarbonetos de petróleo. 5. Poluição da água com petróleo. I. Santos, Nataly Albuquerque dos. II. Anjos, Raoni Batista dos. III. Título.

UFPB/BC

CDU 556.388(043)

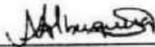
DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA CONTAMINAÇÃO POR
HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO EM AQUIFERO NA CIDADE DE JOÃO
PESSOA-PB

Tese apresentada ao Programa de
Pós Graduação em Desenvolvimento
e Meio Ambiente – PRODEMA,
Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento as exigências para
obtenção do título de Doutor

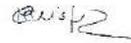
Área de Concentração:
Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovado em: 23/05/2023.

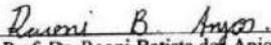
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Nataly Albuquerque dos
Santos - UFPB
(Orientador)



Profa. Dra. Maria Cristina Basilio
Crispim - UFPB
Examinador interno



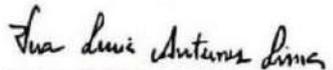
Prof. Dr. Raoni Batista dos Anjos -
UFRN
(Coorientador)



Profa. Dra. Marcia Helena Pontieri -
UFPB
Examinador externo



Prof. Dr. Edson Vicente da Silva -
UFCE
Examinador interno



Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de
Lima - UFCG
Examinador externo

Dedicatória

Aos que não estão presentes neste plano,
dedico ao meu Pai e ao Professor Djalma
Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

O que seria de nós se não tivéssemos o encantamento, a magia e o companheirismo das pessoas que apostaram e acreditaram nesta caminhada? Uma caminhada marcada por desafios, surpresas, emoções e muito aprendizado. Por isso, toda minha gratidão e respeito a todos aqueles que compuseram essa equipe e acreditam em um mundo diferente.

Agradeço a toda minha família, em especial à minha esposa pelo companheirismo atenção e paciência, aos meus filhos, meus irmãos, minhas mães e ao meu pai (*in memoriam*).

Agradeço à UFPB, ao Programa PRODEMA, aos professores, secretaria e coordenação.

Gratidão também ao IFAL, Reitoria, Direção do Campus Piranhas e todos os demais que possibilitaram e apoiaram o desenvolvimento desse trabalho.

Ao geógrafo e professor Francisco Segundo Neto sou grato pela dedicação na elaboração dos mapas que tanto auxiliaram a cumprir com os objetivos desta pesquisa.

Gratidão que se estende a todos os profissionais aos quais tive contato durante essa jornada (chefes de pista, frentistas, gerentes e proprietários dos postos de combustíveis).

Sou grato aos meus orientadores pelos ensinamentos, pela parceria, pela atenção e pela confiança.

Um agradecimento especial a todos aqueles que fazem o Laboratório NUPPRAR, em especial ao Professor Djalma Ribeiro da Silva (*in memoriam*), pelo carinho e atenção de sempre.

“A natureza criou o tapete sem fim que recobre a terra. Dentro da pelagem deste tapete vivem todos os animais respeitosamente. Nenhum o estraga, nenhum o róí, exceto o homem.”

Monteiro Lobato

Lista de figuras

Figura 1 – Modelo de tanque moderno com duas paredes de proteção: Tanque jaquetado	40
Figura 2 - Sistema separador de água e óleo (SSAO)	42
Figura 3 - Esquema de um poço de monitoramento	43
Figura 4 - Regiões e bairros de João Pessoa PB	62
Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos superiores de João Pessoa PB	73
Figura 6 - Procedimento para a extração de TPH em água por SPE.	80
Figura 7 – Porcentagem das bandeiras comercializadas pelos revendedores varejistas de combustível em operação/autorizados pela ANP em João Pessoa PB	82
Figura 8 – Modelo de cadastro do Posto de combustível na ANP	84
Figura 9 - Distribuição dos poços e postos de combustíveis no município de Joao Pessoa PB	87
Figura 10 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Leste.....	89
Figura 11 – Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Leste.....	93
Figura 12 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Sul	98
Figura 13 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Sul.....	102
Figura 14 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Norte	104
Figura 15 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Norte	108
Figura 16 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Oeste	109
Figura 17 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Oeste	112
Figura 18 - Média geral da avaliação de risco dos postos de combustíveis utilizados para investigação da água subterrânea	115

Lista de Imagens

Imagem 1 - Parte superior de um poço de monitoramento.....	43
Imagem 2 <i>bailer</i> - Equipamento para coleta de água subterrânea.....	77
Imagem 3 - Poços de coleta de água subterrânea	77
Imagem 4 - Vidraçaria utilizada para coleta de BTEX, HPA e TPH	78
Imagem 5 – Cromatógrafo FID, GC 2010.....	80
Imagem 6 - Postos fechados no bairro de Mandacaru (Zona Norte A) e no bairro do jaguaribe (Zona Oeste B).....	85
Imagem 7 - Locais de coleta da água subterrânea na Zona Leste	91
Imagem 8 - Classificação das amostras no laboratório	94
Imagem 9 - Estruturas de segurança dos postos de combustíveis da Zona Sul. Bomba de óleo com vazamento (Imagem A), Canaleta de escoamento entupida (Imagem B), tampas de tanques de combustíveis fechadas com borrachas e com sinais de vazamentos (Imagem C) e Piso de descarga não impermeabilizado (Imagem D).....	103

Lista de Quadros

Quadro 1 - Classificação da qualidade da água de acordo com os padrões para hidrocarbonetos BTEX.....	36
Quadro 2 - Equipamentos periféricos para instalação subterrânea	41
Quadro 3 - Classificação dos BTEX e HPA prioritários quanto à sua carcinogenicidade e outros riscos à saúde humana	50
Quadro 4 - Pontos de coleta (Zona Leste)	92
Quadro 5 - Pontos de coleta (Zona Sul)	101
Quadro 6 - Pontos de coleta (Zona Norte)	107
Quadro 7 - Pontos de coleta (Zona Oeste)	113

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valores máximos permitidos de BTEX, HPA e TPH total encontrados nas legislações nacionais e internacionais para água subterrânea	37
Tabela 2 - Comparação do volume de combustível comercializado em João Pessoa entre os anos 2000 e 2018	44
Tabela 3 - Critérios utilizados para avaliação dos cenários de risco de contaminação da água subterrânea.....	74
Tabela 4 - Tancagem de combustível em João Pessoa PB	84
Tabela 5 - Identificação das zonas da cidade de João Pessoa.....	85
Tabela 6 - Resultado parcial da avaliação dos cenários de risco da Zona Leste	90
Tabela 7 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenários de risco da Zona Sul	99
Tabela 8 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenário de risco da Zona Norte	105
Tabela 9 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenário de risco da Zona Oeste	110

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Leste e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea	91
Gráfico 2 - Resultado da avaliação do Naftaleno nos poços da Zona Leste.....	95
Gráfico 3 - Resultado do Etilbenzeno nos poços da Zona Leste	95
Gráfico 4 - Resultado do TPH nos poços da Zona Leste.....	96
Gráfico 5 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Sul e seleção dos pontos em vermelho para avaliação da água subterrânea	100
Gráfico 6 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Norte e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea	106
Gráfico 7 –Resultado da avaliação do cenário risco da Zona Oeste e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea	111
Gráfico 8 - Resultado da avaliação de risco dos postos de combustíveis de João Pessoa PB com destaque para os intervalos de notas (1-4) com a maior concentração de postos.....	114
Gráfico 9 - Seleção em vermelho dos pontos e suas respectivas notas utilizadas na seleção para avaliação da água subterrânea nos postos de combustíveis em João Pessoa PB.....	114

Lista de Siglas

Siglas Institucionais

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	Sociedade Americana de Ensaio e Materiais
BDNAC	Banco de Dados Nacional de Áreas Contaminadas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Proteção Ambiental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ECOS	Conselho Ambiental dos Estados Unidos
EEA	Agência Europeia do Ambiente
FATMA	Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul
GEIA	Grupo Executivo da Indústria Automotiva
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCA	Instituto Nacional do Câncer
ITRC	<i>Interstate Technology and Regulatory Council</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NUPPRAR	Núcleo de Processamento Primário e Reuso de Água Produzida e Resíduos
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PROCON - JP	Programa de Proteção e Defesa do Consumidor de João Pessoa PB

PRODEMA	Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente
ReLASC	Rede Latino-Americana de Prevenção e Gestão de Áreas Contaminadas
SEMAD - GO	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás
SEMAM	Secretaria do Meio Ambiente
SEMURB	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINDIPETRO	Sindicato dos Postos de Combustíveis da Paraíba
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

Siglas Técnicas

ACs	Áreas contaminadas
AP	Áreas Potencialmente Contaminadas
ASs	Áreas Suspeitas
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno.
FID	<i>Flame Ionization Detector</i> ionização
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
HS	Técnicas de <i>Headspace</i>
IC	Investigação Confirmatória
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
NAPL	Compostos de Fase Líquida Densa Não Aquosa
NAPL	Compostos de Fase Líquida Leve Não Aquosa
NAPL	Líquido de Fase Aquosa
PEA	Plano de Encerramento de Atividades
PID	<i>Photoionization Detector</i>
PM	Poço de Monitoramento

SSAO	Sistema Separador de Água e óleo
SASC	Sistemas de Armazenamento Subterrâneos de Combustíveis
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPE	Extração em fase sólida
SQI	Substâncias Químicas de Interesse
TPH	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
VI	Valores de Investigação
VMP	Valores Máximos Permitidos
VP	Valores de Prevenção
VRQ	Valores de Referência de Qualidade

Sumário

1.0	INTRODUÇÃO.....	20
2.0	HIPÓTESES	27
3.0	OBJETIVOS.....	28
3.1	OBJETIVO GERAL:	28
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	28
4.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
4.1	GESTÃO AMBIENTAL	30
4.2	ASPECTOS LEGAIS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	31
4.3	QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	33
4.4	POSTOS DE COMBUSTÍVEIS.....	38
4.4.1	Características da atividade de revenda de combustíveis	38
4.4.2	Principais equipamentos de proteção ambiental dos postos de combustíveis	39
4.4.3	Postos de combustíveis e a mudança na paisagem urbana	44
4.5	AMBIENTE URBANO E SAÚDE PÚBLICA	46
4.6	- MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA A SAÚDE HUMANA E AMBIENTAL	47
4.7	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS PRODUTOS DERIVADOS DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E A SAÚDE HUMANA.....	48
4.7.1	BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)	49
4.7.2	HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos)	49
4.7.3	TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo).....	51
4.8	POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL E INVESTIGAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL.....	53
4.9	INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL EM POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS NAS DIVERSAS REGIÕES DO PAÍS	54
4.9.1	Região Sul	54
4.9.2	Região Sudeste	55
4.9.3	Centro Oeste.....	56
4.9.4	Região Norte	57
4.9.5	Região Nordeste	57

4.9.5.1 Paraíba (João Pessoa)	59
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	61
5.2 PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	62
5.2.1 Critérios utilizados para seleção dos pontos de investigação da água subterrânea ..	71
5.3 COLETA DE AMOSTRAS.....	76
5.4 ANÁLISES QUÍMICAS – BTEX.....	78
5.5 ANÁLISES QUÍMICAS - HPA.....	79
5.6 ANÁLISES QUÍMICAS – TPH.....	79
5.7 GEORREFERENCIAMENTO.....	81
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
6.1 RESULTADOS ZONA LESTE	88
6.2 RESULTADOS ZONA SUL.....	97
6.3 RESULTADOS ZONA NORTE.....	104
6.4 RESULTADOS ZONA OESTE.....	109
7 CONCLUSÃO.....	116
REFERÊNCIAS	120

Resumo

A pesquisa quali-quantitativa de natureza exploratória teve como objetivo geral realizar um diagnóstico dos aquíferos quanto à presença de hidrocarbonetos de petróleo, denominados BTEX, HPA e TPH presentes nos combustíveis fósseis, advindos da atividade de revenda de postos de combustíveis na cidade de João Pessoa - PB. Utilizando-se da interdisciplinaridade foram consultados diversos órgãos de controle para o levantamento do perfil dos postos de combustíveis com base no número de postos, infrações, licenças e diagnóstico de tancagem. A identificação e mapeamento dos poços foram realizados a partir das bases de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, pertencente à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM; da Agência Executiva de Gestão das Águas; da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba e de visitas em campo para a identificação de poços não cadastrados nos órgãos oficiais. Em outra etapa foi realizada uma avaliação de risco com todos os postos da cidade utilizando critérios previamente selecionados e que seguem uma ordem de maior relevância para a investigação do passivo ambiental. Foram considerados, nesta avaliação, a proximidade do poço subterrâneo com relação aos tanques subterrâneos de combustíveis, a profundidade média do poço, a vulnerabilidade dos aquíferos, a classificação do entorno do empreendimento, o perfil de elevação, e o histórico de acidentes dos postos de combustíveis. A metodologia utilizada, indicada pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (ACs), estabelecida pela CETESB (2001), tem como objetivo definir a existência e a localização das áreas contaminadas sob investigação, otimizando recursos técnicos e econômicos. Com base nessas informações foram selecionados 38 postos de combustíveis das quatro zonas da cidade com médias que mostravam cenários propícios à contaminação, identificados na avaliação de risco. No período de dois anos foram realizadas cerca de 180 visitas nos postos de combustíveis e coletadas 114 amostras distribuídas nas quatro zonas da cidade, sendo 38 para análise de BTEX, 38 para análise de HPA e 38 para análise de TPH. Os resultados da avaliação confirmatória mostram que não há contaminação por BTEX nas quatro zonas da cidade de João Pessoa e que também não há contaminação causada por HPA e TPH nos aquíferos das zonas Norte, Sul e Oeste. As únicas evidências de contaminação foram na zona Leste, com a presença de HPA e TPH. Para o HPA foi encontrado o Naftaleno, em uma concentração acima da Resolução CONAMA 420, de 144,87 µg.L e o Etilbenzeno com 44,81 µg.L, que estava abaixo de todas as legislações que tratam desse contaminante. O TPH foi encontrado em dois pontos diferentes e em concentrações muito superiores (1485,1 e 2379,8 µg.L) às estabelecidas pela CETESB- 2014, que determina um valor máximo de 600 µg.L. Os mapas produzidos com os dados da pesquisa permitem identificar as regiões da cidade com os maiores cenários para o risco de contaminação e as áreas contaminadas.

Palavras chaves: Postos de combustíveis. Hidrocarbonetos de petróleo. Aquífero.

Abstract

The general objective of the exploratory qualitative and quantitative research was to carry out a diagnosis of groundwater regarding the presence of petroleum hydrocarbons, called BTEX, HPA and TPH present in fossil fuels, arising from the resale activity of gas stations in the city of João Pessoa - PB. Using interdisciplinarity, several control bodies were consulted to survey the profile of gas stations based on the number of stations, infractions, licenses and tanking diagnosis. The identification and mapping of the wells was carried out from the databases of the Groundwater Information System, belonging to the Mineral Resources Research Company – CPRM; of the Water Management Executive Agency; of the Paraíba Water and Sewage Company and visits to identify wells not registered in the official bodies. In another stage, a risk assessment was carried out with all the gas stations in the city using previously selected criteria and which follow an order of greater relevance for the investigation of environmental liabilities. It was considered, considering in this assessment the proximity of the underground well in relation to the underground fuel tanks, average well depth, vulnerability of the aquifers, the classification considering the surroundings of the enterprise, the elevation profile, and the history of accidents at the gas stations. The methodology used, indicated by the Contaminated Areas Management Manual (ACs), established by CETESB (2001), aims to define the existence and location of the contaminated areas under investigation, optimizing technical and economic resources. Based on this information, 38 gas stations from the four zones of the city were selected with averages that showed scenarios conducive to contamination, identified in the risk assessment. Over a two-year period, around 180 visits were made to gas stations and 114 samples were collected from the four zones of the city, 38 for BTEX analysis, 38 for PAH analysis and 38 for TPH analysis. The results of the confirmatory evaluation show that there is no contamination by BTEX in the four zones of the city of João Pessoa and that there is also no contamination caused by PAH and TPH in groundwater in the North, South and West zones. The only evidence of contamination was in the East zone, with the presence of PAH and TPH. For PAH, Naphthalene was found at a concentration above CONAMA Resolution 420, of 144.87 µg.L and Ethylbenzene with 44.81 µg.L, which was below all legislation dealing with this contaminant. TPH was found at two different points and in much higher concentrations (1485.1 and 2379.8 µg.L) than those established by CETESB, 2014, which determines a maximum value of 600 µg.L. The maps produced with the survey data make it possible to identify the city regions with the highest risk assessment averages and the contaminated areas.

Keywords: Gas stations. Petroleum hydrocarbons. Aquifer.

1.0 INTRODUÇÃO

A poluição responsável pela contaminação química da água subterrânea causada por micropoluentes derivados de petróleo é um dos temas em destaque em todo o mundo por ser uma problemática complexa e dinâmica e que abrange os cenários de exploração de recursos naturais, proteção ao meio ambiente, comércio e qualidade de vida.

Neste contexto interdisciplinar e para o entendimento do problema na atualidade, percebe-se a necessidade não apenas de uma visão técnica, mas do envolvimento dos aspectos históricos, econômicos e socioambientais que abarcam essa discussão.

O crescimento populacional tem sido a causa do aumento da poluição no mundo, consequência do grande número de atividades com elevado potencial poluidor (CARDOSO; LODI; BARROS, 2017). A poluição química, por sua vez, tem uma forte relação com a industrialização, com o uso de novas tecnologias e com o aumento do consumo de bens e produtos dependentes do petróleo, o que fez a humanidade criar novas necessidades individuais não apenas para garantir o bem estar material, mas também o social, sendo o automóvel um dos maiores símbolos do consumo, status e distinção social atualmente (VEBLEN, 1974, LIMONCIC, 1997).

No Brasil o aumento do número de veículos, estes sendo o sonho de consumo de muitos brasileiros, ganhou maior impulso entre as décadas de 1950 a 1960, no governo de Juscelino Kubitschek após a criação do Grupo Executivo da Indústria Automotiva (GEIA), cuja finalidade principal era a produção de veículos e peças no Brasil, pois antes os veículos eram importados e tinham um custo bem mais elevado (VIANINI, 2016).

Com essa iniciativa, o veículo foi se tornando cada vez mais popularizado, sendo responsável por diversas modificações ocorridas no mercado e na nossa sociedade. Na década de 1970 muitas cidades, dentre elas Belo Horizonte, conhecida como Cidade Jardim, começaram a apresentar as grandes mudanças na sua paisagem e na arquitetura de suas residências para se adaptarem aos automóveis. Diversas ruas perderam suas árvores e foram alargadas e jardins residenciais foram transformados em garagem (DUARTE, 2011).

Deste período em diante, com o aumento da popularização dos veículos, o volume de vendas aumentou consideravelmente partindo da marca de 416 mil veículos vendidos na década de 1970, 2 milhões em 2002 e 4 milhões em 2020, e atingindo uma frota de 100 milhões de unidades de todos os seguimentos automotivos em circulação. No Brasil se destaca o volume de vendas de automóveis de passeio e a grande dependência do setor de transporte rodoviário, atualmente o

responsável por grande parte deste mercado, com cerca de 61,1% quando comparado com outras formas de transporte de mercadorias no país (IBGE 2017; DENATRAN, 2020).

No estado da Paraíba, no qual esta pesquisa se debruçou na capital João Pessoa, que apresentou um crescimento da frota de veículos também bem significativo. No estado o número passou de 315 mil em 2010 para cerca de 1.500.000 em 2020 e a capital conta com uma frota de veículos que praticamente dobrou em uma década: passou de 230.820 veículos em 2010 para 416.052 em 2020 (DENATRAN, 2020; IBGE, 2021). Estes números retratam o crescimento da cidade impulsionado principalmente pela expansão do mercado imobiliário de uma cidade litorânea.

O crescente aumento na produção, consumo e utilização dos transportes dependentes do petróleo foi um dos fatores que influenciou o universo de modificações que o ambiente começou a sofrer. A cadeia envolve os impactos desde a exploração e refino de petróleo, a impactos dos serviços de manutenção dos transportes realizados pelas oficinas mecânicas e os impactos gerados pela rede de distribuição e comércio varejista de combustíveis. E nesse cenário de transporte, armazenamento e comércio de combustíveis destacamos a possibilidade do aparecimento de impactos ambientais negativos, dado o poder tóxico das substâncias envolvidas sobre o ambiente e os seres vivos.

Nas paisagens urbanas essa interferência antrópica, proporcionada por um modelo de desenvolvimento¹ tem alterado os ciclos naturais, gerando passivos ambientais difíceis de ser mensurados em um curto espaço de tempo. As áreas contaminadas em centros urbanos sofrem impactos muitas vezes silenciosos, e talvez esse silêncio seja um dos motivos que dificultam estudos e diagnósticos, criando um cenário propício para a geração de impactos negativos (SÁNCHEZ, 2011).

Neste sentido a história tem registrado os sucessivos danos ambientais aos recursos naturais e para saúde humana, causados muitas vezes pelos efeitos adversos do crescimento econômico desordenado. As externalidades ambientais produzidas pelo uso insustentável dos recursos naturais são pouco investigadas e contabilizadas (VILLAR, 2015).

¹ O conceito de desenvolvimento é muito controverso por apresentar uma confusão com o conceito de crescimento, porém Celso Furtado (1974) esclareceu bem a conotação que deve ser atribuída ao afirmar que: “Desenvolvimento se caracteriza pelo seu projeto social subjacente. Dispor de recursos para investir está longe de ser condição suficiente para preparar um melhor futuro para a massa da população. Mas quando o projeto social prioriza a efetiva melhoria das condições de vida dessa população, o crescimento se metamorfoseia em desenvolvimento” (p.25).

Um dos maiores danos ambientais de contaminação do solo e da água ocorreu em Niagara Falls, estado de Nova York, nos Estados Unidos, em 1892. Ele ficou conhecido como a história do *Love Canal* e traz uma importante reflexão a partir do cenário ambiental atual sobre contaminação a partir de produtos químicos, crescimento econômico, progresso e desenvolvimento dos centros urbanos.

Niagara Falls ficou conhecida pela contaminação de um canal utilizado para depósito de produtos químicos e, mais tarde, na década de 1970, com o crescimento populacional começaram os relatos dos reflexos da contaminação ao longo do tempo como o cheiro forte exalado do solo e o surgimento de sérios problemas de saúde na população (HERCULANO, 2001). O Estado foi obrigado a enfrentar problemas ambientais, sociais e econômicos, e, trazendo para nossa realidade, podemos ter que enfrentar exemplos semelhantes caso as medidas de investigação não sejam intensificadas.

Foi a partir deste período, com o surgimento dos primeiros casos de contaminação de solos e aquíferos, que se sentiu necessidade da prática de amostragem de solo e água subterrânea para monitoramento e prevenção de contaminação, porém nos dias de hoje, essa prática ainda enfrenta diversos entraves.

Os planos de gestão ambiental surgiram para intervir nessa problemática e procuram entender os aspectos que compõem o delicado tema da contaminação, analisando as questões históricas, políticas, econômicas e ambientais que envolvem o mercado (SÁNCHEZ, 2011).

A discussão sobre contaminação faz parte da história do tempo presente. Em escala mundial os diálogos foram se aprofundando e, em 1968, com o relatório do Clube de Roma, desenvolveu-se um debate sobre a relação entre crescimento econômico, poluição e escassez de recursos energéticos. Criou-se, portanto, um novo paradigma para o desenvolvimento econômico, identificado pela capacidade suporte e resiliência dos ecossistemas (SACHS, 2007).

Neste caminho, em 1972 a Conferência de Estocolmo, realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), ganhou destaque por ser a primeira conferência mundial sobre o homem e o meio ambiente, mostrando a necessidade de repensar as práticas quanto aos recursos naturais, compreendendo, portanto, que a relação da espécie humana no ambiente urbano tem um impacto direto sobre o bem estar social.

Foi com base nestes debates que, em 1987, surgiu o Relatório de Brundtland com a formalização internacional de um conceito que associa satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, denominado então de desenvolvimento sustentável (VEIGA; SACHS, 2008).

Enfatizou-se, a partir deste momento, a necessidade de uma ampla investigação e monitoramento dos recursos naturais de forma interdisciplinar para se obter uma melhor resposta social e econômica.

O Brasil se inseriu neste contexto de forma mais intensa ao longo da década de 1980, sendo a RIO 92, o marco decisivo para a inserção do país no debate sobre a sustentabilidade em uma agenda com os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

Em 2012, após a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, ocorrida no Rio de Janeiro, surgiram os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em 2015, a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, realizada em Nova York, na sede da ONU, atualizou a Agenda Global com os objetivos que deveriam ir até 2030. Dentre esses objetivos destaca-se os de números 6 e 11, que norteiam essa pesquisa.

O ODS 6 tem como objetivo “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”, com destaque para a meta que trata da melhoria da qualidade da água com redução da poluição, minimizando a liberação de produtos químicos.

O ODS 11 tem como objetivo “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”, com destaque para a meta que trata de apoiar as relações econômicas, sociais e ambientais positivas em áreas urbanas, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento, e da meta que trata da redução dos impactos negativos *per capita* das cidades, muitas vezes gerados por serviços que podem comprometer a qualidade da água responsável pelo equilíbrio socioambiental e econômico de uma região, e, em consonância com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida.

Levando este debate em consideração, observa-se um grande crescimento demográfico das capitais nos últimos anos, em João Pessoa PB esse crescimento foi de 250% em 49 anos (IBGE, 2019) e isso reflete no aumento do consumo e nos serviços oferecidos.

Dentre os serviços destaca-se a elevada quantidade de postos de combustíveis, presente em áreas que demonstram ter uma maior vulnerabilidade ambiental² devido à suscetibilidade dos contaminantes hidrocarbonetos de petróleo (LEITE, 2021). A contaminação por derivados de petróleo advindos de Sistemas de Armazenamento Subterrâneos de Combustíveis (SASC) de

²- “A vulnerabilidade ambiental trata do risco ao qual o meio ambiente está exposto, podendo ser natural como a presença de uma falha geológica responsável por um terremoto ou a presença de um vulcão ativo, ou ainda pode ser causado por fatores externos, neste contexto abordamos a ação antrópica sobre o meio ambiente” (ALVES, 2006; SANTOS, 2007; FIGUEIREDO, 2010; AQUINO, 2017).

postos de combustíveis se constitui em uma das principais preocupações dos órgãos ambientais (FERREIRA; LOFRANO; MORITA, 2020).

Ao realizar uma pesquisa prévia não se encontra sobre a região de João Pessoa dados científicos sobre processo de investigação de passivos ambientais, monitoramento e conseqüentemente um plano de remediação quanto à contaminação das aquíferos por hidrocarbonetos de petróleo presentes nos combustíveis fósseis, denominados Hidrocarbonetos Monoaromáticos (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno - BTEX), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs e os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - TPH.

Destaca-se que os poços de abastecimento de água localizados próximos aos postos de combustíveis podem fornecer dados sobre o passivo ambiental provocado por essa atividade comercial. Finotti et al. (2001) advertiram que a presença dos postos espalhados pela cidade e a falta de monitoramento dos aquíferos, constituem motivos para o comprometimento ambiental e que a gestão da qualidade das águas subterrâneas prevista na Lei Federal 9.433/1997 deve ter como uma das suas etapas o controle das fontes poluidoras.

Os processos de investigação e diagnóstico previstos na legislação evoluíram com o resultado do desenvolvimento da ciência e tecnologia. Novos parâmetros passaram a ser analisados a partir de impactos de curto, médio e longo prazo, os quais as pessoas estão expostas. Esses novos estudos mostram caminhos para o aprofundamento da avaliação da vulnerabilidade social a qual as pessoas estão envolvidas (FERNANDES, 2016; AQUINO, 2017).

Impactos sobre os recursos hídricos podem inutilizar esses recursos que mantém os serviços ecossistêmicos³. Neste sentido as questões econômicas são atingidas e são indissociáveis dos demais. Despesas com trabalhos de remediação possuem custos elevados e o processo de remediação ocorre geralmente de forma lenta (CONAMA 396/ 2008), necessitando de mão de obra qualificada.

A identificação de casos de intoxicação em seres humanos é perigosa e complexa por levar em consideração inúmeras variáveis que nem sempre são cruzadas, tais como rotas de exposição variada, estado clínico da população, fatores genéticos, além dos fatores sociais, econômicos e políticos da população (FERNANDES, 2016).

³- “Serviços ecossistêmicos são os benefícios da natureza para as pessoas. Eles são vitais para o bem-estar humano e para as atividades econômicas. Existem diferentes formas de classificar os serviços ecossistêmicos. A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM), publicada em 2005, classifica os serviços ecossistêmicos em quatro categorias: provisão, regulação, culturais e de suporte, também chamados de apoio ou habitat” (MMA, 2020).

Para dar suporte à investigação destaca-se, no Brasil, a recomendação do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da Resolução N° 420 do CONAMA 2009 que tornou possível a identificação e o gerenciamento de áreas contaminadas com ações sobre o conhecimento, características e impactos causados para que possam ser tomadas decisões, visando a necessidade de prevenção da contaminação do subsolo e das águas subterrâneas, que são bens públicos e reservas estratégicas para o abastecimento público, e a proteção da qualidade das águas para o desenvolvimento sustentável.

A referida Resolução apresenta os valores de referência para diversas substâncias químicas, que são utilizadas como parâmetro em qualquer atividade de prevenção, monitoramento ou remediação de sítios contaminados.

A resposta social é representada através da metodologia proativa compartilhada do Ministério da Saúde (MS), metodologia caracterizada pela antecipação do problema, prevenção de impactos negativos com a utilização de novas tecnologias para promoção da saúde, ou seja, através da investigação, os riscos podem ser reduzidos ou evitados para a população potencialmente exposta (HILPERT, 2015; ANVISA, 2017).

Em caráter interdisciplinar e visando atender ao objetivo social proposto, esta pesquisa contribui de duas formas: gerando dados sobre a qualidade da água subterrânea para os parâmetros hidrocarbonetos derivados do petróleo, norteando indicadores de risco tais como o método DRASTIC⁴ (ALLER et al., 1987) e o IRCAS⁵ (PEIXOTO e CAVALCANTE, 2019) e também sobre o sistema de vigilância em saúde da população exposta a substâncias químicas. Com esta contribuição é possível atender à metodologia proativa proposta pelo MS.

Os principais cadastros do Ministério da Saúde são representados pelo Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de População Exposta a Solo Contaminado (Sissolo) e o de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Contaminantes Químicos (Vigipeq), sendo estes relacionados com os contaminantes químicos que interferem na saúde humana e nas inter-relações entre o ser humano e o ambiente.

⁴- O método DRASTIC é um modelo de indicador de risco para água subterrânea baseado em 7 parâmetros hidrogeológicos: profundidade do nível estático da água (D), recarga (R), litologia do aquífero (A), tipos de solo (S), topografia do local (T), natureza da zona não saturada (I) e condutividade hidráulica (C), cujas iniciais formam a sigla DRASTIC (STIGTER, 2000).

⁵- O Índice de Risco de Contaminação da Água Subterrânea (IRCAS) possui como metodologia, a coleta de esgoto, a coleta de lixo e de abastecimento de água. Este último é um indicador da possibilidade da população consumir a água proveniente de fontes subterrâneas, sendo muito importante no processo de investigação, modelo que auxilia no suporte à tomada de decisão para proteção dos aquíferos urbanos, buscando indicar as áreas de maior risco à contaminação (PEIXOTO, 2020).

Em João Pessoa - PB o órgão responsável por eliminar, diminuir ou prevenir riscos à saúde e intervir nos problemas sanitários decorrentes do meio ambiente é a gerência de Vigilância Sanitária, instituída pela Lei Orgânica da Saúde – Lei 8.080 de 19/09/1990, Art. 6º Inciso I.

Em nível internacional uma parceria entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Rede Latino-Americana de Prevenção e Gestão de Áreas Contaminadas (ReLASC), criada em 1993 a partir da cooperação técnica Brasil-Alemanha incentivou a Empresa Paulista de Tecnologia e Saneamento Ambiental, atualmente conhecida como Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a ampliar o sistema de gestão de áreas contaminadas, tornando-se referência nacional e contribuindo com a disseminação do conhecimento para outras regiões do Brasil. A ReLASC, atualmente com sede no Peru, visa estimular a produção, difusão e o intercâmbio de conhecimentos e informações sistematizadas no âmbito da gestão em duas áreas estratégicas: prevenção da contaminação de solos e águas subterrâneas e revitalização de áreas contaminadas.

No Brasil apenas os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo apresentam uma lista de áreas contaminadas, divididas por tipo de contaminação e processos de remediação utilizados, divulgado pelo Banco de Dados Nacional de Áreas Contaminadas -BDNAC (IBAMA, 2020). Nestes Estados, as pesquisas apontam diversos empreendimentos com elevado potencial de contaminar o solo e a água subterrânea, porém as atividades de revenda de combustíveis se sobressaem por possuírem um índice de contaminação superior às outras, destacando-se, neste caso, as substâncias químicas denominados hidrocarbonetos de petróleo com grande potencial de causar problemas à saúde humana e comprometimento ambiental.

Esse diagnóstico identifica uma lacuna deixada pelos estados da federação sobre a necessidade de ampliação dos estudos, utilizando-se, portanto, da investigação e diagnósticos, exigida pela Resolução CONAMA 420/2009 que tem como objetivo fortalecer as metas do desenvolvimento sustentável.

A *Declaração Universal dos Direitos da Água*, redigida pela ONU em 1992, alerta que a água não deve ser desperdiçada, poluída ou envenenada (USP, 1992) enfatizando, desta forma, a necessidade de estratégias de proteção frente a um consumo crescente, incentivado pelo crescimento das cidades e pelas perdas de outras fontes de água superficiais.

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) estima um crescente consumo da água subterrânea através da quantidade de perfuração de poços por ano no país: cerca de 40 a 50 mil (ABDI, 2012), chegando a uma estimativa de 2,5 milhões de poços tubulares no Brasil. Segundo a ANA (2021), 40% das sedes urbanas são abastecidos exclusivamente por mananciais subterrâneos, são cerca de 2.200 municípios brasileiros abastecidos por águas subterrâneas

(TRATABRASIL, 2019; FUNDAJ, 2020; ANA, 2021), números que crescem devido ao aumento da demanda, resultado do processo de urbanização. Em diversos estados, dentre eles o Mato Grosso do Sul, Piauí, Maranhão, Pará, Amazonas, São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná a água subterrânea é amplamente utilizada (ANA, 2021), o que reforça a necessidade de uma rede de monitoramento para proteção quali-quantitativa deste recurso e das relações que ela estabelece no ambiente.

É neste sentido que se evidencia a situação dos postos revendedores de combustíveis frente à vulnerabilidade socioambiental que o serviço fornece, pois é uma atividade urbana presente na vida das pessoas que movimenta uma grande variedade de produtos químicos de natureza tóxica para a qualidade do ar, do solo e da água e de difícil detecção (FINOTTI et al., 2001).

A atividade é controlada pela Resolução nº 273 do CONAMA de 2000, importante na geração de renda com diversos empregos na sua cadeia produtiva e que tem sido foco de discussão na academia e nas várias esferas ambientais (municipal, estadual e federal) devido ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Mesmo passados 21 anos da publicação da Resolução nº 273 do CONAMA e 12 anos da Resolução nº 420 do CONAMA, que estabelecem diretrizes para o licenciamento e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, o estado da Paraíba não apresenta informações sobre essas áreas, principalmente pela atividade de Revenda de Combustíveis, por esse motivo torna-se necessária a discussão, o estudo e a aplicação das referidas Resoluções.

É pela problemática que se forma em torno do tipo de contaminante, aspectos qualitativos da água subterrânea e seus impactos sociais, econômicos e ambientais, que se torna necessária uma investigação inédita sobre o passivo ambiental dos postos de combustíveis sobre os aquíferos de João Pessoa-PB. Esse trabalho se adequa à proposta do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) por ter caráter interdisciplinar e por dialogar com conceitos de sustentabilidade, dando ênfase ao tripé de sustentação economia, sociedade e meio ambiente enquanto um conjunto para o qual se deve buscar harmonia.

2.0 HIPÓTESES

Devido à grande quantidade de postos de combustíveis na cidade de João Pessoa, presentes em áreas com grande vulnerabilidade ambiental e à falta de um monitoramento das águas

subterrâneas quanto à presença de hidrocarbonetos de petróleo, existe a possibilidade da contaminação das mesmas por BTEX, HPA e TPH.

Não existe um plano de remediação para áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no município de João Pessoa devido à ausência de dados científicos sobre a contaminação (área afetada, extensão, fase de contaminação).

Os poços de abastecimento de água de João Pessoa, localizados próximos aos postos de combustíveis, podem ser fontes de elementos químicos que inviabilizam o consumo humano.

A contaminação provocada pelos postos de combustíveis pode provocar problemas de ordem econômica, social e ambiental.

3.0 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL:

Realizar um diagnóstico do aquífero quanto à presença de hidrocarbonetos de petróleo, advindos da atividade de revenda de postos de combustíveis na cidade de João Pessoa – PB.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Realizar de uma avaliação preliminar da contaminação de combustíveis em aquíferos, através da análise química de BTEX, HPA e TPH a partir de amostras de poços localizados nas imediações dos postos de combustíveis; realizar uma avaliação confirmatória a partir dos poços de abastecimento de água subterrânea localizados nas imediações dos postos de combustíveis quanto à contaminação por BTEX, HPA e TPH; quantificar os compostos BTEX , HPA e TPH na água subterrânea nos poços de abastecimento da cidade e, por fim, realizar o georreferenciamento dos postos de combustível da cidade de João Pessoa-PB e montar, através do (SIG), um mapa com as possíveis (AC) por hidrocarbonetos de petróleo proporcionando um modelo de gerenciamento ambiental e plano de ação de remediação.

4.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A problemática ambiental exige uma visão complexa e dinâmica do espaço, bem como a mudança de paradigmas. Desta forma, a nossa revisão bibliográfica, contempla conteúdos com enfoque interdisciplinar nas várias linhas de pensamentos e nos diversos campos do saber para, dessa forma, tentar uma aproximação do entendimento de temas complexos da nossa sociedade.

As pesquisas desenvolvidas nos diversos campos de saber alimentam as discussões as quais o mundo está vivenciando. Elas possibilitam o entendimento dos paradigmas estabelecidos pela sociedade (LEFF, 2000) e podem apontar caminhos, alternativas e soluções dos principais problemas que enfrentamos no mundo contemporâneo.

É importante enfatizar que, diante da sociedade que vivemos e com a complexidade dos fenômenos, tem surgido uma hiper-especialização do conhecimento que, por vezes, enfatiza uma fragmentação das informações (BARROS, 2004). Apesar da importância desta informação do micro se faz também necessário uma compreensão do macro, que demanda o entendimento do problema em um contexto mais abrangente. Neste sentido a interdisciplinaridade colabora com a construção de novos saberes, técnicas e conhecimentos para enfrentar os problemas no campo econômico, ambiental e social (LEFF, 2015).

Esta revisão se inicia procurando abordar as discussões sobre a gestão ambiental aplicada aos conhecimentos que cercam as atividades comerciais ligadas ao setor de combustíveis. Em seguida discorremos sobre os aspectos legais que norteiam a discussão; mais adiante refletimos sobre as águas subterrâneas, importância e os possíveis impactos ambientais. Ainda nesta revisão foi abordado a temática sobre postos de combustíveis em vários aspectos como o ambiente urbano e saúde pública, medidas de segurança para a saúde humana e ambiental, características químicas dos produtos comercializados e, por fim, ao abordar o potencial do impacto ambiental e investigação do passivo ambiental, apresenta-se uma coletânea de trabalhos que tratam da temática da contaminação em diversos espaços. Inicialmente, para termos uma visão mais ampla, apresentamos os trabalhos nas diversas regiões do país, posteriormente afunilamos para os trabalhos na região Nordeste e, para concluir, as pesquisas que foram realizadas em João Pessoa PB, nosso espaço de estudo.

4.1 GESTÃO AMBIENTAL

As discussões sobre passivo ambiental causado pelos micropoluentes denominados hidrocarbonetos de petróleo envolvem uma profunda investigação. Segundo Weber (2000) “a definição de objetivos de longo prazo, de natureza ética e política num horizonte temporal muito longo, constitui um pré-requisito à elaboração de qualquer estratégia de gestão”. E para alcançar isso se faz necessário um programa eficiente de gerenciamento ambiental com pesquisa, prevenção e tratamento de áreas contaminadas.

Atividades comerciais como postos de revenda de combustíveis podem comprometer o solo e os aquíferos gerando passivos ambientais. No entanto, esses empreendimentos, quando acompanhados da gestão ambiental, que determina medidas de controle, preservação e recuperação ambiental, podem reduzir seus impactos para a sociedade e o ambiente. Essa é uma obrigação presente originada de acontecimentos passados, com impactos negativos à saúde humana ou ao meio ambiente (FIESP, 2011).

A gestão ambiental nasce de um novo entendimento, com uma nova abordagem sistêmica formada por trabalho interdisciplinar (DELGADO, 2005, MORIN, 2007). Sua evolução associada às políticas públicas ambientais visa não apenas as questões econômicas, mas também as questões relacionadas ao ambiente e à qualidade de vida que representam a complexidade e são prerrogativas do desenvolvimento sustentável (VEIGA, 2008; SÁNCHEZ, 2011).

Para Sánchez (2011, p. 334) a gestão ambiental é “um conjunto de medidas de ordem técnica e gerencial para minimizar os riscos ambientais e os impactos adversos, além de maximizar os efeitos benéficos”.

Por ter uma concepção diferente sobre as questões que envolvem a vida nos ecossistemas, a gestão ambiental pode gerar conflitos com a visão capitalista de exploração, a qual se sobrepõe as ideias de crescimento indefinido e geração de riqueza a todo custo, considerando a natureza como um simples elemento a ser explorado para a produção de matéria prima, de bens de consumo e ainda contribuindo para o distanciamento das questões entre sociedade, meio ambiente e saúde (FERNANDES, 2016).

Essa linha de pensamento gera cenários de incerteza, riscos e desafios que são refletidos em atrasos na implementação de trabalhos de investigação de passivos ambientais e de políticas fiscalizadoras utilizados em um plano de gestão ambiental que pode contribuir na ampliação dos ativos e na redução de passivos ambientais.

Os ativos ambientais (BERGAMINI JR., 1999; SÁNCHEZ, 2005) no setor de revenda de combustíveis se refletem pela garantia de um serviço sustentável com defesa do meio ambiente equilibrado e geração de emprego e renda que movimenta uma cadeia importante de serviços para a economia da sociedade.

Os passivos ambientais geralmente são produzidos por dificuldades enfrentadas na gestão ambiental, tais como: falta de licença e registro de cadastro, pendências de infrações, multas, termos de ajustamento de conduta, processos operacionais no armazenamento de substâncias potencialmente poluentes sem bacia de contenção, vazamentos em tubulações, equipamentos obsoletos e instalações desativadas (FIESP, 2011), problemas que necessitam de um processo de investigação e aplicação de tecnologias para um cenário de contaminação de áreas degradadas. São essas vulnerabilidades que poucos estados conseguiram reduzir até o momento (MORAES et al, 2014).

Um dos obstáculos da investigação dos passivos ambientais se refere à obtenção de dados preexistentes e da complexidade do processo de contaminação (FIESP, 2011). Em uma avaliação mais completa, os elementos sociais, a saúde da população a curto, médio e longo prazo e os efeitos na cadeia alimentar nos ecossistemas acabam sendo afetados em escalas diferentes e a ausência desses dados, difíceis de serem coletados e mensurados, ampliam o cenário de risco e incerteza (CETESB, 2007; SÁNCHEZ, 2011).

4.2 ASPECTOS LEGAIS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS

O caminho adotado pela legislação brasileira para enfrentar os impactos ambientais produzidos pela sociedade pode ser interpretado como resultado de uma história social na qual muitas vezes os custos do progresso econômico tem comprometido o bem estar e a qualidade de vida criando, na visão do sociólogo Ulrich Beck⁶ (2012), uma “sociedade de risco”.

Partindo deste olhar, podemos afirmar que alguns dos princípios fundamentais do direito ambiental que norteiam os estudos sobre investigação e controle da contaminação se baseiam nos cenários de risco e incerteza como os descritos aqui: Princípio da Prevenção, da Precaução, do Poluidor Pagador, Lei Federal de Crimes Ambientais, Lei Federal de Ação Civil Pública, além da restrição ao crédito financeiro para financiamento e de danos à saúde das pessoas (FIESP, 2011).

⁶- No livro *Sociedade de risco*, 2012, o autor Ulrich Beck, sociólogo germânico, utiliza a expressão “sociedade de risco” para mostrar uma fase no desenvolvimento da sociedade moderna, na qual os riscos sociopolíticos e econômicos se rendem à sociedade industrial (BECK, 2012).

Esses princípios foram ancorados por leis e resoluções com os objetivos de evitar problemas para a saúde humana, ambiental e de reduzir custos com trabalhos de recuperação de áreas degradadas, representando um dos alicerces para o trabalho de investigação ambiental adotado pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 1982 (SÁNCHEZ, 2013; BÜHRING, 2020).

O Princípio da Prevenção, que rege a PNMA (BRASIL, 1981), no seu Art. 2º foca no trabalho de preservação e, portanto, no acompanhamento do estado da qualidade ambiental, contribuindo com o Princípio da Precaução ao inibir o dano potencial indesejável, partindo de uma incerteza científica e análise de dados não compreendidos para uma confirmação científica de que a atividade causará danos, tornando a investigação científica imprescindível para esse princípio (WEDY, 2014; MACHADO, 2015).

Os custos da prevenção tendem a serem inferiores aos da reparação, enfatizando que alguns dos danos podem ser irremediáveis, porém se os riscos são conhecidos e avaliados, podem e devem ser mitigados, implicando, também, em necessárias medidas cautelares para evitar a continuidade de eventuais atividades lesivas ao meio ambiente ou à população (MACHADO, 2015; BÜHRING, 2020).

O termo vulnerabilidade dos aquíferos é definido como a facilidade ao risco da introdução e propagação de contaminantes, desde a superfície do terreno até o aquífero (ALBINET & MARGAT, 1970; PEIXOTO, 2019). Segundo Foster (1988) a ideia de risco de contaminação de água subterrânea se apresenta na interação entre vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou no subsolo, desta forma pode-se configurar um cenário de alta vulnerabilidade, porém sem risco de poluição pela inexistência de carga poluente significativa ou vice-versa. Nestes termos, devido à fragilidade do ambiente, o risco é potencializado pela interferência da sociedade no sistema natural (PEIXOTO, RODRIGUES e ALBUQUERQUE, 2019). Portanto, em postos de combustíveis, os riscos e vulnerabilidades dos sistemas SASCs de contaminar a água subterrânea precisam ser conhecidos, avaliados e mitigados.

Considerando-se a ideia da alta vulnerabilidade e risco e considerando também que a prevenção não foi eficiente para um determinado empreendimento que causou externalidades negativas, o Princípio do Poluidor Pagador (artigo 4º, VII da Lei 6.938/81), baseado no art. 225 da Constituição Federal sobre o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e ao dever de preservá-lo, exige a recuperação ou indenização dos danos causados (BECHARA, 2017; FIORILO, 2019). Configura-se, neste caso, um trabalho de recuperação de uma área degradada que, no caso de derramamento ou vazamento de combustíveis, a depender da quantidade e da pluma de contaminação, terá um processo mais perigoso, caro e lento.

Neste sentido a Lei Federal nº 7.347/1985 de Ação Civil Pública e a Lei Federal nº 9.605/1998 de Crimes Ambientais contribuem com a ação de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente em benefício da coletividade, apontando para as penas atribuídas das atividades lesivas ao meio ambiente e suas consequências para a saúde pública que incluem desde a suspensão das atividades até a execução de obras de recuperação de áreas degradadas identificadas causadas pela contaminação.

4.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas são aquelas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo (CONAMA, 2008). Elas fazem parte dos ciclos biogeoquímicos (ciclo hidrológico), regulando o fluxo dos rios, umidade do solo e a formação dos aquíferos. São denominados recursos hídricos estratégicos dada a quantidade armazenada e o valor que representam para o desenvolvimento de uma sociedade o fato de poder disponibilizar água para as diversas atividades que a cercam, principalmente no contexto de uma crise hídrica acerca das águas superficiais (HIRATA, 2019).

Diante da perspectiva do crescimento populacional urbano, a utilização da água subterrânea tem sido utilizada como uma reserva estratégica para o abastecimento doméstico e industrial no Brasil, envolvendo uma complexa rede socioambiental de ocupação e demanda (ANA, 2007; CORDEIRO, 2012; PEIXOTO, 2020). O crescimento urbano impulsionado pelo milagre econômico a partir da década de 1970, associado a novas tecnologias na perfuração de poços, redução nos custos de extração e o comprometimento das águas superficiais faz uma grande pressão na utilização dos aquíferos (REBOUÇAS, 2006).

Apesar da sua importância, sua gestão ainda é precária e faltam dados sobre seu uso, monitoramento, qualidade, vulnerabilidade ou impactos causados pela contaminação (CORDEIRO, 2012; GOETTEN, 2015). O desconhecimento das ações necessárias para proteção e a falta de um corpo técnico qualificado para investigação e diagnóstico tornam os aquíferos vulneráveis ao risco de contaminação (ARAÚJO, 2015; HIRATA, 2019).

As águas subterrâneas são recursos fundamentais para cumprir os compromissos da Agenda 2030 e seus 17 ODS. No Brasil alguns destes ODSs estão ligados à segurança hídrica para o abastecimento urbano, industrial e irrigação, à promoção do progresso local, ao crescimento econômico, à erradicação da pobreza, à promoção da dignidade humana do bem-estar das populações e à regulação importantes ecossistemas (HIRATA, 2019).

As reservas hídricas subterrâneas brasileiras são classificadas em 181 aquíferos aflorantes divididos em três domínios: fraturado, sedimentar e cárstico. O domínio sedimentar, composto por 151 aquíferos, representa a maior potência de exploração e neste grupo encontram-se o Barreiras e o Beberibe localizados na cidade de João Pessoa - PB (ANA, 2007).

O perfil de utilização de água subterrânea no Brasil mostra que os 30% de uso doméstico superam os demais usos: agropecuário 24%, abastecimento público urbano 18% e abastecimento múltiplo 14% (CPRM 2020), identificando, deste modo, uma vulnerabilidade no uso doméstico quanto a cenários de escassez ou contaminação.

Em João Pessoa a água subterrânea encontra-se principalmente no aquífero Beberibe, caracterizado como aquífero confinado, sendo responsável pela principal reserva hídrica subterrânea da cidade. Ela é utilizada para o abastecimento público de água em diversos pontos do município (BARBOSA, 2007; CORDEIRO 2012).

Os poços na região de João Pessoa são caracterizados por serem do tipo sedimentar, com profundidades variadas. As rochas sedimentares são de baixa coesão com espaços intergranulares entre os grânulos, e essa atributo faz com que a água seja transmitida através da intercomunicação entre os ambientes vazios ao longo de um gradiente hidráulico (DRM, 2001).

Essas características são agravantes na contaminação por hidrocarbonetos de petróleo, principalmente nas fases livre e dissolvida, etapas em que ocorre o deslocamento do contaminante no solo até a água e posterior solubilização.

A identificação dos poços na cidade de João Pessoa se faz necessária para estimar a proximidade dos postos de combustíveis e possíveis vulnerabilidades para uma contaminação. Apesar de existirem outros trabalhos de identificação dessas áreas (BORGES, 2004; BARBOSA, 2007; MENEZES, 2009; CORDEIRO, 2012; TOSCANO, 2012; FONSECA, 2018; LEITE, 2021), essa pesquisa se propõe a realizar o trabalho de localizar outros poços e realizar a coleta da água subterrânea para ensaio em laboratório dos contaminantes a partir dos hidrocarbonetos de petróleo das áreas suspeitas de contaminação, tornando-o inédito.

A discussão sobre proteção da água subterrânea, apesar de ser antiga, ainda é cercada pela falta de conhecimento de campo, incertezas quanto ao risco de contaminação, falta de estudos de forma contínua e de investimentos em pesquisa (FINOTTI, 2001).

Em João Pessoa essa preocupação já havia sido sinalizada por Cordeiro em 2012, quando mostrava os poucos estudos e o aumento da utilização da água subterrânea em um cenário de

crescimento populacional e aumento do PIB que potencializam o aumento do consumo de água (CRUZ, 2019).

No cenário atual, utilizando-se dos mesmos índices para o ano de 2021, esses indicadores estimavam um crescimento de 13% da população (817 mil habitantes) e 33% para o PIB (25.035) (IBGE, 2018) que, associado a uma crise hídrica de escala nacional, sinaliza uma expansão da exploração da água subterrânea para diversas atividades. Há que se considerar, no entanto, que os dados projetados pelo IBGE a partir da base de 2018 não teriam como prever as profundas alterações ocorridas neste cenário com a pandemia do COVID 19. Estes números, apesar de não exatos, nos dão um norte e a possibilidade de projetar cenários para um futuro próximo.

Esse panorama descrito para a cidade de João Pessoa, associado às características físicas favoráveis à contaminação da água subterrânea (declividade, pedologia e hidrogeologia) apresentando, em algumas regiões, alta susceptibilidade a hidrocarbonetos de petróleo, torna-se preocupante devido à possibilidade do aparecimento de impactos negativos, dadas as atividades com potencial poluidor, sendo necessário um trabalho contínuo de investigação e monitoramento das águas subterrâneas (CORDEIRO, 2012; LEITE, 2021).

Segundo a Resolução n° 396 do CONAMA de 2008, as águas subterrâneas são classificadas em seis classes de acordo com os padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais e futuros. O processo de monitoramento e fiscalização das condições e padrões de qualidade da água subterrânea quanto aos hidrocarbonetos é baseado nos Valores de Referência de Qualidade (VRQ), nos Valores Máximos Permitidos (VMP) (Quadro 1) e nos valores orientadores para hidrocarbonetos aromáticos em solo e água subterrânea da Resolução n° 420 do CONAMA 420, de 2009, que define os Valores de Prevenção (VP) e Valores de Investigação (VI).

Quadro 1 - Classificação da qualidade da água de acordo com os padrões para hidrocarbonetos BTEX

Classe	Características	(VRQ)	
Especial	Quando destinadas à preservação de ecossistemas em Unidades de Conservação de Proteção Integral	Benzeno	Ausente
		Etilbenzeno	
		Tolueno	
		Xileno	
Classe 1	Não apresenta alteração de sua qualidade por atividades antrópicas e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais	Benzeno	Ausente
		Etilbenzeno	
		Tolueno	
		Xileno	
Classe 2	Não tem alteração de sua propriedade por atividades antrópicas, porém podem exigir tratamento apropriado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais	Benzeno	Ausente
		Etilbenzeno	
		Tolueno	
		Xileno	
		VMP (µg.L)	
Classe 3	Com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais	Benzeno	5
		Etilbenzeno	200
		Tolueno	24
		Xileno	300
Classe 4	Águas com alteração de sua qualidade por atividades humanas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso principal menos restritivo	Benzeno	10
		Etilbenzeno	200
		Tolueno	24
		Xileno	300
Classe 5	Águas, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não tem requisitos de qualidade para uso	Benzeno	nd
		Etilbenzeno	nd
		Tolueno	nd
		Xileno	nd

Fonte: Resolução CONAMA 396/2008 Adaptado.

Legenda:

VMP - limite máximo permitido de um dado parâmetro, específico para cada uso da água subterrânea,
VRQ - concentração ou valor de um dado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea.

O comprometimento da água subterrânea por ausência de monitoramento ou fiscalização, pode se refletir em perda das classes da água para atividades mais exigentes, como o fornecimento doméstico (GONÇALVES et al. 2019), com impactos para a saúde e para o meio ambiente e ainda exige um complexo processo de remediação. Neste sentido a antecipação das avaliações dos riscos gerados a partir de um contaminante, podem garantir uma menor proporção de incidentes graves.

A legislação mundial é referência para a determinação dos valores dos compostos orgânicos provenientes de petróleo e, apesar de servir de base para a legislação nacional, existem algumas diferenças quanto aos valores de algumas substâncias orgânicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores máximos permitidos de BTEX, HPA e TPH total encontrados nas legislações nacionais e internacionais para água subterrânea

Substância Química	Parâmetro	CETESB 2014	(CONAMA 396, 2008)		(CONAMA 420, 2009)	USEPA	(Lista Holandesa 2009)	
		(µg.L)	Valores Máximos Permitidos (VMP)		Valores de Investigação (VI)	2021	Valores de alerta(T)	
			Consumo Humano/Recreação das classes 3 e 4				Valores de alerta(T)	
							(µg.L)	
				Valores máximos para água potável -MCL		(µg.L)		
BTEX - Hidrocarbonetos Aromáticos Voláteis							T	I
Benzeno	5	5	10	5**	5	15	30	
Etilbenzeno	300	200 (1)	-	300***	700	75	150	
Tolueno	700	170 *	-	700***	1000	500	1000	
Xileno	500	300 *	-	500***	10000	35	70	
HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos								
Antraceno	900			-	-	2,5	5	
Benzo(a)Antraceno	0,4	0,05	-	1,75	-	0,25	0,5	
Benzo(K)Fluoranteno	4,1	0,05	-	-	-	0,026	0,05	
Benzo(g,h,i)pirileno	-	-	-	-	0,2	0,025	0,05	
Benzo(a)pireno	0,7	0,05	0,01	0,7*	-	0,026	0,05	
Criseno	41	0,05	-	-	-	0,026	0,05	
Dibenzo(a,h)antraceno	0,04	0,05	-	0,16	-	-	-	
Fenantreno	140	-	-	140	-	2,5	5	
Fluoranteno	-	-	-	-	-	0,5	1	
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,4	-	-	0,17	-	0,025	0,05	
Naftaleno	60	-	-	140	-	35	70	
TPH – Hidrocarbonetos Totais de Petróleo- Total								
TPH Total	600 µg/l	ne	ne	ne	ne	ne	ne	

Fonte: CETESB, 2014; CONAMA 396, 2008; CONAMA 420, 2009; USEPA, 2021; Lista Holandesa, 2009. Adaptado pelo autor.

Legenda:

1. Efeito organoléptico.

*Para a Classe 3, quando o VRQ for superior ao VMP_{r+} o primeiro será adotado como padrão da classe.

** Indicam padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria n o 518/2004 do Ministério da Saúde.

*** Valores calculados com base em risco à saúde humana.

- Lista Holandesa: Os valores de intervenção (I) indicam um nível de qualidade do solo acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. Os valores de alerta (T) indicam a necessidade de uma investigação detalhada na área.

MCL - Nível máximo de contaminante - Nível mais alto de um contaminante permitido na água potável determinado pelo National Primary Drinking Water Regulations - NPDWR (Regulamento Nacional de Água Potável Primária).

4.4 POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

4.4.1 Características da atividade de revenda de combustíveis

Postos de revenda de combustíveis, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 10.165/2000) são classificados como atividade potencialmente poluidora. Sua atividade é regulamentada pela Resolução ANP nº 858, de 05 de novembro de 2021 da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e pela Resolução nº 273 CONAMA de 2000, responsável por estabelecer as diretrizes para o licenciamento ambiental, prevenção e controle da poluição.

Ainda segundo a mesma Resolução, o licenciamento ambiental é um processo administrativo que tem como função conciliar o desenvolvimento econômico e social com a homeostase do meio ambiente através das disposições legais e normas técnicas para atividades utilizadoras dos recursos ambientais.

Para as atividades do comércio de combustíveis, a referida Resolução CONAMA no seu art. 2º classifica da seguinte maneira:

Posto Revendedor (PR): Instalação onde se exerça a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores.

Posto de Abastecimento (PA): Instalação que possua equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustível automotivo, com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas; e cujos produtos sejam destinados exclusivamente ao uso do detentor das instalações ou de grupos fechados de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de empresas, cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados.

Instalação de Sistema Retalhista (ISR): Instalação com sistema de tanques para o armazenamento de óleo diesel, e/ ou óleo combustível, e/ou querosene iluminante, destinada ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista.

Posto Flutuante (PF): Toda embarcação sem propulsão empregada para o armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis que opera em local fixo e determinado.

Na Paraíba o órgão ambiental responsável pelo licenciamento dos postos de combustíveis é a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) e, em consonância com a Resolução nº 273 CONAMA de 2000, exige para o processo de licenciamento, a liberação das seguintes licenças: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) e ainda o Termo de Referência para elaboração de Plano de Encerramento de Atividades (PEA) de postos de combustível.

Embora ainda não tenha ocorrido investigação de passivos ambientais nos postos de combustíveis na cidade de João Pessoa, essas licenças são essenciais no processo de investigação por possuírem as informações básicas do projeto, a descrição dos equipamentos e os sistemas de monitoramento exigidos pela Resolução nº 273 CONAMA de 2000, descritos abaixo:

- Tanques de armazenamento de derivados de petróleo;
- Caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação de áreas de recarga, localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado registrado nos órgãos competentes no raio de 100 m;
- Caracterização geológica do terreno, contemplando a permeabilidade do solo e o potencial de corrosão, classificação da área do entorno dos estabelecimentos que utilizam o SASC e enquadramento deste sistema conforme NBR-13.786;
- Detalhamento do tipo de tratamento e controle de efluentes provenientes dos tanques, áreas de bombas e áreas sujeitas a vazamento de derivados de petróleo ou de resíduos oleosos.

O formulário no Anexo I da mesma Resolução, exigido no processo de licenciamento, também se configura como uma ferramenta de gestão e monitoramento ambiental, pois identifica a relação e situação dos tanques de combustíveis, atividades desenvolvidas no estabelecimento, informações sobre o entorno do empreendimento, fontes de água do estabelecimento, resíduos sólidos, tipo de piso e equipamentos e sistemas de controle.

4.4.2. Principais equipamentos de proteção ambiental dos postos de combustíveis

Os equipamentos de proteção ambiental, exigidos pela legislação tem sofrido, ao longo dos anos, diversas transformações. A adoção de materiais mais resistentes e com melhor tecnologia tem os deixado mais eficientes e seguros.

Abaixo estão listados alguns dos principais equipamentos que contribuem na preservação das aquíferos em postos de combustíveis:

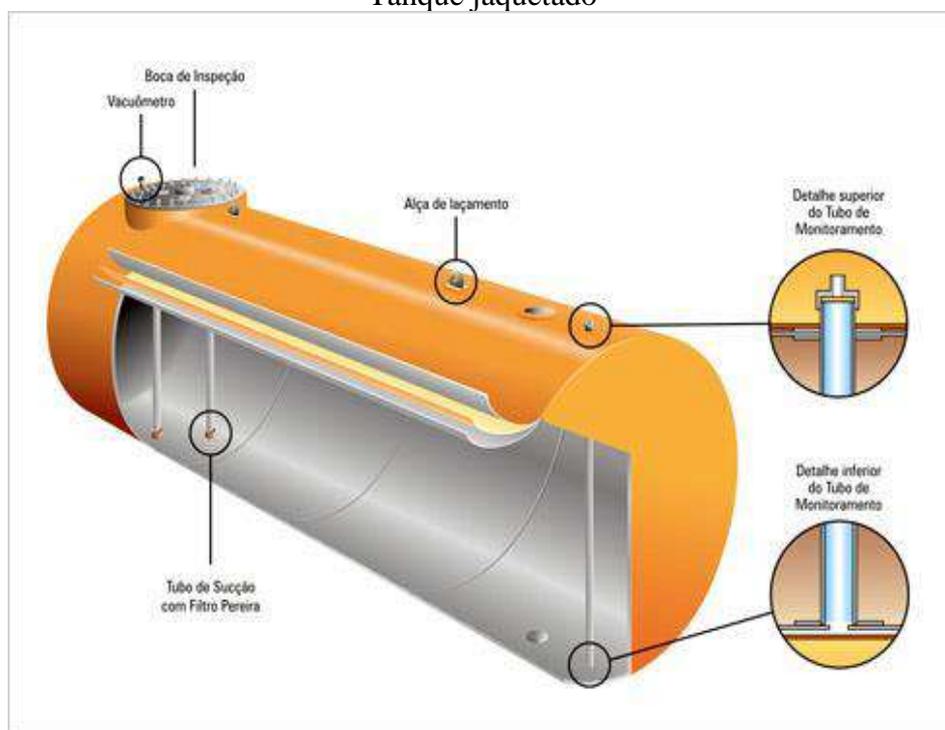
I – Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível (SASC)

São estruturas utilizadas para o armazenamento de combustíveis automotivos. Podem ser convencionais, fabricados com aço-carbono, com parede única simples e são sujeitos aos efeitos da corrosão, principalmente nos pontos de solda das chapas e conexões. Em cidades litorâneas como João Pessoa alguns fatores como o pH, a umidade e a salinidade do solo podem influenciar no processo de oxidação. Até a década de 1980, a maioria dos SASC era feita de aço puro, o que

provavelmente sofreria com a oxidação e permitiria que o conteúdo vazasse para o meio ambiente (USEPA, 2021).

Os tanques mais modernos, conhecidos como tanques jaquetados (Figura 1) apresentam duas paredes nas quais o tanque primário (interno) é construído em chapas de aço-carbono obedecendo à norma NBR 16.161/2019, e a região externa é constituída de material não metálico. Entre essas duas regiões, tem um sensor que é acionado através da alteração da pressão interna, provocada pela água ou ar por redução de estanqueidade, seja pela parede externa ou interna (CETESB, 2021).

Figura 1 – Modelo de tanque moderno com duas paredes de proteção:
Tanque jaquetado



Fonte: CETESB, 2017.

II - Detecção de vazamento em postos de serviço (NBR 13784:2019)

Pode ser realizada através de um controle de estoque de forma manual ou automática. As medições manuais ou físicas dos combustíveis armazenados nos tanques são realizadas geralmente com uma régua e são adequadas para constatação de vazamentos acima de 4 L/h de combustíveis. Esse método deve ser acompanhado de outro método de detecção como o automático ou ainda a execução periódica de ensaios de estanqueidade.

O sistema automático de medição pode ter duas funções: controle de estoque e detecção de vazamento. Para que esse sistema seja eficiente é necessário que ele seja capaz de detectar

vazamentos de no mínimo 1L/h, com 95% de possibilidade de acerto e máximo de 5% de probabilidade de alarme falso, incluído nesta conta a compensação do coeficiente térmico de expansão do combustível. A NBR 13784 (ABNT, 2019) recomenda que esses sistemas devem ser objeto de certificação que ateste os limites de detecção, sensibilidade, repetibilidade e reprodutibilidade e que, caso o sistema de medição automático não tenha a eficiência adequada para detecção de vazamento, ele deve ser utilizado com outro método de detecção. Percebe-se, então, uma vulnerabilidade ou imprecisão dos sistemas de monitoramento quando utilizados de forma isolada, o que pode contribuir para um processo de contaminação.

Em João Pessoa, a SUDEMA adota o sistema de automonitoramento através do teste de estanqueidade dos tanques e tubulações, anualmente para tanques com mais de dez anos de uso, e a cada dois anos para tanques com menos de dez anos, de acordo com a norma técnica NBR nº13.784: 2019, sendo seus resultados anexados ao processo de licenciamento (PARAÍBA, 2007).

III – Equipamentos periféricos para instalação subterrânea

São equipamentos que compõem o SASC e tem a função de proteção contra vazamento e derrames no solo e contaminação do lençol freático. Alguns exemplos estão listados na Quadro 2:

Quadro 2 - Equipamentos periféricos para instalação subterrânea

Equipamento	Função	ABNT
Câmara de acesso à boca-de-visita	Recipiente estanque instalado sobre a boca de visita do tanque	NBR 13212 NBR 13312 NBR 13785.
Câmara de contenção da descarga de combustível	Conjunto formado por reservatório estanque e câmara de calçada usado no ponto descarregamento de combustível para contenção de possíveis derrames.	NBR 15118.
Câmara de contenção para unidade de filtragem	Recipiente estanque usado para conter as conexões e interligações da unidade de filtragem, evitando possíveis vazamentos.	
Câmara de contenção sob a unidade abastecedora	Recipiente estanque usado sob a unidade abastecedora, para a contenção de possíveis derrames e/ou vazamentos	NBR 15118
Dispositivo para descarga selada	Equipamentos que permite a operação estanque de descarregamento de combustível e fechamento do bocal de descarga do tanque	NBR 15138
Válvula antitransbordamento	Equipamento que evita o extravasamento de combustível durante a operação de descarregamento	NBR 14639
Válvula de esfera flutuante	Equipamento que evita a passagem do produto para a linha de respiro	NBR 15015 NBR 13783
Válvula de retenção instalada em linha de sucção	Uma única válvula de retenção instalada na tubulação, junto à sucção de cada bomba da unidade abastecedora ou da unidade de filtragem	

Fonte: ABNT NBR 13786: 2019, Adaptado.

IV - Piso de concreto impermeabilizado na área de abastecimento

Para evitar qualquer tipo de processo de contaminação do solo, e conseqüentemente da água subterrânea, é necessário que a área de abastecimento de postos de combustíveis siga as recomendações técnicas sobre material e espessura recomendadas pelas técnicas da ABNT (CETESB, 2021).

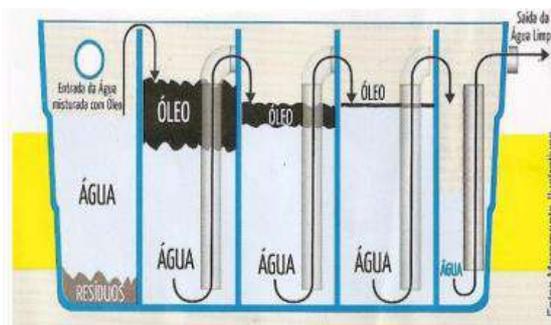
V - Canaletas nas áreas de abastecimento, descarga, troca de óleo, lavagem, geradores e compressores.

Canaletas são estruturas de metal que direcionam para o Sistema Separador de Água e Óleo (SSAO) os efluentes originários da pista de abastecimento, área de tancagem, troca de óleo e área de lavagem de veículos, e impedem, desta forma, que ultrapassem os limites dos pisos de concreto impermeável que podem contaminar o solo e chegar até a água subterrânea. As canaletas de contenção devem ser instaladas seguindo instrução da norma ABNT NBR 16764:2019.

VI – Sistema Separador de Água e Óleo (SSAO)

É um equipamento de uso obrigatório e previsto na ABNT NBR 14605-2:2020 que tem como função a separação física de produtos provenientes das canaletas de drenagem e que são imiscíveis em água. O processo evita a contaminação de efluentes do solo e da água subterrânea (Figura 2).

Figura 2 - Sistema separador de água e óleo (SSAO)



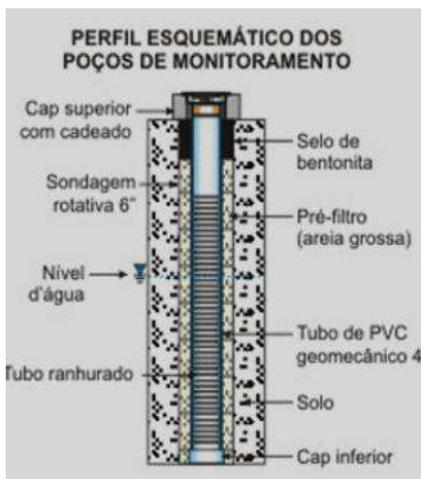
Fonte: SINDIPETRO SC, 2017.

VII - Poços de monitoramento de água subterrânea

Segundo a NBR 15.495-1: 2007, versão corrigida 2007, Poço de Monitoramento (PM) (Figura 3 e Imagem 1) é uma obra de engenharia que tem como função monitorar a caracterização hidráulica dos aquíferos, medição do nível de água e diagnóstico de possíveis contaminantes do lençol freático; ou seja, o PM tem a função de aumentar a qualidade das investigações e impedir que alguma contaminação possa chegar aos poços utilizados para consumo humano. Sua instalação deve ser precedida de um estudo geológico e hidrogeológico (RIYIS, 2011). Os estados que já

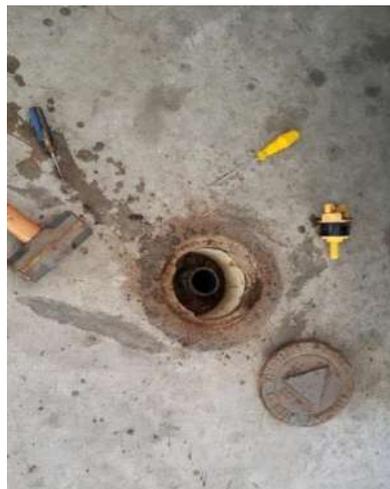
adotam a Resolução CONAMA 273 como ferramenta de monitoramento ambiental em postos de combustíveis exigem a instalação de poços de monitoramento.

Figura 3 - Esquema de um poço de monitoramento



Fonte: Moraes Amorim Sondagens, 2015.

Imagem 1 - Parte superior de um poço de monitoramento



Fonte: Arquivo próprio, 2022.

Os poços devem ser locados à jusante dos tanques, em relação à direção e no sentido do escoamento da água subterrânea e à posição geométrica dos tanques em relação ao terreno. A quantidade de poços a serem instalados geralmente é determinada pelo órgão ambiental estadual e deve ser definida de modo a assegurar a detecção de vazamento em qualquer tanque subterrâneo do posto.

No estado de Santa Catarina a Fundação do Meio Ambiente (FATMA) orienta a instalação de no mínimo 04 PM, sendo 01 à montante das áreas potenciais fontes de contaminação, com relação ao sentido do fluxo das águas subterrâneas e o restante à jusante das mesmas.

Em Goiás a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), determina através da Resolução CEMAM N° 29 DE 10/12/2018 pelo menos a instalação três poços de monitoramento.

No Paraná, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), orienta a instalação de Poço de Monitoramento apenas para o estudo de passivo ambiental.

Em Cuiabá - MT é obrigatória a investigação de passivos ambientais durante o licenciamento e, dessa forma, a adoção de medidas de investigação da água e solo (LIMA, 2017).

Na Paraíba a SUDEMA não tem uma norma específica sobre o assunto, desta forma em João Pessoa poucos estabelecimentos possuem esse equipamento.

4.4.3 Postos de combustíveis e a mudança na paisagem urbana

Segundo dados da ANP, no Brasil existem aproximadamente 40.021 mil postos revendedores varejistas de combustível automotivo, e a Paraíba conta com 740 postos, sendo 113 em João Pessoa (ANP, 2020), um setor que apresentou um crescimento rápido nos últimos anos. No ano 2000 o volume de combustível comercializado era cerca de 146.396 m³ e em 2018 esse valor atingiu a marca de 332.529 m³ (tabela 04), ou seja, um crescimento de mais de 100%, em vinte anos (ANP, 2020).

Tabela 2 - Comparação do volume de combustível comercializado em João Pessoa entre os anos 2000 e 2018

Combustível (m ³)	João Pessoa		Paraíba		Brasil	
	2000	2018	2000	2018	2000	2018
Etanol	13.710	68.290	37.877	165.184	4.603.587	19.384.719
Gasolina C:	84.499	185.985	220.440	637.788	22.630.192	38.351.779
Óleo Diesel:	48.185	78.253	259.004	431.874	35.151.264	55.629.467
Total:	146.395	332.529	517.322	1.234.846	62.385.044	113.365.965

Fonte: (ANP, 2020 Adaptado pelo autor).

Grande parte desses postos foram instalados no Brasil entre as décadas de 1960 e 1970, período caracterizado pelo milagre econômico⁷ (repleto de grandes obras) em que não existia a preocupação com o gerenciamento ambiental. Apesar de grandes avanços ocorridos nos últimos anos, ainda existem grandes lacunas nos processos de investigação, diagnóstico e fiscalização que permitiram o aparecimento de áreas contaminadas (CETESB, 2015).

Um dos fatores da contaminação da água subterrânea por compostos orgânicos é dependência e intensa utilização dos combustíveis fósseis e dos seus derivados no dia-a-dia no

⁷ Milagre econômico brasileiro se refere à época de crescimento econômico durante um período da Ditadura Militar no Brasil (1968 a 1973). Nesse período a taxa de crescimento do PIB saltou de 9,8% a.a. em 1968 para 14% a.a. em 1973. Houve, no entanto aumento da concentração de renda e da desigualdade (SKIDMORE, 1998).

mundo inteiro associada à falta de conhecimento técnico de um padrão errado de desenvolvimento no qual a ocupação urbana acontece em função das atividades econômicas inerentes ao padrão consumista dominante da sociedade e à lógica da reprodução do capital (AHMED, 2015).

No cenário internacional a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), estima a existência de cerca de 540 mil tanques subterrâneos em 193 mil instalações, regulamentados pelo programa de Armazenamento de Tanques Subterrâneos de Petróleo (USEPA, 2021). Deste total, cerca de 39% sofreram inspeções *in situ* entre 2020 - 2021, sendo 499 mil ações corretivas acumuladas entre os anos 1984 à 2021.

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (EEA) o total estimado de áreas contaminadas presentes em 27 países membros da EEA corresponde a 2,5 milhões de áreas potencialmente contaminadas com aproximadamente 45% já identificadas. Cerca de 30% dos contaminantes que afetam o solo e a água subterrânea da Europa são representados pelos hidrocarbonetos (EEA, 2014).

No cenário nacional podemos analisar as informações sobre áreas contaminadas investigadas e identificadas após a Resolução nº 420 do CONAMA de 2009 (IBAMA, 2020) em apenas três estados da federação: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Estes se destacam por apresentarem alguns dos maiores PIBs do Brasil, elevado índice de industrialização e, conseqüentemente, maior vulnerabilidade para impactar o meio ambiente. O último levantamento, feito em 2014, pelo Ministério da Saúde, através do Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado (SISSOLO) relata que existem cerca de 34 milhões de pessoas expostas ou parcialmente expostas aos danos causados pelas áreas contaminadas e que apenas em 34% das 11.900 áreas havia atuação do órgão ambiental (BRASIL, 2014, FERREIRA, 2020).

Em 2003, das 727 áreas contaminadas em São Paulo, 464 eram postos de gasolina. Em 2015, esse valor atingiu 5.376 áreas contaminadas, sendo que 3.979 indicavam os postos de combustíveis como principal atividade poluidora. Em 2019 esse número chegou a 6.285 sítios, sendo os postos de combustíveis responsáveis por mais da metade dessas áreas (4.475 áreas contaminadas), um valor que chega a 71% do total de áreas contaminadas (CETESB, 2019).

No Rio de Janeiro em 2013, 53% das áreas contaminadas foram decorrentes das atividades dos postos de combustíveis, em 2014 esse número atingiu 54% (INEA, 2014).

Em Minas Gerais esse percentual chegou a 74% em 2018 e o grupo de contaminantes que mais se destacou, com aproximadamente 70% de participação nas áreas contaminadas, foi o de hidrocarbonetos. Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) (MG), as águas

subterrâneas e os solos foram os ambientes mais impactados pelos contaminantes, causados principalmente pela infiltração ou vazamentos de combustíveis (FEAM, 2018).

Em Joinville - SC, dos 65 postos inspecionados apenas um não apresentou nenhum tipo de contaminação da água subterrânea, ou seja, 98% de contaminação dentre os postos investigados (CORSEUIL; MARINS, 1997).

Nas outras regiões do país, inclusive na Paraíba existe uma defasagem em relação à aplicação da Resolução nº 420 do CONAMA. Os diversos órgãos ambientais espalhados pelo Brasil ainda não colocaram em prática a investigação, identificação e remediação das áreas contaminadas. Algumas pesquisas sobre o tema (CANARIO, 2020; ARAÚJO, 2015) relatam dificuldade no acesso à informação ou ausência das mesmas nos canais oficiais de comunicação dos órgãos ambientais.

4.5 AMBIENTE URBANO E SAÚDE PÚBLICA

A abrangência dos serviços do saneamento básico, como o controle da poluição ambiental, tem influência nos fatores do meio físico do ambiente e é uma das responsáveis por contribuir para a saúde da espécie humana. Saúde aqui definida pela OMS como completo bem-estar físico, mental e social do indivíduo e não apenas ausência de doenças (SAÚDEBRASIL, 2020).

A saúde ambiental tem como objetivo prevenir os riscos à saúde, com o controle da exposição humana a agentes físicos, químicos e biológicos (CARRAPATO, 2017).

Os impactos e transformações ambientais sejam eles em escala global ou regional têm influência na saúde humana. A contaminação dos aquíferos por poluentes químicos pode afetar os sistemas neurológico, imunológico e reprodutor dos seres vivos (WHO, 1997).

Os efeitos das modificações ambientais demandam medidas de investigação e emprego de tecnologias eficientes para o processo de prevenção e tomada de decisão pelos atores sociais, e também medidas mitigadoras para contribuir com a sustentabilidade (HILPERT, 2015). Estas soluções são claras, porém são dependentes de questões políticas para a sua aplicação (PHILIPPI JUNIOR, 2014).

A relação do ser humano com o meio ambiente no mundo ocidental é caracterizada muitas vezes por uma forma predatória dos recursos naturais e naturalizada por grande parte da nossa sociedade. Infelizmente nem todos os grupos sociais conseguem refletir sobre os prejuízos advindos da relação assim estabelecida. Para outras sociedades, o ambiente natural representa um lugar de abrigo e proteção (SILVA; SATO, 2010). Para a nossa sociedade ocidental o modelo

econômico é baseado no lucro em detrimento da qualidade de vida e das condições ambientais. Este modelo se mostra fragilizado com o resultado dos diversos ciclos econômicos voltados à exploração dos recursos naturais (SCHONARDIE, 2020).

Porto e Ferreira (2012) afirmaram que a industrialização e o capitalismo influenciaram o processo de construção do urbano, alterando diretamente a relação ser humano-natureza, o que pode ser percebido como uma desarticulação entre as instâncias das políticas aplicadas aos recursos hídricos.

O monitoramento, a obtenção e a disponibilidade de dados que cubram esses recursos estão longe de serem os mais adequados à avaliação e diagnóstico das águas da União. Esta é a razão pela qual há necessidade de novos estudos, uma vez que as questões que envolvem a manutenção da qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas tendem a se agravar (TUNDISI, 2005).

Neste sentido a história pode identificar, através de alguns eventos mundiais, a necessidade de uma mudança na relação sociedade, ambiente e saúde.

A Lei britânica, criada em 1388, sobre poluição das águas e do ar e a Lei alemã de proteção dos mananciais, criada 1453, em Augsburg tinham objetivo sanitário (SILVEIRA, 2017). Essas leis já refletiam a indissociação de três áreas (sociedade, ambiente e saúde), comuns para o processo de desenvolvimento de uma sociedade em um ambiente mais equilibrado.

4.6 - MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA A SAÚDE HUMANA E AMBIENTAL

A evolução e o desenvolvimento das sociedades urbanas criaram a necessidade de mecanismos para uma redução no atrito da relação entre a sociedade, o ambiente e a saúde (HILPERT, 2015).

O Código Municipal do Meio Ambiente de João Pessoa, Lei Complementar 29/agosto/2002 (p. 23) representa bem a visão e a necessidade de se garantir a complexidade ambiental. Ele determina, no Art. 38, capítulo VIII, o estabelecimento de padrões de qualidade: “Os índices de Padrão de Qualidade Ambiental são os valores de concentrações máximas toleráveis para cada poluente, de modo a resguardar a saúde humana, a fauna, a flora, assim como as atividades econômicas do meio ambiente em geral”.

Ainda sobre a necessidade de um acompanhamento das atividades com potencial poluidor e sobre a avaliação de impactos ambientais, o referido Código, em seu Art. 40, Capítulo IX,

conceitua monitoramento ambiental como “o acompanhamento das atividades dos empreendimentos públicos e privados real ou potencialmente capazes de poluir ou degradar o meio ambiente”, e descreve seus objetivos: “preservar e restaurar os recursos e processos ambientais objetivando o restabelecimento dos padrões de qualidade ambiental; acompanhar o processo de recuperação de áreas degradadas e poluídas; fornecer elementos para avaliar a necessidade de auditoria ambiental”.

De não menos importância para a nossa discussão é o conceito de Impacto Ambiental, definido no Art. 41 do Capítulo X do referido Código:

Toda ação causadora de poluição ou degradação ambiental, cujos efeitos repercutam direta e imediatamente sobre os interesses do município, sem ultrapassar seus limites territoriais e que afetem: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades socioeconômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade e quantidade dos recursos ambientais; os costumes, a cultura e as formas de sobrevivência das populações.

A proposta da pesquisa em foco, construída a partir dos objetivos e metas do desenvolvimento sustentável, contribui com o Programa Nacional de Águas Subterrâneas na ampliação do conhecimento hidrogeológico do MMA, que consiste no monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas, sendo este um dos instrumentos mais importantes para dar suporte às estratégias, ações preventivas e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo, sendo amparada pela Resolução nº 420 do CONAMA de 2009, que estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, lacuna que deve ser preenchida com a investigação da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo na água subterrânea na cidade de João Pessoa-PB.

4.7 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS PRODUTOS DERIVADOS DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E A SAÚDE HUMANA

Os produtos derivados do petróleo comercializados em postos de combustíveis, apresentam, na sua composição química, elementos que podem causar problemas ambientais e sérios riscos à saúde, como alguns casos de câncer e redução da atividade do sistema nervoso central (WATTS et al., 2000; LORENZETT, et al. 2011; AMARAL, 2017; MAKSOUD et al., 2019).

Os efeitos indesejáveis à saúde são de natureza complexa e estão relacionados à quantidade, concentração, via de exposição e toxicidade dos contaminantes (RENGARAJAN et al., 2015), associados a outros determinantes biológicos (idade, sexo, fatores genéticos), sociais (emprego, pobreza), ambientais (qualidade da água, do ar) e estilo de vida (alimentação, atividade física) (GEORGE, 2011).

Através de vazamentos dos tanques de armazenamento de combustíveis, as substâncias podem causar incêndios, explosões, contaminar o ar, o solo e os reservatórios de água subterrânea (MACIEL; FREITAS, 2014; FOGAÇA, 2015), causando sérios prejuízos econômicos e socioambientais uma vez que o processo de remediação de áreas contaminadas demanda tempo e elevados investimentos (CETESB, 2013; VALENTINO; CARNIETO; SOUZA 2018).

Os principais grupos de substâncias químicas utilizados como parâmetro na contaminação da água subterrânea, escolhidos pela toxicidade, mobilidade e persistência no meio ambiente, de interesse na pesquisa e que merecem destaque segundo a OMS são os BTEX, os HPAs e os TPH (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

4.7.1 BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)

Os compostos BTEX são representados pelo benzeno (C_6H_6), tolueno ($C_6H_5CH_3$), etilbenzeno (C_8H_{10}) e xilenos ($C_6H_4(CH_3)_2$), estes são os maiores constituintes do petróleo, caracterizados por serem substâncias voláteis e móveis e com grande concentração na gasolina. São substâncias indicadoras no processo de contaminação da água subterrânea pois devido às propriedades físico-químicas são os primeiros contaminantes a atingirem o lençol freático (DOMENICO & SCHWARTZ, 1997; GANANÇA, 2015).

4.7.2 HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos)

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs são representados pelos: antraceno ($C_{14}H_{10}$), acenafteno ($C_{12}H_{10}$), acenaftileno ($C_{12}H_8$), fluoreno ($C_{13}H_{10}$), naftaleno ($C_{10}H_8$), fenantreno ($C_{14}H_{10}$), pireno ($C_{16}H_{10}$), fluoranteno ($C_{16}H_{10}$), benzo(a)antraceno ($C_{18}H_{12}$), benzo(g,h,i), Perileno ($C_{22}H_{12}$) - presentes no óleo diesel, listados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e pela Comunidade Europeia como poluentes ambientais prioritários com grande potencial de atingir as águas subterrâneas e por apresentar prováveis atividades carcinogênicas em humanos (USEPA, 2015; CETESB, 2018; MAKSOUD et al., 2019).

A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer– IARC, 2019 classifica os BTEX e HPAs em quatro grupos (tabela 05) de acordo com o potencial cancerígeno para animais e para a espécie humana (CETESB, 2018; IARC, 2019).

Quadro 3 - Classificação dos BTEX e HPA prioritários quanto à sua carcinogenicidade e outros riscos à saúde humana

Substância Química			
BTEX	Classificação	Grupo	Outros riscos à saúde
Benzeno	Carcinogênico	1	Pode causar efeitos tóxicos para sistema nervoso central; aceleração dos batimentos cardíacos, dificuldade respiratória, tremores, convulsão, irritação das mucosas oculares e respiratória, podendo causar edema pulmonar. Pode ainda causar anemia, sangramento excessivo e queda do sistema imunológico, contribuindo para outras infecções.
Tolueno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	É irritante para a pele e para os olhos e a sua ingestão poderá causar náusea, vômito ou perda da consciência.
Etilbenzeno	Possivelmente carcinogênico	2B	É irritante para os olhos, nariz e garganta e pode causar dificuldade respiratória caso ocorra inalação.
Xilenos	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	Irritante para a pele e os olhos. Caso ocorra ingestão poderá causar náusea, vômito e perda da consciência.
HPA	Classificação	Grupo	Outros riscos a saúde
Dibenzo(a,h) antraceno	Provavelmente carcinogênico	2A	Genotóxico e mutagênico
Benzo(a) antraceno	Possivelmente carcinogênico	2B	Genotóxico e mutagênico
Criseno	Possivelmente carcinogênico	2B	Mutagênico
Benzo(b) fluoranteno	Possivelmente carcinogênico	2B	-
Benzo(k) fluoranteno	Possivelmente carcinogênico	2B	-
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	Possivelmente carcinogênico	2B	Mutagênico
Naftaleno	Possivelmente carcinogênico	2B	A exposição aguda pode causar náusea, vômito, dor abdominal, diarreia, cefaleia, confusão, transpiração profusa, febre, taquicardia e agitação. Pode causar anemia hemolítica, danos neurológicos em bebês, intoxicação do fígado e problemas renais.
Fluoreno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	-
Fenantreno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	Mutagênico

Antraceno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	Pode causar irritações no nariz, garganta e olhos. Poderá causar dificuldades respiratórias caso ocorra inalação.
Pireno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	Mutagênico
Fluoranteno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	-
Acenafteno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	-
Benzo(g,h,i)perileno	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade	3	Mutagênico

Fonte: USEPA, 2014; INCA, 2018; IARC, 2019; CETESB, 2021; ATSDR, 2021 Adaptado.

Em termos de categorização, a PORTARIA GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, determina um padrão de potabilidade para cada hidrocarboneto encontrado na água, não existindo, portanto, um padrão específico para os hidrocarbonetos, existem limites para alguns dos compostos que estão dentro deste grupo. O padrão para Benzeno, o mais perigoso deles, é de 5 µg/L (microgramas por litro), o Estireno é de 20 µg/L, o Etilbenzeno é 300 µg/L, o Tolueno é 700 µg/L, o Xileno é 500 µg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA), o Benzeno é um “agente mielotóxico regular, leucemogênico e cancerígeno” (INCA, 2018, p.56).

Os HPAs ainda podem ser adsorvidos pelas partículas dos sedimentos aquáticos por causa do seu caráter hidrofóbico, constituindo assim um risco ambiental devido ao efeito tóxico no crescimento, metabolismo e reprodução de toda uma biota (POLAKIEWICZ, 2008; CETESB, 2009).

4.7.3 TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo)

Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH) são compostos formados inteiramente de Hidrogênio e Carbono e são usados para descrever um grande grupo de misturas de produtos químicos originados através da destilação fracionada do petróleo bruto (USEPA, 2015).

Os TPH são divididos em grupos que representam a soma das frações alifáticas e aromáticas das cadeias de Carbono correspondentes: F1 (C6-C10), F2 (>C10-C16), F3 (>C16-C34) e F4 (>C34) (ATSDR, 2015).

Na avaliação de impactos ambientais, as análises dos TPHs são realizadas para determinar a quantidade total de hidrocarbonetos presentes numa amostra. Este é um dos parâmetros utilizados por órgãos ambientais para avaliar possíveis contaminações por hidrocarbonetos derivados de petróleo e tem sido utilizada em diferentes tipos de métodos pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 1996) e pela Sociedade Americana de Ensaio e Materiais (ASTM, 1990), visando o gerenciamento de riscos e definição de medidas mitigadoras (ITRC, 2018). Atualmente o método analítico que define o TPH é a norma ISO 16703 (2004) (PINEDO et al., 2014).

O *Interstate Technology and Regulatory Council* (ITRC), associado ao Conselho Ambiental dos Estados Unidos (ECOS) afirmam que o TPH é um dos melhores parâmetros para identificação de contaminações por derivados de petróleo (ITRC, 2018).

Apesar de ser um importante parâmetro, a legislação brasileira ainda não apresenta os valores orientadores para o TPH, sendo utilizados os valores da CETESB baseados na Lista Holandesa.

Em casos de vazamento de tanques de armazenamento subterrâneos, a água de um poço próximo tem uma grande probabilidade de estar contaminada. O TPH liberado no solo pode mover-se para as águas subterrâneas, e neste ambiente os componentes químicos individuais podem ser separados da mistura original. Alguns desses componentes evaporam no ar e outros se dissolvem nas águas subterrâneas e se afastam da área onde foram lançados (ATSDR, 2016).

O TPH não pode determinar exatamente a qual substância o indivíduo foi exposto, uma vez que a quantidade de TPH medida fornece poucas informações sobre como os hidrocarbonetos de petróleo específicos podem atingir os seres vivos. Desta forma é importante a determinação do método de identificação e mensuração da concentração de TPH, por ser um método analítico. Dependendo da metodologia utilizada, os resultados podem ser diferentes (ITRC, 2018).

Para verificar a importância do parâmetro TPH, Pereira (2012) utilizou 100 amostras de águas subterrâneas coletadas em parques de abastecimento de aeronaves e comparou os dados de BTEX, HPA com os resultados de TPH *Finger print*, visando avaliar se as análises de BTEX e HPA são sensíveis para contaminação por querosene de avião. Ficou constatado que em 96% das amostras o TPH estava acima do determinado pelo órgão ambiental, quando apenas 13% para o BTEX e 11% para HPA das amostras estavam acima dos limites.

Assim como nos EUA, no Brasil muitos órgãos ambientais não exigem ações corretivas com base em medições de TPH, porém alguns órgãos, dentre eles a CETESB, já utilizam medições do TPH associadas a outros indicadores para a tomada de decisões, dado que esse parâmetro serve de alerta para ampliação do processo de investigação de uma determinada área (ATSDR, 2016).

Os valores orientadores para o parâmetro TPH para qualidade do solo e água subterrânea estão na chamada Lista Holandesa e são disponibilizados pela CETESB. O valor limite de TPH para intervenção é de 600 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (CETESB, 2013).

4.8 POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL E INVESTIGAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL

Estatísticas internacionais mostram que os SASCs de combustíveis com idade superior a vinte anos apresentam grande possibilidade de vazamento (COLE, 1994; BLACKMAN, 1996 apud LOUREIRO, 2002; USEPA, 2021), fazendo desta atividade uma das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas em ambientes urbanos. Segundo as metodologias de investigação de passivo ambiental esses vazamentos são, na maioria das vezes, percebidos em galerias subterrâneas, túneis de escavações, subsolo de edifícios e poços de abastecimento de água (CETESB, 2001).

A gasolina derramada, por ser pouco solúvel em água, se apresenta no subsolo como um líquido de fase aquosa (NAPL). Em contato com a água subterrânea ela tem uma solubilidade parcial, principalmente por causa dos hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX). Devido a esta solubilidade, esses compostos são utilizados como os principais indicadores da contaminação de combustíveis fósseis, uma vez que são os primeiros a atingirem o lençol freático (CORSEUIL, 1997).

No Brasil, outro fator que deve ser observado é a presença de etanol na gasolina (27%), que causa a co-solvência, o que eleva a probabilidade do BTEX atingir o lençol freático em caso de vazamentos e ainda dificulta o processo natural de biodegradação (CORSEUIL, 1997).

Segundo o *Manual para investigação de áreas contaminadas* (CETESB, 2013), o quadro de contaminação pode ser muito variável quanto às concentrações e distribuição dos contaminantes na matriz do solo. Essas características são fundamentais para indicar a melhor forma de tratamento da área. Este documento informa que o contaminante, de acordo com seu comportamento, pode ser classificado em quatro fases: livre, gasosa, adsorvida e dissolvida. Na fase livre existe produto no subsolo ou se apresenta em altas concentrações; na fase gasosa o contaminante se encontra volatilizado; na fase adsorvida se encontra em processos de adsorção retido nas partículas do solo que dependem da temperatura e pressão e, na fase dissolvida, está dissolvido no meio aquoso.

4.9 INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL EM POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS NAS DIVERSAS REGIÕES DO PAÍS

Nesta sessão foram abordados os trabalhos que discutem a temática em cada região do Brasil.

4.9.1 Região Sul

No Rio Grande do Sul, Kolesnikovas (2006) quantificou o risco toxicológico real e hipotético em toda a gama de hidrocarbonetos de petróleo no Polo Petroquímico de Triunfo, no início da década de 1980 com o objetivo de definir metas de remediação. A método utilizado para determinação da avaliação de toxicidade computou com dois importantes mecanismos de transporte, solubilização para água subterrânea e volatilização para o ar. Os resultados obtidos pelo autor nas campanhas de monitoramento indicaram que a maioria dos poços apresentaram concentrações abaixo dos padrões ambientais.

Já Correa (2017), também no Rio Grande do Sul, avaliou os procedimentos empregados no gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos em postos revendedores e a efetividade das práticas adotadas. A pesquisa foi realizada a partir do Banco de Dados da Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, através da análise dos documentos apensados aos Processos de Licenciamento Ambiental de três empreendimentos que haviam concluído o processo de remediação.

Em todos os casos analisados por Correa, durante a verificação ambiental não foi realizada a delimitação horizontal e vertical das plumas de contaminação. Nos dois primeiros casos a contaminação permaneceu à área do empreendimento, já no caso 3, a contaminação na fase livre se desdobrou para além dos contornos do estabelecimento e foi necessária a realização da Análise de Risco à Saúde Humana e o monitoramento da área.

Devido à proximidade das Áreas de Preservação Permanente (APP), em rios, lagoas e mangues, Speck (2019) em Florianópolis - SC avaliou os efeitos ecotoxicológicos de amostras de água subterrânea de uma área contaminada por derivados de petróleo, utilizando espécies de dois níveis tróficos diferentes: microcrustáceos e peixes.

Os resultados da análise ecotoxicológica evidenciaram que ocorreu interferência da poluição no desenvolvimento dos organismos, porém não foi possível apontar quais substâncias químicas estão alterando o crescimento dos organismos investigados. Ficou demonstrado que os

níveis das substâncias químicas de interesse definidas para o órgão ambiental não são suficientes para assegurar a reabilitação da zona afetada.

Na cidade de Londrina-PR, Maeda (2020) realizou o mapeamento dos 107 postos de combustíveis e sua adequação com a legislação municipal, e a identificação de áreas mais vulneráveis a impactos sobre os recursos hídricos. Foi aplicado as técnicas de geoprocessamento, disponíveis em Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a realização da localização dos postos de combustíveis, das construções urbanas próximas e a caracterização das condições ambientais da cidade de Londrina para contribuir na avaliação da vulnerabilidade do aquífero Serra Geral. Ficou constatado que apenas 16,8% se encontravam regulares.

4.9.2 Região Sudeste

Em Santo André - SP, Mindrisz (2006) realizou um diagnóstico da água subterrânea para retratar a situação dos poços artesianos destinados ao abastecimento de água doméstico e comercial na zona urbana da cidade. Foi avaliado o parâmetro BTEX nas regiões com histórico de vazamentos em SASC, próximas a esses poços. Os resultados mostraram que em doze poços analisados não foram encontrados compostos BTEX acima do recomendado pela legislação.

Vasconcelos (2014) identificou que, do total de 97 áreas cadastradas no relatório de áreas contaminadas da CETESB em 2012 no município de São Bernardo do Campo - SP, 63 foram causados por postos de combustíveis que ocasionaram contaminação no subsolo e na água subterrânea em extensões que atingem a área do posto de combustível até as áreas externas.

Na região de Avaré – SP, Fogaça (2015), realizou um estudo do processo de contaminação e remediação do solo e da água subterrânea causada por dois postos revendedores e de abastecimento de combustível da região. Após a realização do processo de remediação verificou-se que o lençol freático próximo do primeiro posto ainda apresentava contaminação por hidrocarbonetos de petróleo enquanto o segundo conseguiu 100% de remediação.

Em 2019, Carneiro (2020), utilizou-se do Inventário de Áreas Contaminadas e Remediadas de Minas Gerais disponibilizado pela FEAM, para demonstrar que as áreas contaminadas e remediadas em Belo Horizonte se encontravam na região metropolitana. As atividades que mais se destacam são os postos de combustíveis com processos de vazamento ou infiltração com quase 99% dos casos.

Nery (2020), através de técnicas de geoprocessamento, realizou um levantamento de áreas contaminadas na cidade de Sorocaba - SP e mostrou que 17,3% das áreas contaminadas estão

inseridas na zona de alto risco que contempla 57 poços de água, apresentando riscos de contaminação que podem comprometer a saúde humana a partir do consumo e uso da água destes poços.

Em Limeira – SP, Ferreira (2021) utilizou testes de toxicidade em organismos da fauna edáfica, onde se propôs avaliar o impacto da presença de hidrocarbonetos encontrados na gasolina e óleo no solo contaminado. Os resultados encontrados através dos testes com diferentes misturas dos hidrocarbonetos, verificou-se que em maiores concentrações do contaminante, houve redução da reprodução dos organismos. A gasolina se apareceu mais tóxica para esses seres vivos em comparação com o óleo diesel, reforçando a necessidade das fiscalizações por parte do poder público.

4.9.3 Centro Oeste

Em Cuiabá- MT, Lima (2017), realizou uma análise da investigação de passivos ambientais através dos processos de licenciamento ambiental dos postos de combustíveis. Foram analisados 136 processos de licenciamento e verificou-se que em 17 os laudos ambientais exibiam algum tipo de poluição no solo e/ou água subterrânea. Os principais hidrocarbonetos encontrados foram o grupo dos BTEX e HPAs. A remediação foi aplicada em oito postos com técnicas de atenuação natural, extração multifásica e bombeamento.

Em Goiânia- GO, Almeida (2019) desenvolveu, no período de 2017 a 2018, um exame dos estudos ambientais presente em 200 processos de licenciamento de postos de combustíveis existentes na Agência Municipal do Meio Ambiente. A metodologia utilizada foi o enquadramento em uma das categorias de gerenciamento de áreas contaminadas estabelecidas pela Resolução nº 420/2009 do CONAMA. Como resultado obteve-se 22% dos empreendimentos classificados como Áreas Suspeitas de Contaminação, 11,5% como Áreas Contaminadas sob Investigação, 7,5% como Áreas Contaminadas sob Intervenção, 1,5% como Áreas em Processo de Monitoramento para Reabilitação e 57,5% como Áreas Livres de Contaminação. A pesquisa indica quatro aglomerados de áreas demandantes de ações gerenciais prioritárias, dados os riscos de exposição ambiental e humana às substâncias químicas de interesse.

Durante os anos de 2018 e 2019, Batista (2021) realizou um trabalho de Investigação de Passivo Ambiental Detalhada em Brasília, no Distrito Federal. Foram realizadas 83 sondagens obtidas em poços de monitoramento, totalizando 117 amostras em dez estabelecimentos, com o

objetivo de delimitar plumas de contaminação em fase livre, sorvida e dissolvida. Nos resultados não foi encontrada contaminação na fase livre e também não foram encontrados os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA). Na fase dissolvida, porém, em 80% das amostras foi identificado o grupo BTEX na água subterrânea.

4.9.4 Região Norte

Na vila Tupi em Porto Velho - RO, Melo Junior e Costi (2004) estudaram a poluição das águas subterrâneas por hidrocarbonetos através de posto de abastecimento de combustível. Foi concluído que 100% das amostras de água, inclusive as que não apresentaram odor característico de combustível durante a coleta, encontravam-se contaminadas. Foi demonstrado que o posto pesquisado era a fonte de contaminação das águas subterrâneas.

Ribeiro (2009) realizou em Belém – PA uma avaliação da água subterrânea quanto à presença de hidrocarbonetos aromáticos nos poços próximos a postos de combustíveis. Foram analisados 08 poços tubulares de abastecimento das residências do entorno do posto revendedor. Apesar de não ter contaminação na fase livre, ficou constatada a contaminação de Benzeno, Tolueno e Xileno em 6 poços e Etilbenzeno em um poço.

Em 2015 Macedo (2015) realizou o monitoramento dos poços “Amazonas” do município de Porto Velho - RO, com o objetivo de verificar a presença de BTXs. Ele utilizou o Método EPA-8260 B, com o auxílio de um Cromatógrafo a gás acoplado a um Espectrômetro de Massas e um *Purge and Trap* da Tekmar. Como resultado foi encontrada presença de BTX, principalmente Tolueno e Xilenos nas amostras próximas de empresas de distribuição de combustíveis.

4.9.5 Região Nordeste

Inicialmente, evidenciam-se as pesquisas de investigação de passivo ambiental em postos de combustíveis orientados pelo professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Dr. Djalma Ribeiro da Silva, coordenador do Núcleo de Processamento Primário e Reúso de Água Produzida e Resíduos (NUPPRAR), e realizados em parceria com o Ministério Público de Natal - RN e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal – SEMURB, que tem como objetivo a investigação da contaminação por compostos voláteis e semivoláteis (BTEX

e HPA) com vistas à proteção dos recursos hídricos na cidade de Natal-RN, reforçando as diretrizes do desenvolvimento sustentável.

Esses trabalhos têm sido referência na ampliação da produção acadêmica na área e também na criação de um cadastro de áreas contaminadas no município e têm contribuído para o desenvolvimento de um projeto de Educação Ambiental (MPRN, 2012).

Anjos (2012) realizou uma avaliação preliminar e confirmatória da contaminação por hidrocarbonetos BTEX e HPA em Natal RN, utilizando como referência a Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Através da metodologia analítica, a cromatografia gasosa, foi confirmada a contaminação por vazamentos no SASC, em 67% das amostras do solo e 54% das amostras de água subterrânea apresentaram contaminação por hidrocarbonetos.

Seguindo o mesmo exemplo do Rio Grande do Norte, a Promotoria Regional Ambiental de Ilhéus – BA (BAHIA, 2014), criou em 2014 um importante documento intitulado *Termo de referência para regularização ambiental dos postos de venda de combustíveis na regional ambiental de Ilhéus – BA*. Esse documento visa fornecer instruções técnicas mínimas para realização de um diagnóstico socioambiental com identificação e caracterização de áreas com possíveis passivos ambientais. Dentre os objetivos, o documento procurou caracterizar a presença de hidrocarbonetos constituintes de combustíveis automotivos no subsolo, possibilitando concluir ou não sobre a contaminação na área objeto de estudo.

Ainda na Bahia, Monteiro (2016) analisou a presença dos hidrocarbonetos HPAs em amostras de água de 12 poços de utilização individual e coletivo dos municípios de São Francisco do Conde e Candeias. Os HPAs foram determinados por CG-MS (Método 8270- EPA). Em apenas um dos poços analisados, localizado no município de Candeias, apresentou cinco HPAs acima dos padrões de qualidade para consumo humano estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008.

Gusmão (2016) realizou, na Região Metropolitana de Salvador, uma avaliação ambiental em dois postos de combustíveis com o objetivo de analisar os riscos à saúde humana, por meio de procedimentos de investigação da contaminação em postos de combustíveis. Durante a investigação foram perfurados e instalados dez poços de monitoramento de águas subterrâneas para o monitoramento e quantificação química em laboratório as Substâncias Químicas de Interesse (SQI). Apenas no posto 01 foi encontrado Naftaleno acima do recomendado pela legislação, o que indica risco à saúde humana.

Em Maceió - AL, Nobre (2016) apresentou uma metodologia de cálculo de índice do risco de contaminação por BTEX em 50 bairros, utilizando quatro variáveis: quantidade de postos de

combustíveis, quantidade de poços de abastecimento de água, densidade demográfica e profundidade do lençol freático, sendo a última variável com maior influência no processo do risco de contaminação. No estudo foi verificado que 14% dos postos apresentam risco muito elevado.

Na região norte de Fortaleza, Freitas (2016) foi utilizada a metodologia cromatografia gasosa, acoplada aos detectores PID (fotoionização) e FID (ionização em chama) para caracterizar a qualidade da água subterrânea quanto à presença de BTEX. A amostragem da água subterrânea foi realizada pelo método de baixa-vazão, conforme a norma ABNT NBR 15847/2010, com o auxílio de um sistema de amostragem automatizado - *Low-Flow Sampling*, em 11 poços de monitoramento. Os resultados comprovaram a presença dos compostos BTEX em todos os poços monitorados, porém em concentrações muito abaixo dos valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008.

Em 2017 foi realizada, na região metropolitana da cidade do Recife – PE, uma investigação quanto à presença de BTEX e HPA em poços tubulares rasos (12 a 20 metros de profundidade) localizados próximos a três postos de combustíveis. Constatou-se a presença de BTEX em dois bairros, sendo um deles com um histórico de acidente no ano de 2002. (SILVA, 2017).

Neste sentido, Ferreira (2018), através de uma comparação entre a problemática da contaminação de solos e aquíferos causada por atividades de armazenamento e distribuição de combustíveis nos estados de São Paulo e da Paraíba, mostrou que, enquanto em São Paulo existe um amplo trabalho de investigação sobre áreas contaminadas, na Paraíba os trabalhos ainda são poucos e não se consegue atender às demandas de forma eficiente na fiscalização e monitoramento de atividades potencialmente poluidoras, demonstrando uma lacuna para o trabalho de investigação.

Em 2020, na cidade de Aracajú - SE, Silva (2020) verificou o estado de conservação das canaletas de drenagem oleosa da pista de abastecimento em postos de combustíveis da Zona Sul da cidade e constatou que cerca de 93% dos 49 postos analisados apresentavam algum tipo de problema para esse importante de item de segurança.

4.9.5.1 Paraíba (João Pessoa)

Os estudos sobre investigação e risco de contaminação na água subterrânea em João Pessoa não são recentes. Diversas pesquisas em diferentes áreas listadas abaixo demonstram a preocupação com a contaminação da água subterrânea por derivados de petróleo em postos de combustíveis na cidade de João Pessoa.

Borges, em 2004, utilizando tecnologias de geoprocessamento, identificou, através da ferramenta *Buffer*, 16 poços localizados a 500 metros de postos de combustíveis, áreas que, devido à proximidade das atividades com potencial poluidor, poderiam sofrer com impactos sobre os recursos hídricos.

Barbosa (2007) apresentou um estudo sobre a água subterrânea com a metodologia de base analítica denominada Raio Fixo Calculado para delimitação de perímetros de proteção de poços de uso público em zona urbana na cidade de João Pessoa-PB. A demarcação de perímetros de proteção está baseada nas informações dos estudos hidrogeológicos, econômicos, objetivando a interdição e/ou condicionamento de determinadas instalações e atividades susceptíveis de comprometerem a qualidade das águas subterrâneas como, por exemplo, os postos de combustíveis.

Menezes et al, (2009) observou que, em João Pessoa, as regiões que apresentam um maior índice de vulnerabilidade ambiental das águas subterrâneas⁸, coincidem com as áreas destinadas à expansão imobiliária, o que leva a uma maior demanda de serviços que podem potencializar o risco de contaminação.

Toscano e Silva (2012) analisaram o uso do solo nos perímetros de proteção de captação de águas subterrâneas destinados ao abastecimento público na cidade de João Pessoa-PB, utilizando também a metodologia Raio Fixo Calculado, que define as áreas de proteção permitindo a atenuação da concentração de contaminantes no aquífero ou o provimento de zonas monitoradas. A partir desta metodologia, recomendada pela legislação portuguesa, foram traçados perímetros concêntricos ao redor dos 30 poços destinados à captação de água em função do tempo de trânsito do poluente, permitindo, desta forma, calcular as áreas de proteção das Zonas de Proteção Imediata, Intermediária e Alargada dos poços de abastecimento público da área urbana de João Pessoa-PB.

O trabalho apresentou um forte indicativo para o risco de contaminação da água subterrânea pelos postos de combustíveis, demonstrando a necessidade de disciplinamento das atividades potencialmente poluidoras.

⁸ A ASTM (American Society for Testing Materials), agência reguladora norte-americana, define vulnerabilidade nas águas subterrâneas com a predisposição com a qual um dado contaminante pode passar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de importância em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área. A vulnerabilidade depende das particularidades do aquífero quanto da área e do contaminante (ASTM, 1996).

Fonseca (2018), utilizando-se também de geotecnologias e confrontando com a NBR 13786, de 2005 (ABNT, 2005) que determina que poços de abastecimento devam ficar a mais de 100 metros de postos de combustíveis, verificou, utilizando os poços georreferenciados por Barbosa (2007), que três deles (10%) estavam dentro deste raio. Embora essa análise não tenha levado em consideração o sentido do fluxo de água subterrânea, as pesquisas demonstram cenários de riscos potenciais que devem ser investigados.

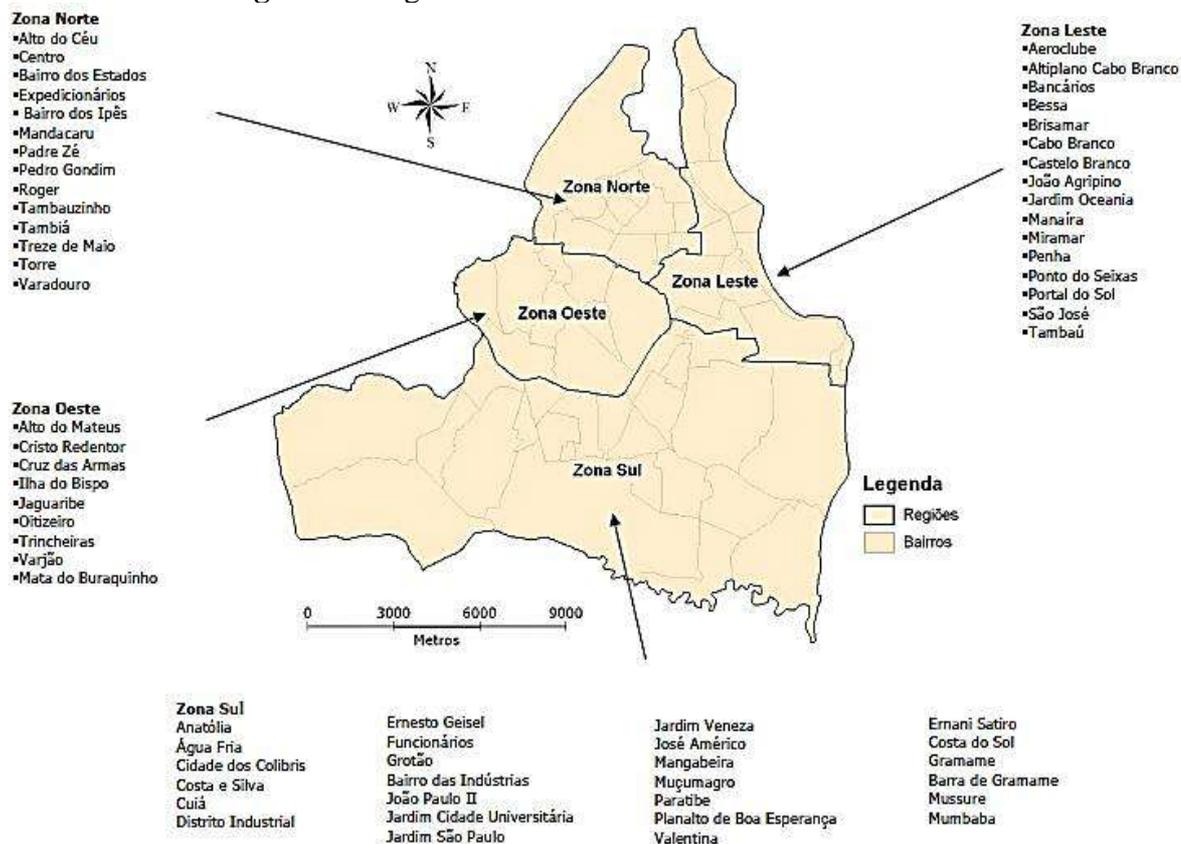
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de João Pessoa, capital da Paraíba - PB Longitude $-34,87338^{\circ}$ e Latitude $-7,14938^{\circ}$, local da pesquisa, está situado no Bioma Mata Atlântica, e tem uma área de 211 km^2 e uma população estimada em 2021, de 825.796 mil habitantes e densidade populacional de 3.791,08 hab./km². Sua população está distribuída em 04 zonas: Zona Sul, Norte, Oeste e Leste (Figura 4), totalizando 59 bairros com alto índice de urbanização (SPOSATI, 2010; IBGE 2021).

O clima é classificado como Aw (tropical) segundo a Köppen e Geiger. A temperatura média anual é $25,2^{\circ}\text{C}$., e tem pluviosidade média anual de 1888 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

Figura 4 - Regiões e bairros de João Pessoa PB



Fonte: SPOSATI, 2010

O sistema de abastecimento de João Pessoa é integrado e utiliza como fontes hídricas os açudes Gramame/Mamuaba e Marés, os rios Mumbaba e Tibiri e, ainda, poços profundos que são acessados em caráter emergencial. Segundo a CAGEPA, aproximadamente 9% do abastecimento público anual fornecido à cidade é proveniente de poços artesianos (CAGEPA, 2020).

5.2 PESQUISA EXPLORATÓRIA

O trabalho caracteriza-se como uma pesquisa quali-quantitativa de natureza exploratória. Segundo Gil (2010, p. 27) a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.

Na primeira etapa da pesquisa foi utilizada a metodologia indicada pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas estabelecida pela CETESB (2001) e que tem como objetivo definir a existência e a localização das áreas contaminadas sob investigação, otimizando recursos técnicos e econômicos.

A metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas é composta por dois processos: o de identificação e o de reabilitação de áreas contaminadas. Essa metodologia foi adaptada para a realização da identificação de áreas contaminadas, atendendo à realidade espacial estudada para, desta forma, suprir aos objetivos desta pesquisa. O processo contempla quatro fases:

1ª Fase – A definição da área de interesse foi determinada através de um levantamento documental (OLIVEIRA, 2010) sobre o perfil dos postos de combustíveis de João Pessoa: histórico de acidentes, vazamentos, remediações, licenças, e volume de combustível comercializado no posto e na cidade de João Pessoa, utilizando como fonte inicial informações fornecidas pelo Sindicato dos Postos de Combustíveis da Paraíba (SINDIPETRO), pela Prefeitura, através da Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM), pelo Conselho de Proteção Ambiental (COPAM), e pela SUDEMA, para serem confrontadas posteriormente com as inspeções de campo.

Para o levantamento de dados (número de postos, infrações, licenças e diagnóstico de tancagem dos postos de combustíveis de João Pessoa), foram realizadas consultas nas páginas oficiais da ANP, Secretaria Municipal de Proteção e Defesa do Consumidor de João Pessoa (PROCON-JP), SUDEMA e no SINDIPETRO.

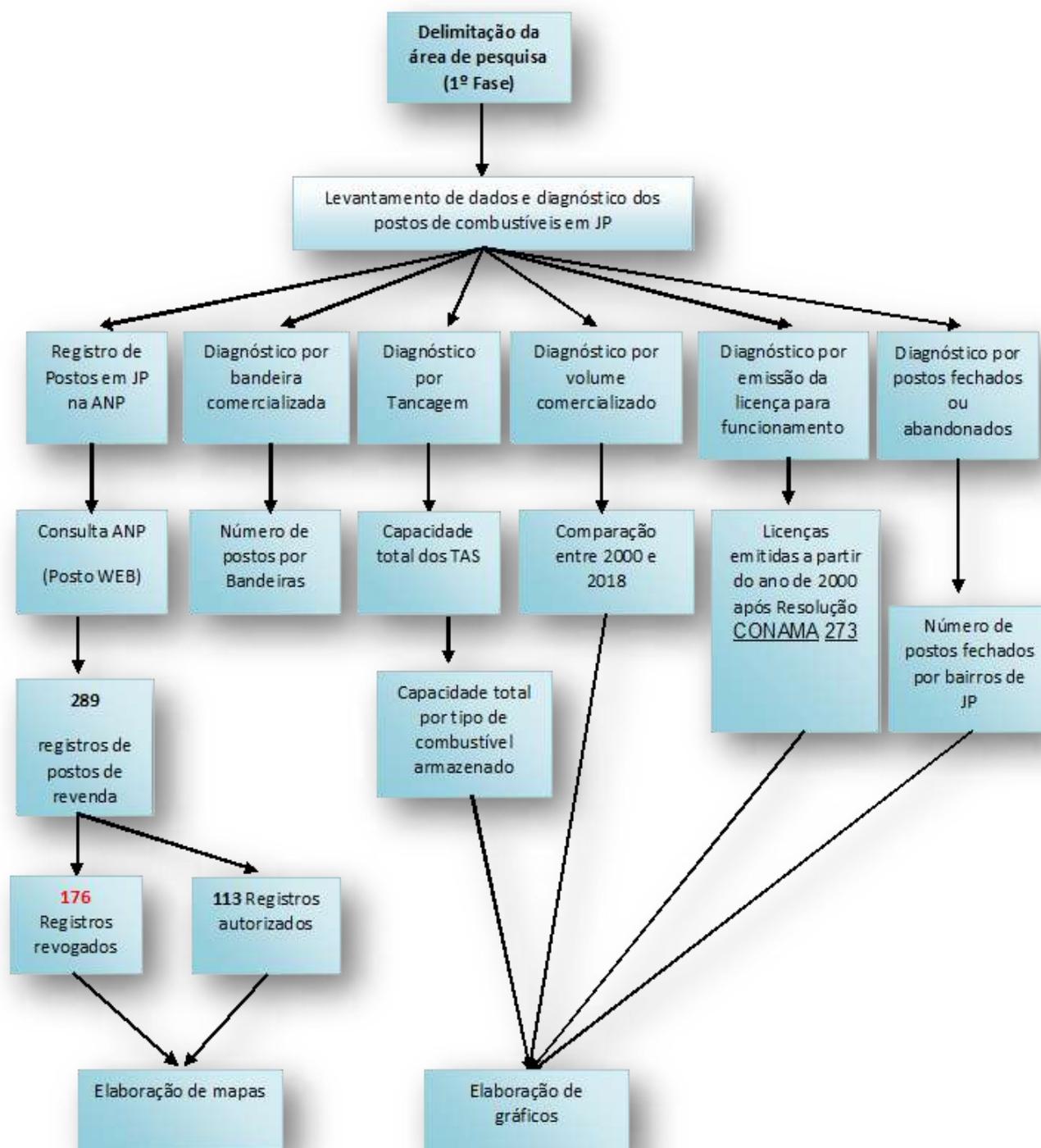
Foram realizados diversos contatos com SUDEMA (telefone, aplicativo WhatsApp e Email) com técnicos, Procurador e o Superintendente informando sobre a pesquisa e solicitando via Ofício (Ofício nº 10/2020 – PRODEMA; Protocolo da SUDEMA de nº 2728/20 de 08 de setembro de 2020) (Anexo A) a documentação referente aos processos de licenciamento/Licença de Instalação dos Postos de Combustíveis na Cidade de João Pessoa, com foco no Art.5º, inciso I, alíneas a, e, f, g, h, i da Resolução CONAMA no 273 de 29 de setembro de 2000 com o intuito de obter informações sobre localização de poços de monitoramento, fluxo de água subterrânea ou qualquer outra informação que pudesse contribuir no processo de investigação.

Para obter informações sobre a água subterrânea nos locais que não possuem poços de monitoramento foi necessário realizar um levantamento dos poços próximos aos postos de combustíveis através de duas formas: a primeira consistiu no mapeamento dos poços realizado a partir das bases de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), pertencente à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – (CPRM), da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) e da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) sobre número de poços, localização geográfica, uso da água e outorgas vigentes na cidade de João Pessoa, e a segunda foi através de visitas *in locu* a cada posto para verificação da presença de poço no estabelecimento ou próximo a ele que pudesse ser utilizado como fonte para a investigação da água subterrânea.

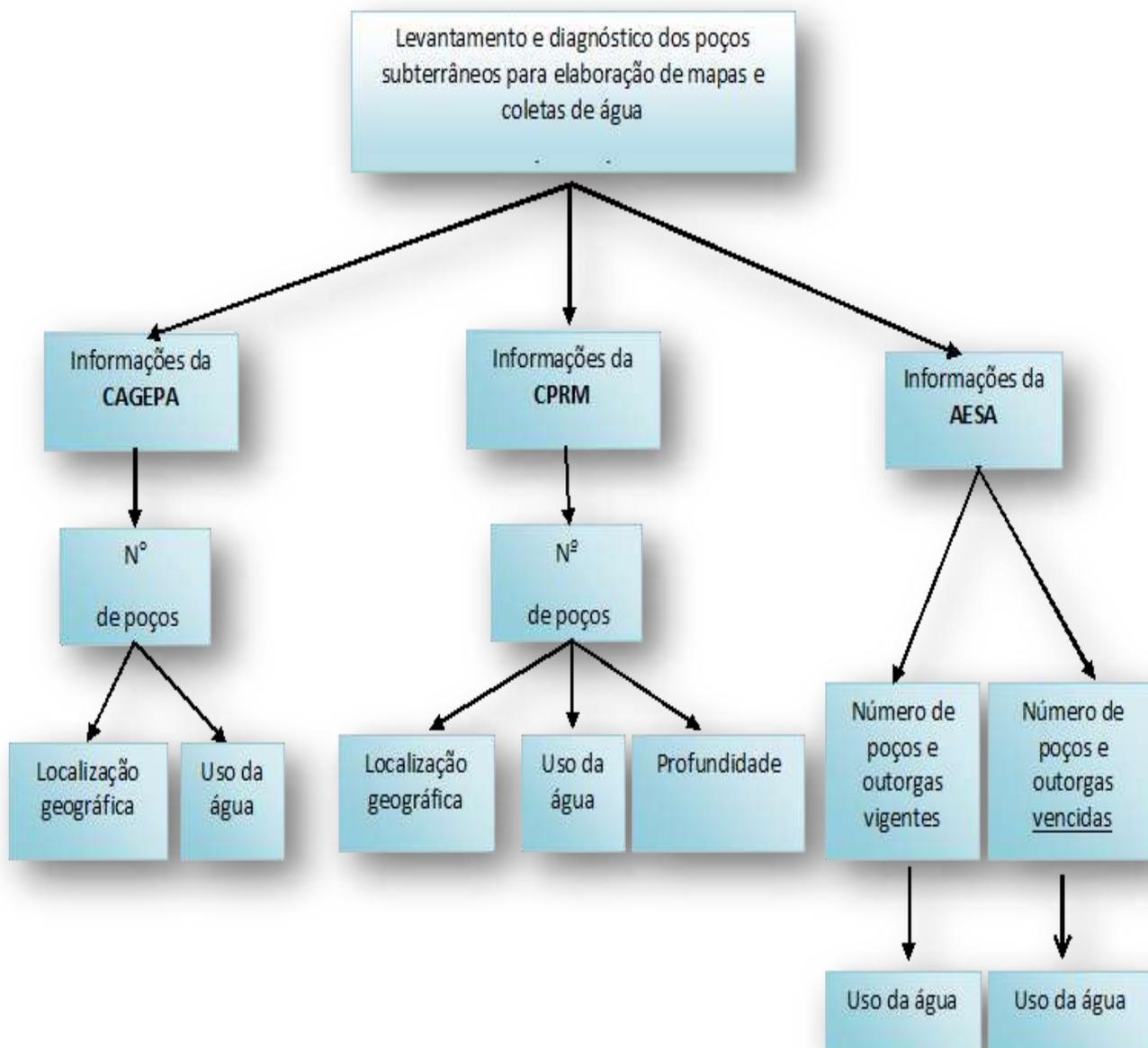
As informações colhidas a partir deste levantamento juntamente com a avaliação de risco contribuem na delimitação das regiões que indicam as Áreas Potencialmente Contaminadas (AP) e conseqüentemente selecionadas para os ensaios em laboratório.

Abaixo estão os fluxogramas que representam a coleta de dados sobre o perfil dos postos de combustíveis de João Pessoa PB com dados sobre números de postos em funcionamento, tancagem e volume de combustíveis comercializado (Fluxograma 01), levantamento e diagnóstico dos poços subterrâneos oficiais (Fluxograma 02), delineamento amostral das áreas potencialmente contaminadas para seleção de áreas para inspeção de campo (Fluxograma 03) e a metodologia utilizada pela CETESB, 2007 para identificação de Áreas Contaminadas (Fluxograma 04).

Fluxograma 1 - Levantamento de dados sobre o perfil dos postos de combustíveis de João Pessoa PB

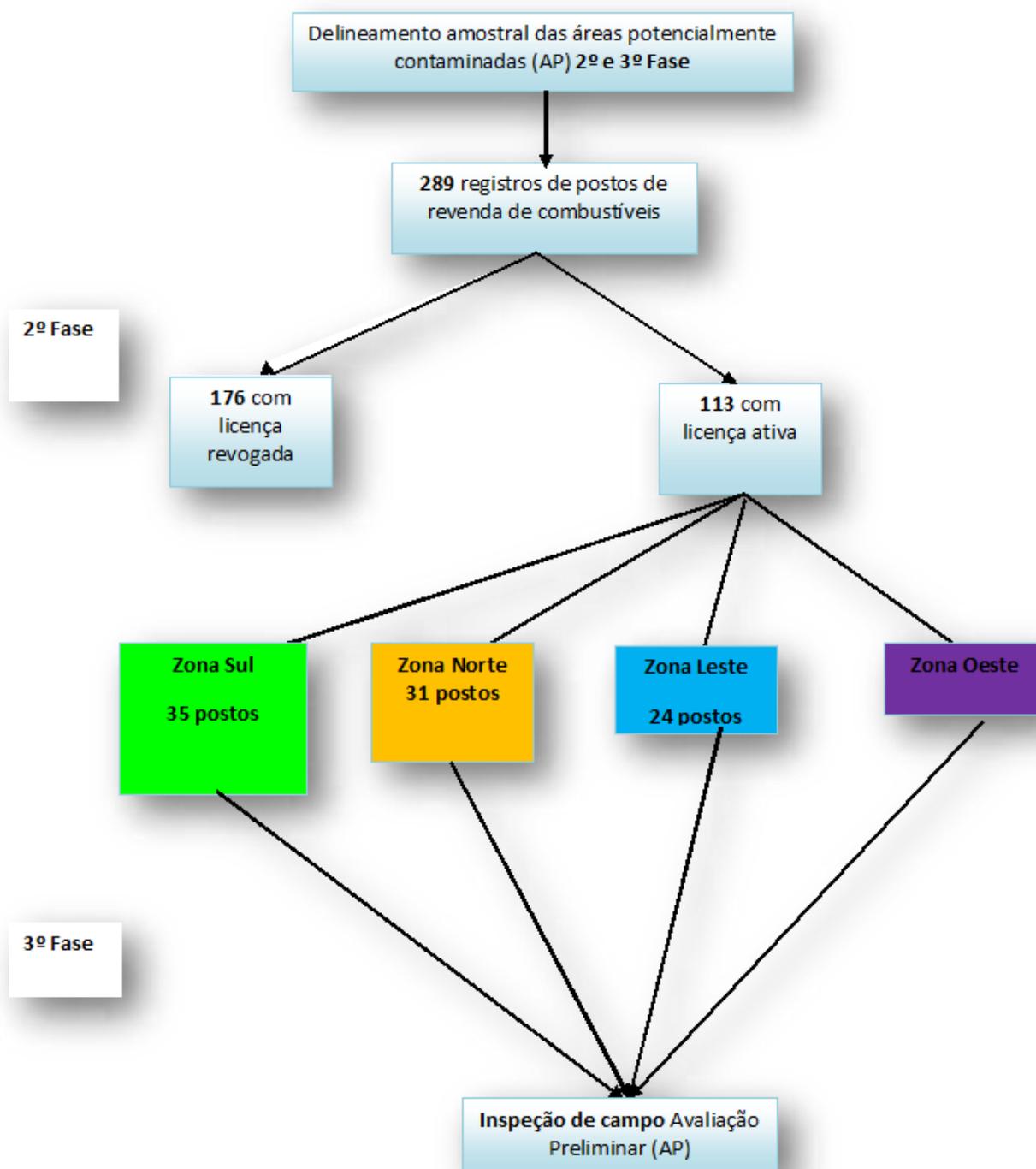


Fluxograma 2 - Levantamento de dados sobre o Perfil dos Poços de água subterrânea em João Pessoa PB



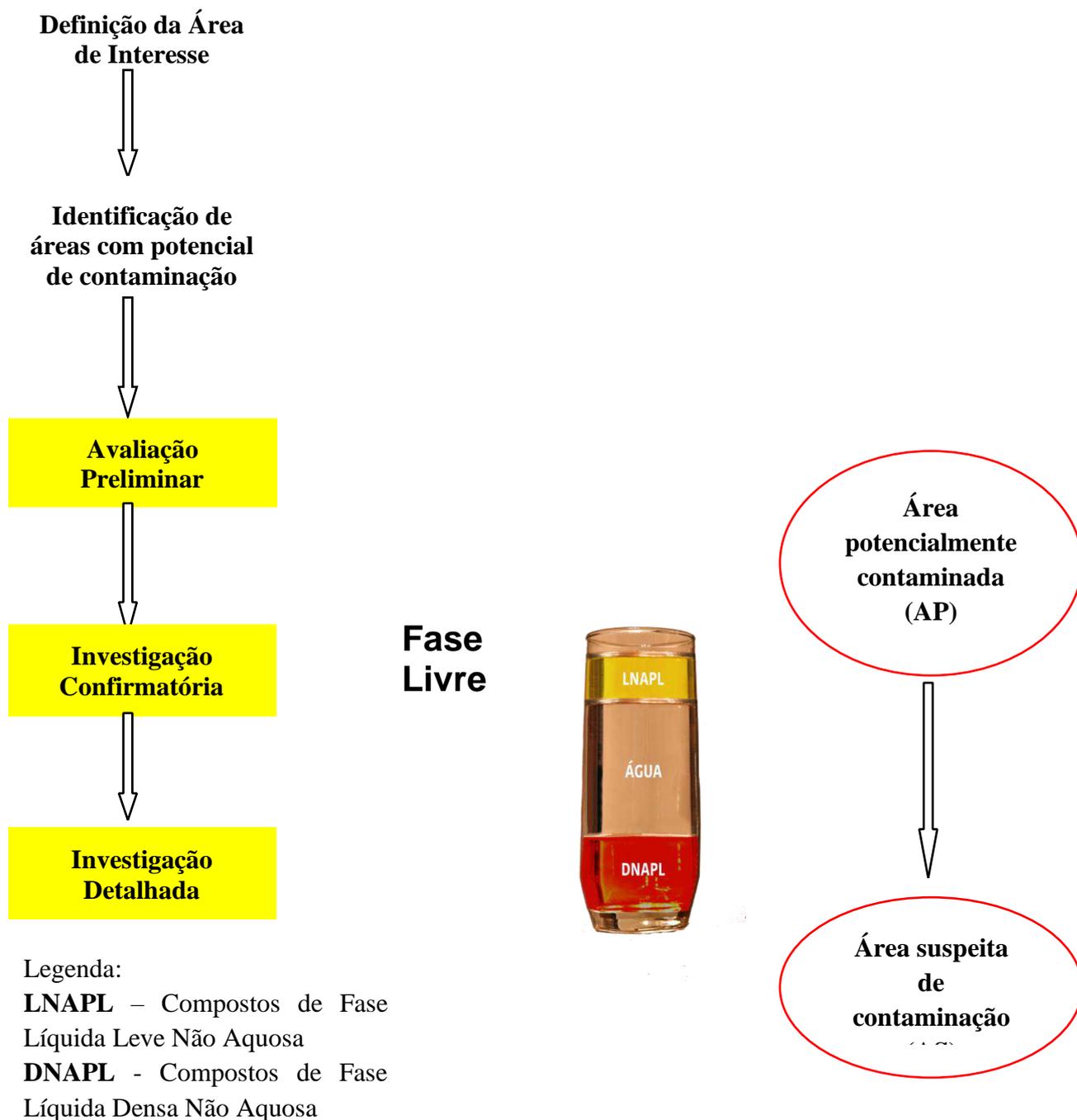
Fonte: O autor, 2021.

Fluxograma 3 - Delineamento amostral utilizado para inspeção de campo e análise em laboratório



Fonte: O autor, 2021.

Fluxograma 4 - Identificação de Áreas Contaminadas



Fonte: Adaptado CETESB, 2007.

A proposta da pesquisa foi apresentada ao Ministério Público Municipal para que o mesmo acompanhe o diagnóstico realizado durante a mesma.

2ª Fase – Identificação das APs. Esta etapa consiste em analisar os documentos coletados na fase 1, ou seja, foram selecionadas informações que identificam alguma ameaça de comprometimento da água subterrânea, tais como: Cometimento de infração por algum tipo de passivo ambiental, presença de postos abandonados/fechados sem o devido plano de encerramento da atividade, registro de licença antigo, o que pode indicar uma estrutura já comprometida e com tanques de armazenamento velhos e danificados, tipo de tanques de armazenamento de combustível (comum, aéreo ou jaquetado) presença de poços de monitoramento da água subterrânea ou outros poços na área do empreendimento e caixa separadora de água e óleo com indícios da vazamentos.

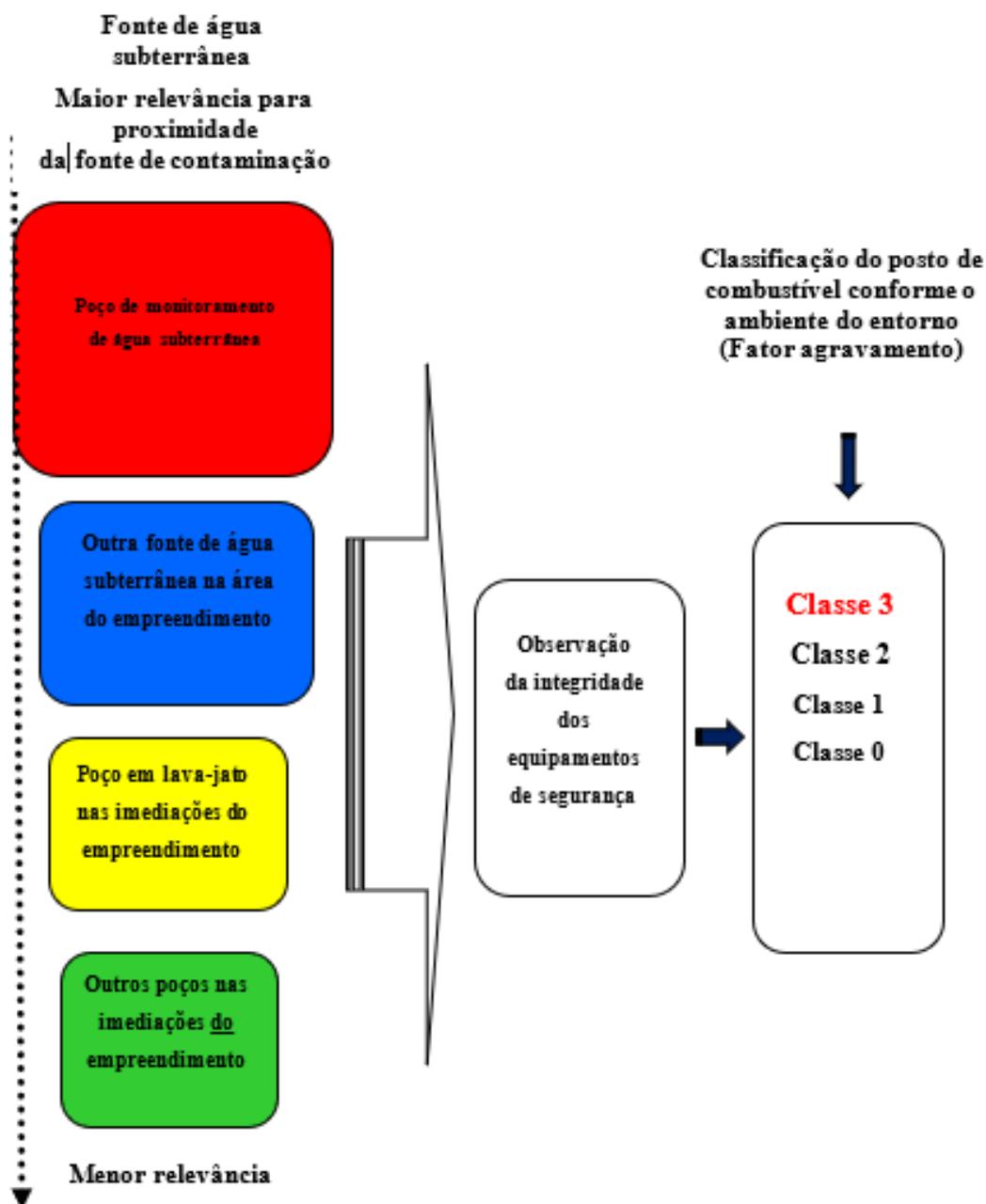
3ª Fase - Avaliação Preliminar que consiste na realização de um diagnóstico inicial das APs, através de um levantamento das informações disponíveis sobre a área e do reconhecimento desta através de inspeções de campo, a fim de levantar evidências e fatos que levem a suspeitar ou confirmar a contaminação na área avaliada (CETESB, 2001).

Na inspeção de campo, todos os postos de combustíveis foram visitados e cadastrados. Por uma questão metodológica foi adotada uma investigação por zonas da cidade, contemplando as diferenças no tipo de solo, aspectos hidrogeológicos, índice populacional, número de postos de combustíveis e quantidade de poços.

Em cada zona foram identificados os postos e a existência de poços subterrâneos de monitoramento ou outros poços (múltiplo ou residencial) na área do posto ou perímetro de 100 metros e que poderia ser selecionado para a realização dos ensaios em laboratório. As coletas da água subterrânea estavam condicionadas à anuência do proprietário, gerente ou responsável pelo estabelecimento e por essa razão foi adotada a amostra por conveniência.

Os critérios utilizados para investigação da contaminação da água por hidrocarbonetos seguem uma ordem de maior relevância que considera a proximidade do poço subterrâneo e a possível fonte do contaminante (Fluxograma 5), para isso foi observada a presença de fontes de água subterrânea no empreendimento ou próximo a ele (Poço de monitoramento, Residencial, Múltiplo ou Comercial), profundidade média do poço subterrâneo, vulnerabilidade dos aquíferos superiores em João Pessoa, classificação do entorno do empreendimento (NBR 13786:2005), perfil de elevação (SASC – Poço), o histórico de acidentes do posto de combustível e a integridade dos equipamentos de segurança.

Fluxograma 5 - Alguns dos critérios utilizados para seleção dos pontos de investigação da água subterrânea



Fonte: O autor, 2022.

5.2.1 Critérios utilizados para seleção dos pontos de investigação da água subterrânea

- **Presença de poço de monitoramento de água subterrânea** – É um equipamento de monitoramento da água subterrânea utilizado para prevenção do passivo ambiental.

- **Presença de outra fonte de água subterrânea na área do empreendimento** – Poços com funções múltiplas presente nas imediações do posto de combustível podem servir para o processo de investigação, desde que seja observado o perfil de elevação dos mesmos. As coletas de água subterrânea devem ocorrer à jusante do possível ponto de contaminação.

- **Presença de poço em lava-jato automotivo nas imediações dos postos de combustíveis** - Geralmente os lava-jatos em regiões litorâneas como João Pessoa utilizam água de poço. A grande vantagem de investigação nessas áreas é que geralmente esses poços são rasos com uma profundidade média de 15 metros, aumentando as chances de detecção da contaminação na água. É importante observar o perfil de elevação do solo para estimar o sentido do fluxo de água subterrâneo.

- **Presença de outros poços nas imediações do posto de combustível** – O trabalho de campo é iniciado através da identificação dos poços cadastrados na GAGEPA, CPRM e AESA, que foram inseridos previamente no *Google Earth* com o objetivo de criar um raio de busca de até 100 metros do entorno do posto de combustível. Outros poços não cadastrados nos sistemas oficiais também foram identificados e utilizados no processo de investigação.

- **Observação da integridade dos equipamentos de segurança** - Área do posto impermeabilizada, presença de canaletas de resíduos com caixa coletora em bom estado.

- **Classificação do posto de combustível conforme o ambiente do entorno** - A norma ABNT NBR 13786:2005 classifica o posto de combustível em classes que variam de 0 a 3 de acordo com ambiente do entorno, indicando uma preocupação com o posto devido à sua vizinhança. Aqui leva-se em consideração principalmente as classes mais exigentes quanto ao fator agravamento, relacionando principalmente a preocupação com a água subterrânea identificadas pelas classes 2 e 3.

Classe 0 - Quando não possuir nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes.

Classe 1 – Identifica rede de drenagem de águas pluviais, rede subterrânea de serviços (água, esgoto, telefone, energia elétrica etc.), fossa em áreas urbanas, edifício multifamiliar, até quatro andares.

Classe 2 - Identifica poço de água, artesiano ou não, para consumo doméstico e presença de escola e hospital.

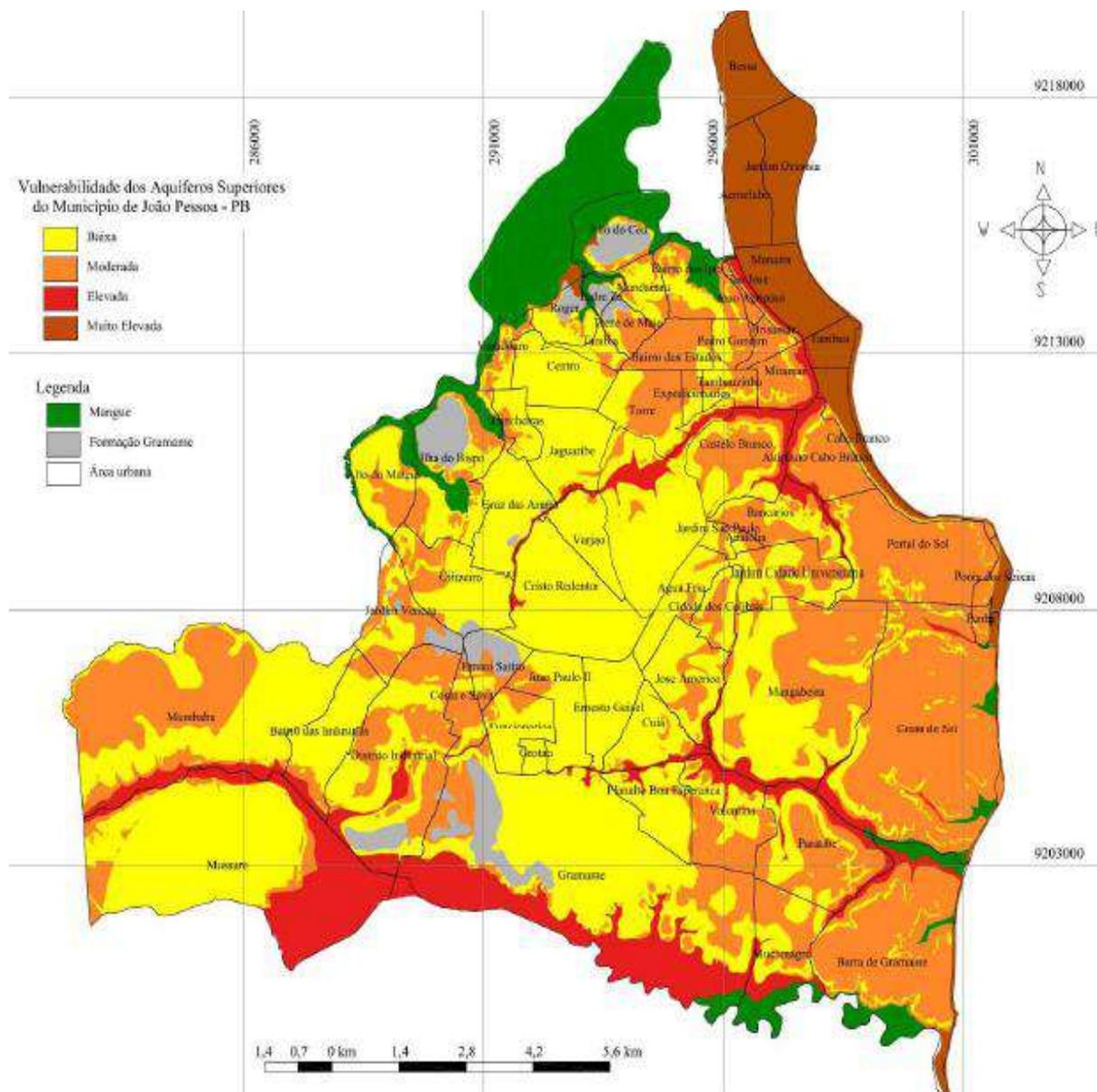
Classe 3 - Identifica a preocupação com a água do subsolo utilizada para abastecimento público da cidade (independentemente do perímetro de 100 m), corpos naturais superficiais de água destinados a abastecimento doméstico, proteção das comunidades aquáticas, presença de edificação residencial, comercial ou industrial.

- **Histórico de acidentes do posto** – Permite identificar áreas contaminadas, remediadas ou em processo de remediação.

- **Perfil de elevação (SASC – Poço)** – Através da ferramenta Perfil de elevação do *Google Earth (GE)*, é possível identificar a elevação do terreno, contribuindo na identificação do sentido da água subterrânea. O relevo é representado através de dados de topografia oriundos de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) pelo qual é possível traçar linhas de perfil e gerar gráficos onde o eixo Y mostra a elevação e o eixo X mostra a distância.

- **Vulnerabilidade dos aquíferos superiores em João Pessoa** - Com o auxílio de mapas de vulnerabilidade do solo (Figura 5) é possível identificar os aquíferos ou parte dos aquíferos mais vulneráveis e, desta forma, selecionar áreas mais sensíveis à contaminação por substâncias químicas (MENESES, 2009; TOSCANO, 2012; LEITE, 2021).

Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos superiores de João Pessoa PB



Fonte: MENESES, 2009; TOSCANO, 2012; LEITE, 2021.

Para cada critério identificadas pelas letras A, B, C, D, E, F e G foram atribuídas notas que poderiam possuir valores entre 00 e 08, de acordo com o grau de importância para o diagnóstico do cenário de risco da água subterrânea identificada na Tabela 3.

Apesar de subjetivo, foi necessária a adoção de um peso diferente para alguns dos critérios analisados devido a uma menor influência ou impossibilidade de conseguir dados completos sobre o critério em questão.

O valor do peso utilizado no critério D – Profundidade média do poço subterrâneo, por exemplo, foi menor por não ser possível conseguir a informação da profundidade de todos os poços analisados. Com relação ao critério E - Vulnerabilidade dos aquíferos superiores, o valor do peso foi reduzido por não ter sido identificado o nível de vulnerabilidade exata do poço analisado e sim a utilização do registro da vulnerabilidade da região onde estava localizado o poço em questão. Com relação ao critério F - Perfil de elevação (SASC – Poço) foi analisado apenas o perfil de elevação e não o sentido da água subterrânea, desta forma a apresentação dos dados é uma tentativa de diminuir o grau de subjetividade dos critérios analisados para obter uma avaliação mais próxima da realidade.

O conjunto de notas foi utilizado para a realização do cálculo da média ponderada de cada posto da cidade: as maiores médias representam o conjunto para um cenário de maior risco de contaminação da água subterrânea e, desta forma, foram selecionadas para os ensaios em laboratório da água subterrânea.

Tabela 3 - Critérios utilizados para avaliação dos cenários de risco de contaminação da água subterrânea

A		B	
Fonte de água subterrânea		Proximidade do poço aos SASC	
Tipo	Valores	Distância média	Valores
Não possui	0	Acima de 100 m	0
Poço Comercial	2	Entre 21 e 100 m	2
Poço Múltiplo	4	Até 20 m	4
Poço Residencial	6	Fora da área de abastecimento	6
Monitoramento	8	Na área do abastecimento	8

C		D	
Classificação do entorno do empreendimento		Profundidade média do poço subterrâneo	
Fator agravamento do posto	de Valores	Profundidade	Valores
Classe 0	0	Não verificado	0
Classe 1	4	51 à 100	2
Classe 2	6	31 à 50	4
Classe 3	8	16 à 30	6
		Até 15 metros	8

E Vulnerabilidade dos aquíferos superiores em João Pessoa	
Tipo de solo	Valores
Baixa	0
Moderada	4
Elevada	6
Muito elevada	8

F Perfil de elevação (SASC – Poço)	
Tipo de solo	Valores
Positivo	0
Neutro	4
Negativo	8

G Histórico de acidentes do posto	
	Valores
Sem acidentes	0
Área remediada	2
Em processo de remediação	4
Área contaminada	8

Exemplo: Posto “x”

Critérios	Peso	Valor atribuído	Média Ponderada
A	5		
B	5		
C	5		
D	3		
E	2		
F	1		
G	5		

Valores atribuídos para o posto “x”

Critérios	Peso	Valor atribuído	Média Ponderada
A	5	2	
B	5	4	
C	5	8	
D	3	8	
E	2	8	
F	1	4	
G	5	0	4,38

O cálculo da média ponderada é baseado na seguinte fórmula:

$$M_p = \frac{(N_1 \times P_1) + (N_2 \times P_2) + (N_3 \times P_3) + (N_4 \times P_4) + (N_5 \times P_5) + (N_6 \times P_6) + (N_7 \times P_7)}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7)}$$

Sendo que:

- M_p é a média ponderada
- N é cada valor do conjunto
- P é o peso correspondente de cada valor do conjunto.

$$\frac{10+20+40+24+16+4+0}{26} = 4,38$$

A média atribuída pela fórmula utiliza os valores com maior relevância entre os critérios que representam o cenário de maior risco de contaminação apresentados para seleção das áreas para investigação e sua nota máxima equivale a oito (8,0) e a média que apresenta o cenário menos provável para o risco de contaminação é zero (0,0), desta forma foram selecionadas preferencialmente as áreas que apresentavam as maiores médias de cada região da cidade de João Pessoa.

Média $\geq 3,5$ (cenário de **maior** risco de contaminação da água subterrânea).

Média $\leq 3,5$ (cenário de **menor** de risco de contaminação da água subterrânea).

4ª Fase - Investigação Confirmatória (IC) - Através de métodos diretos e indiretos de investigação, essa etapa tem como objetivo confirmar ou não a existência de contaminação nas Áreas Suspeitas (ASs), identificadas na etapa de avaliação preliminar, possibilitando a classificação das mesmas como Áreas Contaminadas (ACs) (CETESB, 2001). Nesta etapa ocorre a coleta da água subterrânea nas APs identificadas nas 2ª e 3ª fases, para análise em laboratório.

5.3 COLETA DE AMOSTRAS

Devido à quantidade de amostras a serem coletadas, disponibilidade do laboratório em analisá-las, logística de transporte e o tempo para resposta da anuência dos responsáveis pelos postos/poços para realização das coletas, as mesmas foram realizadas em épocas diferentes. Na Zona Leste foi realizada em julho/2021 na Zona Sul em setembro/2021, na Zona Norte em abril/2022 e na Zona Oeste em julho/ 2022.

Foram totalizadas cerca de 180 visitas nos postos de combustíveis da cidade, sendo o primeiro contato feito para uma investigação preliminar com coleta de dados e solicitação para autorização da investigação da água subterrânea caso houvesse poço de monitoramento ou outro poço que pudesse ser coletada a água, e a segunda visita era para a realização da coleta da água subterrânea.

Foram realizadas 38 coletas em triplicata nos poços de água subterrânea da cidade, perfazendo 342 amostras, sendo 114 para análise de BTEX, 114 para análise de HPA e 114 para análise de TPH.

A seleção dos pontos de coleta foi baseada na escolha das maiores médias obtidas da pontuação da tabela sobre a avaliação de risco que possibilitou identificar os cenários com as maiores possibilidades para contaminação da água subterrânea.

As amostragens da água subterrânea foram realizadas conforme a norma ABNT NBR 15847:2010. Foi utilizado um *bailer*, equipamento descartável constituído de polietileno, com formato de tubo oco e uma válvula de retenção na parte inferior, o tubo é mergulhado e entra em contato lentamente com a água subterrânea.

Imagem 2 *bailer* - Equipamento para coleta de água subterrânea



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

As coletas foram realizadas diretamente no poço (Imagem 3), com realização da purga para retirada da água estagnada, as coletas também seguiram o perfil de elevação do solo para estimar o sentido do escoamento do fluxo d'água subterrânea. Quando assim não é possível, outra forma de coleta realizada foi diretamente de uma torneira de acesso, deixando sair por aproximadamente 5 minutos a água estagnada.

Caso durante a coleta fosse encontrado o contaminante na fase livre, não seria necessário realizar a análise em laboratório, apenas a medida da espessura da lâmina utilizando fita métrica.

Imagem 3 - Poços de coleta de água subterrânea



Fonte: Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Todos os frascos utilizados para acondicionar as amostras foram lavados com detergente comum em água corrente e, posteriormente, em banho de imersão de Extran (neutro a 5%) por aproximadamente 12 horas. Após o banho os frascos foram enxaguados em água ultrapura e secos em estufa por aproximadamente 150 °C ao longo de 12 horas.

As amostras foram coletadas em frascos diferentes: um para análise de BTEX, frasco de vidro de 40mL (Imagem 4), com tampa de teflon, e outro frascos âmbar de um litro, um para análise de HPA e outro para análise de TPH. Todos os frascos foram fechados de modo que não houvessem espaços vazios em seu interior, evitando, assim, a perda dos compostos mais voláteis (BTEX) e semi-voláteis (HPA).

Imagem 4 - Vidraçaria utilizada para coleta de BTEX, HPA e TPH



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Todas as amostras foram coletadas em duplicata, etiquetadas e identificadas a sua origem (tipo de amostra - água subterrânea, profundidade de amostragem, localização georreferenciada, hora da coleta e amostrador). Em seguida as amostras foram acondicionadas e mantidas refrigeradas a 4° C em geladeira, e em caixa térmica com gelo durante o transporte. No laboratório as amostras foram conservadas em geladeira à mesma temperatura até o momento da preparação das análises para sua identificação.

Para identificar os compostos BTEX e HPA na água subterrânea foram utilizados procedimentos analíticos realizados no laboratório do NUPPRAR, localizado na UFRN.

5.4 ANÁLISES QUÍMICAS – BTEX

Para quantificar os compostos BTEX foi utilizada a técnica de cromatografia que consiste em um método físico-químico de separação, baseado na distribuição da amostra entre a fase

estacionária (camada microscópica de líquido ou polímero sobre um sólido inerte, dentro de uma peça tubular chamada coluna) e a fase móvel (gás inerte transportador) gasosa. Essa metodologia atende aos limites estabelecidos pela Portaria 2914, do Ministério da Saúde, sendo uma importante técnica quantitativa com um bom poder de resolução em baixos limites de detecção (COLLINS et al., 2011; LANÇAS, 1993 apud ANJOS 2012). A detecção dos compostos é realizada através de detectores de ionização por chama (FID, do inglês *Flame Ionization Detector*), em série com a fotoionização (PID, do inglês *Photoionization Detector*) e a espectrometria de massas (EM ou MS) que apresentam elevada sensibilidade para compostos aromáticos.

Para preparar a amostra ao instrumento de detecção foram utilizadas as técnicas de *headspace* (HS) com o objetivo de extração das amostras de BTEX em água.

5.5 ANÁLISES QUÍMICAS - HPA

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS) é uma técnica utilizada na identificação e quantificação de componentes em misturas orgânicas semivoláteis, como no caso dos HPA (HARRIS, 2012 apud ANJOS, 2012).

Para extração de amostras de HPA em água é utilizada a técnica de Extração em Fase Sólida (SPE) que consiste em isolar um ou mais analitos presentes em uma matriz complexa para posterior análise por intermédio de um método instrumental (LANÇAS, 2004).

5.6 ANÁLISES QUÍMICAS – TPH

Para quantificar os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo foi necessária a utilização dos seguintes solventes e reagentes: acetona, n-hexano, diclorometano, acetato de etila, ácido sulfúrico e sulfato de sódio anidro, todos grau PA. E água ultrapura.

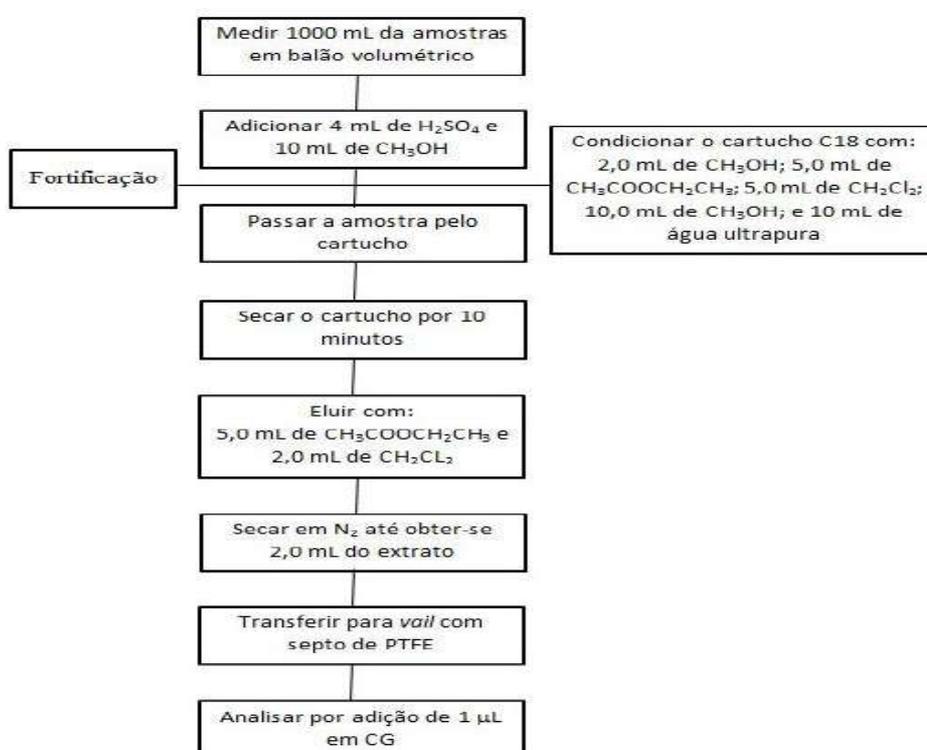
O sulfato de sódio anidro utilizado para o processo de secagem durante o método de extração foi calcinado em mufla a 400 °C por 24h, sendo armazenado em dessecador.

Foi utilizado para o TPH, o padrão certificado de n-alcanos (n-C8 a n-C40), da SULPECO, Sigma-Aldrich, todos na concentração de 2000 µg.mL⁻¹, utilizado para calibração e identificação dos tempos de retenção. A partir desta são preparadas soluções de trabalho em diclorometano nas concentrações de 10 µg.mL⁻¹, 20 µg.mL⁻¹, 30 µg.mL⁻¹, 40 µg.mL⁻¹, 50 µg.mL⁻¹, 60 µg.mL⁻¹, 70

$\mu\text{g.mL}^{-1}$, $80 \mu\text{g.mL}^{-1}$, $90 \mu\text{g.mL}^{-1}$, $100 \mu\text{g.mL}^{-1}$. As soluções de trabalho foram armazenadas em freezer, numa temperatura de aproximadamente $4 \text{ }^\circ\text{C}$ e utilizadas no máximo por quatro semanas, em função da sua degradação e volatilização.

O método de extração das amostras de TPH em água subterrânea é baseado no USEPA 3535a. O procedimento de SPE é mostrado na (Figura 6). O adsorvente utilizado para extração foi C18-octadecilsilano de 1000 mg em um cartucho de 6 mL. A extração foi realizada no Manifold, da Supelco.

Figura 6 - Procedimento para a extração de TPH em água por SPE.



Fonte: USEPA, 2007.

As amostras foram analisadas baseadas no método da USEPA 8015C, utilizando o cromatógrafo gasoso com detector de ionização por chama (FID), GC 2010 da Shimadzu (Kyoto, Japão).

Imagem 5 – Cromatógrafo FID, GC 2010



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Para separação cromatográfica foi utilizada uma coluna TG-624 SILMS (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, EUA). O gás de arraste utilizado foi o nitrogênio (99,999% de pureza, Linde Gases LTDA, Brasil) com fluxo constante de 2,5 mL/min. A programação de temperatura foi: 40 °C mantido por 5 min, seguindo uma rampa de aquecimento de 100 °C, a uma taxa de 10 °C/min. Em seguida foi elevada a temperatura para 330 °C, a uma taxa de 12 °C/min, permanecendo nesta temperatura por 12 min. A temperatura do injetor foi de 330 °C. Foi injetado 1 µL da amostra diluída a um volume final de 1mL com n-hexano.

Todos os resultados das amostras que extrapolaram as concentrações do último ponto das curvas analíticas foram diluídos e quantificados.

5.7 GEORREFERENCIAMENTO

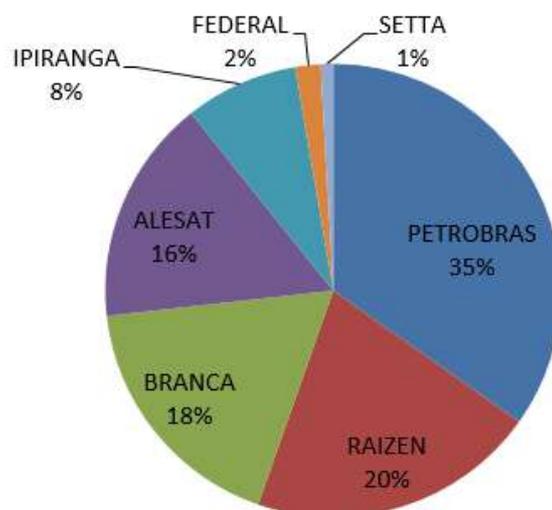
A metodologia para realizar o georreferenciamento se baseia na criação de um inventário cadastral com uma base de dados sistematizada. A metodologia resume-se nas seguintes etapas:

- 1ª Definição dos objetivos;
- 2º Contatos com as entidades e atores intervenientes;
- 3º Levantamento e tratamento das informações com o georreferenciamento dos elementos da cartografia;
- 4º Levantamento e tratamento das informações dos poços artesianos e postos de combustíveis cadastrados;
- 5º Levantamento fotográfico;
- 6ª Elaboração de mapas temáticos dos elementos do patrimônio;
- 7º Divulgação e disponibilização das informações para consulta;
8. Aperfeiçoamento e desenvolvimento do SIG.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de registros de postos em João Pessoa encontrado na ANP foi de 289, deste total apenas 113 possuem licença emitida pela ANP para funcionar e estão representados pelas bandeiras PETROBRAS (39), RAIZEN (23), BRANCA (21), ALESAT (18), IPIRANGA (09), FEDERAL (02) e SETTA (01) (Figura 7). Os postos que estão funcionando sem o devido registro estão relacionados à falta de algum documento, como a licença prévia ou documentos exigidos pela Resolução CONAMA 273.

Figura 7 – Porcentagem das bandeiras comercializadas pelos revendedores varejistas de combustível em operação/autorizados pela ANP em João Pessoa PB



Fonte: ANP, 2020, Adaptado pelo autor.

Durante o trabalho de Campo foi verificado a existência de 113 postos de combustíveis inicialmente cadastrados no início da pesquisa, através da lista de endereços do PROCON, porém durante os trabalhos de campo foram encontrados 123 postos, sendo que 17 postos estavam fechados ou abandonados. O número de estabelecimentos fechados chama a atenção porque coincide com a época da pandemia do COVID 19, porém não é possível afirmar que o fechamento teve alguma relação com os impactos gerados sobre o consumo ou efeitos econômicos neste setor.

A investigação sobre passivo ambiental também foi realizada através da análise dos autos de infração em uma listagem completa por mês e ano disponibilizada no site da SUDEMA, expedidos para postos de combustíveis em João Pessoa PB no período compreendido entre 2017 a 2021. Verificou-se que todas as infrações emitidas pelo órgão ambiental estavam relacionadas à falta ou às falhas em alguma das etapas do processo de licenciamento ambiental e que não existem infrações relacionadas a passivo ambiental.

Todas as informações obtidas da SUDEMA foram obtidas através do site do órgão, as informações solicitadas ao órgão (Anexo A) não foram atendidas.

A dificuldade da SUDEMA em fornecer informações sobre estudos ambientais ou acompanhar a evolução da legislação federal já foi mencionada em outras pesquisas (ARAÚJO 2015; FERREIRA 2018; CANARIO, 2020). Esse problema reforça a ideia colocada por Araújo, (2015) em que os estados mais pobres da Federação apresentam barreiras para a aplicação da Resolução CONAMA 420/09 e esses entraves podem ter diversas origens, sejam por questões políticas, prioridades de gestão, investimento em concurso com pessoal qualificado para as funções e ampliação das atividades do órgão para setores essenciais para a saúde humana e ambiental, que acaba gerando sobrecarga para o órgão ambiental.

O diagnóstico de tancagem foi realizado através de consulta individual na ANP dos registros de cada posto de combustíveis com autorização para funcionar, ficando excluídos os postos com licença revogada, pois esses não apresentavam dados sobre volumes dos SASCs.

No site da ANP foi utilizado o documento público de cadastro do posto de combustível (Figura 8) que contém informações: CNPJ, razão social, nome de fantasia e endereço, além do tipo de combustível (gasolina comum, gasolina tipo C comum aditivada, gasolina C premium, etanol, óleo diesel B S10 comum, diesel B S10 comum aditivado, diesel B S500 comum, diesel B S500 aditivado e gasolina de avião) e a capacidade de armazenamento de cada combustível em metros cúbicos litros.

Figura 8 – Modelo de cadastro do Posto de combustível na ANP

Posto com cadastro atualizado

Agente regulado pela Resolução ANP nº 41/2013, que caracteriza-se pelo exercício da atividade de revenda a varejo de combustíveis automotivos em seu próprio estabelecimento. Os combustíveis comercializados por este agente deverão ser adquiridos de empresas devidamente autorizadas pela ANP ao exercício da atividade de distribuição de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos.
 Caso deseje emitir o certificado, [clique aqui](#).
 Caso deseje verificar a autenticidade do Certificado já emitido para este posto, [clique aqui](#).

Autorização:

CNPJ/CPF:

Razão Social:

Nome Fantasia:

Endereço:

Complemento:

Bairro:

Município/UF:

CEP:

Número Despacho:

Data Publicação:

Bandeira/Início:

Tipo do Posto:

Sócios:

Equipamentos:

Produtos:	Tancagem (m³):	Bicos:
ETANOL HIDRATADO COMUM	10	4
GASOLINA C COMUM	30	6
GASOLINA C COMUM ADITIVADA	10	4
ÓLEO DIESEL B S10 - COMUM	10	2

Fonte: ANP, 2021.

Na planilha Excel foi criado um arquivo com informações sobre o volume de combustível de cada posto e, através da dos 113 postos autorizados a funcionar, foi obtido o volume total de cada combustível e o volume total de todos os combustíveis em m³ na cidade com os seguintes valores: etanol (1.624), gasolina comum (3.244), gasolina tipo C comum aditivada (955), gasolina C premium (15), diesel B S10 comum (1.238), diesel B S10 comum aditivado (145), diesel B S500 comum (350), diesel B S500 aditivado (10), ficando o volume total de 7.596 m³ de combustível armazenado no solo na cidade de João Pessoa (Tabela 4).

Esse volume representa apenas a capacidade total de armazenamento, porém o volume que circula por esses tanques é bastante variável devido à rotatividade representada pelo consumo diário e sua reposição para estoque.

Tabela 4 - Tancagem de combustível em João Pessoa PB

Combustível	Quantidade em m ³
<i>Gasolina comum</i>	3.244
<i>Etanol</i>	1.624
<i>Diesel B S10 comum</i>	1.238
<i>Gasolina C comum aditivada</i>	955
<i>Diesel B S500 comum</i>	350
<i>Diesel B S10 comum aditivado</i>	145
<i>Gasolina C premium</i>	15
<i>Gasolina de avião</i>	15
<i>Diesel B S500 aditivado</i>	10
Total	7.596

Fonte: ANP, 2020 Adaptado pelo autor.

Na tabela abaixo são identificados os números sobre o total de bairros, população e número de postos de combustíveis da cidade de João Pessoa PB identificados após o trabalho de campo (Tabela 5). Deste total foram identificados 17 estabelecimentos fechados ou não encontrados. (Imagem 6)

Tabela 5 - Identificação das zonas da cidade de João Pessoa

Zonas de João Pessoa	Número Total de Bairros	Número de Postos de combustíveis	População estimada em 2021	População em %
<i>Zona Leste</i>	16	27	140.386	17
<i>Zona Norte</i>	14	32	146.992	17,8
<i>Zona Oeste</i>	09	26	220488	26,7
<i>Zona Sul</i>	26	38	317931	38,5
Total	65	123	825.796	100

Fonte: SPOSATI, 2010; IBGE 2021 (adaptado)

Imagem 6 - Postos fechados no bairro de Mandacaru (Zona Norte A) e no bairro do Jaguaribe (Zona Oeste B)

A – Zona Norte



B – Zona Oeste



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

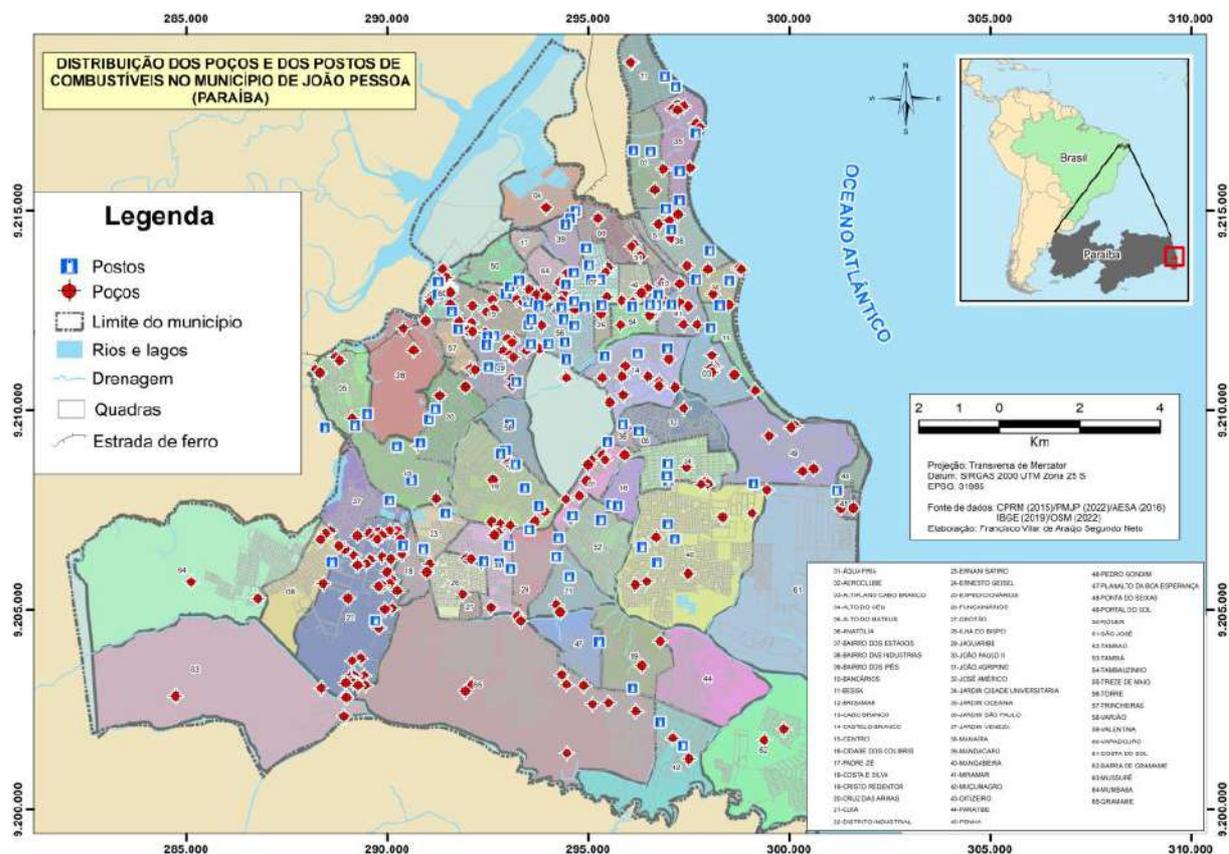
O mapeamento dos poços identificou 912 poços de água subterrânea utilizada para abastecimento público, comercial, industrial e irrigação em João Pessoa. Mais de 50% desses poços (514) apresentam outorga vencida. A presença de poços com outorga vencida e a presença de outros poços não cadastrados nos órgãos oficiais, sinaliza uma preocupação quanto ao monitoramento da água subterrânea. Neste levantamento também foram identificados 34 poços monitorados pela CAGEPA e outros 30 poços não cadastrados nas bases de dados mencionadas acima, localizados nos postos de combustíveis ou próximos a eles.

As informações dos poços foram inseridas conjuntamente com a localização dos postos de combustíveis para estabelecer a proximidade e o perfil de elevação entre eles.

Os poços cadastrados dentro de um raio de 100 metros foram selecionados e, com a ajuda da ferramenta do *Google Earth*, foi traçado um perfil de elevação entre o posto de combustível e os poços. Os poços que possuíam um perfil de elevação maior do que o posto de combustível foram excluídos por não estarem à jusante. Caso houvesse um poço no cadastro oficial da CAGEPA, CPRM ou AESA próximo do posto e outro poço na área do empreendimento descoberto durante a visita de campo, optou-se pelo último pela proximidade dos SASCs, e caso fosse encontrada contaminação na fase livre, outros poços na redondeza poderiam ser investigados.

O mapa a seguir (Figura 9) foi elaborado para identificar todos os poços e postos de combustíveis da cidade de João Pessoa.

Figura 9 - Distribuição dos poços e postos de combustíveis no município de João Pessoa PB



6.1 RESULTADOS ZONA LESTE

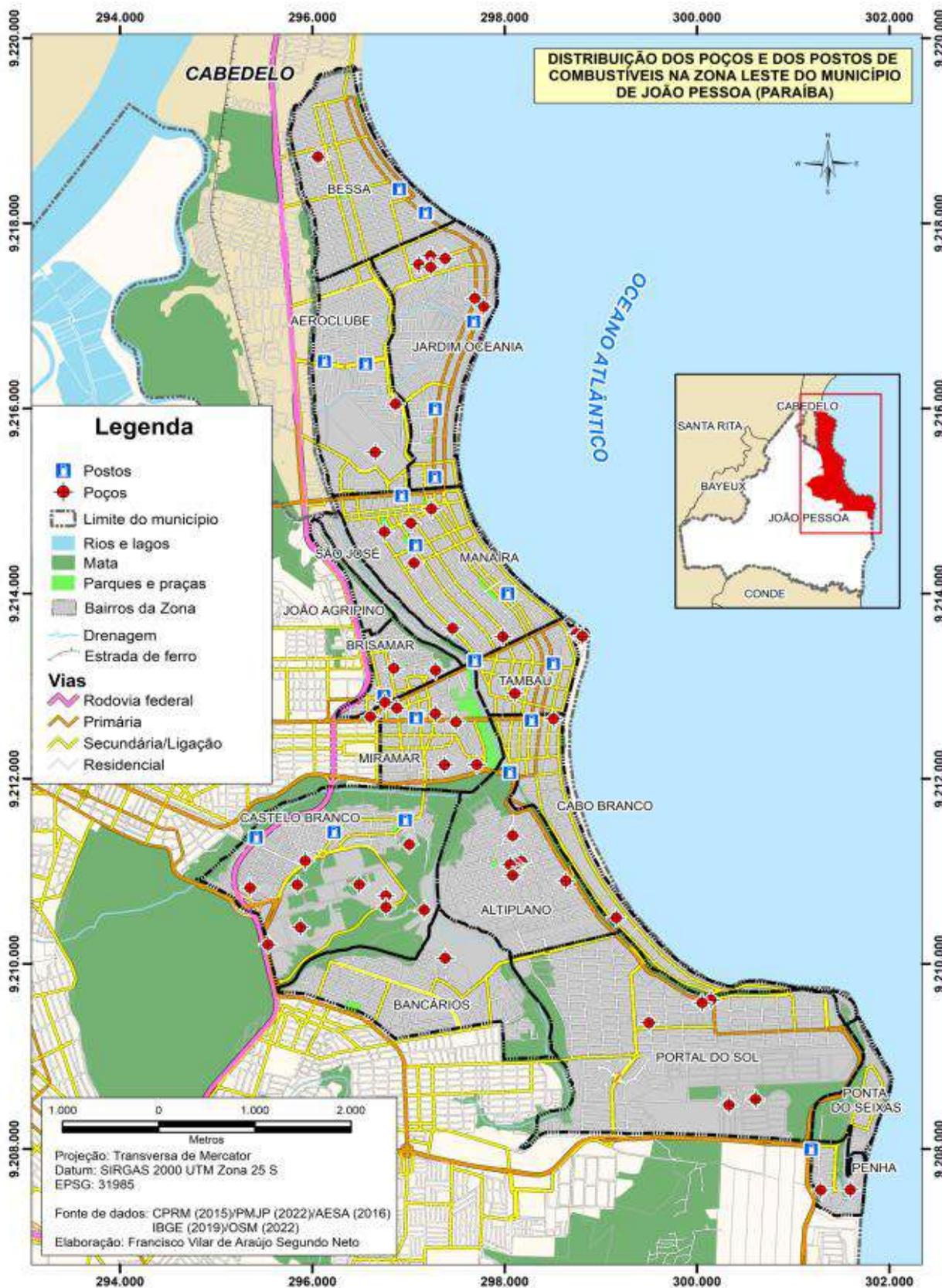
Na inspeção de campo realizada na Zona Leste foram identificados 30 postos de combustíveis distribuídos nos bairros da região. A população da mesma representa 17% do total da cidade. Os bairros onde se concentram o maior número de postos de combustíveis são os bairros do Bessa, com 07 postos e Manaíra e Tambaú, com 04 estabelecimentos cada (Figura 10).

Por uma questão de logística e conveniência para o trabalho de campo: agendamento das visitas, disponibilidade para receber e anuência dos proprietários ou responsáveis era impossível a conclusão da investigação de cada zona em um mesmo período. Desta forma, foram incluídas, em cada etapa, as coletas de outras zonas da cidade. Portanto, neste trabalho de campo foram coletadas informações de 05 postos da Zona Norte (04 postos de Tambauzinho e 01 posto do bairro dos Expedicionários).

A investigação da Zona Leste foi baseada no enquadramento dos postos de combustíveis dentro dos critérios utilizados na avaliação preliminar e pela constatação de trabalhos como o de Meneses (2009) que demonstram essa região com um elevado índice de vulnerabilidade à contaminação devido às características geográficas da região: localização na planície marinha com nível de água dos aquíferos próximo da superfície (entre zero e cinco metros), uma maior condutividade hidráulica do solo característico de aquíferos de sedimentos quaternários, portanto favoráveis à contaminação.

É uma região com grande expansão imobiliária e, portanto, com um grande consumo de água subterrânea.

Figura 10 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Leste



Após visita e avaliação dos cenários de risco dos postos da Zona Leste foi verificado que cinco estabelecimentos não existiam ou estavam fechados. A (Tabela 6) contém as médias parciais dos cenários de risco de cada empreendimento da Zona Leste. Foram selecionados 07 pontos de coleta identificadas no (Quadro 4) e outras 03 identificadas no (Quadro 5) para ensaios em laboratório.

Tabela 6 - Resultado parcial da avaliação dos cenários de risco da Zona Leste

Posto	Bandeira	Bairro	Média ponderada
01	Shell	Bessa	2,15
02 (Ponto 04)	Texaco	Bessa	4,77
03 (Ponto 02)	Ipiranga	Bessa	4,38
04	BB	Aeroclub	2,15
05 (Fechado)	BB	Bessa	-
06	Shell	Bessa	2,31
07 (Ponto 05)	Ipiranga	Bessa	4,00
08 (Fechado)	Ello	Bessa	-
09 (Ponto 06)	Ale	Manaíra	6,31
10	Ipiranga	Manaíra	2,31
11	BR	Manaíra	1,92
12 (Fechado)	BB	Manaíra	-
13	Shell	Tambaú	1,77
14	BB	Tambaú	2,15
15	Ale	Tambaú	2,15
16 (Fechado)	Ello	Cabo Branco	-
17 (Fechado)	Shell	Expedicionário*	-
18	BR	Expedicionário	1,85
19	Setta	Brisamar	1,85
20	Shell	Miramar	1,85
21	Shell	Tambaú	2,00
22	BR	Tambauzinho*	2,00
23 (Ponto 07)	BB	Tambauzinho*	4,08
24	Dislub	Tambauzinho*	1,85
25	BR	Tambauzinho*	1,54
26 A (Ponto 1A)	BR	Aeroclube	4,38
26 B (Ponto 1B)	BR	Aeroclube	3,46
27 (Ponto 03)	Ipiranga	Bessa	3,85

Fonte: Autor, 2021.

Legenda:

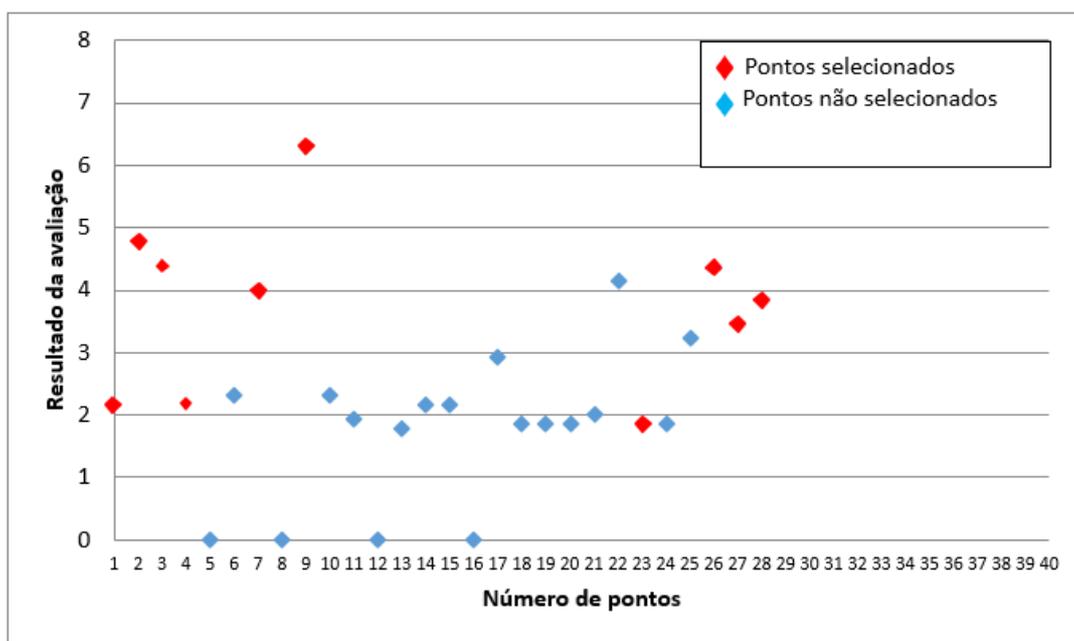
vermelho - Identifica os pontos para realização da coleta da água subterrânea.

verde - Identifica os postos fechados ou em reforma;

* Representa os postos da Zona Norte incluídos nesta coleta de dados.

O (Gráfico 1) foi gerado a partir dos dados obtidos da tabela 06 e tabela 07 e tem como objetivo auxiliar na visualização e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea que apresentam os maiores cenários para os passivos ambientais.

Gráfico 1 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Leste e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea



Fonte: Autor, 2021.

Os locais de coleta da água subterrânea da Zona Leste (Imagem 7) foram os seguintes: 01 poço de monitoramento em posto de combustível, 02 poços de uso residencial dentro de condomínios localizados a menos de 40 metros dos postos de combustíveis, 01 poço de uso múltiplo, localizado dentro da área dos postos de combustíveis e 04 poços localizados em lava jatos no perímetro do posto de combustível.

Imagem 7 - Locais de coleta da água subterrânea na Zona Leste



Fonte: Autor, 2021.

Quadro 4 - Pontos de coleta (Zona Leste)

Ponto	Bairro	Localização	Tipo de uso	Classificação do entorno NBR 13786:2005	Profundidade (Metro)	Avaliação de risco
P01A	Aeroclube	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	4m	4,38
P01B	Aeroclube	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	Não Informado	3,46
P2	Bessa	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava a jato)	Classe 3	4m	4,38
P3	Bessa	Condomínio vizinho ao posto de combustível	Abastecimento Residencial	Classe 3	120m	3,85
P4	Bessa	Condomínio vizinho ao posto de combustível	Abastecimento Residencial	Classe 3	15m	4,77
P5	Bessa	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	4m	4,00
P6	Manaira	Área do posto de combustível	Poço de Monitoramento	Classe 3	3m	6,31
P7	*Tambauzinho	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado	4,08

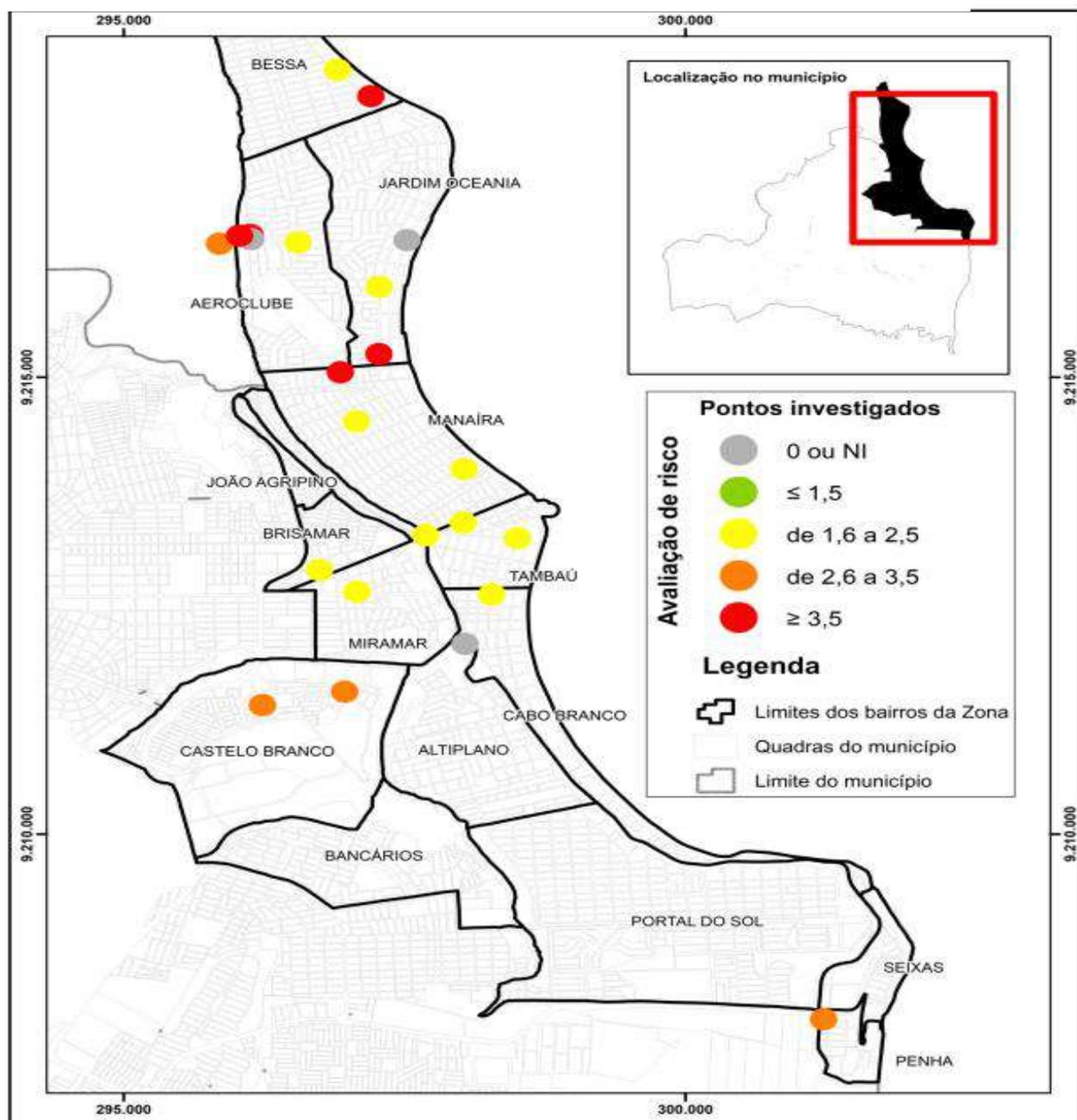
Fonte: Autor, 2021.

Legenda:

*Representa o posto da Zona Norte incluído nas coletas da Zona Leste.

A Figura 11 identifica os cenários de risco da água subterrânea na região leste da cidade, baseados na avaliação realizada a partir das coletas de dados de cada posto de combustível da Zona Leste.

Figura 11 – Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Leste



Fonte de dados:
Levantamento de campo (2020/2022);
PMJP (2022).

Os valores de risco na legenda representam um padrão para todas as zonas do município, ou seja, os símbolos podem ou não aparecer em determinadas zonas. O "NI" ou "0" são postos que estavam fechados ou desativados durante o período de coleta.



0 1 2 Km
Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM
Datum: SIRGAS 2000 Zona 25 S

Elaboração:
Francisco Vilar de Araújo
Segundo Neto

As coletas nesta área foram realizadas nos dias 28 e 29 de julho de 2021, no período de inverno, com uma maior probabilidade de percolação dos contaminantes pelo subsolo. Neste período a precipitação média acumulada no mês foi de 237,9 mm (AESAs, 2021). As amostras foram conservadas e transportadas a uma temperatura de -04 graus Celsius (em uma caixa térmica até o laboratório NUPPRAR/UFRN (Imagem 8).

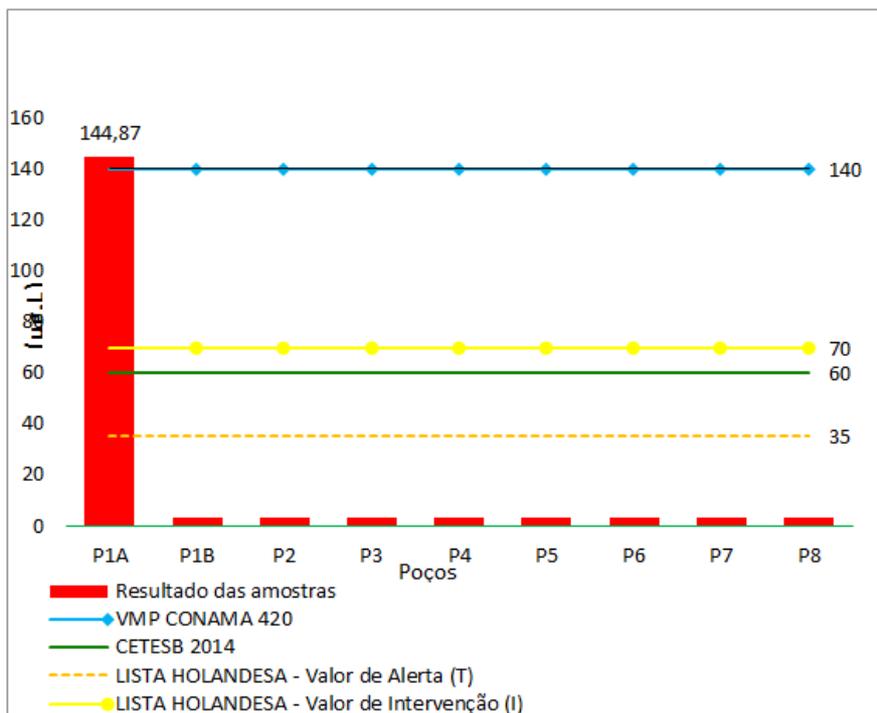
Imagem 8 - Classificação das amostras no laboratório



Fonte: O Autor, 2021.

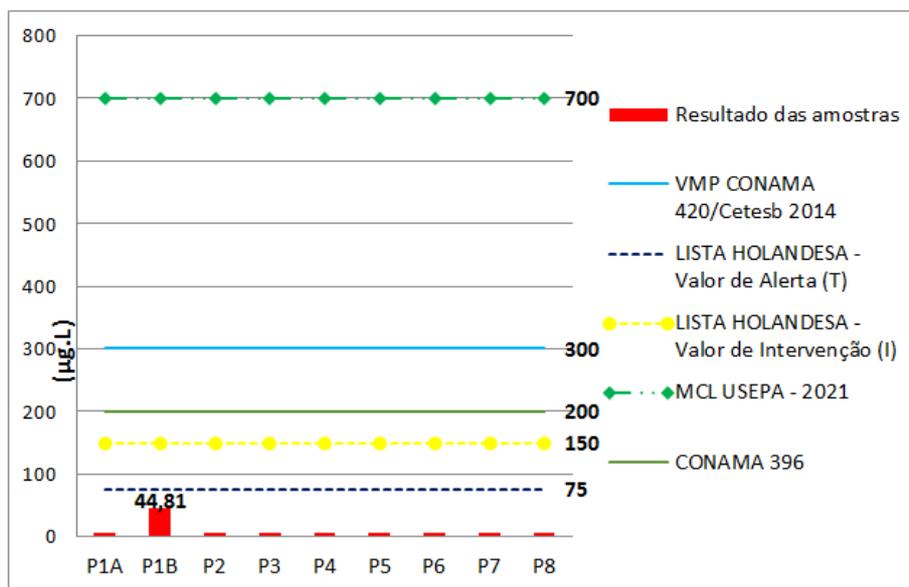
Os resultados mostraram que na Zona Leste não foram encontradas as substâncias Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno - BTEX. No grupo dos HPAs investigados, foi encontrada apenas as substâncias Naftaleno e o Etilbenzeno. O Naftaleno se encontrava no valor de 144,87 $\mu\text{g.L}$, ou seja um pouco acima do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 420, que é até 140 $\mu\text{g.L}$. O hidrocarboneto Etilbenzeno se encontrava com uma concentração de 44,81 $\mu\text{g.L}$, ou seja abaixo de todas as legislações que tratam do contaminante. (Gráfico 2 e Gráfico 3).

Gráfico 2 - Resultado da avaliação do Naftaleno nos poços da Zona Leste



Fonte: O autor, 2022.

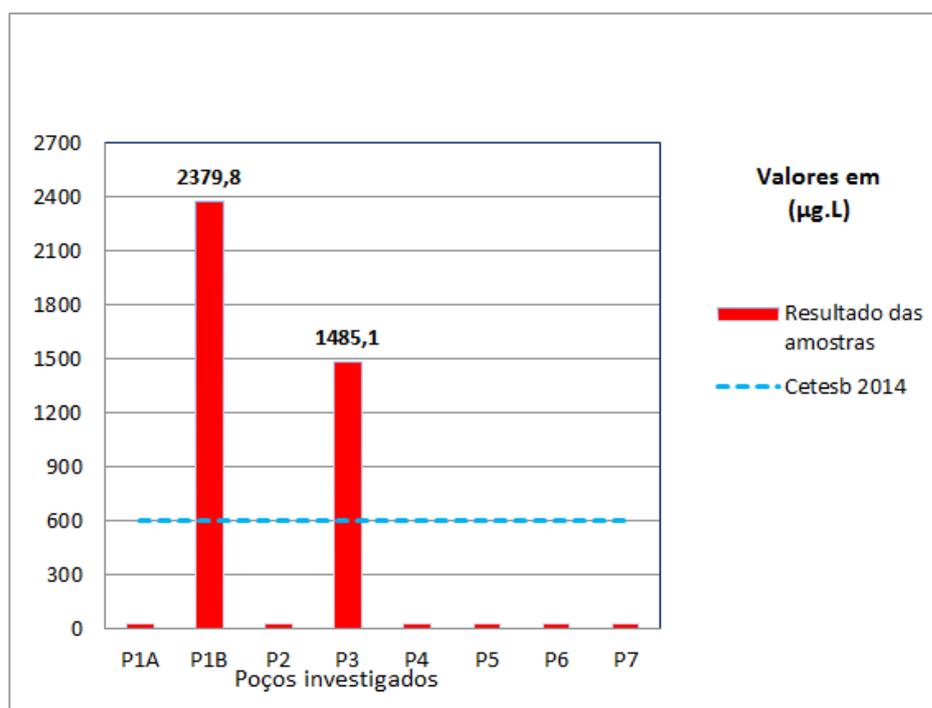
Gráfico 3 - Resultado do Etilbenzeno nos poços da Zona Leste



Fonte: Autor, 2022.

Para o parâmetro Hidrocarboneto Total de Petróleo a contaminação foi encontrada em dois pontos diferentes e em concentrações muito superiores (1485,1 e 2379,8 $\mu\text{g.L}$) às estabelecidas pela CETESB, 2014, que determina um valor máximo de 600 $\mu\text{g.L}$.

Gráfico 4 - Resultado do TPH nos poços da Zona Leste



Fonte: O autor, 2022.

O ponto 1B pertence a um poço desativado, localizado em um lava jato na área de um posto de combustível. Uma possível explicação para a presença de contaminantes na água subterrânea deste ponto seria o não isolamento do poço que pode ter desencadeado a contaminação com a atividade do lava-a-jato e não com a atividade do posto de combustível, uma vez que na mesma área também foi analisado o ponto 1A a menos de dois metros de distância do P1B, e neste não foi encontrado nenhum contaminante. Neste sentido é recomendado que sejam feitas outras inspeções para avaliar o tamanho da contaminação e saber sobre a necessidade de remediação e consequente isolamento do poço para evitar outras contaminações.

O resultado da contaminação do ponto 3 merece uma nova investigação por se tratar de um poço localizado em um condomínio residencial, vizinho a um posto de combustível. A água deste poço é utilizada para fins diversos, inclusive consumo humano, e caso seja comprovada a contaminação da água subterrânea, os moradores do condomínio devem ser imediatamente alertados devido ao elevado índice de hidrocarbonetos de petróleo e aos sérios riscos à saúde que essa água pode causar caso seja consumida.

6.2 RESULTADOS ZONA SUL

A inspeção de campo e a avaliação de risco na Zona Sul, (Tabela 7) caracteriza-se por ser a área mais densamente povoada da cidade (38,5% da população) e por possuir a maior concentração de postos de combustíveis (31 postos), distribuídos nos bairros de Água Fria, Cuiá, Cidade Universitária, Mangabeira, José Américo e Valentina Figueiredo (Figura 12). Pelos mesmos motivos mencionados para realização da inspeção de campo da Zona Leste, foram incluídos neste trabalho de campo 03 postos do bairro dos Bancários, 02 do Castelo Branco e 01 do bairro da Penha (Zona Leste) e 01 posto do bairro Oitizeiro (Zona Oeste).

O resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Sul identificou diversos pontos com médias $\geq 3,5$ indicando uma tendência para um cenário de risco de contaminação.

Tabela 7 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenários de risco da Zona Sul

Posto	Bandeira	Bairro	Média ponderada
01 (ponto 08)	BR	Aqua fria	3,62
01B (ponto 09)		Aqua fria	2,92
02 (Ponto 10)	Ipiranga	Bancários*	4,15
03 (Ponto 11)	ALE	Bancários*	3,23
04	BB	Bancários*	1,34
05	BR	Cid Universitária	1,54
06	BR	Mangabeira	1,54
07	BR	Mangabeira	1,54
08	BB	Mangabeira	1,85
09	BB	Mangabeira	2,31
10	BR	Mangabeira	1,85
11	Ipiranga	Água fria	3,08
12 (Ponto 12)	BR	Cid Universitária	3,31
13 (Ponto 14)	BR	José Américo	2,85
14 (Ponto 15)	Go oil1	José Américo	3,23
15 (Ponto 13)	Go oil2	José Américo	3,23
16	Shell	Água Fria	1,54
17	BB	Valentina	1,54
18	BB	Valentina	1,54
19	ALLE	José Américo	2,85
20	BB	Cuiá	2,85
21	Shell	Funcionários	2,46
22	BB	Bairro Industrial	2,31
23	BR	Castelo Branco*	3,23
24	BR	Castelo Branco*	3,38
25	Ipiranga	Dist. Industrial	2,46
26 (Ponto 18)	BR	Costa e silva	3,54
27	BB	Costa e silva	3,54
28	BR	Funcionários II	3,23
29	BR	Dist. Industrial	3,08
30	BB	Geisel	1,54
31	Dislub	Geisel	1,54
32	ALLE	Geisel	(Fechado)
33	BR	Geisel	1,54
34	Ipiranga	Mucumagro	1,85
35	BR	Mucumagro	1,85
36 (Ponto 16)	Federal	Penha*	3,15
37 (Ponto 17)	Ipiranga	Valentina	2,85
38 (Ponto 19)	Shell	Oitizeiro*	3,62

Fonte: o autor, 2021.

Legenda:

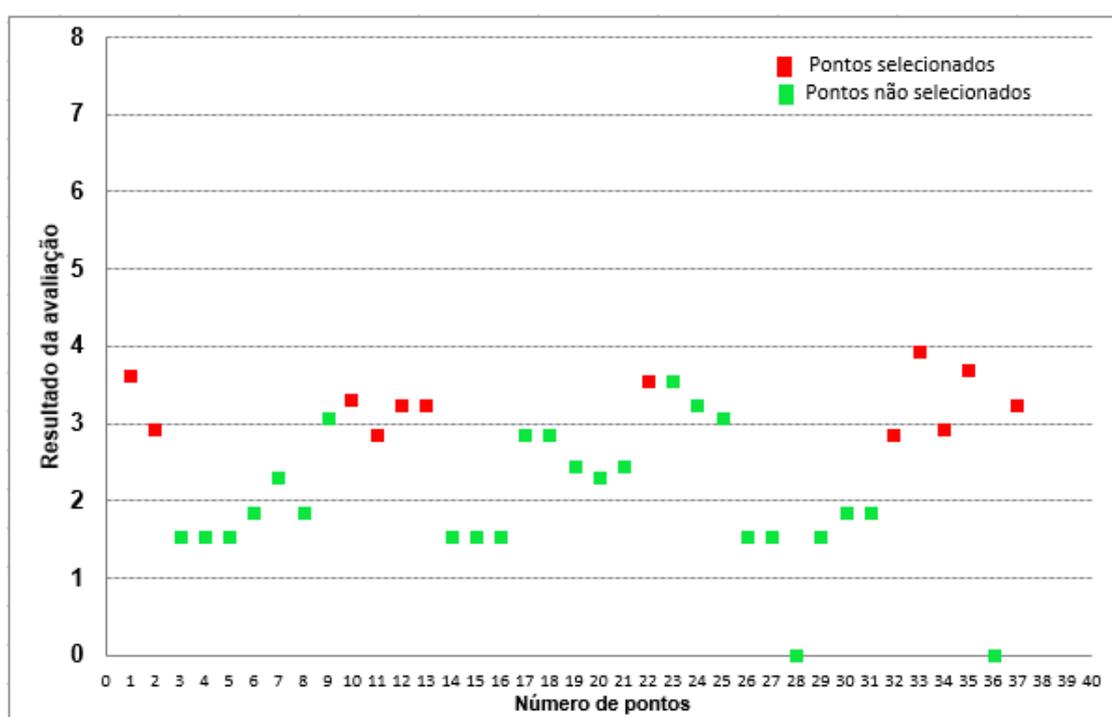
Vermelho - Identifica os pontos para realização da coleta da água subterrânea.

Verde - Identifica os postos fechados;

* Representa os postos das Zonas Leste e Oeste da cidade incluídos nesta coleta de dados

O gráfico 05 foi criado a partir dos resultados parciais gerados na tabela 7 e foi complementada com as outras etapas da pesquisa de campo sobre a avaliação dos cenários de risco, ela tem como objetivo auxiliar na visualização dos pontos que obtiveram os maiores índices da Zona Sul com o propósito de orientar a coleta da água subterrânea para realização dos ensaios em laboratório.

Gráfico 5 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Sul e seleção dos pontos em vermelho para avaliação da água subterrânea



Fonte: o autor, 2021.

Na Zona Sul foram selecionados 12 pontos, 08 estão identificados no (Quadro 5) e 04 estão identificados no (Quadro 07), junto com as coletas realizadas na Zona Oeste. As coletas da Zona Sul identificadas no quadro 5 foram realizadas em setembro/2021 com uma precipitação média na cidade de 69,7mm (AESAs, 2021).

Quadro 5 - Pontos de coleta (Zona Sul)

Ponto	Bairro	Localização	Tipo de uso	Classificação do entorno NBR 13786:2005	Profundidade (Metro)
P8	Água Fria	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial	Classe 3	50m
P9	Água Fria	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	-	Não Informado
P10	Bancários*	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	2m
P11	Bancários*	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado
P12	Cidade Universitária	Área do posto de combustível	Abastecimento comercial	Classe 3	30m
P13	José Américo	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	Não Informado
P14	José Américo	Área do posto de combustível	Poço de Monitoramento	Classe 3	Não Informado
P15	José Américo	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado
P16	Penha *	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado
P17	Valentina	Área do posto de combustível	Abastecimento Comercial (Lava jato)	Classe 3	Não Informado
P18	Conjunto Esplanada Ermani Sátiro	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado
P19	Citizero*	Área do posto de combustível	Abastecimento múltiplo	Classe 3	Não Informado

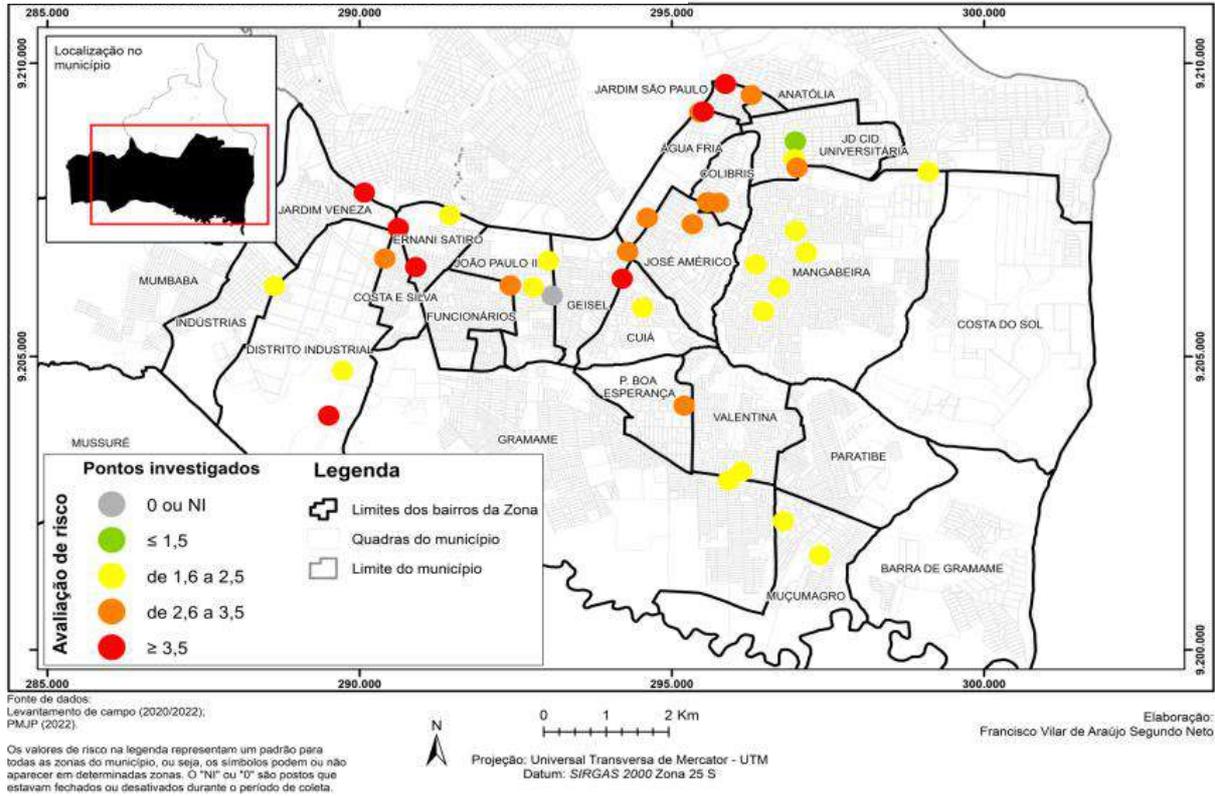
Fonte: o autor, 2021.

Legenda:

*Representa os postos das Zonas Leste e Oeste da cidade.

Na figura 13 estão identificados todos os pontos investigados na Zona Sul para os cenários de avaliação de risco e suas respectivas escalas de notas. Os pontos em vermelho com notas $\geq 3,5$ indicam as áreas mais favoráveis para o risco de contaminação.

Figura 13 - Resultado dos cenários de avaliação de risco da Zona Sul



Nesta zona, 05 postos apresentavam problemas em algumas das estruturas de segurança: bomba de óleo com sinais de vazamento, canaleta de escoamento entupida, piso de descarga não impermeabilizado e tampas de tanques de combustíveis fechadas com borrachas com sinais claros de vazamentos (Imagem 9). Estes itens são considerados importantes na prevenção de vazamentos de combustíveis e lubrificantes, sendo indicadores de áreas potenciais de contaminação.

Imagem 9 - Estruturas de segurança dos postos de combustíveis da Zona Sul. Bomba de óleo com vazamento (Imagem A), Canaleta de escoamento entupida (Imagem B), tampas de tanques de combustíveis fechadas com borrachas e com sinais de vazamentos (Imagem C) e Piso de descarga não impermeabilizado (Imagem D)

Imagem A



Imagem C

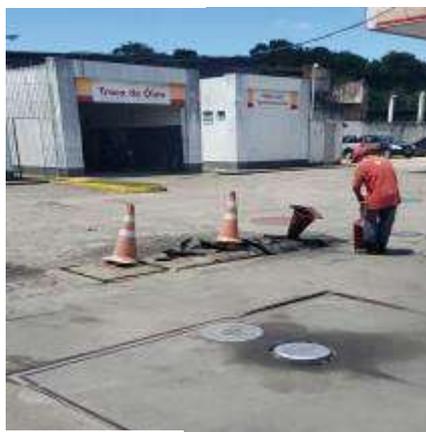


Imagem B



Imagem D



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Apesar dos fortes indícios mostrados na avaliação de risco da zona sul, os ensaios em laboratório não identificaram, na água subterrânea, os grupos de hidrocarbonetos investigados.

6.3 RESULTADOS ZONA NORTE

A população da Zona Norte representa 17,8% da população de João Pessoa, a área possui 37 postos de combustíveis distribuídos nos bairros. No bairro da Torre encontram-se 09 postos, no Centro são 06 estabelecimentos, no bairro dos Estados 07, Tambauzinho 04, Tambiá 04, Ipês 03, Varadouro 02, Mandacaru 01 e Expedicionários 01 posto. Deste total 08 se encontravam fechados (Figura 14).

Figura 14 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Norte



O resultado da avaliação do cenário de risco (Tabela 8) possibilitou a seleção de 11 pontos para os ensaios com água subterrânea, 10 identificados durante a coleta de dados parcial, conforme o Quadro 6, e 01 identificado no Quadro 04, no período da realização do trabalho de campo realizado na Zona Oeste.

Tabela 8 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenário de risco da Zona Norte

Posto	Bandeira	Bairro	Média ponderada
01 (Fechado)	BR	Centro	0
02	ALLE	Centro	1,54
03 (ponto 21)	SHELL	Centro	3,92
04 (Fechado)	ELLO	Centro	-
05	BB	Centro	1,54
06		Centro	0
07	SHELL	Estados	1,85
08	SHELL	Estados	1,85
09 (Fechado)		Estados	0
10 (Reforma)	BB	Estados	0
11	BR	Estados	1,85
12	ALE	Estados	1,85
13 (Ponto 22)	ELLO	Estados	3,85
14	BR	IPES	1,85
15 (Fechado)	BR	IPES	0
16 (Ponto 23)	ALE	IPES	2,62
17 (Ponto 24)	BB	Mandacaru	3,38
18	SHELL	Tambiá	1,85
19	BB	Tambiá	1,54
20 (Ponto 25)	ELLO	Tambiá	3,38
21 (Fechado)	BR	Tambiá	0
22	BR	Torre	1,85
23 (Ponto 26)	IPIRANGA	Torre	3,77
24	FAN	Torre	1,85
25	BB	Torre	1,85
26	ELLO	Torre	1,85
27 (Ponto 27)	SHELL	Torre	3,77
28 (Ponto 28)	BB	Torre	3,15
29 (Ponto 29)	SETTA	Torre	3,54
30 (Fechado)		Torre	0
31 (Fechado)	BR	Varadouro	0
32 (Ponto 30)	SP	Varadouro	3,54

Fonte: O autor, 2022.

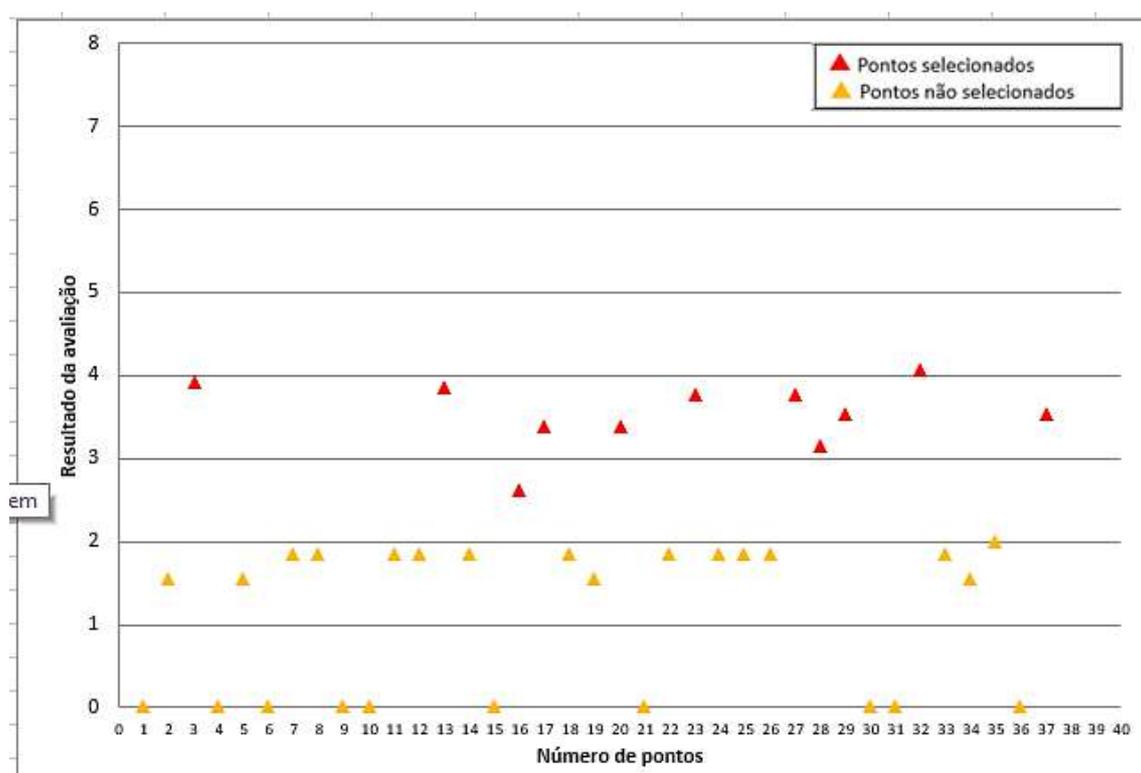
Legenda:

Vermelho - Identifica os pontos para realização da coleta da água subterrânea.

Verde - Identifica os postos fechados ou em reforma.

O gráfico 06 foi criado a partir dos resultados gerados sobre a avaliação dos cenários de risco obtidos e tem como objetivo auxiliar na visualização dos pontos que obtiveram os maiores índices e, portanto, foram utilizados para seleção dos pontos de coleta e ensaios da água subterrânea.

Gráfico 6 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Norte e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea



Fonte: O autor, 2023.

Quadro 6 - Pontos de coleta (Zona Norte)

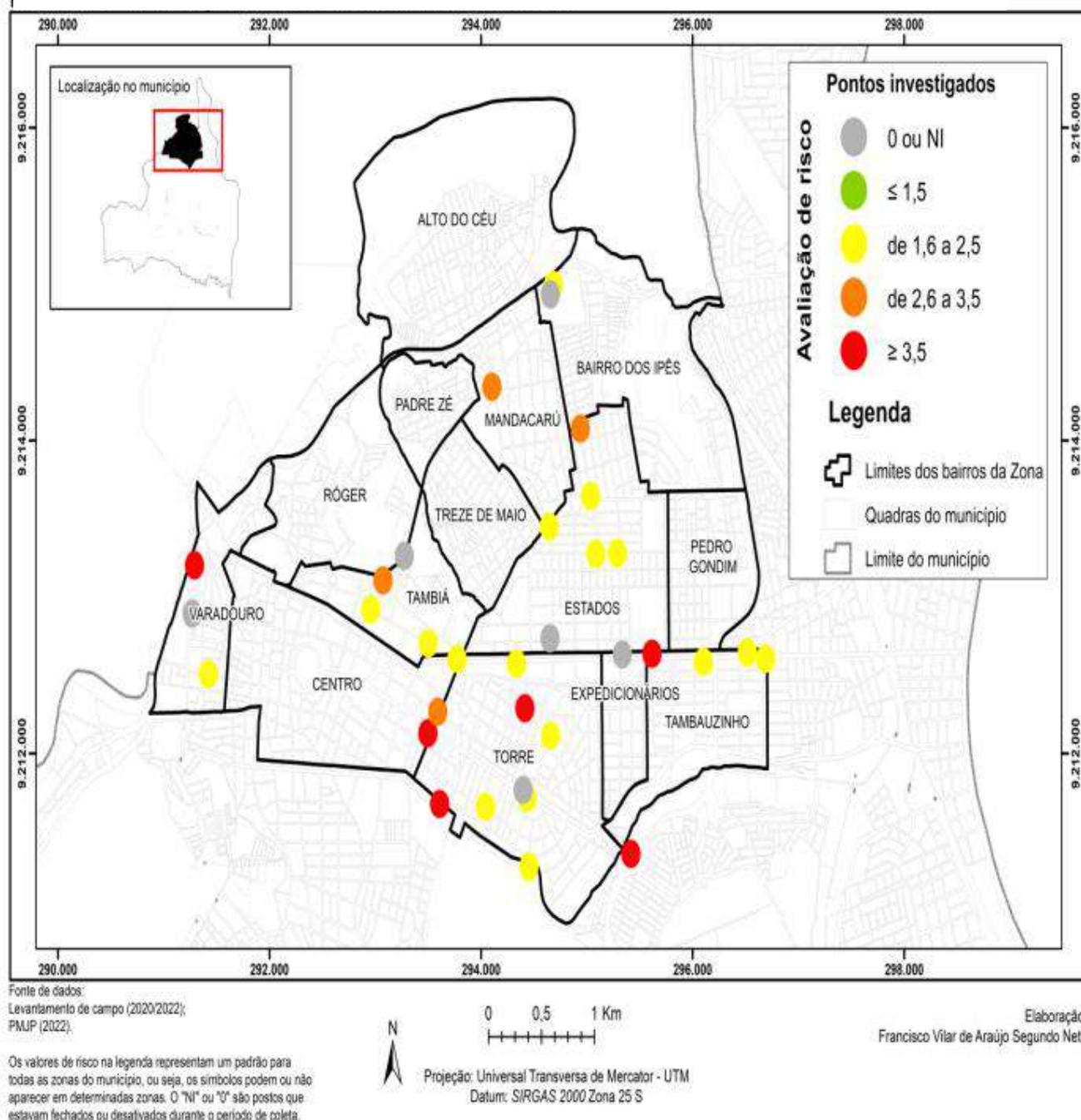
Ponto	Bairro	Localização	Tipo de uso	Classificação do entorno	Profundidade (Metro)	Avaliação de risco
P21	Centro	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,92
P22	Estados	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,85
P23	Ipês	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	50m	2,62
P24	Mandacaru	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,38
P25	Tambiá	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	42m	3,38
P26	Torre	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,77
P27	Torre	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	Não informado	3,38
P28	Torre	Lava jato vizinho ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	Não informado	3,77
P29	Torre	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	Não informado	3,54
P30	Varadouro	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,54

Fonte: Autor, 2022.

As coletas na Zona Norte aconteceram em abril/2022 com uma precipitação média 233,0mm (AESAs, 2022). Os resultados dos ensaios da água subterrânea não identificaram os hidrocarbonetos BTEX, HPA e TPH nesta região da cidade

No mapa abaixo (Figura 15) estão identificados os pontos investigados e os resultados da avaliação do cenário de risco realizadas na Zona Norte, com destaque em vermelho para os locais que obtiveram as maiores médias.

Figura 15 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Norte



6.4 RESULTADOS ZONA OESTE

A investigação na Zona Oeste abrange 22 postos de combustíveis (Figura 16), distribuídos em 08 bairros: Alto do Mateus, Cristo Redentor, Cruz das Armas, Ragel, Jaguaribe e Oitizeiro. Os habitantes dessa área representam 26,7% da população.

Figura 16 - Distribuição dos poços e dos postos de combustíveis na Zona Oeste



Essa área foi considerada a mais difícil para obtenção de informações sobre a presença de poços de monitoramento ou outros poços na área do posto de combustível, desta forma a grande quantidade de médias relativamente baixas obtidas na avaliação de risco representam parte desta dificuldade para a obtenção das informações.

Por uma questão de logística de transporte, durante a realização de coleta de dados na Zona Oeste (**Tabela 9**) foi necessário a inclusão de outros pontos das Zonas Norte e Sul

Tabela 9 – Coleta de dados e resultado parcial da avaliação do cenário de risco da Zona Oeste

Posto	Bandeira	Bairro	Média Ponderada
01	Ipiranga	A. Mateus	1,54
02	SETTA	A. Mateus	1,54
03	ALE	Cruz das Armas	1,54
04 Fechado	BR	Estados*	0
05	BR	Cristo	1,54
06 (Ponto 33)	SHELL	Cristo	3,08
07	BB	Cristo	1,54
08	BR	Cristo	1,54
09 (Ponto 34)	DISLUB	Cristo	2,85
10	BR	Cristo	1,92
11	BB	Cristo	1,15
12	Ipiranga	Rangel	1,15
13 (Ponto 35)	BR	Cruz das Armas	3,23
14	BR	Cruz das Armas	1,15
15	BR	Cristo	1,15
16	BR	Cruz das Armas	1,15
17	Ipiranga	Cruz das Armas	1,15
18	BR	Jaguaribe	1,54
19 (Ponto 36)	SHELL	Jaguaribe	3,23
20 Fechado	BR	Jaguaribe	0
21 Fechado	SETTA	Jaguaribe	0
22	BR	Jaguaribe	1,54
23 (Ponto 31)	Ipiranga	Distrito Industrial*	3,69
24 (Ponto 32)	BR	Funcionários*	2,92
25 (Ponto 37)	ALE	José Américo*	3,23
26 (Ponto 38)	BB	Cuiá*	3,92

Fonte: O autor, 2023.

Legenda:

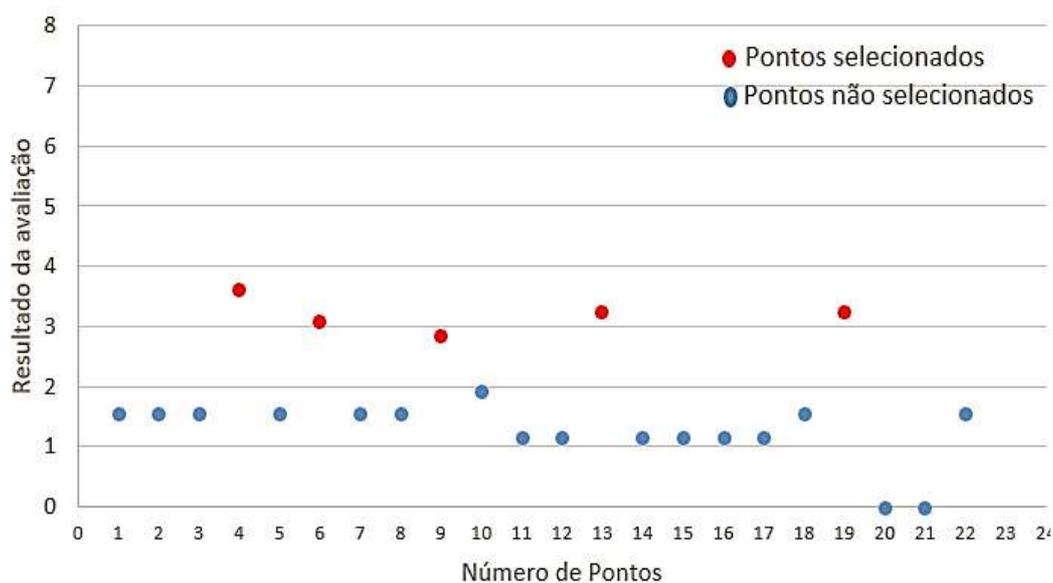
Vermelho - Identifica os pontos selecionados para realização da coleta da água subterrânea.

Verde - Identifica os postos fechados/abandonados;

(*) Representa os postos das Zonas Norte e Sul da cidade incluídos na coleta de dados.

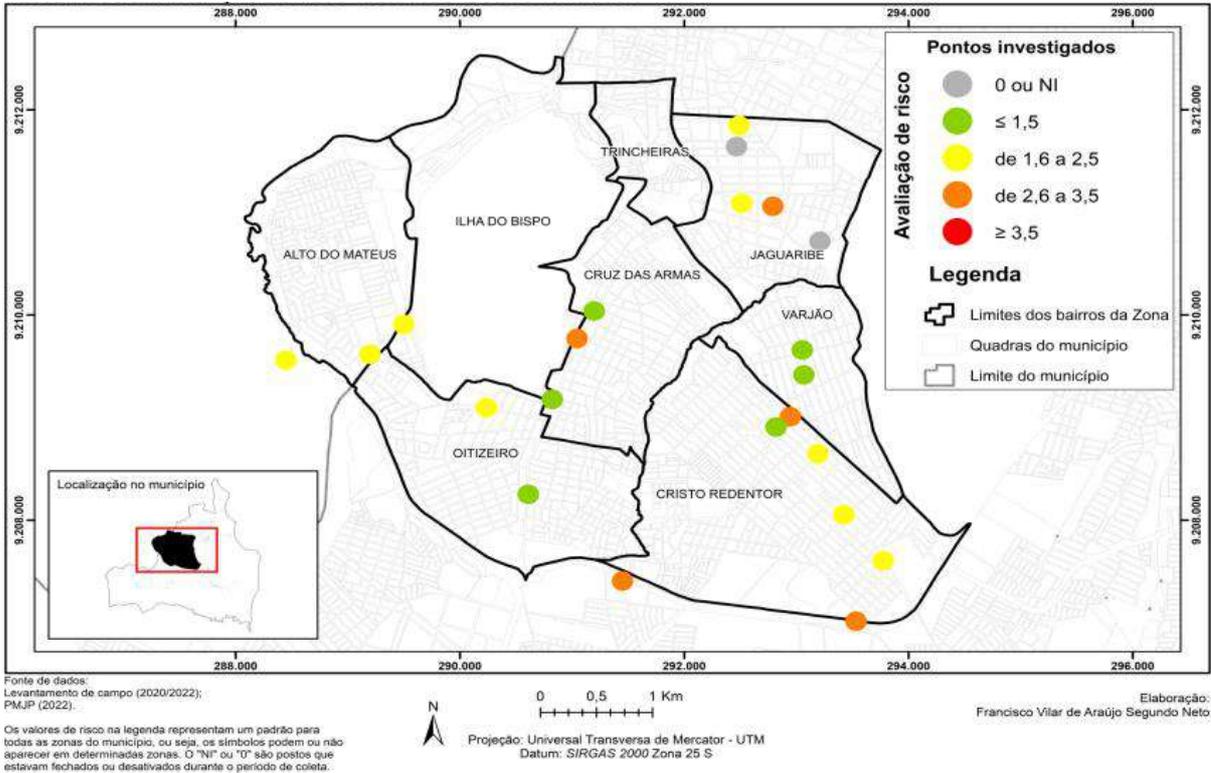
O gráfico 07 foi criado a partir dos resultados gerados sobre a avaliação dos cenários de risco da Zona Oeste e tem como objetivo auxiliar na visualização dos pontos que obtiveram os maiores índices e, portanto, selecionados para coleta e ensaios da água subterrânea.

Gráfico 7 –Resultado da avaliação do cenário risco da Zona Oeste e seleção dos pontos para avaliação da água subterrânea



Fonte: O autor, 2023.

Figura 17 - Resultado da avaliação do cenário de risco da Zona Oeste



Os resultados da avaliação do cenário de risco selecionaram 06 pontos para coleta de água e realização dos ensaios em laboratório, 05 pontos estão identificados no (Quadro 7) e 01 está identificado no (Quadro 5).

Quadro 7 - Pontos de coleta (Zona Oeste)

Ponto	Bairro	Localização	Tipo de uso	Classificação do entorno	Profundidade (Metro)	Avaliação de risco
P31	Distrito Industrial*	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	45m	3,69
P32	Funcionários*	Área vizinha ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	2,92
P33	Cristo	Área vizinha ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	43m	3,08
P34	Cristo	Área vizinha ao posto de combustível	Comercial	Classe 03	50m	2,85
P35	Cruz das Armas	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	42m	3,23
P36	Jaguaribe	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	Não divulgado	3,23
P37	José Américo*	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	38m	3,23
P38	Cuiá*	Área do posto de combustível	Comercial	Classe 03	40m	3,92

Fonte: Autor, 2022.

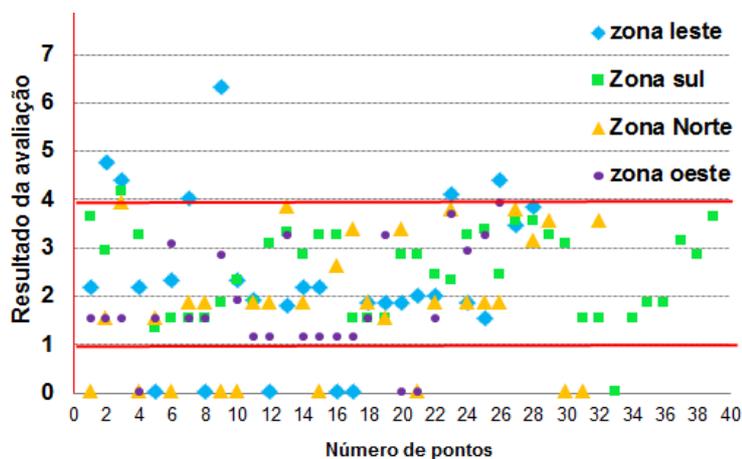
Legenda:

*Representa os postos das Zona Sul incluídos nesta coleta

Os ensaios foram realizados no mês de julho/2022, com uma precipitação média de 237,9 mm (AESAs, 2022). As análises não identificaram as substâncias químicas BTEX, HPA e TPH na água subterrânea da Zona Oeste de João Pessoa PB.

O Gráfico 8 destaca em vermelho o maior grupo de postos de combustíveis no intervalo de notas entre 01 e 04, representando, portanto, um cenário de risco médio/baixo para as quatro zonas da cidade. É importante enfatizar que algumas das notas baixas obtidas através da avaliação de risco estão atribuídas à limitação ao acesso à informação do órgão ambiental e de alguns dos pontos investigados.

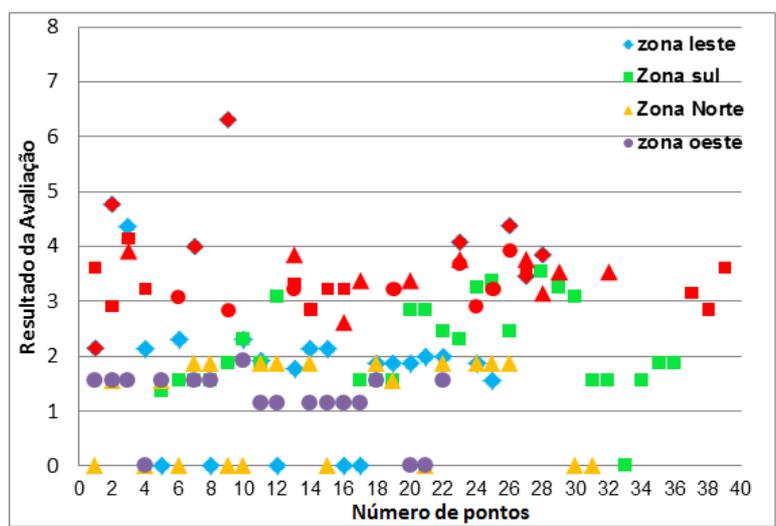
Gráfico 8- Resultado da avaliação de risco dos postos de combustíveis de João Pessoa PB com destaque para os intervalos de notas (1-4) com a maior concentração de postos.



Fonte: Autor, 2022.

Os pontos identificados em vermelho (Gráfico 9) representam a seleção de postos de combustíveis das quatro zonas da cidade utilizados para investigação da água subterrânea

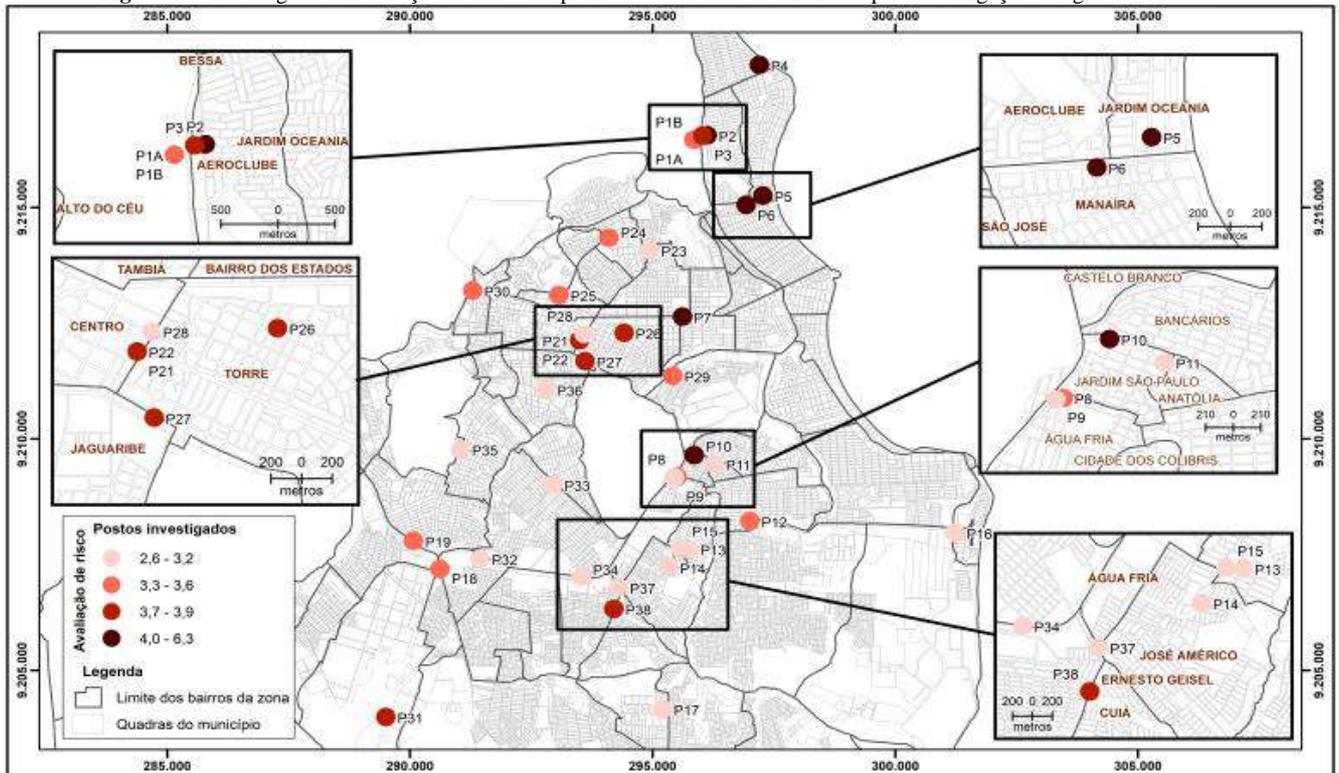
Gráfico 9 - Seleção em vermelho dos pontos e suas respectivas notas utilizadas na seleção para avaliação da água subterrânea nos postos de combustíveis em João Pessoa PB



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 18 mostra a localização e o perfil de notas da avaliação do cenário de risco de cada ponto onde ocorreu a investigação da água subterrânea. A produção do mapa permite ainda a identificação de áreas com os índices mais elevados para o cenário de risco e os pontos 1A, 1B e P3 onde foram encontrados os hidrocarbonetos no aquífero da cidade.

Figura 18 - Média geral da avaliação de risco dos postos de combustíveis utilizados para investigação da água subterrânea



Fonte de dados:
Levantamento de campo (2020/2022);
PMJP (2022).

Os valores de risco na legenda representam um padrão para todas as zonas do município. Os pontos representados apresentam valores superiores a 2,5.

0 1 2 Km
Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM
Datum: SIRGAS 2000 Zona 25 S

Elaboração:
Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto

7 CONCLUSÃO

A motivação da pesquisa foi sistematizar a evolução das políticas ambientais e seus aspectos voltados à saúde e associar com as políticas e discursos que contribuíram para o “acesso” aos automóveis, ampliação da frota e, como consequência a ampliação de toda uma rede de serviços, dentre eles se destacam os postos de combustível. O fato de que essa atividade comercial de grande valor econômico tem natureza complexa em que os aspectos históricos, geográficos, econômicos e socioambientais precisam ser levados em consideração em uma avaliação ambiental.

Os resultados apresentados aqui foram construídos após a análise de alguns dos fatores responsáveis pelo modelo de desenvolvimento que compõe nossa sociedade, modelo baseado no crescimento populacional e na dependência dos combustíveis fósseis utilizados na frota de veículos. Apesar de presenciarmos a retomada da discussão e utilização de outras fontes de energia, este é um cenário ainda distante devido ao conjunto de variáveis de uma infraestrutura social e econômica da atualidade.

A expansão da indústria automobilística e sua rede de postos de combustíveis marca um dos períodos mais importantes para uma reflexão e entendimento dos impactos e da pressão exercida sobre a qualidade de vida nos projetos econômicos e socioambientais da atualidade.

A cadeia de serviços que sustenta a utilização dos automóveis a combustão, com destaque para os postos de combustível, com grande potencial de causar impactos socioeconômicos e ambientais, assim como em outras partes do Brasil, ainda não recebe a devida atenção pelas autoridades competentes do Estado.

A utilização, na pesquisa, dos princípios fundamentais do direito com base no cenário de incerteza, nas questões da saúde pública e no direito constitucional de um ambiente ecologicamente equilibrado, mostra a complexidade de um cenário que necessita de uma ampla discussão nas várias esferas da sociedade.

Levando em consideração a avaliação preliminar da contaminação causada por hidrocarbonetos de petróleo presentes nos combustíveis fósseis a partir dos poços de abastecimento de água localizados nas imediações dos postos de combustíveis, nosso primeiro objetivo permitiu identificar um cenário de risco que apresenta uma tendência de crescimento impulsionado pelo aumento da população, da frota de veículos e do consumo de combustíveis. O levantamento bibliográfico sobre passivo ambiental realizado nos estados da Federação

mostra que apesar da resolução CONAMA 420/2009 ter sido implantada há quatorze anos, os estudos sobre passivos ambientais em postos de combustíveis ainda são pontuais.

João Pessoa PB, cidade que também não tinha estudos neste sentido, apresenta elementos que são considerados como fatores preocupantes para um cenário de risco: a elevada capacidade de armazenamento de combustível na cidade e a constante evolução do consumo, que chegou a dobrar em 20 anos, a presença de postos em áreas com vulnerabilidade muito elevada e o aumento do consumo da água subterrânea são alguns desses fatores.

A presença de poços subterrâneos, principalmente os não oficiais, e sem monitoramento que surgem devido à expansão da cidade, presentes em condomínios e lava jatos próximos dos postos de combustíveis, identifica uma fragilidade para a ocorrência de impactos socioambientais e econômicos diante da proximidade dos TASC; identifica também cenários de risco para a saúde pública.

Para atender nosso segundo objetivo: a realização de uma avaliação dos cenários de risco em cada posto de combustível das quatro zonas da cidade de João Pessoa, conseguimos identificar, seguindo as orientações da NBR 13786:2005 e a Resolução CONAMA nº 273/2000, um cenário de risco de médio/baixo para todas as áreas da cidade de João Pessoa. Essa análise, apesar de apresentar certa subjetividade devido à escolha de critérios e pesos utilizados na avaliação, integrou, antecedeu e complementou a resposta à hipótese sobre a seleção das áreas suspeitas de contaminação, com economia de tempo e recursos financeiros, poupando sondagens e ensaios desnecessários.

O objetivo foi alcançado com a geração de mapas que identificam os cenários de risco de todas as zonas da cidade de João Pessoa, uma ferramenta que pode ser utilizada por gestores, órgãos fiscalizadores e sistemas de saúde para confrontar informações que possam contribuir na qualidade de vida.

O objetivo três: quantificar os compostos BTEX, HPA e TPH na água subterrânea nos poços de abastecimento da cidade, foi realizado a partir de uma importante parceria entre a UFPB e o laboratório NUPPRAR da UFRN, referência nos estudos ambientais. O laboratório disponibilizou recursos técnicos e humanos para realização dos ensaios. O fruto desta parceria auxiliou a responder nossa hipótese sobre a quantificação dos hidrocarbonetos analisados na cidade de João Pessoa.

A quantificação mostrou preocupação, em especial com a água de um condomínio vizinho a um posto de combustível que apresentou valores de TPH de 1485,1 µg.L, ou seja, valores superiores aos estabelecidos pela CETESB. Essa área necessita de novas investigações

por se tratar de uma área com índice de vulnerabilidade muito elevado e por ter sido confirmada a presença de Naftaleno, Etilbenzeno e TPH em diferentes poços da mesma área investigada.

A etapa de campo com coleta de informações e coleta de água ocorreu com uma maior interação com os vários atores sociais envolvidos no processo. Neste sentido enfatiza-se o desconhecimento de muitos profissionais dos postos de combustíveis acerca dos equipamentos de segurança e dos riscos das questões ambientais. Havia também o receio de falar e gerar possíveis sanções. Por outro lado, foi possível observar a adesão de muitos, manifestando preocupação e interesse sobre essa problemática.

Desse modo percebe-se a necessidade da abertura de um canal para fomentar campanhas de informação e educação ambiental que compõem um dos objetivos da Política Municipal do Meio Ambiente; além disso, é necessário o cumprimento das exigências legais, de acordo com a legislação ambiental da Paraíba, que envolvam a população de uma forma geral, empresários, profissionais da área e os órgãos de controle municipais, estaduais e federais.

Paralelo a essa ação podem ser realizadas campanhas de orientações acerca da Resolução CONAMA 420/2009 em parceria com os diversos órgãos de controle como a SUDEMA, a SEMAM, o COPAM, o sindicato da categoria e a academia, que tem produzido e se aprofundado, fornecendo várias informações. A referida resolução é um importante documento no processo de investigação, identificação e recuperação de áreas degradadas, e a cidade de João Pessoa, com os vários estudos acadêmicos e os cenários de risco para a atividade varejista de combustível, enfrenta dificuldades para sua efetiva aplicação.

Em outra etapa poderia fomentada a discussão de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) a ser assinado por vários sujeitos do processo, dentre eles os sindicatos envolvidos, o Ministério Público e a SUDEMA, para a implantação dos poços de monitoramento e realização de um controle mais eficiente da água subterrânea.

A adoção do selo “Posto Verde ou Ecológico” é uma ideia já implantada com sucesso por outros estados. Trata-se de um título conseguido após a instalação de todos os equipamentos para a proteção do solo e da água subterrânea e do estudo de passivo ambiental. Ela também pode ser utilizada, pois garante maior adesão e conhecimento perante seus consumidores para a escolha de um comércio que sinaliza mais responsabilidade social e atitude sustentável.

O georreferenciamento dos postos de combustível da cidade de João Pessoa-PB e os poços localizados nas suas proximidades permitiu o desenvolvimento de mapas por zonas da cidade com um diagnóstico das áreas de risco e essa ferramenta permite ampliar um banco e fazer cruzamento de dados que permitem auxiliar o sistema de monitoramento das águas

subterrâneas, fornecer dados para os sistemas de saúde e ampliar a necessidade das discussões na esfera social sobre os cenários de risco e a saúde das populações que habitam o entorno dessas áreas.

Realizar um diagnóstico ambiental consiste numa tarefa complexa e detalhada. A compreensão, no inconsciente coletivo, do ambiente ecologicamente equilibrado e suas relações com a qualidade da vida ainda é um tema vago e sem sustentação para maioria das pessoas. Neste contexto, a ideia do tripé da sustentabilidade acaba sendo algo superficial. Temas fundamentais que tratam de investigação e poluição e ampliam a discussão com a sociedade para um mundo melhor acabam sendo colocados de lado, prevalecendo, então, o imediato, no qual as variáveis econômicas se destacam e se sobrepõem às questões ambientais e sociais, reforçando a ideia do que Ulrich Beck (2012) denominou ser uma sociedade de risco e que a qualquer hora pode acontecer o dano e o prejuízo com seus reflexos socioambientais negativos.

Desta forma, o trabalho demonstra a necessidade da atuação de uma equipe multidisciplinar para abordar o diagnóstico apontado por essa tese, enfatizando que o cenário é dinâmico e que existe uma necessidade urgente de monitoramento das águas subterrâneas da cidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Relatório de acompanhamento setorial: Competitividade do Setor de Bens e Serviços Ambientais**. Campinas: Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - IE/Unicamp. Setembro 2012. Disponível em: https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/Relatorios_NEIT/Bens-e-Servcos-Ambientais-Setembro-de-2012.pdf. Acesso em: 05/09/2020.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological Profiles**. Page last reviewed: May 5, USA: US Department of Health and Human Services, 2021. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>. Acesso em: 28/06/2021.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Public Health Summaries Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)**. USA: US Department of Health and Human Services, 2016. Disponível em: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html. Acesso em: 05/06/2021.

AHMED, D. S. O. **Áreas contaminadas e sua inserção no planejamento urbano da cidade do Rio de Janeiro: a relevância jurídica dos instrumentos urbano-ambientais**. 2015. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. 359p. Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/42/teses/858645.pdf>> Acesso em: 08 nov. 2020.

ALBINET, M. & MARGAT, J. Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des nappes d'eau souterraine. **Bull BRGM 2me Series**, [s.l.], V 3, n 4, pg 13-22, 1970.

ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R., HACKETT, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution in potential using hydrogeologic settings**. Washington, D.C.: Environment Protection Agency, 1997.

ALMEIDA, F. T., et al. Áreas contaminadas por postos de combustíveis: uma abordagem gerencial. **Anais 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Natal – RN: Congresso ABES, 2019. Disponível em: abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/VI-068.pdf. Acesso em 15/03/2021.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepop/a/6LBPFTkP3J5BGsdGLmQRsBg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22/03/2021.

AMARAL, I. C. C. *et al.* Avaliação ambiental de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e biomarcadores de genotoxicidade em trabalhadores de postos de combustíveis.

Revista Brasileira Saúde Ocupacional, [S.L.], vol.42, p. 1-14 2017, Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbso/v42s1/2317-6369-rbso-42-e8s.pdf>. Acesso em 03/04/2022.

ANDRADE, J. de A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 17-43, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-46702010000300002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 17/06/2021.

ANJOS, R. B. **Avaliação de HPA e BTEX no solo e água subterrânea, em postos de revenda de combustíveis**: Estudo de casa na cidade de Natal/RN. 2012. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. 106p.

AQUINO, A. R. et al. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 112 p.

ARAÚJO, M. A.A.C.; CAFFARO FILHO, R.A. Outlook of contaminated site management in brazil after CONAMA 420/09 resolution. **Águas Subterrâneas V**, [S.L.], n.2, pg. 202-212. 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27972>. Acesso em 05/09/2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v29i2.27972>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13784**: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Métodos para detecção de vazamentos em Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC). Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=433084>. Acesso em 05/06/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13786**: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção dos componentes do combustível (SASC) e sistema de armazenamento subterrâneo de óleo lubrificante usado e contaminado (OLUC). Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=08E5DA3D6AF50F49CA01C1F90723A655DCA63BAAF715B9E86EAD7817C845DF3>. Acesso em 05/06/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16161**:. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Tanque metálico subterrâneo - Especificação de fabricação e modulação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=31866992FA0CFF84CA01C1F90723A6556FF1C2585EA1FC49804B2933C450C042>. Acesso em: 05/05/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16764**: Estabelece os princípios gerais de projeto e execução da instalação dos componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) e a sua execução. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=311343>. Acesso em 05/06/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14605-2**: Estabelece parâmetros para projeto, metodologia de dimensionamento de vazão, instalação, operação e manutenção do sistema de drenagem oleosa em postos revendedor veicular

(serviço). Rio de Janeiro: ABNT, 2020 Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=F742D28C47AB4F3660B74C16F666147E74022DD32D5906BADC4DEA5BA62B2F69>. Acesso em 23/03/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15.495-1:** Fixa os requisitos exigíveis para a execução de projeto e construção de poços de monitoramento de água subterrâneas em meios granulados. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, versão corrigida. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=5C453066DFD1BD8460B74C16F666147E3655B8D94D541291384FCFC067041336>. Acesso em: 23/03/2021.

ASTM D6030, **Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Ground Water or Aquifer Sensitivity and Vulnerability**. PA, EUA: West Conshohocken, 1996. 8pg.

BAHIA - Ministério Público do Estado. **Regularização ambiental de postos de combustíveis**. 2014. Disponível em: http://www.ceama.mpba.mp.br/biblioteca-virtual-uma/doc_view/3822-tr-diagnostico-postos-combustiveis-12-11-2015.html. Acesso em: 30/08/2021.

BARBOSA, L. K. L. **Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água:** o caso da cidade de João Pessoa PB. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB 2007.

BARROS, José D'Assunção. **O Campo da História**. Rio de Janeiro: Vozes, 2004.

BATISTA, F. V., BARROS R. G., BÁRBARA V. F., Contaminação da água subterrânea e do solo por hidrocarbonetos oriundos de postos de serviços de Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 22, n. 82, p. 256–272, ago./2021.

BECHARA, Erika. Princípio do poluidor pagador. In: CAPILONGO, Celso Fernandes; GONZAGA, Alvaro de Azevedo; FREIRE, André Luiz (coords.). **Enciclopédia jurídica da PUC-SP**. Tomo: Direitos Difusos e Coletivos. (Nelson Nery Jr., Georges Abboud, André Luiz Freire (coord. de tomo)). 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/334/edicao-1/principio-do-poluidor-pagador>. Acesso em 28/10/2020.

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco**. Rumo a uma outra modernidade. 2ªEd. São Paulo: Editora 34, 2012.

BERGAMINI Jr., S. Contabilidade e Risco Ambiental. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.6, número 11, pg. 97-116. 1999.

BLACKMAN, William C., Jr. **Basic Hazardous Waste Management**. 2 ed. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 1996. 397p.

BORGES. U. N. et ali. Mapeamento das áreas de conflito com a legislação e de riscos decorrentes da instalação de postos de combustíveis na cidade de João Pessoa PB utilizando sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto. **Anais - I I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Aracaju/SE, 10 a 12 de novembro de 2004.

BRASIL. Agência Nacional das Águas (ANA). **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: 2021. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprte/w/2/2-ANA.Swf>. Acesso em: 09/06/2022.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **Resolução ANP nº 858, de 5 de novembro de 2021**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-858-de-5-de-novembro-de-2021-357364148>. Acesso em: 12/08/2022.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **Abastecimento em números**. Nº 63, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletim-abastecimento-em-numeros>. Acesso em: 12/08/2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília-DF: CONAMA, 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em 26/05/2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 420, 30 de Dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília-DF: CONAMA, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em 10/09/2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 237, em 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre os critérios para o Licenciamento Ambiental. Brasília-DF: CONAMA, 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 22/08/2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 273, 29 de Novembro, 2000**. Estabelece critérios para instalação e conservação de tanques de combustível. Brasília-DF: CONAMA, 2000. Diário Oficial da União de 08/11/2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância em Saúde. Vigisolo. **Dados e Acompanhamento das Populações**. Brasília: Ministério da Saúde. 2014. Disponível em: <http://portalms.saude.gov.br/vigilanciaem-saude/vigilancia-ambiental/vigipeq/vigisolo/dados-eacompanhamento-das-populacoes>. Acesso em: 23/novembro. 2020

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Gestão de Riscos e Investigação de Eventos Adversos Relacionados à Assistência à Saúde**. Brasília:, 2017. Disponível em: <https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=ODk0OQ%2C%2C%20>. Acesso em: 10/09/2021.

BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. **Programa Recursos Hídricos Subterrâneos**. Disponível em:

https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/21996/3/rel_anual_2020_siagas.pdf. Acesso em 08/05/2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE**. População de João Pessoa PB. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=250750>. 2016. Acesso em 26/05/2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **IBGE**. **Anuário Estatístico do Brasil, 2018**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2018.pdf. Acesso em 15/09/2020.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE**. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/pesquisa/38/0?ano=2010-2018>. Acesso em 08/06/2021.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - **IBAMA**. **Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC)**. Disponível em: <http://ibama.gov.br/residuos/areas-contaminadas/banco-de-dados-nacional-sobre-areas-contaminadas-bdnac>. 2020. Acesso em 18/08/2020.

BRASIL. **Lei 6.938 de 31 de Agosto 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em 30/10/2020.

BRASIL. **Lei 7.347 de 24 de julho 1985**. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e a qualquer outro interesse difuso ou coletivo e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7347orig.htm. Acesso em 19/10/2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MJpWTbaf>. Acesso em: 12/08/2022.

BRASIL. **Lei 8.080 de 19/09/1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em 12/11/2022.

BRASIL. **Lei 6.605 de 12 de fevereiro 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em 01/11/2020.

BRASIL. **Lei 10.165 de 27 de dezembro 2000**. Altera a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formação e aplicação, e dá outras providências. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos

Naturais Renováveis (IBAMA). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10165.htm . Acesso em 06/09/2021.

BRASIL, Ministério da Saúde - MS. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 08/09/2022.

BRASIL, Ministério da Saúde. Instituto Nacional do Câncer - INCA. **Exposição no trabalho e no ambiente** - solventes – benzeno. 2018. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/solventes/benzeno>. Acesso em 28/06/2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Instituto Nacional Do Câncer - INCA. **Vigilância do Câncer Ocupacional e Ambiental**, 2005. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/inca/Arquivos/publicacoes/vigilanciadocancerocupacional.pdf>. Acesso em: 18/06/2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Programa Nacional de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/programa-nacional-de-aguas-subterraneas>. Acesso em: 15/09/2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Serviços Ecológicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/servicos-ecossismaticos/servicos-ecossismaticos-1>. 2020. Acesso em: 20/09/2020.

BRASIL, SAÚDEBRASIL. **O que significa ter saúde**. Agosto 2020. Disponível em: <https://saudebrasil.saude.gov.br/eu-quero-me-exercitar-mais/o-que-significa-ter-saude>. Acesso em: 02/04/2021.

BÜHRING, M. A. Alguns aspectos do princípio da precaução no âmbito internacional e interno e as suas (re)definições na incerteza e no risco. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**. ISSN: 2525-9628. Encontro Virtual, v. 6, n. 2, p. 53 – 74, Jul/Dez. 2020.

CANARIO, P. G.G, & BETTINE S. C. Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil: Uma análise crítica. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 39, n. 3, p. 751 - 764, 2020.

CARDOSO, J. E. T.; LODI, P. C.; BARROS, A. M. T. C. de. Técnicas Associadas de Remediação de Contaminação da Água e do Solo por Hidrocarbonetos: Estudo de Caso em Posto de Combustível. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 5, n. 36, 2017. DOI: 10.17271/2318847253620171631. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1631. Acesso em: 4 nov. 2021.

CARNEIRO, G. C. A., et al. Contaminação das águas subterrâneas por compostos orgânicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas, no estado de Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. 1-19, e3109108536, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8536>.

CARRAPATO, P., CORREIA P., GARCIA B., Determinante da saúde no Brasil: a procura da equidade na saúde. *Saúde Soc.* São Paulo, v.26, n.3, p.676-689, 2017. DOI 10.1590/S0104-12902017170304.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima João Pessoa Brasil**. Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/paraiba/joao-pessoa-4983/>. Acesso em: 22/09/2020.

COLE, G. Mattney. **Assesment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites**. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 1994. 360p.

COLLINS, C; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. **Fundamentos de Cromatografia**. Campinas: Editora Unicamp, 2011.

CORREA, T. P. **Avaliação do gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos derivados de petróleo em postos revendedores de combustíveis no estado do rio grande do sul. 2017**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),. Porto Alegre, RS, 2017. 140 f.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: O problema é grave? **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v2, n.2, p50-54, Março 1997. Disponível em: https://rema.ufsc.br/pdfs/1997_artigo_corseuil.pdf . Acesso em junho 2021.

CORDEIRO, M. M., et al. Variações da Dureza da Água Captada de Poços do Aquífero Beberibe na Cidade de João Pessoa-PB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, [S. l.], v. 17, n.4, p. 239-247, Out/Dez 2012.

CRUZ, F. P. Análise dos determinantes do consumo de água nos municípios Brasileiros, 2010 A 2015. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 57-79, out/dez. 2019.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA). Departamento de pesquisa e monitoramento gerência de planejamento ambiental serviço de avaliação e análise ambiental. **Construção de poços de monitoramento**. 1996. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2015/00171260.pdf>. Acesso em: 14/03/2020.

DELGADO, J. A. El análisis sistêmico y su proyección multidisciplinar. In: **Encontros multidisciplinares**. Universidad Autónoma de Madrid. Fundación General, n. 20, 2005. Disponível em: <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA20/Jos%C3%A920Alfonso%20Delgado%20Guti%C3%A9rez.pdf>. Acesso em 11/04/2021.

DIAS, Gilka da Mata. Adequação ambiental dos postos de combustíveis de Natal e recuperação da área degradada. In: DIAS, Gilka da Mata (org.). **Projeto de adequação ambiental de postos de combustíveis na cidade de Natal**. Natal: Ministério Público do Rio Grande do Norte, 2012. Disponível em: http://www.mprn.mp.br/control/file/2013/CEAF/Adequacao_Ambiental_Postos_Combustiveis_Gilkada_Mata.pdf. Acesso em 11/05/2016.

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. **Physical and Chemical Hydrogeology**, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1988. 506 pp. ISBN 0-471-59762-7.

DUARTE, R. H. O mundo em um jardim. Memórias que viram histórias. São Paulo: **Folha de São Paulo**, 2011. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ilustrissima/il2003201109.htm>. Acesso em 12/05/2020.

EGMONT Capucc. et al. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS 2001. 70p. Disponível em: http://www.drm.rj.gov.br/admin_fotos/agua_subterranea/06-Pocos_tubulares.pdf. Acesso em 02/09/2020.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Progress in the management of Contaminated Sites in Europe**. 2014. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment>. Acesso em 13/10/2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Departamento de Meio Ambiente. Informações básicas sobre áreas contaminadas**. São Paulo: FIESP, 2011. 32 p. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/arquivo>. Acesso em: 22/04/2022.

FERNANDES, L. O., NUMES, J. A., PORTO, M. F. S., Contaminação química: respostas das instituições responsáveis e ações das populações atingidas no Brasil e em Portugal. **Saúde e Sociedade**. São Paulo, v.25, n.1, p.218-232, 2016.

FERREIRA, L. J. **Avaliação ecotoxicológica de hidrocarbonetos com organismos da fauna edáfica**. Dissertação. Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP). 2021. p.98

FERREIRA, M. D. S. **A gestão ambiental como instrumento de prevenção de passivos ambientais promovidos por atividades de revenda de combustíveis: Comparação entre os Estados de São Paulo e Paraíba**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso: Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa, 2018. 53f.

FERREIRA, R. M.; LOFRANO, F. C.; MORITA, D. M. Remediação de áreas contaminadas: uma avaliação crítica da legislação brasileira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v.25, n.1, p.115-125, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020168968>.

FIGUEIREDO, M.C.B. (org.) **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/877885>. Acesso em: 31/08/2021.

FINOTTI, A. R., CAICEDO, N. O. L., RODRIGUEZ, M. T. R., Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, [S.l.], v. 6, n.2, p. 29-46 Abr/Jun 2001.

FIORILO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental brasileiro**. 19ª edição. São Paulo: Saraiva, 2019.

FREITAS, E.V.C.; BARRETO, F.M.S.; ALENCAR NETO, M.F. ; CAVALCANTE, R.M. Avaliação do uso da cromatografia gasosa para detecção de hidrocarbonetos monoaromáticos na água subterrânea na região norte do município de Fortaleza (CE). **Águas Subterrâneas**, [S.l.], v. 3 n. 2, p. 289-305. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v30i2.28609>. Acesso em 08/07/2020.

FOGAÇA, P. H. D. C. **Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP**. Bauru-SP: Universidade Estadual Paulista, 2015.

FONSECA A. C. **Mapeamento de impactos ambientais causados por postos de distribuição de combustíveis em João Pessoa – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa PB, 2018. 63 f.

FOSTER et al. **Determinación Del riesgo de contaminación de aguas subterráneas**: una metodología basada en datos existentes. Biblioteca Virtual em Saude, CEPIS/OPS. 1988. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-86305>. Acesso em 23/02/2020.

FURTADO, Celso. **O mito do desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1974.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO – FUNDAJ. **Águas Subterrâneas: O que é e qual a importância**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/aguas-subterraneas-o-que-e-e-qual-a-importancia>. 2020. Acesso em 19/06/2022.

GANANÇA L. B. S. & NISHIO F. Y. Os desafios da vigilância em saúde ambiental frente ao uso de água subterrânea para consumo humano em áreas contaminadas por postos de combustíveis. **Anais do Congresso Internacional de Segurança da Água** (recurso eletrônico). Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2015. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/congresso_internacional_seguranca_agua_anais.pdf. Acesso em: 12/06/2021.

GEORGE, F. **Sobre determinantes da saúde**. PORTUGAL: Serviço Nacional de Saúde. set 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/2vZqVke>>. Acesso em: 14/10/2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOETTEN, W. J. **Avaliação da Governança da Água Subterrânea nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Blumenau. 2015. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental), Fundação Universidade Regional de Blumenau. 2015.317f.

GONÇALVES, J. A. C.; Almeida, M. S. L.; Ferreira, M. A. M. & Paiva, B. L. F. Disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas na bacia do Rio do peixe – Itabira-MG. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.8, n.12 p.17, 2019. Recuperado de: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1904>>.

GUSMÃO, Cláudia Elvira. **Avaliação da Contaminação Por Hidrocarbonetos com Análise de Risco À Saúde Humana, em Postos De Combustíveis na Região Metropolitana de Salvador – RMS**. 2016. Dissertação (Mestrado - Pós-Graduação em geologia – geologia ambiental, hidrogeologia e recursos hídricos). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2016. 131 f.

HARRIS, D. C. 2012. **Análise química quantitativa**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HERCULANO, Selene. Justiça Ambiental: De love canal à cidade dos meninos, em uma perspectiva comparada. **Justiça e Sociedade: temas e perspectivas**. São Paulo: LTr, 2001. pp. 215 – 238. Disponível em: https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wpcontent/uploads/sites/149/2017/09/JUSTI%C3%87A_AMBIENTAL_de_Love_Canal_v5_%C3%A0_Cidade_dos_Meninos.pdf. Acesso em 03/09/2021.

HILPERT M, Mora BA, Ni J, Rule AM, Nachman KE. Hydrocarbon Release During Fuel Storage and Transfer at Gas Stations: Environmental and Health Effects. **Current Environmental Health Reports**, vol.2, n. 4, p. 412-422, 2015. DOI: 10.1007/s40572-015-0074-8. PMID: 26435043.

HIRATA R., SUHOGUSOFF A., MARCELLINI S. S., VILLAR P. C., & MARCELLINI L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, 2019.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (INEA). **Cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do estado do Rio de Janeiro**. 3ª edição, 2015. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dilam/documents/document/zwew/mte0/~edisp/inea0114619.pdf. Acesso em 02/03/2016.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **Revised Preamble for the IARC Monographs and transparent evidence synthesis for cancer hazard identification Mary Schubauer-Berigan on behalf on the IARC Monographs**. Disponível em: https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/07/2019-SR-001_Revised_Preamble.pdf. Acesso em: 22/05/2021.

INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL (ITRC). **TPH Risk Evaluation at Petroleum-Contaminated Sites**. TPHRisk-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, TPH Risk Evaluation Team. Nov. /2018. Disponível em: <<https://tphrisk-1.itrcweb.org>>. Acesso em: 17/06/ 2021.

KOLESNIKOVAS, C., **Avaliação de Risco Toxicológico para Hidrocarbonetos Totais de Petróleo em Forma Fracionada Aplicada à Gestão e Monitoramento de Água Subterrânea em um Complexo Industrial**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Instituto de Geociências (IG), Universidade de São Paulo - USP – São Paulo 2006. Acesso em 22/04/2020.

LANÇAS, F. M. **Cromatografia em fase gasosa**. São Carlos: Acta, 1993.

LANÇAS, F. M. **Extração em Fase Sólida (SPE)**. São Carlos: Rima, 2004.

LEFF, E. Complexidade interdisciplinar e saber ambiental. *In*: PHILIPPI Jr., A. et al. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo: Signus, 2000. 318 p.

LEFF, E. **Saber Ambiental: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2015.

LEITE, B.J.M.S. et al. **Águas Subterrâneas - Mapeamento de regiões de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes de postos de revenda de combustíveis em João Pessoa – Paraíba**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS. Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2021.

LIMA, S. D. et al. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 2, [S.l.], Mar. / Abr. 2017.

LIMONCIC, Flávio. **A civilização do automóvel: a instalação da indústria automobilística no Brasil e a via brasileira para uma improvável modernidade fordista – 1956-1961. 1997**. (Dissertação de mestrado) – UFRJ - Programa de Pós-Graduação em História Social (UFRJ/PPGHIS), 1997. 313 p.

LOUREIRO, C. de O.; DE OLIVEIRA, L. I.; RODRIGUES, O. de O. A.; COSTA, W. D. Postos distribuidores de combustíveis e o problema ambiental em Belo Horizonte, MG. **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, [S. l.], [S.l.], n. 1, p. 1-23, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22452>. Acesso em: 22 jan. 2023.

LORENZETT, D.B.; ROSSATO, M.V.; NEUHAUS, M. Medidas de gestão ambiental adotadas em um posto de abastecimento de combustíveis. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa – PR, v. 7, n. 3. p. 01-21., 2011.

MACEDO., J. M., REIS, M. G., BASTOS, W. R. Preparação de rotina analítica para determinação de benzeno, tolueno e xileno (BTX) nas águas subterrâneas de Porto Velho, Rondônia. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S.l.], vol 2, n.2, p 63 -73, 2015.

MACHADO, P A. L., **Direito Ambiental Brasileiro**. 23^a ed. São Paulo: Malheiros, 2015.

MACIEL, D. S. C.; FREITAS, L. S. **Utilização do método FMEA na identificação e análise dos impactos ambientais causados pelos postos de combustíveis: Um estudo de caso**. Revista de Administração da UFSM, Santa Maria, v.7, n.4, p.570-589, Dez. 2014.

MAEDA, A. H.; BATISTA, L. F. A. Mapeamento de áreas vulneráveis a impactos ambientais causados por postos de combustíveis na cidade de Londrina-PR. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 202-221, jul/set. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: abril/2021.

MAKSoud, HAA et al. Biochemical study on occupational inhalation of benzene vapours in petrol station. **Respiratory Medicine Case Reports**, [S.l.], volume 27, p.1 - 4, 03 abr. 2019.

Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rmcr.2019.100836>. Acesso em: 18 Fevereiro 2021.

MELO JUNIOR H. R. e COSTI A. C. Z. Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por hidrocarbonetos provenientes de posto de abastecimento de combustível na Vila Tupi, Porto Velho (RO). **Anais XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Cuiabá-MT, 2004.

MENEZES L. F. et al. Elaboração de mapa de vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa – PB, através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.30, n.1, p. 123-132, jun. 2016.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Inventário de áreas contaminadas em Minas Gerais**. Minas Gerais: FEAM 2016. Disponível em: feam.br/images/stories/2016/AREAS_CONTAMINADAS/INVENTARIO_2016.pdf. Acesso em: 05/01/2016.

MONTEIRO, D. S., TAVARES, T. M., OLIVA, S. T. Investigação da presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em poços freáticos ao norte do recôncavo da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 129-140, 2016 – ISSN: 2317-563X.

MORAES, S. L., TEIXEIRA, C. E., MAXIMIANO, A. M. de S. (Organizadores) - **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas** . 1. Ed.rev. São Paulo: IPT, 2014.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2007.

NERY L. M., Geotecnologias aplicadas na análise do risco de contaminação de poços de água no município de Sorocaba, SP. **Holos Environment**, [S.l.], v. 20, n. 2, p.214-230. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v20i2.12376>.

NOBRE R. C. M & GOUVEIA M. A. Risco de contaminação de águas subterrâneas por BTEX Maceió AL. **Revista Contexto Geográfico**. UFAL. Instituto de Geografia Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós Graduação em Geografia v.1, n.1, p.64 – 73, julho/2016. Disponível em: <http://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico>. Acesso em: 02/05/2020.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 3ª Ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

PARAÍBA. **Código do Meio Ambiente de João Pessoa**. Disponível em: http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wpcontent/uploads/2012/03/codi_meio_ambi.pdf?bbc5e7. Acesso em 10/03/2015.

PARAÍBA. Diário Oficial. Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SELAP. Anexo III - **Roteiro para elaboração do programa de automonitoramento**. Disponível em: http://static.paraiba.pb.gov.br/diariooficial_old/diariooficial2303_2007.pdf. Acesso em 23/05/2021.

PARAÍBA. Secretaria da Educação. **Atlas geográfico da Paraíba**. João Pessoa: Grafset, 1985.

PEIXOTO F. S. Risco de contaminação da água subterrânea em uma sub-bacia urbana. **Mercator**, Fortaleza, v.19, p. 1 - 20, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19013>.

PEIXOTO, F. da S.; CAVALCANTE, I. N. Vulnerabilidade aquífera e risco de contaminação da água subterrânea em meio urbano. **Geologia USP. Série Científica**, v. 19, n. 2, p. 29-40, 2019. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-142384. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/142384>. Acesso em: 8 jun. 2021.

PEIXOTO, F. S.; RODRIGUES, J. P. B.; ALBUQUERQUE, P. I. M. Gestão integrada dos recursos hídricos e a problemática das inundações urbanas. **Geografia**, Londrina, v. 28, n. 1. p. 187 – 206, 2019.

PEREIRA, E. V. **Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH Finger Print) como indicador de contaminação na água subterrânea por querosene de aviação (JET A-1)**. 2012.. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Gestão Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, 2012. 114 f Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2012_TA_Eduardo_Vinicius.pdf>. Acesso em: 17 junh. 2021.

PHILIPPI A., SILVEIRA. V. F, Saneamento Ambiental e Ecologia Aplicada. *In*: PHILIPPI A.(coord.) **Curso de Gestão Ambiental**. 2ª edição atual e ampliada. Barueri, SP: Editora Manole, 2014 p.53/85.

PINEDO, Javier et al. Human Risk Assessment of Contaminated Soils by Oil Products: Total TPH Content Versus Fraction Approach. **Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal**, Países Baixos, v. 20, n. 5, p.1231-1248, 14 mar. 2014. Informa UK Limited. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259190239_Human_Risk_Assessment_of_Contaminated_Soils_by_Oil_Products_Total_TPH_Content_Versus_Fraction_Approach <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2013.831264>. Acesso em: 10/ 06/2021.

POLAKIEWICZ, L. **Estudo de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos nos estuários de Santos e São Vicente – SP utilizando diatomito como material absorvente**. 2008. Dissertação de Mestrado do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2008. 100 f.

PORTO, K. G., FERREIRA I. M., Gestão das bacias hidrográficas urbanas e a importância dos ambientes ciliares. **Geografia em questão**, [S.l.], V.05, N. 02, pág. 43-57, 2012. ISSN 2178-0234.

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas. *In*: REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J.G. (Orgs). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras editora, 2006.

RENGARAJAN, T., et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [S.l.], v. 5, Edição 3, p. 182– 189, 2015.

RIBEIRO, H. M. C. Avaliação de BTEX em poços tubulares de captação de água para consumo humano nas proximidades de um posto de combustível de Belém – Pará – Brasil. **International**

Water Resources Association (IWRA) [S.l.], p. 1 – 19. 2009. Disponível em: <https://www.iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5743.pdf>. Acesso em 12/03/2021.

RIYIS, M. T.; RIYIS, M. T. Considerações sobre a Norma Brasileira 15.495-1: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – parte 1: projeto e construção. **Anais II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**. São Paulo – SP. P. 1 - 4 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28105>. Acesso em: 01 set. 2021.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo, 2001. Disponível em: [http://sites.usp.br/sef/wp-content/uploads/sites/52/2015/03/46CETESB2001 Valores Orientadores solo agua.pdf](http://sites.usp.br/sef/wp-content/uploads/sites/52/2015/03/46CETESB2001%20Valores%20Orientadores%20solo%20agua.pdf). Acesso em setembro 19/09/2016.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 10/2001. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/0010.pdf. Acesso em 21/07/2017.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Investigação para remediação**. São Paulo, 2013. Disponível em: http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/11/Capitulo_X.pdf. Acesso em 12/04/2016.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Ficha de informação tecnológica HPAs - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos**. São Paulo, julho de 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2018/07/HPAs-Hidrocarbonetos-Polic%C3%ADclicos-Arom%C3%A1ticos.pdf>. Acesso em setembro 2021.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, dezembro de 2019. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em setembro 2020.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Informações toxicológicas**, laboratórios – São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoes-toxicologicas/>. Acesso em setembro 28/06/2021.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Emergência químicas, investigação em postos** – São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/postos-de-combustiveis/atendimento-emergencial-postos-de-combutiveis/investigacao-em-postos//>. Acesso em setembro 24/08/2021.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2009. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>. Acesso em 03/09/2015.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013. Disponível em: http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/42/2013/11/tabela_valores_2005.pdf. Acesso em 03/01/2016.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Cortez, 2007.

_____, Ignacy. **Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo, Oficina de Textos. 2013.

_____. Dano e passivo ambiental. In. Phillipi Jr., A. e Alves, A.C. (Orgs.), **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri: Ed. Manole, 2005. p. 261-293.

SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos**. Brasília: MMA, 2007.

SCHONARDIE, E. F., A relação homem-natureza e suas implicações na proteção do meio ambiente na contemporaneidade. **Dom Helder - Revista de Direito**, [S.l.], v.3, n.5, p. 115-139, Janeiro/Abril de 2020.

SILVA, A. G., SANTOS C. A. A., MEDEIROS, S. L., Verificação do estado de conservação dos pisos e canaletas de drenagem oleosas da pista de abastecimento de postos revendedores de combustíveis da zona sul de Aracaju. **Ciências exatas e tecnológicas**, Aracaju, v. 6, n.2, p. 141-163, Setembro 2020. periodicos.set.edu.br.

SILVA, J. L. L. **Avaliação da qualidade da água em poços nas vizinhanças de postos após 15 anos da ocorrência de vazamento de combustíveis em Recife, Pernambuco**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG, 2017. 69 p.

SILVA, R.; SATO, M. Territórios e identidades: Mapeamento dos grupos sociais do estado de Mato Grosso – **Brasil, Ambiente e Sociedade**. Campinas, v. 13, n. 2, p. 261-281, dez. 2010.

SILVEIRA, A. C., **Qualidade da água destinada ao consumo humano nas escolas públicas do município de Uberlândia/MG**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia. 2017. 159 p.

SINDIPETRO/SC - Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo de Santa Catarina. **Postos de combustíveis precisam cumprir a legislação com a implantação e manutenção da caixa separadora de água e óleo**. 2017. Disponível em: <https://www.sindipetro.com.br/postos-de-combustiveis-precisam-cumprir-a-legislacao-com-a-implantacao-e-manutencao-da-caixa-separadora-de-agua-e-oleo/>. Acesso em: 25/06/2020.

SKIDMORE, Thomas. **Brasil: De Castelo à Tancredo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988.

SPECK, V. **Avaliação ecotoxicológica de água subterrânea contaminada por hidrocarbonetos derivados de petróleo: uma contribuição ao processo legal de licenciamento**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Perícias Criminais Ambientais da UFSC). Florianópolis, 2019. 154 p.

SPOSATI, A. et al. **Topografia social da cidade de João Pessoa**. João Pessoa PB: Editora Universitária da UFPB, 2010. 172p. Disponível em: http://www.cchla.ufpb.br/nepps/wp-content/uploads/2017/05/TOPOGRAFIA_SOCIAL-JP.pdf. Acesso em 23/03/2020.

STIGTER T.Y. & Dill A.M.M. C. Limitações do modelo drastic aplicação a duas regiões algarvias contaminadas por nitratos. **Anais 1 st Joint World Congress on Groundwater**. 2000 Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org>. Acesso em 08/06/2021.

TOSCANO, G.L.G. & SILVA, T.C. Uso do solo em zonas de proteção de poços para abastecimento público na cidade de João Pessoa (PB). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v.17, n.4, p. 357-362, out/dez 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000400001>

TRATABRASIL. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/agua/>. 2019. Acesso em 20/03/2022

TUNDISI, J. G., **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Paulo: Editora Rima, 2005.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Biblioteca Virtual de Direitos Humanos. **Declaração Universal dos Direitos da Água**. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>. Acesso em: 25/05/2016.

USA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Method 3535A (SW-846): Solid-Phase Extraction (SPE)**. Revision 1, February 2007. Washington, DC.

USA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, And Oils**. Revision 1, February 2007. Washington, DC.

USA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Method 8015C (SW-846): Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography**. Revision 3, February 2007. Washington, DC.

USA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Priority Pollutant list**. 2015. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf>. Acesso em: 21/05/2020.

USA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Semiannual Report Of UST Performance Measures Mid Fiscal Year 2021** (October 1, 2020 – March 31, 2021). Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-05/documents/ca-21-12.pdf>. Acesso em: 13/10/2021.

VALENTINO, C. H., CARNIETO, F., SOUZA, A. D. G. Susceptibilidade de poluição do solo e da água relacionados aos postos de combustíveis em área urbana. **Caderno de geografia (PUCMG)**. [S.l.], v.28, n. 55, 2018. P.936 - 936. DOI. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n55p936-958>.

VASCONCELOS, B. da S.; SANTOS, M. de L. L. M. dos; VILELA, M. M. de O. P.; CARVALHO, T. D. de; FONSECA, F. L. A.; SILVA, O. R. da; JUNQUEIRA, V. B. C.; AZZALIS, L. A.; SOLDÁ, P. L. Áreas contaminadas por postos de combustível e medidas de remediação no município de São Bernardo do Campo. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 73–83, 2014. DOI: 10.24302/sma.v3i1.539. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/539>. Acesso em: 18 nov. 2021.

VEBLIN, Thorstein. **A teoria da classe ociosa**: um estudo econômico das instituições. São Paulo: Ática, 1974.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento sustentável**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

VIANINI, F. M. N. O estabelecimento das plantas montadoras de veículos no Brasil e na China: o GEIA e os Planos Quinquenais. **Temporalidades – Revista de História**, [S.l.], edição 21, v. 8, n. 2 , p. 82 - 104, maio/agosto 2016. ISSN 1984-6150.

VILLAR, P. C. **Aquíferos Transfronteiriços**: Governança das Águas e o Aquífero Guarani. Curitiba: Juruá, 2015.

WATTS, R.J.; HALLER, D.R.; JONES, A.P. & TEEL, A.L. A foundation for the risk-based treatment of gasolinecontaminated soils using modified Fenton’s reactions. **Journal of hazardous materials**. [s.l.] p.73-89, 2000. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(00\)00173-4](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(00)00173-4).

WEBER, Jacques. Gestão de Recursos Renováveis: Fundamentos Teóricos de um Programa de Pesquisas. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Orgs.). **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento**: novos desafios para a pesquisa ambiental. Tradução Anne Sophie de Pontbriand Vieira, Christilla de Lassus. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

WEDY, Gabriel. Precaução no Direito Ambiental não quer dizer o mesmo que prevenção. **Revista Consultor Jurídico**, [S.l.], p. 1 - 10. 30 de maio de 2014. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2014-mai-30/gabriel-wedy-precaucao-direito-ambiental-nao-prevencao>. Acesso em 30/10/2020.

WHO World health organization. **Health and environment in sustainable development**: five years the summit. Geneva: WHO, 1997.