

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

JUBAL CABRAL FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA CIDADE DE  
ITAITUBA/PARÁ**

SÃO PAULO  
2020

JUBAL CABRAL FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA POR POSTOS DECOMBUSTÍVEIS NA CIDADE DE  
ITAITUBA/PARÁ**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo como parte dos requisitos  
para a obtenção do título de Especialista em Gestão  
de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano  
Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

SÃO PAULO  
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Cabral Filho, Jubal

Avaliação do potencial de contaminação da água subterrânea por postos de combustíveis na cidade de Itaituba/Pará / J. Cabral Filho, -- São Paulo, 2020.

65 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Hidrogeologia 2.Contaminação do solo 3.Contaminação da água 4.Uso do solo  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química  
II.t.

Filhas... vocês são o fruto desta minha caminhada.

## AGRADECIMENTOS

É muito difícil nominar todas as pessoas a quem agradecer por uma etapa concluída com sucesso. Mais difícil ainda é enumerá-las sem esquecer os requisitos essenciais, como a importância, a prioridade ou o valor que ela significa em minha trajetória.

Então vou fazer os agradecimentos por atacado: Aos meus pais (in memoriam).

Aos meus irmãos e irmãs. Às minhas filhas.

Aos netos e netas.

Àqueles que me influenciaram a continuar estudando.

Àquelas que me deram guarita em seu amor.

Ao Manequinho e à turma que vai marcar época.

Aos amigos, que jamais devem ser esquecidos em nenhuma ocasião.

Aos colegas deste MBA/GAC, que foram fundamentais para esta caminhada. Ao geólogo Darlisson Bento, o “cara das artes” deste trabalho.

Aos professores deste curso de especialização, especialmente ao meu orientador Professor Doutor e Geólogo Reginaldo Antonio Bertolo.

Finalmente ao Criador que não me deixou desistir.

## RESUMO

CABRAL FILHO, Jubal. Avaliação do potencial de contaminação da água subterrânea por postos de combustíveis na cidade de Itaituba/ Pará. 2020. 67 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Este trabalho discorreu sobre as possíveis contaminações em poços rasos e profundos, comuns na zona urbana de Itaituba, provocadas por derramamento, voluntário ou involuntário, de hidrocarbonetos dos postos de combustíveis.

Constou de mapeamento, através de SIG, dos poços de abastecimento de água, que servem as residências e/ou comércios locais e da localização dos postos de combustíveis, em diversas zonas no município os quais podem estar contribuindo para a contaminação da água subterrânea.

Também, com base nos dados hidrogeológicos adquiridos através de trabalhos anteriores e somados aos dados obtidos no campo foi construído mapa hidrogeológico da zona urbana, que indica os possíveis caminhos da contaminação.

Além disso, se mostrou um tópico sobre o transporte e provável destino dos contaminantes, o uso e ocupação do solo, caracterização hidrogeológica da área, identificação dos receptores, a construção dos poços e o uso da água subterrânea e se especulou sobre os potenciais da contaminação.

E, finalmente, se concluiu com observações sobre a forma de licenciamento ambiental dos postos de combustíveis e sugestões para a minimização da contaminação local.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Contaminação do solo. Contaminação da água. Uso do Solo.

## **ABSTRACT**

CABRAL FILHO, Jubal. Assessment of the potential for groundwater contamination by gas stations in the city of Itaituba/ Pará. 2020. 67 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

This work discussed the possible contamination in shallow and deep wells, common in the urban area of Itaituba, caused by spills, whether voluntary or involuntary, of hydrocarbons from gas stations.

It consists of mapping, through GIS, the water supply wells, which serve local homes and / or businesses and the location of the gas stations, in several areas in the municipality which may be contributing to the contamination of groundwater.

Also, based on the hydrogeological data acquired through previous works and added to the data obtained in the field, a hydrogeological map of the urban area was constructed, which indicates the possible path of contamination.

In addition, a topic on the transport and probable destination of contaminants was shown, the use and occupation of soil, hydrogeological characterization of the area, identification of receptors, the construction of wells and the use of groundwater and speculation about the potentials of contamination.

And, finally, it concluded with observations on the way of environmental licensing of gas stations and suggestions for minimizing local contamination.

**Keywords:** Hydrogeology. Soil Contamination. Water Contamination. Soil Use.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVO.....	14
	2.1 Objetivo Geral.....	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
	4.1 Descrição da área de interesse.....	16
	4.2 Aspectos geológicos regionais.....	22
	4.3 Contexto hidrogeológico.....	26
5	METODOLOGIA.....	40
6	RESULTADOS.....	42
7	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS.....	54
	ANEXO A — Tabelas.....	61
	ANEXO B — Reportagem fotográfica.....	63

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Zona urbana .....	16
Figura 2 - Localização Pará/Itaituba .....	17
Figura 3 - Manchas Urbanas em Itaituba .....	20
Figura 4 - Poços e Postos em Itaituba.....	22
Figura 5 - Principais províncias tectônicas-geocronológicas do Cráton Amazônico	23
Figura 6 - Mapa geológico da borda sul da bacia do Amazonas .....	25
Figura 7 - Região Hidrográfica Amazônica.....	26
Figura 8 - Regiões hidrográficas no Pará .....	27
Figura 9 - Seção Litológico/estratigráfico.....	28
Figura 10 - Seção esquemática de Itaituba.....	29
Figura 11 - Perfil Litológico Poço Caima .....	30
Figura 12 - Perfil de sondagem poço Paredão.....	31
Figura 13 - Esquema de derramamento de combustível.....	32
Figura 14 - Esquema de comportamento de geoquímica do contaminante .....	33
Figura 15 - Esquema de birremediação simplificado .....	34
Figura 16 - Contaminação por derramamento de combustível .....	35
Figura 17 - Cenários de exposição .....	37
Figura 18 - Perfil de poço amazonas .....	43
Figura 19 - Coluna estratigráfica .....	45
Figura 20 - Fluxo de água subterrânea.....	46
Figura 21 - Mapa com recortes .....	47
Figura 22 - Mapa com recortes de área .....	48
Tabela 1 - Fontes de contaminação do solo e água subterrânea.....	61
Tabela 2 - Poços de água.....	61
Tabela 3 - Postos de combustíveis.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis.
BDNAC	Banco de dados nacional de áreas contaminadas
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno
CASITA	Companhia de água e saneamento de Itaituba
CETESB	Companhia ambiental de São Paulo
CONAMA	Conselho nacional de meio ambiente
COSANPA	Companhia de saneamento do Pará
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DD	Decisão de diretoria
DNAPL	Fase líquida não aquosa densa
EAP	Avaliação preliminar
EIV	Estudo de impacto da vizinhança
ETC	Estação de transbordo de cargas
EUA	Estados Unidos da América
FUNASA	Fundação nacional de saúde
GAC	Gerenciamento de áreas contaminadas
IBAMA	Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
IDESP	Instituto de desenvolvimento econômico, social e ambiental do Pará
IN	Instrução normativa
LDO	Lei de diretrizes orçamentárias
LNAPL	Fase livre não aquosa leve
LOA	Lei orçamentária anual
LOM	Lei orgânica municipal
NAPL	Fase líquida não aquosa
ND	Nível dinâmico
NE	Nível estático
PAH	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PDDI	Plano diretor de desenvolvimento integrado
PPI	Plano plurianual de investimentos
PVC	Policloreto de vinila
SEMAS	Secretaria de estado de meio ambiente e sustentabilidade
SGMB	Serviço geológico e mineral brasileiro
SIAGAS	Sistema de informações de águas subterrâneas
SIG	Sistema de informação geográfica
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TRRNI	Transportador-revendedor-retalhista na navegação interior

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
km <sup>2</sup>	quilometro quadrado
m	metro
m <sup>3</sup>	metro cúbico

## 1 INTRODUÇÃO

A área deste trabalho está localizada na cidade de Itaituba, no estado do Pará, na margem esquerda do rio Tapajós e se reportou sobre a provável ocorrência de contaminantes, provenientes de derrame de combustível no solo dos postos de abastecimento de combustíveis, com ou sem as medidas preventivas adotadas, instalados na zona urbana e, posteriormente, para a zona de captação dos poços de consumo de água e as consequências desta contaminação.

Os meios de captação de água para consumo e uso humano - público ou particular – regularmente são feitos por coleta no leito dos rios ou, mais comumente, via captação subterrânea. O abastecimento público de água em Itaituba/Pará tem sido realizado através de captação superficial, diretamente do rio Tapajós pela Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA e por poços profundos em alguns conjuntos habitacionais, pela Companhia de Água e Saneamento de Itaituba – CASITA, mas ambos não conseguem atender todas as residências nos atuais 28 bairros (SOUZA, 2017). Então constatou-se que, a população desabastecida faz a coleta da água individualmente, através de poços tipo amazonas (ou cacimba), com profundidade variam de 10 a 20 metros para seu consumo e uso cotidiano.

A contaminação das águas superficiais e subterrânea realizou-se por atividade antrópica: matéria orgânica, metais abandonados no solo, fertilizantes, infiltração de hidrocarbonetos, lixo urbano, resíduos industriais, plásticos etc. Atentou-se, neste trabalho, para uma avaliação na água contaminada por hidrocarbonetos devido ao uso e ocupação do solo, comercial e residencialmente, sem padrão definido, que podem trazer problemas para a saúde da população, pois alguns deles são carcinogênicos e outros tóxicos e agindo por ingestão ou inalação, assim como pode contaminar os organismos aquáticos e a cadeia alimentar.

Segundo Feitosa (2008), desde 1920 são realizados, em muitos países, muitos trabalhos para determinação do deslocamento de contaminantes em aquíferos, por diversos estudiosos no assunto. Embora este modelo de estudo não tenha sido realizado na região, apesar dos crescentes estudos de casos exemplificados em países industrializados, como na Alemanha e EUA (OLIVEIRA; LOUREIRO, 1998) e no Brasil, principalmente no estado de São Paulo (CETESB, 2001), se torna urgente também dar

início neste espaço urbano, para coibir as possíveis contaminações por hidrocarbonetos.

Como os produtos são oriundos de combustíveis fósseis (petróleo) e utilizados para produzir combustão (energia exotérmica) que movimentam veículos, máquinas e equipamentos, também são potenciais contaminantes da água subterrânea e superficial. A gasolina, mais usada de todos os combustíveis têm mistura de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em sua composição, que são solúveis em água, podendo causar a contaminação do solo e água subterrânea (FOGAÇA, 2015). O diesel, que possui misturas mais pesadas causa contaminação através de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), como naftaleno e benzeno(a)pireno (SANTOS; MONTICELI, 2018) e é considerado LNAPL (hidrocarbonetos em fase livre não aquoso).

Vale lembrar que antes de 2000, quando não havia uma orientação legal para que se tivesse cuidados ambientais na instalação de postos de combustíveis, estes usavam tanques de aço-carbono, que apresentam corrosão após determinado tempo de uso. Diversos estudos e orientações dos fabricantes determinam que a validade dos tanques de postos de combustíveis é estabelecida, em média, de 15 anos. Sabe-se que muitas contaminações ocorrem através destes vazamentos e que as medidas tomadas, principalmente pela CETESB em São Paulo, que desde 2007 condicionou a concessão das Licenças de Operação à apresentação do Atestado de Conformidade emitido pela instaladora dos tanques, tubulações e demais acessórios, tem conseguido minimizar esses problemas.

Assim, evidenciando o olhar para um possível sítio contaminado também por hidrocarbonetos coletou-se informações geográficas sobre os postos de abastecimento de combustíveis e os poços existentes, para induzir possíveis contaminações por hidrocarbonetos de petróleo.

A partir da coleta de dados dos poços distribuídos na cidade, também se construiu o mapa hidrogeológico, subdividiu-se em zonas para melhor estudo, o qual indicará a possível direção da contaminação e, finalmente, sugeriu-se investigações e inovações locais, as quais trarão subsídios para sua prevenção.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva avaliar a potencialidade de contaminação das águas subterrâneas, explotadas por poços tipo amazonas na área urbana do município de Itaituba, originada pelas atividades de postos de combustíveis, a partir de definição de suas devidas localizações e possível entrelaçamento no problema.

São objetivos específicos deste trabalho:

- Caracterizar a geologia da área de estudo;
- Efetuar o cadastro dos postos de combustíveis e consolidar o cadastro de poços de água;
- Produzir o mapa potenciométrico dos poços cadastrados;
- Cruzar as informações de localização dos postos de combustíveis e dos poços cadastrados.

### 3 JUSTIFICATIVA

Em virtude da ausência de evidências ou estudos sobre a contaminação de aquíferos e água superficial por hidrocarbonetos em Itaituba, se elaborou uma avaliação do assunto, através de mapeamento dos postos de combustíveis na zona urbana, na margem esquerda da cidade de Itaituba e de informações geográficas de poços profundos e rasos, os quais, a partir de dados coletados na literatura e em campo, sendo objeto de construção de mapa hidrogeológico.

Existem diversos tipos de contaminação do solo, água subterrânea e superficial, entre elas cita-se as ocorrências através dos esgotos, vazamentos de tanques de combustíveis, em exploração mineral e no uso de substâncias químicas na agricultura (SILVA et al., 2002). No caso de contaminação por vazamento de hidrocarbonetos de petróleo, tanto o solo como a água superficial e, principalmente, a subterrânea tem a sua qualidade comprometida, podendo ocasionar danos à saúde da população.

A escolha deste tema ocorreu devido a probabilidade de contaminações por despejo intencional ou involuntário de hidrocarbonetos, nas proximidades e nos postos de combustíveis aos locais da captação de água, que são na maioria poços tipo amazonas (ou cacimba), das residências ou comércios que estão interligados, que são captados na franja capilar e inevitavelmente poderá estar contaminada por vazamento de hidrocarbonetos.

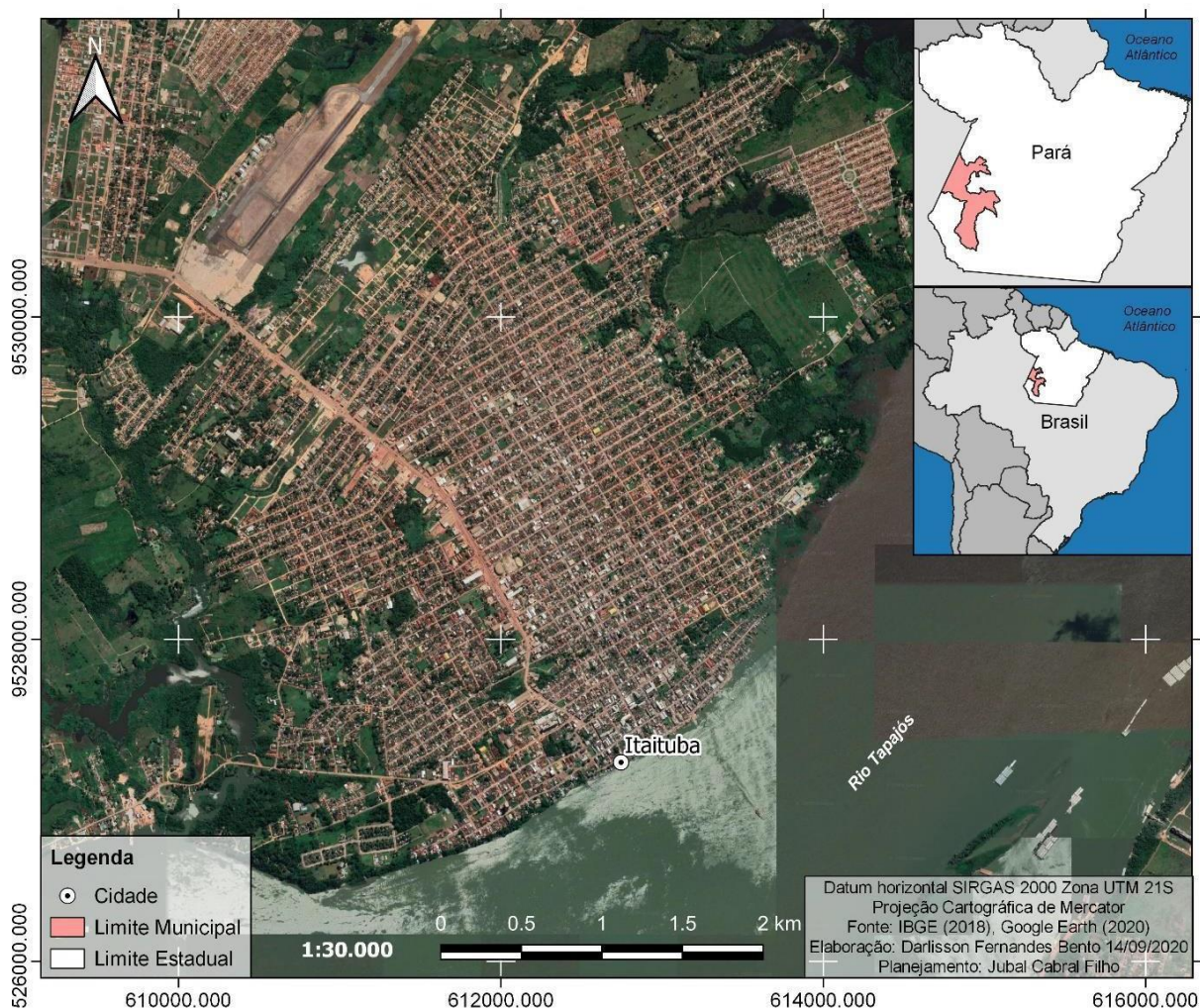
Percebeu-se que, além da posição geográfica dos poços de água e dos postos de combustíveis, há perspectivas para a contaminação da água subterrânea através dos aspectos da geologia e hidrogeologia local.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Descrição da área de interesse

A área escolhida para este estudo foi a zona urbana de Itaituba, na margem esquerda do rio Tapajós (figura 1), onde estão localizados a maioria dos prováveis pontos de contaminação de água da cidade, que são os postos de abastecimento de combustíveis e bases de armazenamento.

Figura 1 - Zona urbana



Este local faz parte da Região Hidrográfica Amazônica, Bacia do Amazonas e sub-bacia Tapajós, situada a sudoeste do estado do Pará e limítrofe com o estado do Amazonas.

Dentro da classificação estabelecida pelo IBGE, a cidade de Itaituba está projetada como “centro sub-regional”, em um município com uma população estimada em 101.000 habitantes e densidade demográfica de 1,57 hab./km<sup>2</sup> numa área da unidade territorial de 62.042,472 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Até meados de 1970, o município tinha uma população estimada em 13.000 habitantes, sendo grande parte residente na zona rural (SOUZA, 2017). Atualmente a população aproxima-se de 110.000 habitantes e a maioria (75%) é residente na zona urbana (IBGE, 2010), apesar da efetiva ocupação laboral ser realizado na zona rural, nos garimpos de ouro. A área decentro sub-regional engloba os municípios de Itaituba, Jacareacanga, Trairão, Aveiro, Novo Progresso e Rurópolis.

Figura 2 - Localização Pará/Itaituba



Fonte: Wikipedia (2020)

A economia do município é decorrente de atividades agropecuárias, de prestação de serviços e de mineração, sendo esta última engrossada pela garimpagem de ouro, que teve sua evolução a partir da descoberta de ouro aluvionarno rio das Tropas, bacia do rio Tapajós, em final dos anos 1950 (RODRIGUES et al.,1994). O Grupo João Santos, que explorava a mina de calcário para transformação em cimento através da subsidiária ITACIMPASA - CAIMA, suspendeu as atividades em 2018. Constatou-se também a exploração de minerais sociais (areia, argila e brita),

utilizados na construção civil, no leito do rio Tapajós e em minas de rochas vulcânicas e calcárias, nas cercanias da zona urbana.

A atividade agropecuária é decorrente, principalmente, da prática familiar na produção de verduras e frutas para consumo doméstico, embora já tenham se estabelecido alguns empreendimentos de criação de gado para corte, as fazendas mais próximas da cidade estão se transformando em loteamentos residenciais, aumentando o abairramento na cidade.

O setor de serviços engloba, principalmente, os servidores públicos federal, estadual e municipal, além de funcionários das Estações de Transbordo de Cargas - ETC, implantados no Distrito de Miritituba e pessoas contratadas esporadicamente para serviços nas áreas de garimpagem. O comércio em geral tem um peso considerável na produção de emprego e renda, sendo, no entanto, dependente da exploração garimpeira.

Nesta região, a partir da década de 1960, houve um crescimento na garimpagem de ouro aluvionar, a qual se tornou a mola mestre do comércio e de estruturação urbana de Itaituba, pois 72,5% da população reside na zona urbana. De uma população com cerca de 13.000 habitantes em 1960 (IBGE, 1961), o município aumentou para aproximadamente 100.000 habitantes em 2010 (IBGE, 2010), provocando a necessidade de novos empreendimentos se instalarem na cidade e região. Esta atividade, inicialmente, se fazia através de equipamentos rudimentares e, à medida que foram sendo descobertos novos jazimentos eluvionares e primários, também foram introduzidos métodos cada vez mais sofisticados de exploração para aumentar a produção de ouro (SCHUBER, 2013). Com o aumento de áreas de garimpagem na região, em cujo trabalho atualmente se utiliza equipamentos e máquinas de médio a grande porte para exploração de ouro, também proliferaram os postos de abastecimento de combustíveis na cidade para atendimento aos garimpeiros e demais empreendimentos regionais.

Em meados dos anos 1970, quando começou a aumentar a população urbana pela migração de nordestinos para trabalhar nos garimpos, a ocupação do solo na cidade começou a se deslocar do centro para a periferia, sem padrão urbanístico determinado. O aumento da população urbana foi desproporcional à oferta de serviços públicos relativo ao fornecimento de água potável, saúde e educação, tornando grande parte da população carente destes benefícios. Em virtude da ausência e/ou

fornecimento deficiente de água potável, a maioria das residências passou a coletar água de poços amazonas (cacimbas), os quais pela proximidade com as fossas negras acabaram provocando um aumento de doenças como: Hepatite, Giardíase, Disenteria Amebiana, Leptospirose, Ascaridíase ou lombriga, entre outros (SCHUBER, 2013).

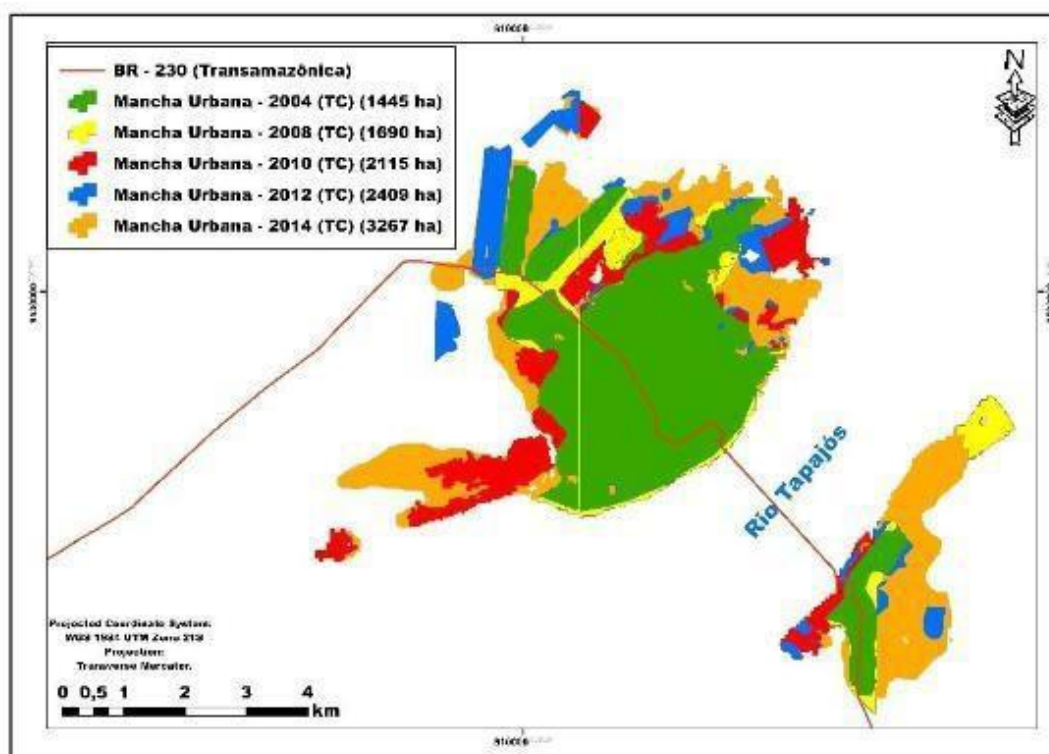
O Plano Diretor do Município (ITAITUBA, 2016), posto em prática a partir de 2016/2017, não delimita a forma de ocorrência ou reforma de empreendimentos antigos, havendo uma mistura de moradias com captação de água e postos de abastecimento generalizada, fato que deveria colocar o município em estado de monitoramento para impedir a propagação de possíveis contaminantes. A ANP (2020) registra 69 (sessenta e nove) revendedores autorizados no município, mas atualmente há 15 postos de combustíveis em atividade, espalhados na margem esquerda da cidade, outros 07 desativados e 2 balsas de abastecimento no leito do rio Tapajós, em frente a cidade. Além destes, também já estão instaladas 03 bases de armazenamento Transportador-Revendedor-Retalhista na Navegação Interior (TRRNI) e mais uma está em construção às margens do rio Tapajós, para atendimento em toda região Oeste do Pará, as quais podem contribuir para aumentar a contaminação deste manancial hídrico. Uma base de armazenamento instalada no perímetro urbano foi fechada em 2015, sem motivos explícitos. O aeroporto municipal, que já foi o mais movimentado do país, utilizado por aviões de pequeno porte nos anos 1970-1980 e que atendem as diversas pistas de pouso localizadas no interior do município e região tem, nas proximidades, 02 (duas) bases de abastecimento de aviões e um poço de abastecimento de água utilizado para consumo, diuturnamente, pela população.

A Constituição Federal atribuiu ao poder municipal o objetivo de ordenar o desenvolvimento urbano e fazer com que a propriedade urbana cumpra um papel social. Atualmente, no município de Itaituba, está em vigor o Plano Diretor atrelado às leis nº 2.884/2015 - Plano Diretor; 2.885/2015 - Uso e Ocupação do Solo Urbano; 2.886/2015 – Parcelamento do Solo Urbano e Condomínios; 2.887/2015 - Criação e Delimitação dos Bairros; 2.888/2015 - Código de Obras; 2.889/2015 - Regulamenta a Outorga Onerosa e a Transferência do Direito de Construir; 2.890/2015 - Regulamentação Estudo Prévio de Impacto de Vizinhança (EIV); 2.891/2015 - Regulamenta o

Exercício do Direito de Preempção pelo Poder Público; 2.892/2015 - Definição dos Limites do Perímetro Urbano de Itaituba (ITAITUBA, 2016).

Um estudo de Gonçalves (2018) sobre a expansão urbana em Itaituba/PA demonstra que esta foi feita de forma desordenada, como se fosse fragmentada e sem sequência terrena. Segundo o autor, as manchas urbanas agora inseridas foram feitas sem a continuação da mancha urbana principal (vide figura 3), a qual, segundo disposto no Plano Diretor, ocorreu pela indefinição da légua patrimonial. Nota-se que a cada aumento da população surgiu a necessidade de novas construções e estas foram feitas aleatoriamente em áreas de invasão, causando descompasso com as previsões urbanas. Também foram notados aumentos de moradias devido aos programas públicos tipo Minha Casa, Minha Vida e aos loteamentos urbanos particulares bem traçados.

Figura 3 - Manchas Urbanas em Itaituba



Fonte: Gonçalves (2018)

Ferreira (2009) faz uma análise criteriosa dos métodos utilizados pelos Executivo Estadual e Municipal, Legislativo Municipal e dos instrumentos de gestão

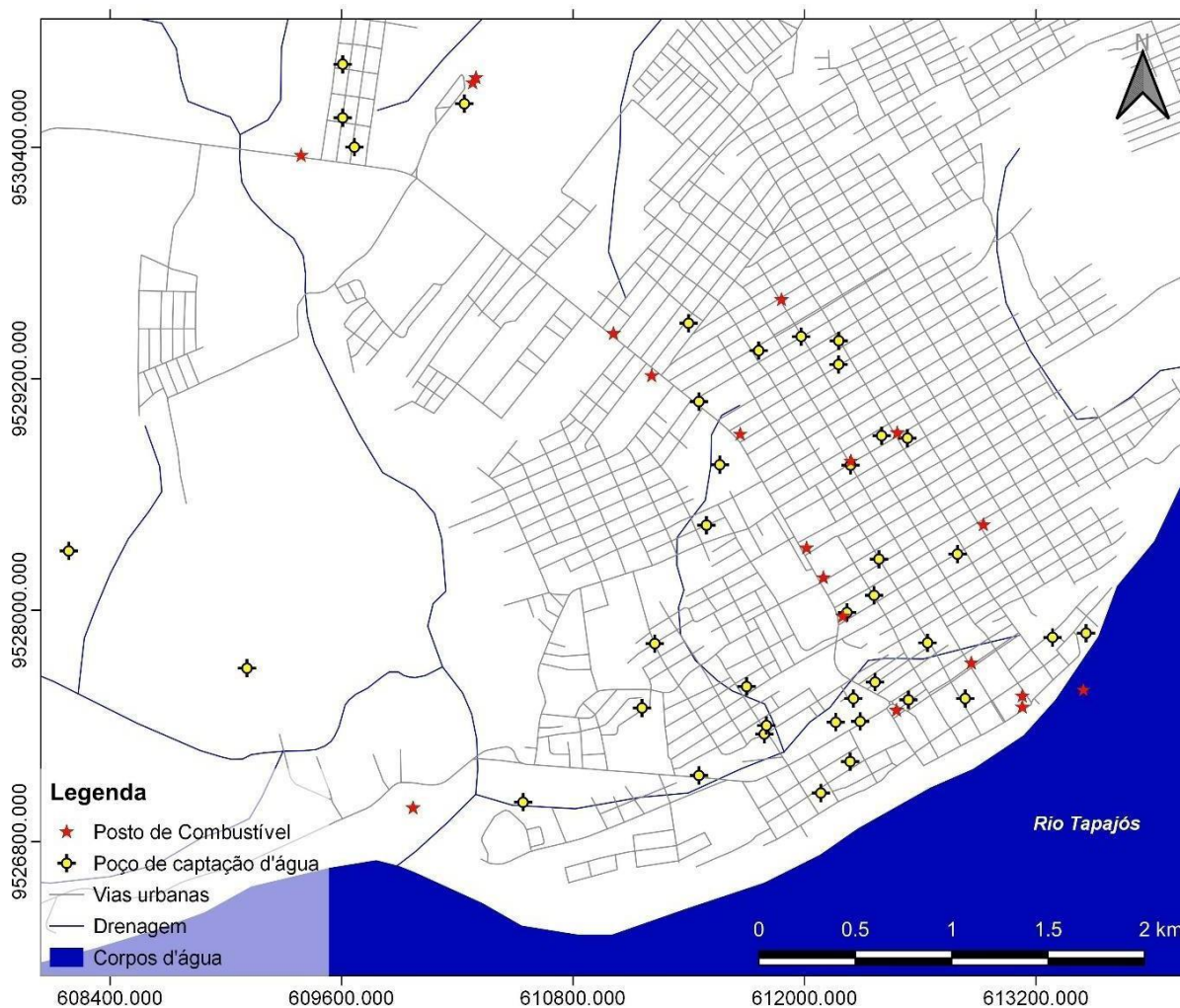
e planejamento urbano - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), Lei Orgânica Municipal (LOM); Plano Plurianual de Investimentos (PPI); Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO); Lei do Orçamento Anual (LOA) – que foram utilizados e mostra que o Estado, na época, usou modelos errôneos para estruturação da expansão urbana, sem levar em consideração a opinião popular prevista na legislação corrente, para que o núcleo urbano fosse um modelo de expansão e que falharam na concepção e execução por incoerências nos dados utilizados e no orçamento financeiro disposto para o planejamento e execução.

Ficou caracterizado por esta autora que o estudo deste Plano de Expansão Urbana de Itaituba usou métodos inadequados, com dados bibliográficos ultrapassados – a equipe utilizou informações constantes na Lei Municipal nº 1.164/92 (Itaituba, 1993), que dispunha sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do município de Itaituba e indicava como base das informações os dados de órgãos estaduais de Santarém - e, portanto, não foi implementado, sendo a expansão urbana realizada intuitivamente pela população (FERREIRA, 2009). Na ocasião (1992) havia 17 bairros, muitos deles provenientes de invasões a propriedades particulares. Atualmente somam 28 bairros formados a partir de loteamentos públicos, como Maria Madalena, Piracaná e Viva Itaituba, além de outros loteamentos particulares, como Verde e Amarelo, Monte Sinai, Açai, Buriti e Campo Belo, que ofertam terrenos com saneamento básico e estrutura urbana completa.

O uso do solo, segundo o Plano Diretor/2015 (ITAITUBA, 2016) é dividido em categorias de uso compatível, baixo, médio e alto impacto sendo direcionado para moradias, instalações comerciais, de serviço e industriais conforme zoneamento proposto, embora comércios e moradias estejam relacionados, por economia, em espaços comuns.

Nota-se que não há um padrão de implantação estabelecido para os poços de combustíveis em relação às moradias (figura 4), onde se consegue visualizar que a distância entre os postos e poços ao redor varia em média, de 50m (cinquenta metros) a 500m (quinhentos metros), estando localizados tanto à montante como a jusante do fluxo de água e sendo que, estes últimos, podem trazer um nível de contaminação mais acentuado:

Figura 4 - Poços e Postos em Itaituba

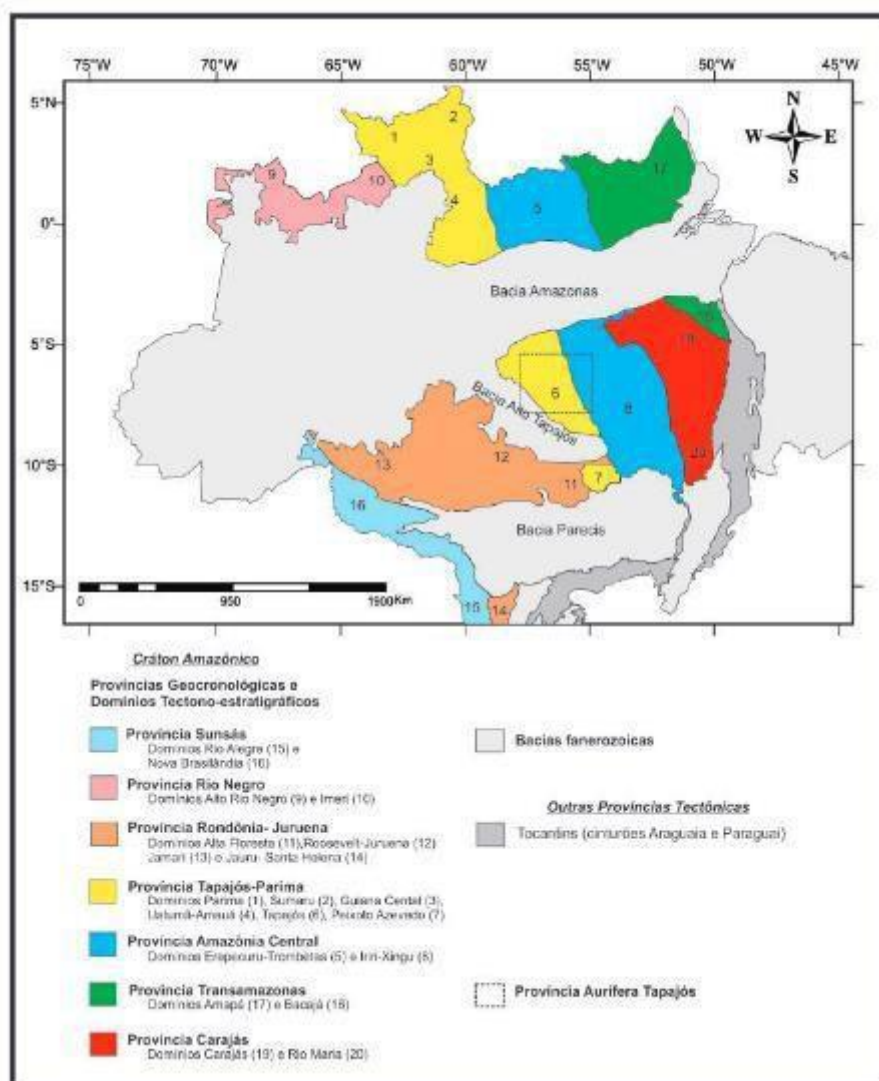


Fonte: O autor (2020)

#### 4.2 Aspectos geológicos regionais

A caracterização geológica regional da Província Mineral do Tapajós, onde está inserido o município de Itaituba, é feita por rochas dos Conjuntos Arqueanos, Proterozóicos e Fanerozóicos, definida por pesquisadores conforme figura 5: A caracterização geológica regional da Província Mineral do Tapajós, onde está inserido o município de Itaituba, é feita por rochas dos Conjuntos Arqueanos, Proterozóicos e Fanerozóicos, definida por pesquisadores conforme figura 5:

Figura 5 - Principais províncias tectônicas-geocronológicas do Cráton Amazônico



Fonte: Guimarães et al. (2015, p. 17)

Nos Conjuntos Arqueanos predominam litologicamente gnaisses tonalíticos e granodioritos do Complexo Xingu, inicialmente descritos por Silva et al. (1974), cujas províncias geocronológicas vêm sendo delimitadas sequencialmente por diversos pesquisadores, numa sequência litológica até corpos lenticulares de monzogranitos do Granitoide Felício Curvo. Esta sequência é retrabalhada durante o Ciclo Transamazônico e com retroativações durante o Mesoproterozóico, as quais dominam grande parte desta região. Há ocorrência de diques de diabásio, do período Jurássico cortando rochas desde o embasamento Arqueano até os sedimentos Mesozoicos. Na conexão entre o Arqueano e o Paleoproterozóico, ocorreram eventos que compartimentaram a região em blocos crustais amalgamados, separando-os em

zonas suturadas por eventos colisionais. Posteriormente, novos processos de movimentação de blocos através de falhas normais e transcorrentes ocasionaram a formação de bacias que se caracterizam por um intenso magmatismo e sedimentação peculiar

O Complexo Cuiú-Cuiú, que ocorre no centro oeste da região, além de apresentar diversas suítes intrusivas descritas como portadoras das mineralizações de ouro é representado desde biotita gnaisse tonalíticos a monzogranítico até rochas máficas, como gabros da Suíte Intrusiva Cachoeira Seca, que representam os Conjuntos Proterozóicos, que se caracteriza por eventos magmáticos intrusivos na região afetada, por eventos distensivos, com a instalação de uma extensa sequência vulcano-sedimentar constituídas por sedimentos essencialmente clásticos de ambiente continental, formados por arenitos, conglomerados, siltitos, argilitos e tufos, que marcam o término desta sequência recobrimdo as rochas intrusivas. As manifestações magmáticas básicas de diabásio que ocorreram nesta fase foram diminutas, mas continuaram até o final do Neoproterozóico (KLEIN et al., 2001).

Os Conjuntos Fanerozóicos são caracterizados pela intrusão de diques de diabásio e extensas coberturas sedimentares do Paleozoico, constituídas por sedimentos clásticos costeiros, com pouca influência fluvial. O início do Fanerozóico é caracterizado pela intrusão de diques de diabásio e extensas coberturas sedimentares do Paleozoico, constituídas por sedimentos clásticos costeiros, com pouca influência fluvial. No Cenozoico há grandes depósitos aluvionares compostos por sedimentos arenosos e argilosos inconsolidados e parcialmente consolidados, com níveis de cascalho associados, decorrentes da grande concentração fluvial, que recobrem esta região (COUTINHO, 2008).

Na região urbana de Itaituba o conjunto litológico é descrito como ocorrência desde o Carbonífero, através do Grupo Tapajós, posicionadas da base para o topo da seção com as Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda [CAPUTO et al, 1971 apud CPRM (2006)] e, finalmente, Caputo (1984) sugeriu a adição da Formação Andirá, com as seguintes descrições litológicas:

- Formação Monte Alegre – composta de arenitos fluviais e eólicos, depósitos de cascalhos malformados e areias, intercalados por siltitos e folhelhos e depósitos

carbonáticos delgados no topo e é recoberta pela Formação Itaituba gradativa e transacionalmente.

- Formação Itaituba – descrita como uma unidade cíclica heterogênea composta de calcário, dolomita, folhelho, argilito, arenito e leitos de anidrita. Esta unidade é um abundante registro marinho de micro e macro fósseis.

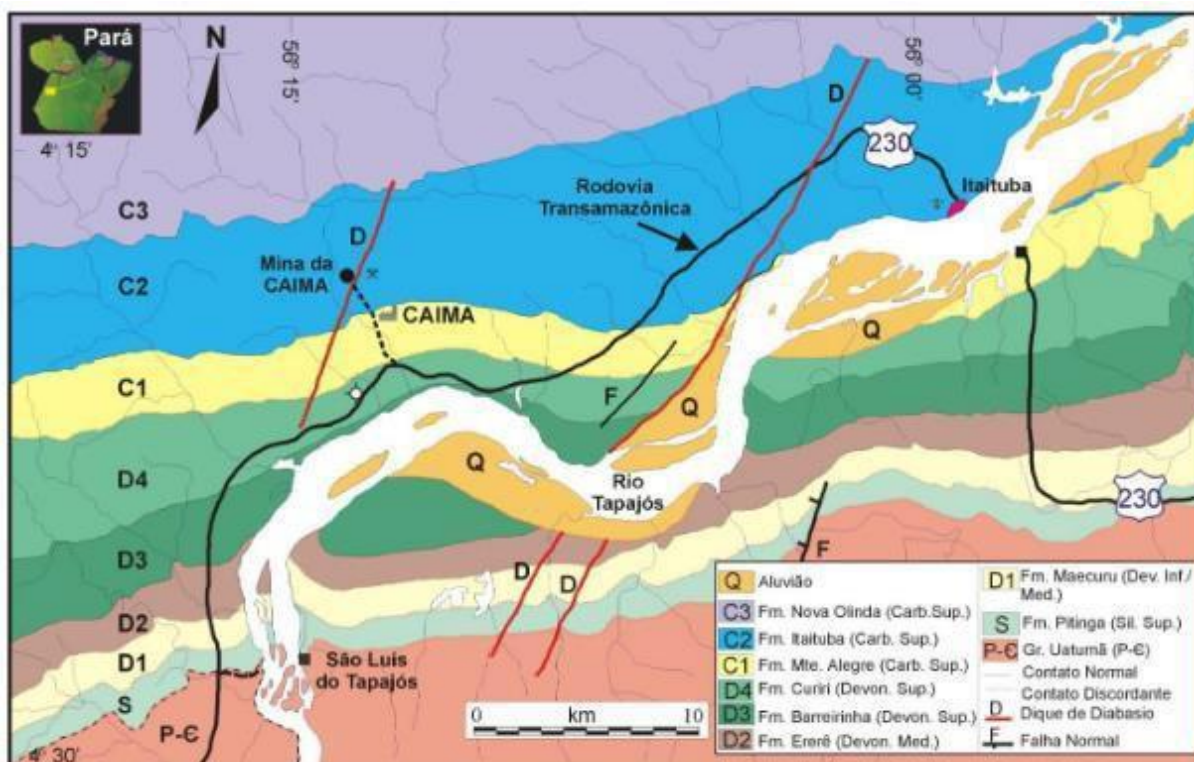
- Formação Nova Olinda – é representada por evaporitos e carbonatos intercalados com folhelhos cinza e marrom e siltitos. Apresenta uma fase regressiva sobre os estratos da Formação Itaituba.

- Formação Andirá – esta unidade é caracterizada pela sedimentação continental, representada por arenitos e sedimentos vermelhos (red beds) e raras anidritas, de fácies lacustrinas e fluviais.

Sobre estas unidades ocorre um espesso pacote de sedimentos detríticos e marinhos do Cenozoico, os quais se relacionam aos aquíferos freáticos.

Na figura 5, Campos (2015, p. 25) apresenta um mapa da Plataforma Sul da Bacia do Amazonas, onde estão localizados afloramentos mais estudados atualmente:

Figura 6 - Mapa geológico da borda sul da bacia do Amazonas



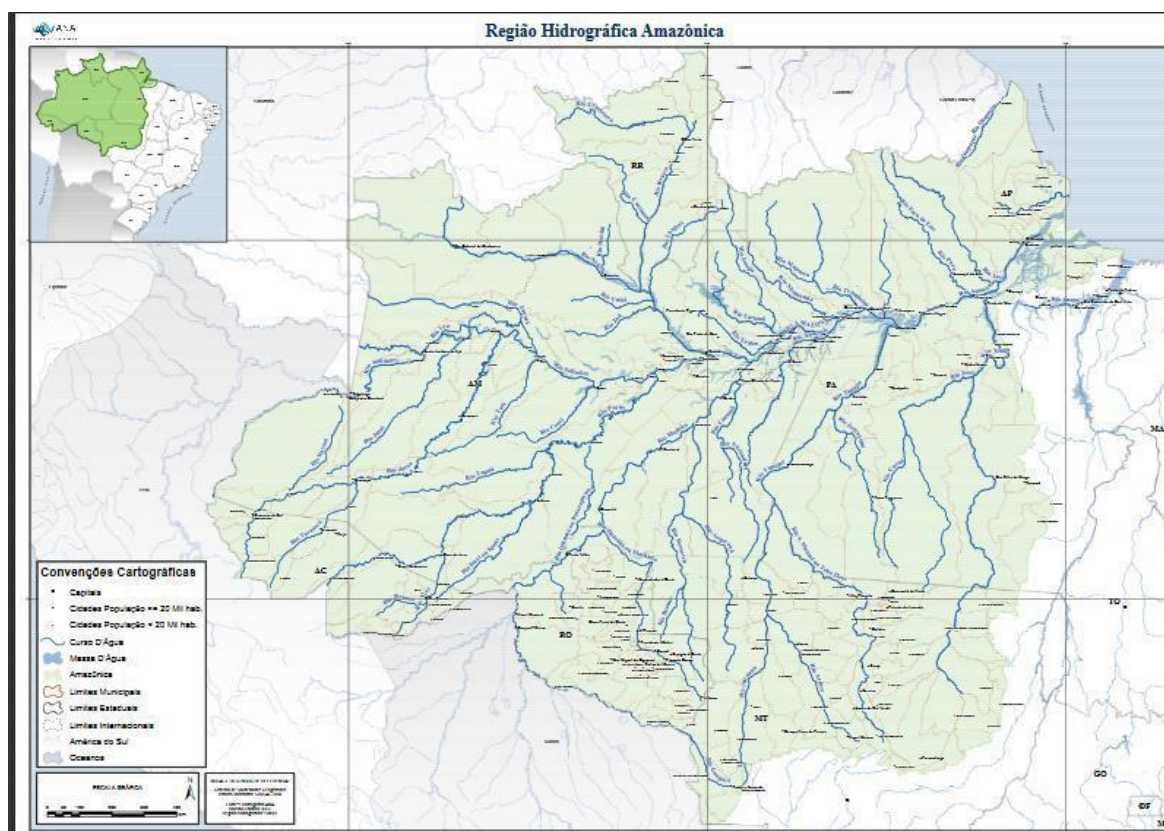
Fonte: Eiras, 1998 Campos (2015, p. 25)

### 4.3 Contexto hidrogeológico

Hidrograficamente, o território brasileiro está dividido em 12 regiões, estabelecidas pela Divisão Hidrográfica Nacional. Estas bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas possuem características próprias, cujo critério de divisão tem o propósito de promover a orientação, o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país (ANA, 2004).

O município e a cidade de Itaituba, sobre a qual será feito este estudo, estão localizados na Região Hidrográfica Amazônica, Bacia do Amazonas e sub-bacia Tapajós.

Figura 7 - Região Hidrográfica Amazônica



Fonte: ANA, 2017 ANA - Agência Nacional de Águas (2017)

No estado do Pará estabeleceu-se sete Macrorregiões Hidrográficas que são: Costa Atlântica-Nordeste, Tocantins-Araguaia, Xingu, Portel-Marajó, Tapajós, Baixo Amazonas e Calha Norte, levando em consideração as características geomorfológicas, a geologia, hidrografia, solos e clima (PARÁ, 2001).

Figura 8 — Regiões hidrográficas do Pará



Fonte: PARÁ (2001)

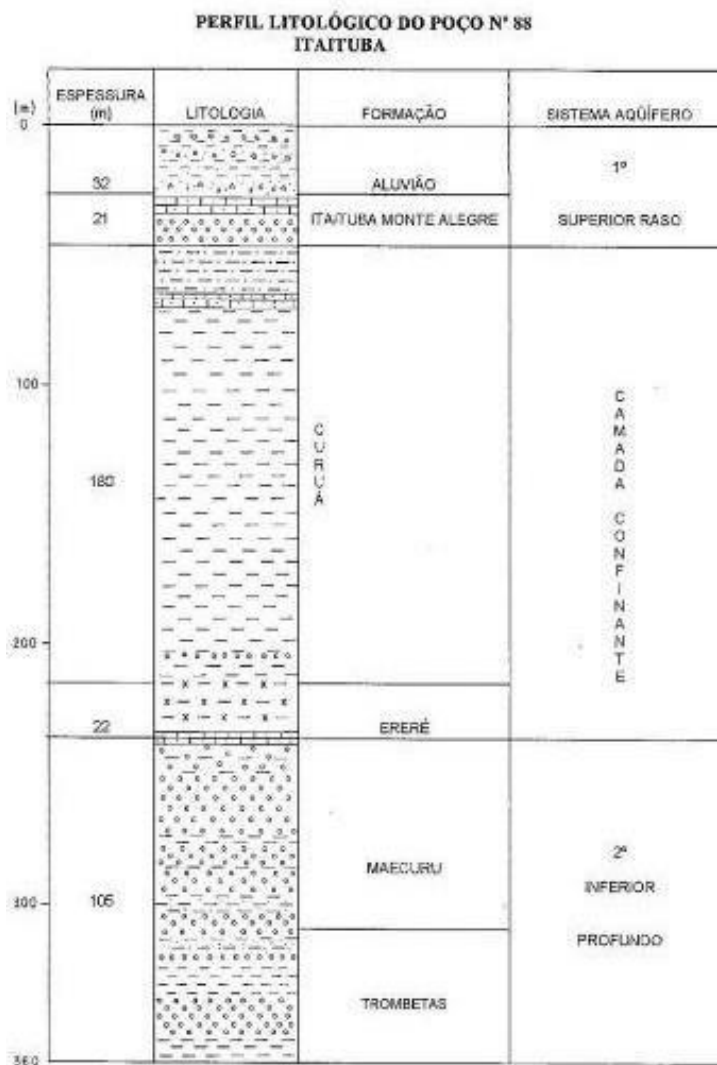
Na região do Tapajós, onde Itaituba está incluída, constatou-se que as unidades geológicas variam desde o Paleoproterozóico até o Cenozoico. De forma geral, as grandes unidades geológicas estabelecem uma correlação com os respectivos sistemas aquíferos preponderantes, definindo, basicamente, dois sistemas de aquíferos principais: poroso (livre a confinado) nos sedimentos da Bacia Amazônica e o aquífero fraturado ou fissural no Cráton Amazônico (KLEIN et al., 2001).

Na caracterização hidrogeológica regional foram identificadas sete unidades armazenadoras de águas subterrâneas, através dos dados levantados pelo SIAGAS/CPRM: Formação Alter do Chão, Formação Itaituba, Aluviões, Formação Monte Alegre, Grupo Curuá, Formação Maecuru e as Rochas Cristalinas - Suíte Intrusiva Maloquinha, Suíte Intrusiva Parauari (KLEIN et al., 2001).

Os estudos hidrogeológicos nesta localidade são escassos e incompletos, o que pode trazer interpretações equivocadas na interpretação dos resultados, mas constatou-se que estão interligados à geologia local.

A primeira referência de descrição litológica em Itaituba provém do Poço Estratigráfico 88, com profundidade de 361 m (trezentos e sessenta e um metros) perfurado sob a supervisão de Pedro de Moura, em 1930, a serviço do antigo Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (SGMB), precursor da Petrobrás. As unidades geológicas descritas foram (da base para o topo): Formação Trombetas, Formação Maecuru, Formação Ererê, Formações Itaituba/Monte Alegre e uma camada aluvionar recente (OLIVEIRA, 1996).

Figura 9 - Seção Litológico/estratigráfico





O perfil abaixo foi feito a partir de perfuração do poço na fábrica da CAIMA, distante cerca de 40 km (quarenta quilômetros) do centro urbano de Itaituba (NE), feito por empresa particular, com 277 m de profundidade:

Figura 11 - Perfil Litológico Poço Caima

PERFIL LITOLÓGICO DO POÇO DA CAIMA

ESPESSURA (m)	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
19	FORMAÇÃO MONTE ALEGRE		Arenito amarelado, fino e homogêneo
32	MEMBRO BARREIRINHÁ		Siltos argilosos cinza esverdeado com intercalamento de arenito e folhelho de cores cinzas.
140			Folhelhos cinza, compacto, micáceo finamente laminado, por vezes pirlitas.
99	FORMAÇÃO FERRE		Siltos cinza escuro, com níveis de folhelhos cinza, compacto e micáceos
			Folhelho cinza, compacto
27	FORMAÇÃO MARECHÉ		Arenito fino com intercalação de siltos e folhelho

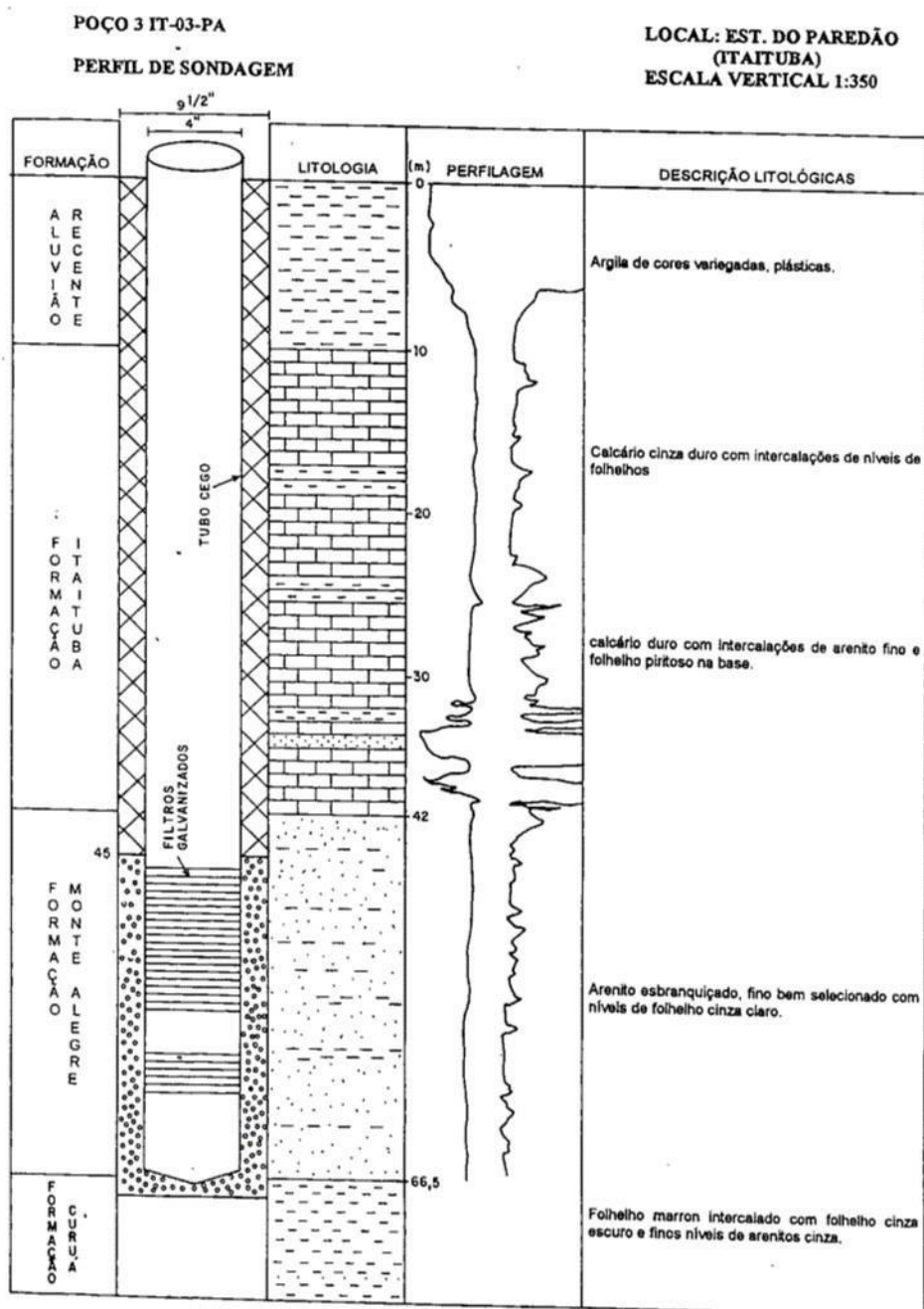
Fonte: AMBIENTARE – Soluções Ambientais Ltda. (2012, p. 178)

Esta representação acima vem confirmar o que está descrito na seção hidrogeológica esquemática, baseada no poço estratigráfico 88, construído em 1930 pelo antigo Serviço Geológico do Brasil sob a supervisão de Pedro de Moura, sobre ocorrência destas formações geológicas a NW de Itaituba.

Também existem registros de outros poços profundos perfurados na zona urbana, mas que não apresentam descrições litológicas. Na figura 11 (abaixo)

observa-se o perfil de outro poço perfurado na Estrada do Paredão, com profundidade de 277 m (duzentos e setenta e sete metros) até o topo da Formação Curuá.

Figura 12 - Perfil de sondagem poço Paredão



Fonte: Oliveira, 1996

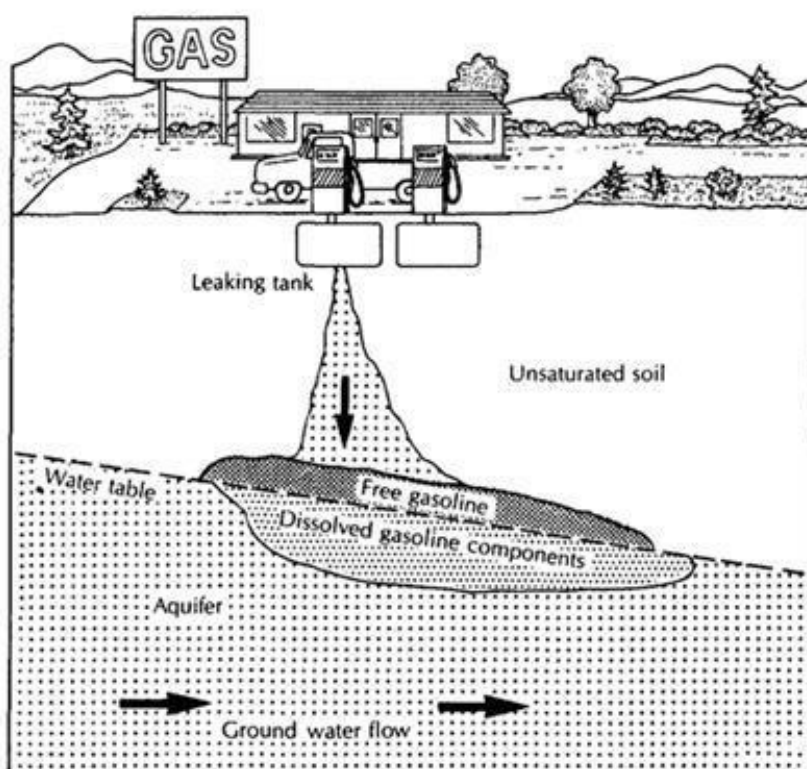
Bertolo, Alves e Maximiano (2018) enfatizam a necessidade do conhecimento das características geológicas e hidrogeológicas dos locais estudados, para que se

tenha respostas sobre o comportamento dos contaminantes, forma de exposição e seus riscos para a população possivelmente afetada.

De maneira geral o conhecimento hidrogeológico desta região é incipiente, com poços perfurados até a franja capilar, tornando as respostas descontínuas e as pesquisas incompletas.

Quando há derramamento acidental de combustíveis no solo, por derrames junto às bombas e nos bocais de enchimentos dos reservatórios no abastecimento, como também a partir de deficiência na construção/colocação das canaletas ou no piso que recobre o posto, este obrigatoriamente previsto na Resolução CONAMA 273/2000 (BRASIL, 2001), ou pode ser caso de vazamento contínuo do tanque, por corrosão ou deficiência de fabricação, cuja durabilidade varia entre 15 a 20 anos (OLIVEIRA; LOUREIRO, 1998), comum em postos anteriores à legislação que determina o licenciamento ambiental deste empreendimento.

Figura 13 - Esquema de derramamento de combustível

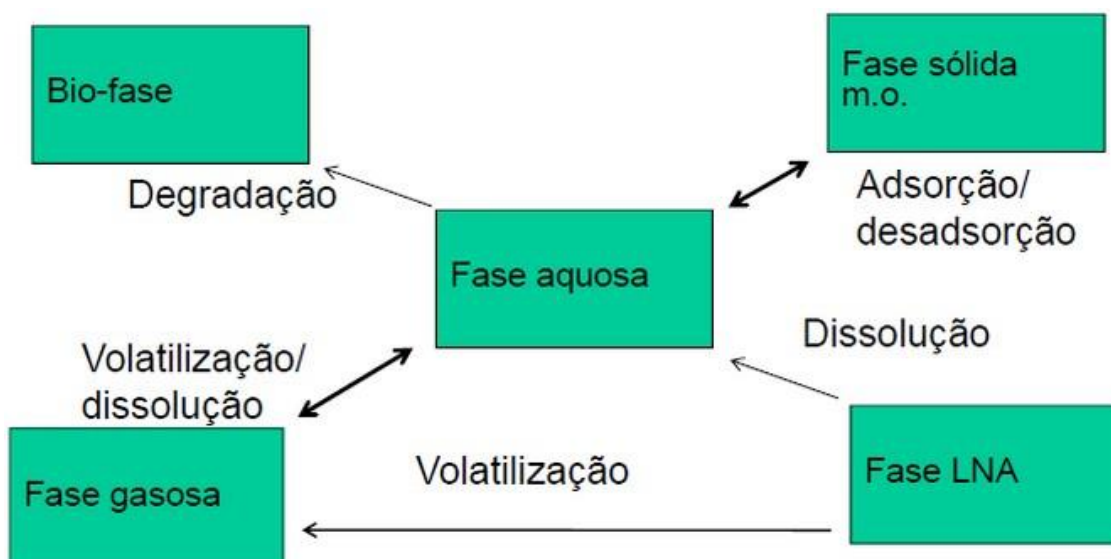


Fonte: Fetter (2000, p. 437)

As fontes de contaminação de hidrocarbonetos são originadas a partir do derramamento no solo e na água subterrânea. Dependendo de sua intensidade e

localização podem ser pontuais, apresentando-se em tamanho local, assim como podem ser multipontuais, isto é, diversas plumas interligadas difusa ou sequencialmente. Outros processos são importantes para determinar a extensão e a forma da contaminação; uma delas relaciona-se com a geoquímica do contaminante, que por mudanças em suas propriedades físico-químicas provoca um maior potencial de contaminação, quando ao penetrar no subsolo na forma mais usual, o NAPL – fase líquida não aquosa, fica saturado, torna-se imiscível e forma uma pluma crítica devido aos elementos tóxicos presentes (BERTOLO; ALVES; MAXIMIANO, 2018). Os diferentes produtos derivados do petróleo apresentam díspares características, como solubilidade, volatilidade, densidade, viscosidade e biodegradabilidade, que afetam o seu comportamento no solo/água subterrânea (JORGE, 2017).

Figura 14 - Esquema de comportamento de geoquímica do contaminante

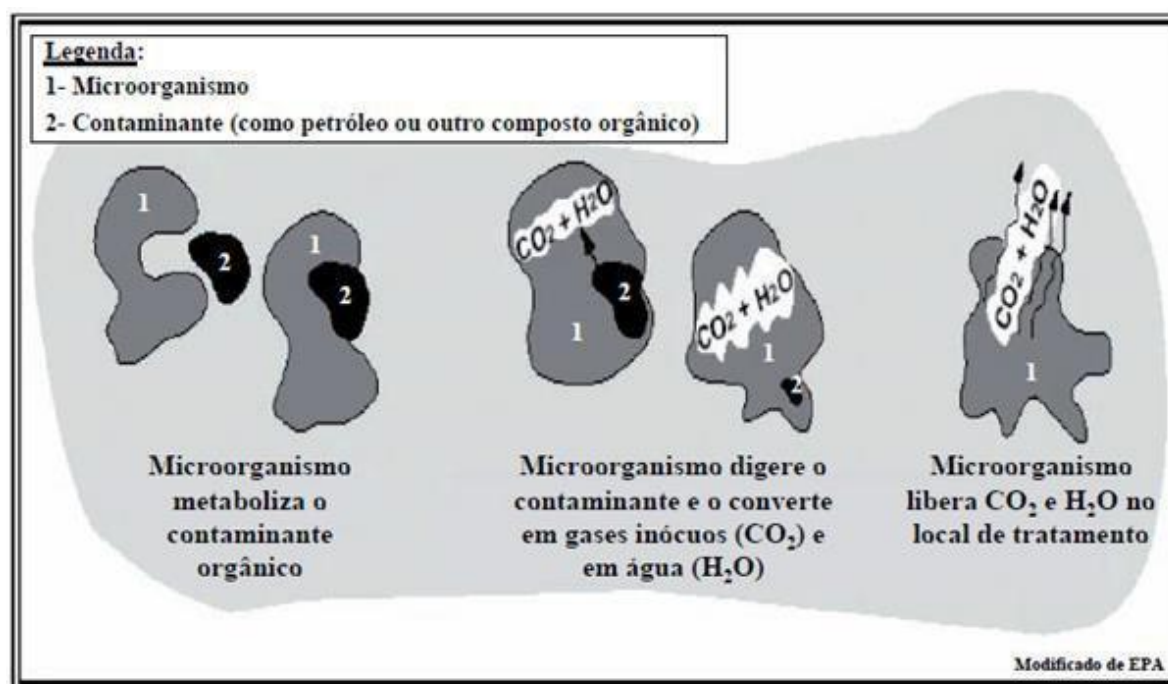


Fonte: Jorge (2017, p. 34)

A solubilidade é a capacidade que tem o contaminante em se dissolver no solo ou água subterrânea. Se a massa for pouco solúvel num mesmo espaço e tempo poderá ficar numa fase líquida não aquosa. A sua capacidade de passar de um estado puro para o vapor (volatilidade) depende da pressão medida de vapor e da Lei de Henry; então, como estas medidas são proporcionalmente relacionadas a sua grandeza, quanto maior esta, o composto se torna mais volátil. A adsorção é a fixação das moléculas do contaminante nos sólidos do subsolo; ocorre com maior afluência em matérias orgânicas e argilo minerais. Outra fonte é o decaimento ou atenuação,

que consiste, basicamente, em destruição do contaminante no local através de métodos biológicos. O processo mais usado no decaimento ou atenuação é a biorremediação, com uso de microrganismos que causam uma diminuição na toxicidade do contaminante e no risco aos humanos e meio ambiente (BERTOLO; ALVES; MAXIMIANO, 2018).

Figura 15 - Esquema de biorremediação simplificado



Fonte: Andrade, Augusto e Jardim (2010, p. 24)

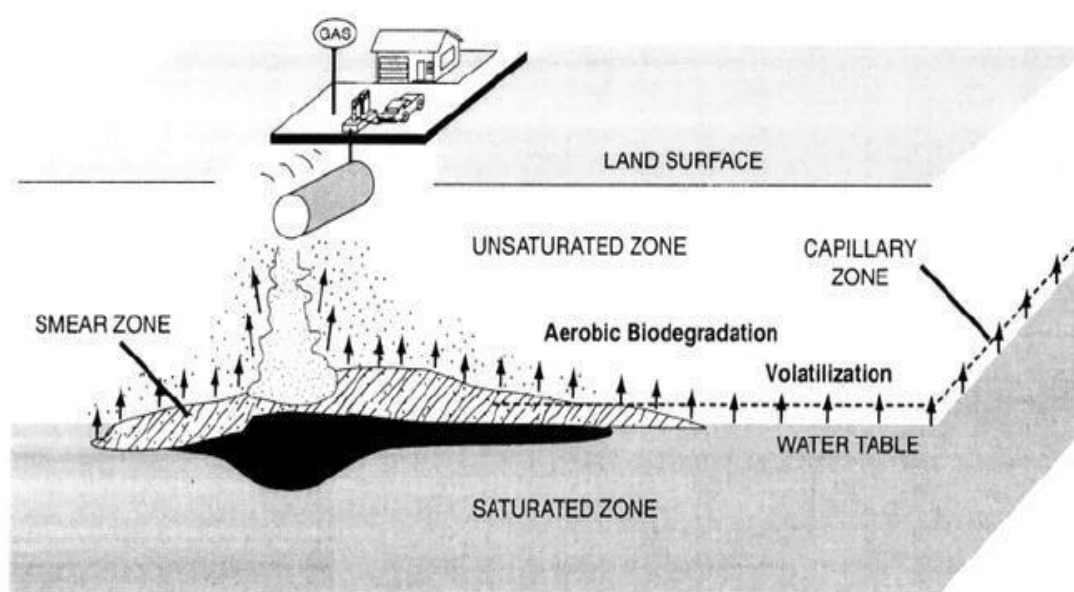
Percebendo-se que a geoquímica dos contaminantes é a principal característica associada aos mecanismos de transporte tem se que os principais mecanismos e processos associados em meios porosos saturados e não saturados estão descritos, entre outros, como fluxo, difusão, dispersão e retenção (VASCONCELOS, 2008). A descrição do processo de transporte de contaminantes relacionado aos fenômenos físicos de advecção, dispersão, retardação e decaimento feito por Bertolo, Alves e Maximiano (2018) mostra que devem ocorrer com frequêncianeste local.

Quando há vazamento de combustíveis e estes penetram no subsolo dissolvendo-se na água subsuperficial, é natural que ocorram sérios problemas ambientais, principalmente se for a gasolina, que tem suas frações aromáticas formada por BTEX – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos – bastante solúveis e

tóxicos, podendo provocar riscos consideráveis à saúde humana e ao meio ambiente (CUNHA et al., 2008). O benzeno, um dos constituintes que tem a solubilidade mais elevada que a dos demais, sendo o mais tóxico dos BTEX, é carcinogênico e pode causar óbito pela inalação ou ingestão, além de outros distúrbios de saúde (BERTOLO; ALVES; MAXIMIANO, 2018).

Na figura 15 pode-se notar que, por diferença de densidade, uma parte dos constituintes fica acima da água até que, passado algum tempo, se dissolve, volatiliza e difunde.

Figura 16 - Contaminação por derramamento de combustível



Fonte: Lahvis, Baehr e Baker (1999, p. 754)

Quando se relaciona ao risco causado é preciso considerar o potencial de propagação do contaminante, que aumenta com a mobilidade. Levando em consideração que os componentes dos combustíveis BTEX já apresentam acentuado transporte, estes ficam ainda mais problemáticos com a adição do álcool anidro à gasolina e a utilização do álcool etílico hidratado como combustível. Constatou-se que o álcool hidratado é mais corrosivo que a gasolina e pode perfurar o tanque mais rapidamente, causando uma contaminação mais rápida e menos perceptível ao solo e a água subterrânea (TROYÃO, 2006).

Os receptores potenciais destes prováveis derramamentos são os seres humanos, as edificações e os reservatórios subterrâneos, entre outros. Alguns

contaminantes apresentam maior mobilidade, o que passa a ser um parâmetro chave para a avaliação de risco.

No caso particular dos humanos, a contaminação ocorre, provavelmente devidos poços de coleta de água que ficam ao redor dos postos de abastecimento, que podem ter vazamentos ou derrame. A probabilidade de se ter casos suspeitos de distúrbios provocados pela contaminação do solo e água subterrânea é proporcional ao de implantação de postos de combustíveis e bases de armazenamento, embora não se possa emitir comentários, ainda, sobre números de doenças cancerígenas e óbitos devido a inalação ou ingestão.

A maioria dos postos de combustíveis fez a troca dos tanques de aço carbono por tanques jaquetados, que normalmente são compostos por duas paredes, uma em aço-carbono e outra em fibra de vidro laminada, devendo haver entre elas um espaço intersticial para a instalação de sensor eletrônico de monitoramento, para prover a garantia, a qualidade e a segurança no armazenamento do combustível (BRASIL, 2019). No entanto foi constatado que, após a substituição dos tanques antigos, estes não foram destinados em locais adequados – o município tem como local de disposição um lixão, onde são levados todos os produtos inservíveis - assim como também não foi realizado o procedimento previsto na Resolução CONAMA 273/2000 (BRASIL, 2001), em relação a estudos de caracterização hidrogeológica e geológica, como também na previsão de corrosão do solo, assim como tornou-se inobservada a Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) , que determina “*o gerenciamento de áreas contaminadas para eliminar perigo ou reduzir risco à saúde humana*”.

Em um dos postos de abastecimento desativado há 20 anos foi constatado vazamento de gasolina no solo, que provocou contaminação dos poços de água na área; a empresa distribuidora de combustível assumiu o risco de contaminação, instalou um poço de monitoramento a jusante e durante muito tempo forneceu água potável aos moradores da redondeza; pouco tempo depois uma empresa local adquiriu o terreno e, sem fazer estudo de contaminação ou remediação, retirou o material contaminado do local e construiu um supermercado, com garagem subterrânea, onde poderá ter riscos consideráveis.

Em outros postos desativados foram executadas construções de empreendimentos novos e realizadas perfurações de poços de abastecimento de água, dos quais não temos respostas à provável contaminação, por não serem

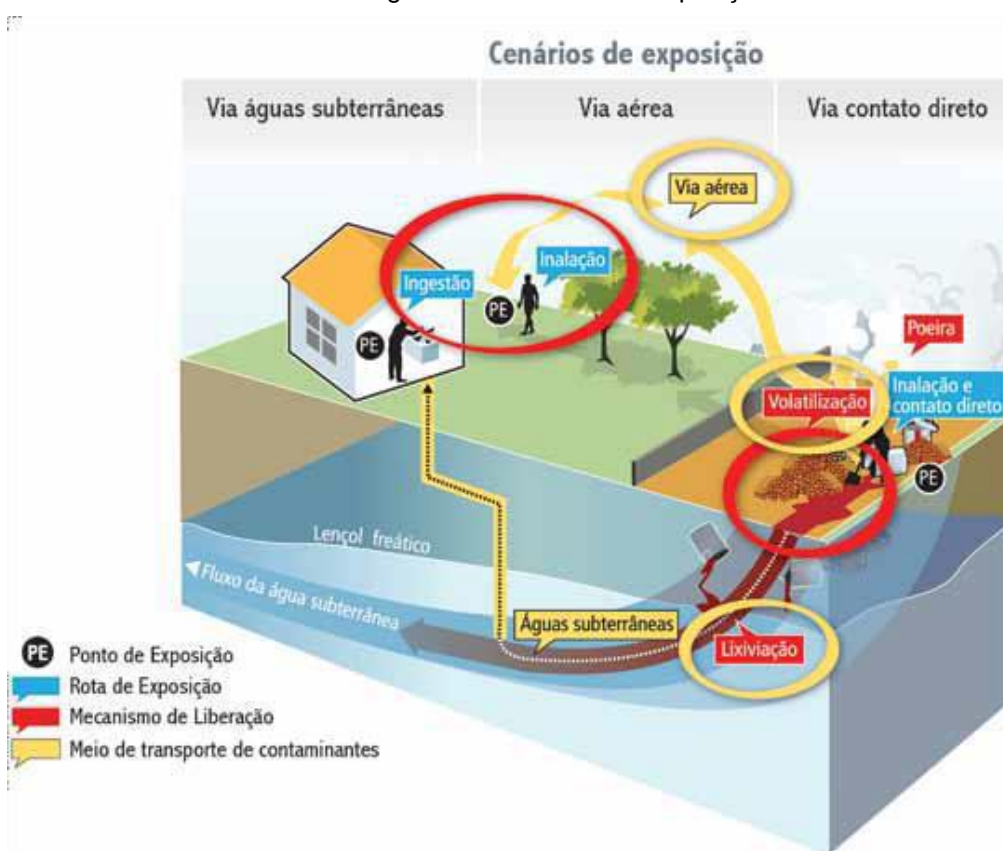
cadastrados no SIAGAS ou no portal SEMAS e/ou não terem sido realizados as devidas análises.

No caso de contaminação de solo e água subterrânea existem várias técnicas de investigação de áreas contaminadas descritas na literatura. Inicialmente dever-se-ia identificar a área suspeita de contaminação e fazer uma Avaliação Preliminar; para em seguida preparar um Plano de Amostragem com as informações preliminares e necessárias, com os seguintes dados: em quais locais se faria a amostragem, quais os ensaios necessários, as técnicas de amostragem do solo e da água subterrânea a serem implementadas entre tantos outros dados importantes para se fazer uma caracterização ambiental (BERTOLO; ALVES; MAXIMIANO, 2018).

Segundo Marker (2013) numa Avaliação Preliminar, os passos seriam:

- Na área fonte da contaminação verificar o tamanho e as características do foco;
- Na área fonte verificar dados sobre a difusão e propagação nos meios;
- Modelar o risco para a saúde humana olhando diversos cenários.

Figura 17 - Cenários de exposição



Fonte: Marker (2013, p. 37)

A CETESB, órgão ambiental do estado de São Paulo exige documentação comprobatória de áreas descontaminadas para o licenciamento ambiental, através da DD 038/2017/C (CETESB, 2017), reformulou as exigências e estabeleceu seis (6) etapas no Processo de Identificação de Áreas Contaminadas, para realizar medidas de intervenção, se necessário:

- identificação de áreas com potencial de contaminação;
- priorização de áreas com potencial de contaminação;
- avaliação preliminar;
- investigação confirmatória;
- investigação detalhada;
- e a avaliação de risco.

Após detalhar todos os dados previstos na Avaliação Preliminar, Marker (2013, p. 36) sugere que se faça uma investigação mais profunda sobre as possíveis contaminações, com coleta de amostras de solo, da água subterrânea, de gases e resíduos sólidos e, também as devidas análises laboratoriais. Esta etapa deverá resumir quais serão as respostas com relação à fonte de contaminação, as vias e mecanismos de propagação dos contaminantes em solo, água e ar além de definir com maior detalhe os dados sobre os receptores atingidos. De modo geral, as respostas à Avaliação Preliminar passam por levantamentos e interpretação de dados sobre o meio físico (geologia, hidrogeologia etc.), que poderão ser a base das investigações posteriores.

Após definição dos dados relacionados a Avaliação Preliminar (EAP) na região e ter resposta de que existe uma área suspeita de contaminação (AS) ou com potencial de contaminação (AP) pode-se estabelecer os procedimentos de gerenciamento de área contaminada (GAC).

O próximo passo seria, segundo as referências técnicas da CETESB, elaborar o Modelo Conceitual, que irá resumir todas as informações feitas na Investigação Preliminar (EAP) e determinar o transporte do contaminante até os receptores (CETESB, 2017). Em seguida executar a Investigação Confirmatória (EIC) para confirmar a suspeita de contaminação (AS) ou com potencial de contaminação (AP) utilizando coletas e análises químicas de solo, água subterrânea e água superficial.

Como trata-se de possível contaminação aos humanos, o passo seguinte seria efetivar a Etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana (EAR), nas seguintes etapas (BRASIL, 2013):

1. Coleta, Avaliação e Validação dos dados;
2. Avaliação de Exposição;
3. Avaliação de Toxicidade;
4. Caracterização do Risco.

As outras fases do trabalho do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) decorreriam a partir das etapas anteriores.

Considerando que, nos locais onde impera o desabastecimento de água potável e serviços de assistência à saúde, como em grande parte nesta cidade, se tornam mais sensíveis ambientalmente ter-se-ia que, finalmente, implantar um método de comunicação para prevenção dos malefícios proveniente de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo entre os empreendedores, o público e os órgãos licenciadores e fiscalizadores da atividade (SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE DA CIDADE DE SÃO PAULO - SVMA, 2012).

## 5 METODOLOGIA

Durante as etapas deste trabalho, inicialmente se realizou pesquisas bibliográficas para relacionar o arcabouço geológico e hidrogeológico da área de estudo, seguida da descrição do uso e ocupação do solo. Efetuou-se também pesquisa para o entendimento da contaminação da água subterrânea e superficial por hidrocarbonetos, sua caracterização e, de forma livre, uma especulação dos potenciais de contaminação e suas possíveis exposições a vida humana, ao meio ambiente e a natureza.

Para obtenção de dados para este trabalho utilizou-se, como base, do relatório de Oliveira (1996), que cadastrou, naquela ocasião, os poços profundos e rasos na zona urbana de Itaituba, inserindo nas planilhas: a localização geográfica, a medição da profundidade do poço, do nível dinâmico (ND) e do nível estático (NE), e a vazão, dentre outros dados. Os poços mapeados neste trabalho demonstraram que se encontram no núcleo urbano original, evidenciando uma densidade de dados muito próximos e, às vezes, repetitivos. Assim, nesta avaliação, os poços na proximidade dos postos de combustíveis foram escolhidos para que a visualização da possível contaminação por hidrocarbonetos se tornasse mais perceptível. Supõe-se que as medidas tomadas inicialmente podem apresentar distorções no nível estático (NE) dependendo da incerta época, se no período chuvoso ou seco, em que foram coletadas em campo.

Na etapa de trabalho de campo fez-se os levantamentos das cotas (altitude) onde os poços e postos estavam instalados, reportagem fotográfica de detalhes dos poços e caixas d'água (Anexo B) e posteriormente elaborou-se o levantamento cadastral dos postos de abastecimento de combustíveis, das bases de armazenamento e dos postos desativados na zona urbana de Itaituba, que foram lançados em base SIG (Anexo 1 – Tabela 3). A partir destes poços mapeados construiu-se o mapa potenciométrico – basicamente realizado a partir de uma relação entre as cotas da superfície e da profundidade da água subterrânea da área estudada, que podem indicar as possíveis localidades contaminadas. Posteriormente mapeou-se a localização dos postos de combustíveis, dos TRRNI e balsas fluviais de abastecimento na zona urbana, medindo a altitude nestes locais para a construção de dados do mapa de localização. Também se dividiu o mapa potenciométrico em 4

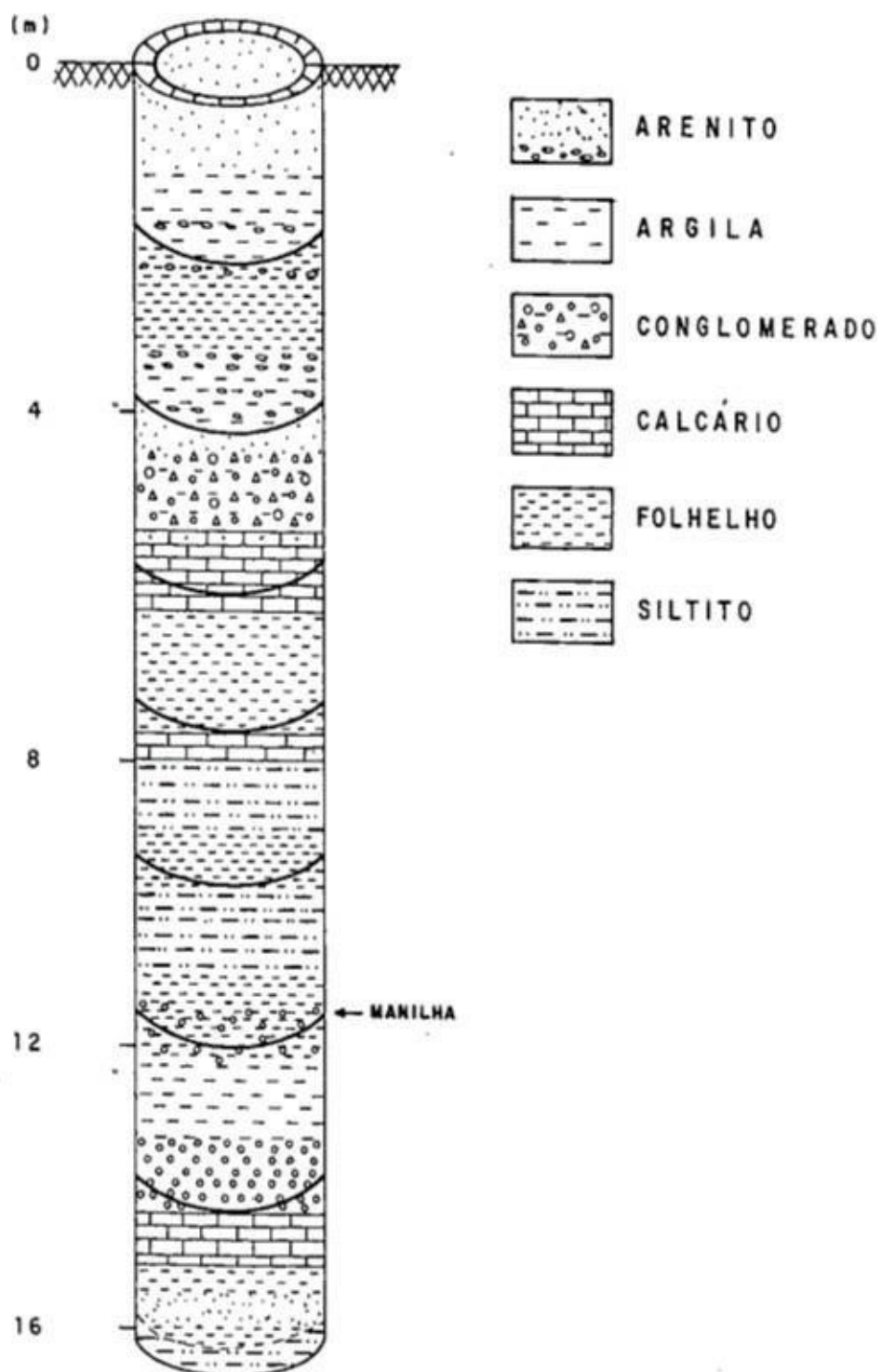
(quatro) destaques, onde estão localizados postos e poços, para melhor visualização e descrição dos destaques. O nível da água nos poços acompanha a topografia do terreno, sendo comumente captada do nível freático, embora em alguns casos o dono da obra determine que o construtor aprofunde até a zona rochosa mais resistente, sendo o trabalho facilitado pela retirada de água que flui para o poço, por motobomba. Os poços que se apresentam relacionados e que foram utilizados para este trabalho, em sua maioria, não estão cadastrados no SIAGAS, por não haver necessidade de cadastro deste tipo de poço. Em alguns casos, quando o financiamento bancário da moradia é solicitado, como complementação de documentos obrigatórios, a outorga de recursos hídricos e o solicitante requer a dispensa de outorga, em virtude do consumo abaixo de 5 m<sup>3</sup>/dia (PARÁ, 2010).

## 6 RESULTADOS

Como resultado do cadastramento dos poços observou-se que estes estão localizados nas proximidades dos postos de combustíveis e, partindo da generalidade que há um desperdício no descarregamento do combustível e no abastecimento de veículos e que o licenciamento ambiental dos empreendimentos é falho, poderia ser estabelecida uma conexão entre a possível contaminação por hidrocarbonetos dos postos de abastecimento de combustíveis e o uso de água coletada pelos poços rasos na zona urbana.

Nos bairros onde não há abastecimento público, os moradores escavam poços tipo amazonas (ou cacimba), com profundidade que variam de 10 a 20 metros, sendo a água utilizada em todos os afazeres domésticos - banho e cozinha - sem o devido tratamento. Estes poços são construídos de maneira bastante artesanal, manualmente, com diâmetro médio de 1,00 m (um metro), quase todos finalizados ao nível do solo e sem proteção contra infiltração de águas da superfície, de enxurrada pela boca do poço para seu interior pelo terreno ou entrada de objetos contaminados pela boca do poço (Foto 3 – Anexo B). Normalmente alcançam profundidades máximas de 20 m (vinte metros), são revestidos com tijolos ou manilhas de concreto (figura 18), que captam a água do lençol freático e, normalmente, não tem nenhum tipo de tratamento estabelecido. A água é coletada através de bombas submersas movidas por eletricidade, tipo centrífuga, sendo armazenada em caixas d'água de PVC, com capacidade de 500 a 1000 litros (Foto 2 – Anexo B) e imediatamente utilizadas no uso doméstico, inclusive para consumo humano.

Figura 18 - Perfil de poço amazonas

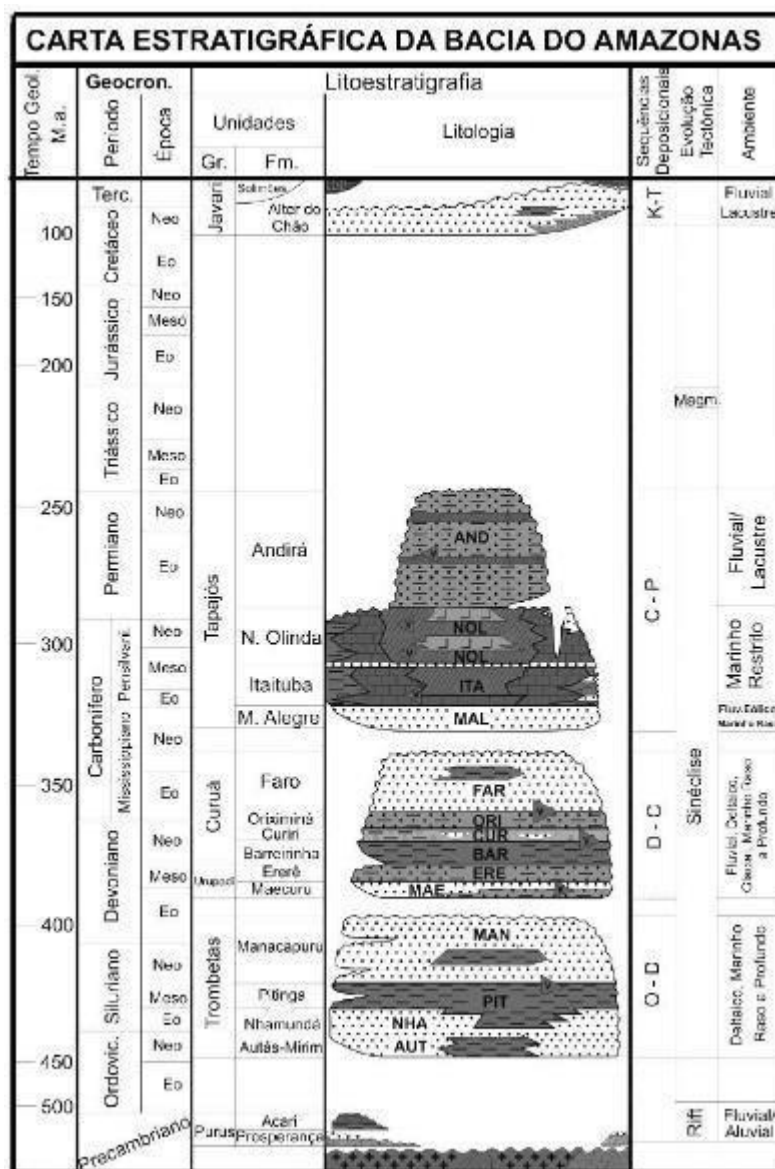


Os poços de água existentes na zona urbana de Itaituba e que foram incluídos em mapa hidrogeológico são passíveis de contaminação por LNAPL, por serem, maciçamente, captados no lençol freático. O risco maior é em relação aos solventes aromáticos halogenados (BTEX), que contaminam inicialmente o nível freático, e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), normalmente mais densos penetrando além do nível freático, os quais podem causar danos à saúde humana, restringir o uso aos recursos hídricos e ao solo e desvalorizar as propriedades (BARROS; PORTO, 2001).

Uma consulta ao sítio eletrônico da SEMAS, na página da Diretoria de Recursos Hídricos (SEMAS, 2020) e atualizado até 18/05/2018, constatou-se a existência de 02 (dois) processos de pedido de outorga ou dispensa de outorga de recursos hídricos em empreendimentos de comercialização de combustíveis no município de Itaituba, o que contrariaria o disposto na Instrução Normativa 11/2011 (PARÁ, 2011) para o licenciamento ambiental dessa atividade, inviabilizando as licenças ambientais dos demais postos estabelecidos no município e, conseqüentemente, seu funcionamento regular.

A geologia local indica que grande parte do território tem a Formação Itaituba como unidade principal, contendo fartos pacotes de calcários intercalados com folhelhos, siltitos e arenitos em ambiente deposicional nerítico (CAMPOS, 2015) e esta recoberta por sedimentos mais recentes, que atuam como primeira unidade aquífera dos aluviões que circundam o rio Tapajós e seus tributários, com espessuras médias de 20 metros. Ali a permeabilidade é muito alta, face o caráter arenoso do mesmo e com boas perspectivas hidrogeológicas para poços rasos, visto também as altas condições de recargas provenientes tanto das chuvas como dos cursos d'água que os drenam. São aquíferos descontínuos do tipo poroso, localizados e de caráter livre. Sobre a hidrogeologia do aquífero freático tem-se que esta é relacionada a coluna estratigráfica geológica local da Bacia do Amazonas, o Grupo Tapajós, constituída por Formação Andirá, Formação Nova Olinda, Formação Itaituba e Formação Monte Alegre.

Figura 19 - Coluna estratigráfica

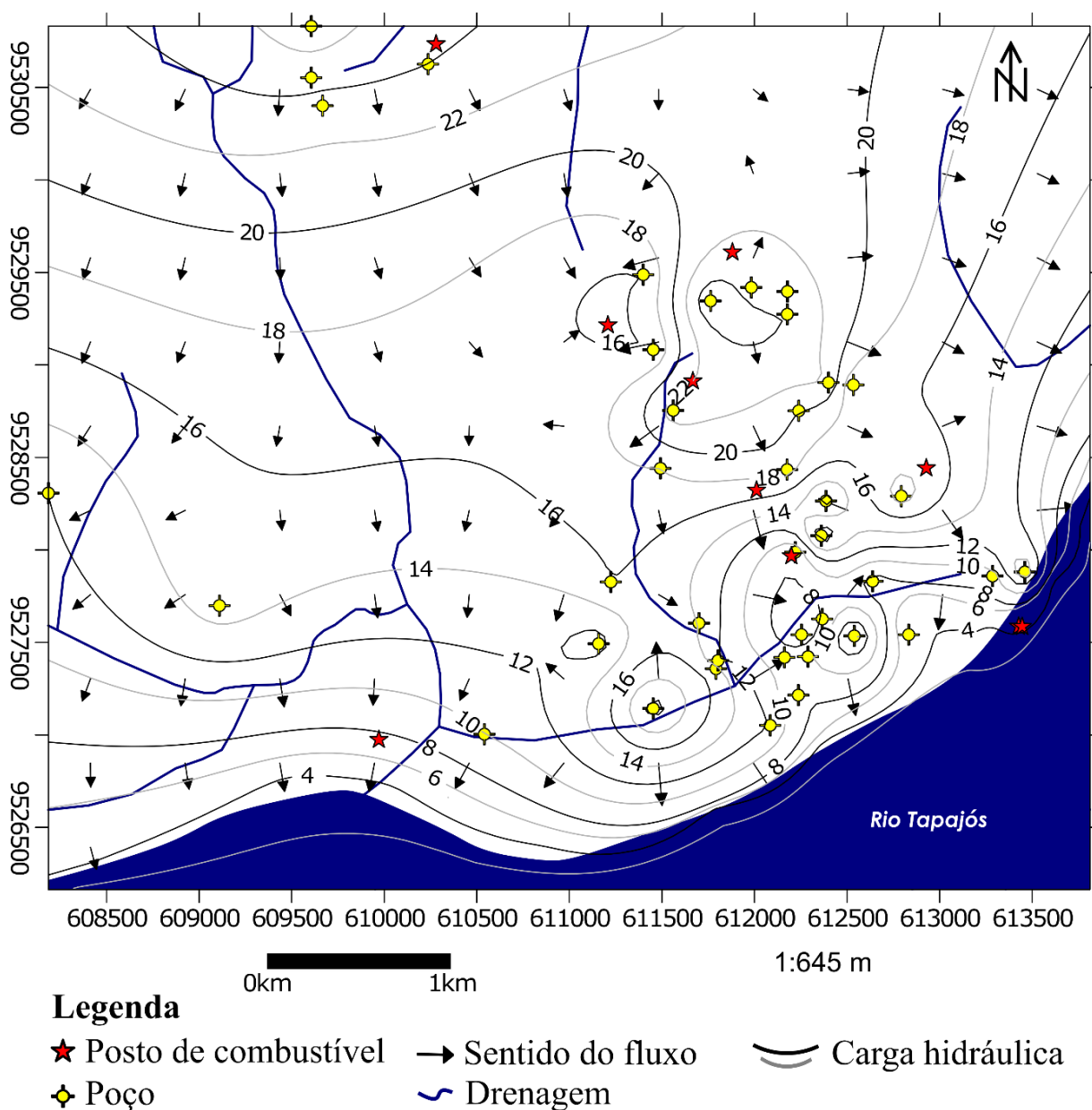


Fonte: Modificado de Eiras, 1998 Campos (2015, p. 47)

O mapa de superfície piezométrica, contendo os poços e os postos de abastecimento (figura 20), foi construído com dados geológicos adaptados de Oliveira (1996, p. 35-43), utilizadas pelas variáveis apresentadas, as quais foram obtidas através do levantamento topográfico e medição dos níveis estáticos das colunas d'água nos poços (Anexo 1 - Tabelas 02 e 03) e desenhados com auxílio do software Surfer® 13.6.618, que representa a variação da carga hidráulica nos diferentes poços, obtidas por meio da diferença das elevações das cotas topográficas pelo nível estático do poço. A superfície potenciométrica de um aquífero representa o estado de energia em que se encontra a água tanto nos limites saturados quanto nos não-saturados do

aquífero (LEITE, 2005). Para realizar este trabalho, dados de cerca de 40 (quarenta) poços foram coletados em diversos locais da zona urbana, mas principalmente onde estão localizados os postos de combustíveis. Foi possível desenvolver cartograficamente essa superfície através de linhas equipotenciais - linhas com o mesmo valor de carga hidráulica associados - e depois foi realizado o traçado das linhas de fluxo que indicaram a direção do fluxo subterrâneo. Nele pode-se notar que o fluxo da água subterrânea é, preferencialmente de Norte para Sul, também acompanhando a topografia do terreno e em direção ao leito do rio Tapajós.

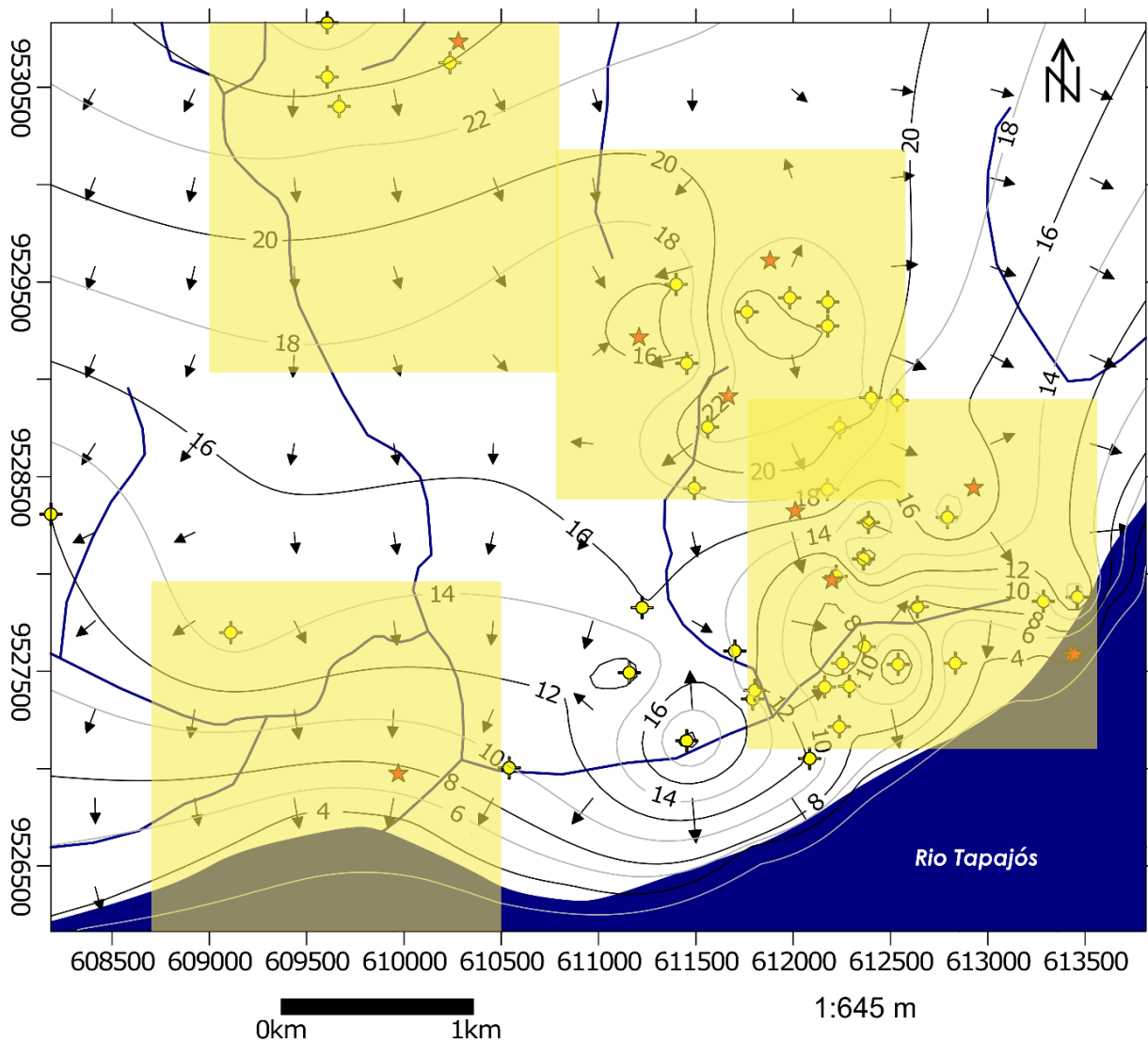
Figura 20 - Fluxo de água subterrânea



Fonte: O autor (2020)

Neste mapa (figura 21) foram feitos recortes de regiões e descritos abaixo, para ampliação de informações:

Figura 21 - Mapa com recortes



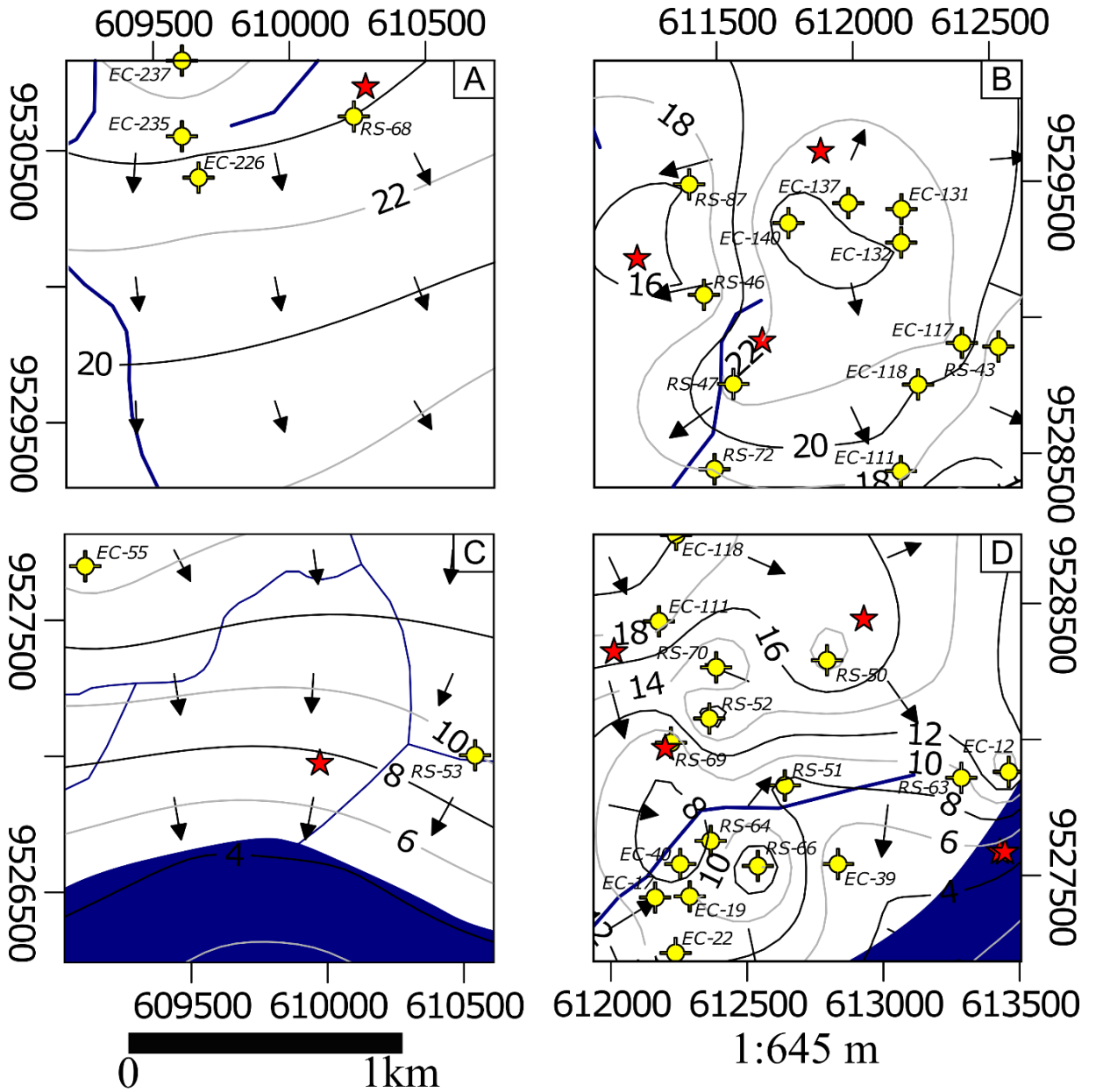
### Legenda

- |                        |                    |                    |
|------------------------|--------------------|--------------------|
| ★ Posto de combustível | → Sentido do fluxo | ⌒ Carga hidráulica |
| ◆ Poço                 | ~ Drenagem         |                    |

Fonte: O autor (2020)

Na representação visual do destaque A (figura 22) se pode perceber que há 1(um) posto de combustível localizado em um ponto que poderia, hipoteticamente através do fluxo de água, encaminhar diretamente o contaminante para um dos poços que estão mais próximos da fonte de contaminação a jusante, se houver um derramamento de combustível, mas dificilmente, devido à distância, de aproximadamente 500 (quinhentos) metros, contaminar os outros:

Figura 22 - Mapa com recortes de área



**Legenda**

★ Posto de combustível

⊕ Poço

→ Sentido do fluxo

~ Drenagem

⌒ Carga hidráulica

Fonte: O autor (2020)

Nos recortes B e D, onde a maioria dos postos de combustíveis estão posicionados, percebe-se que o fluxo da água está se movimentando em direções diferentes o que pode indicar uma mudança na litologia local ou a movimentação da água na direção do poço, além de haver a possibilidade de medidas tomadas em diferentes épocas do ano – tempo chuvoso ou seco – o que poderia mascarar os dados. Também neste recorte pode-se aventar que a possibilidade de contaminação seja mais expressiva que nos outros locais devido a quantidade de postos e de poços existentes.

No recorte C nota-se que a existência de um (1) posto, que está à jusante dos dois (2) poços e demonstra que não há possibilidade de contaminação em virtude do sentido do fluxo (N-S), que vem carreando a água subterrânea em direção ao rio Tapajós.

Em relação aos postos de abastecimento, a implantação destes foi observada em locais de grande afluência e trânsito de veículos, nas principais vias urbanas locais. Como instrumento de gestão pública seria conveniente que se realizasse, oficialmente, a identificação e o registro dos empreendimentos, também em bases geográficas (SIG) para entendimento do processo de urbanização e cadastro continuado (MARKER, 2013). Também há a possibilidade de que ocorram contaminação do solo e da água subterrânea via vazamento dos tanques, em virtude da validade de uso dos mesmos; derrame involuntário quando fosse abastecido por caminhões tanques; durante o abastecimento de veículos nas bombas e, como os funcionários imediatamente lavam o piso e destinam o líquido para a caixa separadora de água e óleo (caixa SAO), esta pode não estar sendo limpa com a frequência necessária para evitar a contaminação, além de possibilidade de transbordamento dos líquidos da caixa para os esgotos, que encaminham para o leito do rio Tapajós.

Para que as informações sobre áreas contaminadas no país sejam públicas, a Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) instituiu o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC), que deve ser alimentado pelos órgãos ambientais estaduais. Mas, apesar desta obrigação, somente 3 estados, até 2016, haviam enviado as informações: Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Atualmente, ao se fazer um levantamento geral, pouco ou nada se encontra nos portais ambientais oficiais dos estados sobre o assunto (IBAMA, 2016). No estado do

Pará, no portal SEMAS, não há registros de dados sobre identificação, mapeamento e gerenciamento de áreas contaminadas no estado e na região (SEMAS, 2020).

Na zona urbana de Itaituba, onde estão localizados os postos de abastecimento de combustíveis constatou-se, de acordo com as descrições na literatura, que a probabilidade de contaminação dos poços de água é muito grande, em virtude da proximidade entre eles e o descaso nos cuidados necessários para evitar.

Notou-se que não foi percebido pelas autoridades regionais e locais a necessidade de solução coletiva de captação, tratamento e distribuição de água, proteção do manancial e redução escalonada em recursos financeiros, principalmente na área de saúde, com o controle e prevenção de doenças e da mortalidade infantil (MINISTÉRIO DA SAÚDE: FUNASA, 1999).

## 7 CONCLUSÃO

O tema a que se abordou para discussão neste trabalho derivou de observação sobre os possíveis sítios de contaminação em postos de combustíveis, via derrame voluntário ou involuntário de hidrocarbonetos de petróleo, na água coletada de poços tipo cacimba ou amazonas no nível freático e consumida pela maioria da população de Itaituba, em virtude da precariedade de abastecimento público.

Avaliou-se, através de estudos já realizados em diversos países e no Brasil, particularmente já descritos em São Paulo, as correlações das possíveis fontes de contaminação por hidrocarbonetos na água subterrânea, as quais podem produzir efeitos carcinogênicos e tóxicos após o consumo da população, que pode ocorrer nesta localidade, devido a proliferação de poços de água e a instalação dos postos de combustíveis em suas cercanias.

Pode-se perceber que a geologia e a hidrogeologia local são fatores exponenciais na infiltração de produtos derivados de hidrocarbonetos de petróleo no solo, devido a sua litologia que no primeiro sistema aquífero tem aluviões variegados e posteriormente alcança o sistema confinante das Formação Monte Alegre, composta de arenitos fluviais e eólicos, depósitos de cascalhos mal formados e areias, intercalados por siltitos e folhelhos e depósitos carbonáticos e, principalmente, a Formação Itaituba, constituída de calcário, dolomita, folhelho, argilito, arenito e leitos de anidrita. Nestas formações hidroestratigráficas, que apresentam diferenciação entre as zonas de fluxo e as zonas de armazenamento, deve ser onde ocorre o transporte de elementos contaminantes, os quais, após solubilizados na água, podem contribuir para que a contaminação do nível freático nesta localidade, por se fazer a coleta de água para uso e consumo humano, atinja níveis preocupantes em relação à saúde pública e meio ambiente. Mesmo que a contaminação ocorra sem propósito tem-se que preocupar com a possibilidade de propagação dos contaminantes, devido a falência das linhas de transmissão dos tanques para as bombas, por defeito nos locais de enchimento dos tanques ou danos e transbordamento da caixa separadora de água e óleo – caixa SAO.

Constatou-se que a distância entre os postos de combustíveis e os poços de água podem ter contribuição íntima em virtude de suas proximidades e da disponibilidade de um evento de contaminação ocorrer, apesar das restrições legais

às proximidades de escolas, hospitais, locais de grande aglomeração de pessoas etc. além de considerar as possíveis interferências das atividades com corpos d'água superficiais e subterrâneos.

As coletas e análises de água e solo estipuladas na Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) e na Instrução Normativa 11/2011 (PARÁ, 2011) para determinação de ocorrência de BTEX ou PAH nos poços, provavelmente não são informadas e/ou possivelmente realizadas pelos empreendimentos, no município. Também se reportou que não são exigidos pelos órgãos ambientais, apesar das previsões legais, as coletas para análise da água e solo das regiões onde se localizam postos de armazenamento de combustíveis, que poderiam evitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas por derrame, voluntária ou involuntariamente, de combustíveis, ocasionando distúrbios na saúde municipal.

Percebeu-se, a partir do mapa potenciométrico, que a maioria dos postos de combustíveis se localizam a montante dos poços de água das residências, o que pode configurar uma tendência expressiva da contaminação por hidrocarbonetos.

A tabela 1 (Anexo A) faz um resumo da quantidade e de possíveis fontes potenciais dos contaminantes, dos equipamentos utilizados, do aspecto e do impacto ambiental, com comentário sobre a licenciabilidade do empreendimento.

Por ser uma zona urbana relativamente pequena poder-se-ia aumentar o nível da investigação das possíveis contaminações por esses postos de combustíveis através de relatórios pré-elaborados que contivessem dados sobre:

- a) o número, a capacidade e a idade dos tanques de armazenamento subterrâneo de cada posto;
- b) o tipo das tubulações utilizadas;
- c) os sistemas de segurança e monitoramento adotados no posto;
- d) proximidade entre poços de abastecimento de água ou cursos d'água e os postos distribuidores;
- e) possibilidade de contaminação de aquíferos;
- f) a distribuição da densidade geográfica de postos;
- h) as zonas com maior suscetibilidade a contaminações; e
- i) a proximidade de postos de locais como hospitais, creches, escolas etc.

Baseado neste trabalho elaborou-se sugestões para que seja minimizado o possível nível de contaminação do solo e dos recursos hídricos no município de Itaituba, tais como:

- Avaliação dos processos de implantação de novos postos de combustíveis seja feita com todas as exigências previstas nas Resolução CONAMA 273/2000 e na IN SEMAS 11/2011;
- Na renovação do licenciamento ambiental dos postos, pelo órgão municipal, atualmente existentes seja exigida a outorga de recursos hídricos, o estudo potenciométrico com instalação de poços de monitoramento e estudo de caracterização hidrogeológica e análises para BTEX e PAHs;
- Convenio entre o órgão estadual ambiental com o município para que este fiscalize a perfuração de novos poços profundos ou amazonas, com a devida caracterização geográfica para controle da captação no nível freático;
- Que o Conselho da Cidade de Itaituba cobre dos órgãos municipais envolvidos a concretização de medidas de controle no uso da água subterrânea.

Vale salientar que esta avaliação deveria ser ampliada, através de construção de piezômetros, poços de monitoramento, análises de água dos poços residenciais e comerciais e de resíduos de solo e água dos postos, para que se conclua sobre a efetiva contaminação da água subterrânea e do solo nesta localidade.

## REFERÊNCIAS

AMBIENTARE –SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. **Estudo de impacto ambiental: Estação de transbordo de cargas HBSA Tapajós. SEMAS Pará.** Belém, 2012.

742 p. Disponível em: [https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/eia/hbsa\\_tapajos.pdf](https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/eia/hbsa_tapajos.pdf). Acesso em: 27 jun. 2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Bacia Hidrográfica Amazônica.** Brasília: ANA, 2017. Mapa. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/mapas-regioes-hidrograficas/amazonica-para-site-ana-a0.pdf/view>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ANA. **Províncias Hidrogeológicas do Brasil. Agência Nacional de Águas.** São Paulo, 2004. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2020.

ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Eclét. Quím.** São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eq/v35n3/v35n3a02.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

ANP. **Consulta a postos. ANP.** Brasília, 2020. Disponível em: <https://postos.anp.gov.br/consulta.asp>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BARROS, Regina Mambeli; PORTO, Rodrigo de Melo. **Estudo de Risco de Poluição das Águas Subterrâneas causado por Vazamentos em Postos de Abastecimento de Combustíveis no município de Ribeirão Preto – SP.** In: I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1. 2001. **Anais eletrônicos [...]** São Paulo: ABAS, 2001. 263-274 p. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23978/0>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BERTOLO, Reginaldo Antonio; ALVES, Carlos Castro; MAXIMIANO, Alexandre. **Áreas Contaminadas: Comportamento de contaminantes em subsuperfície.** In: **Geologia de Engenharia e Ambiental.** São Paulo: ABGE, v. 3, 2018. cap. 35, p. 228-231.

BRASIL. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma n. 16209/2013,** de 02 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União.** São Paulo, 02 de setembro de 2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 273**, de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial da União**. Brasília, 08 de janeiro de 2001.

Disponível em:

[http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2000\\_273.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2000_273.pdf).

Acesso em: 22 jan. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 420**, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**. Brasília, 30 de dezembro de 2009.

Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>.

Acesso em: 17 Mar. 2020.

CAMPOS, Amélia Carolina Pimenta Parente de. **Paleoambiente e quimioestratigrafia da Formação Itaituba, carbonífero da borda sul da bacia do Amazonas, região de Uruará -Pará**. Belém, 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em:

[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/10710/1/Dissertacao\\_PaleoambienteQuimioestratigrafiaFormacao.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/10710/1/Dissertacao_PaleoambienteQuimioestratigrafiaFormacao.pdf). Acesso em: 12 Mar. 2020.

CAPUTO, Mario Vicente. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. Santa Barbara, 1984. Tese

(Doutorado) - University Of California, Santa Barbara, 1984. Disponível em:

[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/8961/6/Tese\\_StratigraphyTectonicsPaleoclimatology.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/8961/6/Tese_StratigraphyTectonicsPaleoclimatology.pdf). Acesso em: 18 mai. 2020.

CETESB. **Legislação: DD 38/2017/C. CETESB**. São Paulo, 2017. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.

COUTINHO, Maria Glícia da Nóbrega (Org.). In: CPRM. **Província Mineral do Tapajós: Geologia, Metalogenia e Mapa Previsional Para Ouro em SIG**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Disponível em:

[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/Cap3\\_Geologia\\_Geral\\_Provincia\\_Mineral\\_Tapajos.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/Cap3_Geologia_Geral_Provincia_Mineral_Tapajos.pdf). Acesso em: 8 mai. 2020.

CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2006. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/2967>. Acesso em: 15 jul. 2020.

CUNHA, Cláudia Duarte da et al. **Biorremediação de Água Subterrânea Contaminada com Gasolina e Análise Molecular da Comunidade Bacteriana Presente**. In: CETEM. **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**. Rio de Janeiro:

CETEM/MCT, 2008. Disponível em:  
[mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/322/1/sta-47.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/322/1/sta-47.pdf). Acesso em: 5 mai. 2020.

FEITOSA, Fernando A. C. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3a. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.

FERREIRA, Aurilene dos Santos. **Instituições Políticas Locais e Desenvolvimento Urbano: Uma Análise do PDDI de Itaituba. Papers NAEA 246**, Belém, 2009.

Disponível em:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:TuZs5cgjbcAJ:www.naea.ufpa.br/naea/novosite/index.php%3Faction%3DPublicacao.arquivo%26id%3D500+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&client=firefox-b-d>. Acesso em: 16 Jun. 2020.

FETTER, Charles Willard. **Water quality and ground-water contamination: Case history: ground-water contamination at superfund site**. In: FETTER, Charles Willard. **Applied Hydrogeology**. 4a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000. cap. 10.9, p. 385-440. Disponível em: [https://www.academia.edu/37164391/C.W.\\_Fetter\\_-\\_Applied\\_Hydrogeology\\_4th\\_Edition\\_2000\\_Prentice\\_Hall\\_](https://www.academia.edu/37164391/C.W._Fetter_-_Applied_Hydrogeology_4th_Edition_2000_Prentice_Hall_). Acesso em: 29 jun. 2020.

FOGAÇA, Paulo Henrique de Campos. **Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP**. Bauru, 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista — Júlio Mesquita Filho, Bauru, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Paulo-Henrique-Fogaca.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2020.

GONÇALVES, Gabriel Crivellaro. **ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM DUAS CIDADES AMAZÔNICAS A PARTIR DE DADOS TERRACLASS. INPE**. 2018. Disponível em:  
[http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser300:gabriel\\_crivellaro\\_goncalves.pdf](http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser300:gabriel_crivellaro_goncalves.pdf). Acesso em: 10 jun. 2020.

GUIMARÃES, Stella Bijos et al. Introdução. In: GUIMARÃES, Stella Bijos et al. **Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área sudeste do Tapajós, Estado do Pará**. Brasília: CPRM, 2015. cap. 1, p. 17. Disponível em:  
<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16601>. Acesso em: 19 jul. 2020.

IBAMA. **Banco Nacional de Dados de Áreas Contaminadas**. [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br). Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/areas-contaminadas/banco-de-dados-nacional-sobre-areas-contaminadas-bdnac>. Acesso em: 30 jun. 2020.

IBGE. **Censo Demográfico 1960. IBGE.** Brasília, 1961. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_1961.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_1961.pdf). Acesso em: 4 ago. 2020.

IBGE. **Censo Demográfico 2010. IBGE.** Brasília, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em: 21 Mar. 2020.

ITAITUBA. Câmara Municipal de Itaituba. **Lei n. 1164/1992**, de 05 de fevereiro de 1993. **Diário Oficial.** Itaituba, 05 de fevereiro de 1993. Disponível em: <https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/leis-ordinarias-1992-1/leis-ordinarias-de-1992/view>. Acesso em: 15 jul. 2020.

ITAITUBA. Câmara Municipal de Itaituba. **Lei n. 2884/2015. Diário Oficial.** Itaituba, 22 de março de 2016. Disponível em: <https://itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/2015/lei-2884-2015-aprova-o-plano-diretor-participativo-do-municipio/view>. Acesso em: 20 Mar. 2020.

JORGE, Celeste R. Ramalho. **Principais características e comportamento(s) dos diferentes contaminantes no solo. Seminário APEMETA “Descontaminação de Solos”.** Porto, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320556238\\_PRINCIPAIS\\_CARACTERISTICAS\\_E\\_COMPORTAMENTOS\\_DOS\\_DIFERENTES\\_CONTAMINANTES\\_NO\\_SOLO](https://www.researchgate.net/publication/320556238_PRINCIPAIS_CARACTERISTICAS_E_COMPORTAMENTOS_DOS_DIFERENTES_CONTAMINANTES_NO_SOLO). Acesso em: 27 jun. 2020.

KLEIN, Evandro Luiz et al. Geologia. In: CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Folha Tapajós.**: Geologia. Brasília: CPRM, 2001. cap. 2, p. 1-32. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/4975>. Acesso em: 20 jul. 2020.

LAHVIS, Matthew A.; BAEHR, Arthur L.; BAKER, Ronald J. **Quantification of aerobic biodegradation and volatilization rates of gasoline hydrocarbons near the water table under natural attenuation conditions.** In: LAHVIS, Matthew A.; BAEHR, Arthur L.; BAKER, Ronald J. **Water resources research.** 1999. cap. 3, p. 753-765. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/1998WR900087>. Acesso em: 18 jul. 2020.

LEITE, Cláudio Benedito Baptista. **Avaliação do impacto do reservatório de Três Irmãos sobre a superfície potenciométrica do aquífero livre na cidade de Pereira Barreto (SP): uma abordagem numérica e geoestatística.** Rio Claro - SP, 2005. Tese (Instituto de Geociências e Ciências Exatas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2005. Disponível em:

[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102906/leite\\_cbb\\_dr\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102906/leite_cbb_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 2 jul. 2020.

MARKER, Andreas. **Avaliação de potenciais de contaminação e revitalização em terrenos e brownfields: aspectos ambientais e econômicos**. In:

MARKER, Andreas. **Manual: Revitalização de áreas degradadas e contaminadas (brownfields) na América Latina**. 1a. ed. São Paulo, v. 1, 2013. 60 p. cap. 3, p. 18-23. Disponível em: [http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual\\_INT\\_Portugues\\_Final.pdf](http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual_INT_Portugues_Final.pdf). Acesso em: 20 jun.2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE: FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília: COEDE/ASPLAN/FNS, 1999.

OLIVEIRA, Josafá Ribeiro de. **Potencialidades Hidrogeológicas da Área Urbana de Itaituba com Proposta Técnica para Perfuração de Poços Tubulares Profundos para Abastecimento de Água Subterrânea**. CPRM. 1996. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8977>. Acesso em: 26 fev. 2020.

OLIVEIRA, Leonardo Inácio de; LOUREIRO, Celso de Oliveira. **Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: avaliação preliminar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, X. 1998. **Anais eletrônicos [...]** São Paulo: ABAS, 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1188>. Acesso em: 21 fev. 2020.

PARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Pará. **Lei n. 6381/2001**, de 25 de julho de 2001. **Diário Oficial**. Belém, 25 de julho de 2001. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2001/07/25/9760/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

PARÁ. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução n. 9**, de 18 de outubro de 2010. **Diário Oficial**. Belém, 18 de outubro de 2010. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2010/10/18/10101/>. Acesso em: 10 fev. 2020.

PARÁ. Secretaria de estado de meio ambiente. **Instrução Normativa n. 11/2011**, de 12 de setembro de 2011. **Diário Oficial**. Belém, 12 de setembro de 2011. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2011/09/12/instrucao-normativa-no-112011-de-12092011/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

RODRIGUES, Rita Maria et al. **Estudo dos Impactos Ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós – pré-diagnóstico**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.

SANTOS, Antonio Manuel dos (Org.); MONTICELLI, João Jerônimo (Org.). **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: ABGE, v. 3, 2018.

SCHUBER, Eliana Souza Machado. **Influência da atividade garimpeira na dinâmica urbana das cidades amazônicas: o caso de Itaituba/Pará**. Belém, 2013. Dissertação (Núcleo de Meio Ambiente, Pós-graduação em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - UFPa, Belém, 2013. Disponível em:  
[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6757/1/Dissertacao\\_InfluenciaAtividadeGarimpeira.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6757/1/Dissertacao_InfluenciaAtividadeGarimpeira.pdf). Acesso em: 25 Mar. 2020.

SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE DA CIDADE DE SÃO PAULO - SVMA. Comunicação de Riscos. In: SVMA/ICLEI-BRASIL. **Manual: Promovendo a comunicação e a participação social e institucional no planejamento urbano**. 1a. ed. São Paulo: ICLEI-Brasil, 2012. cap. 3, p. 42-75. Disponível em: [http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual\\_INT\\_Comunicacao\\_Risco\\_FINAL.pdf](http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual_INT_Comunicacao_Risco_FINAL.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

SEMAS. **Outorgas e Declarações de Dispensa em vigor**. SEMAS. Belém, 2020. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/diretorias/recursos-hidricos/outorga/processos/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SILVA, Guilherme Galeão da et al. **Geologia das folhas SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins**. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. Disponível em:  
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/Projeto%20RADAMBRASIL/Projeto%20RADAMBRASIL%20v04.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SILVA, Rosimar Lima Brandão et al. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil**. *Cadernos de saúde pública*, São Paulo, v. 18, p. 1599-1607, 8 abr 2002. Disponível em:  
<https://www.scielo.org/article/csp/2002.v18n6/1599-1607/pt>. Acesso em: 16 Mar. 2020.

SOUZA, Corina Fernandes. **Análise da dinâmica: população, ciclos econômico e sistema de abastecimento de água do município de Itaituba-Pará**. Belém, 2017. Dissertação (PPGEDAM/NUMA) - UFPa, Belém, 2017. Disponível em:  
<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/9529>. Acesso em: 8 abr. 2020.

TROVÃO, Renata Silva. **Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos – SP**.

São Paulo, 2006. Tese (Escola Politécnica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-09082007-183630/publico/DissertacaoRenataSTrovao2006.pdf>. Acesso em: 18 Mar. 2020.

VASCONCELOS, Anelisa. **Transporte de contaminantes em meios porosos saturados e não saturados: estudo de caso - vazamento de gasolina**. Ouro Preto, 2008. Dissertação (Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

## ANEXO A — Tabelas

Tabela 1 - Fontes de contaminação do solo e água subterrânea em Itaituba

TIVIDADE/Nº EMPRESAS	FONTE POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO	UIPAMENTOS UTILIZADOS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	COMENTÁRIO
TRRNI/03	Carregamento e descarregamento de combustíveis	Caminhões - tanques e tanques de estocagem	Pode provocar vazamento ou derramamento	Contaminação do solo e água	Empreendimento licenciável
Postos de combustíveis/21	Armazenamento de gasolina, óleo diesel e álcool anidro	Caminhões tanques, tanques e bombas de abastecimento	Pode provocar vazamento ou derramamentos	Contaminação do solo e água	Empreendimento licenciável

Fonte: O autor (2020)

Tabela 2 - Poços de água

	Ponto	Lat (UTM)	Long (UTM)	Profundidade (m)	Nível Água	Carga Hidráulica
1	EC-111	612176	9528434	28,00	9,50	18,50
2	EC-117	612400	9528905	26,00	3,70	22,30
3	EC-118	612239	9528752	25,00	5,10	19,90
4	EC-12	613460	9527881	22,00	6,12	15,88
5	EC-131	612178	9529397	29,00	5,60	23,40
6	EC-132	612177	9529274	29,00	5,40	23,60
7	EC-137	611983	9529419	29,00	5,80	23,20
8	EC-139	611592	999275	27,00	4,80	22,20
9	EC-17	612162	9527419	23,00	14,10	8,90
10	EC-19	612289	9527423	23,00	13,00	10,00
11	EC-193	611792	9527358	17,00	2,30	14,70
12	EC-194	611803	9527402	15,00	3,00	12,00
13	EC-195	611453	9527143	23,00	2,10	20,90
14	EC-198	611700	9527604	16,00	2,10	13,90
15	EC-208	611224	9527827	20,00	4,50	15,50
16	EC-22	612237	9527215	25,00	16,80	8,20
17	EC-38	612085	9527052	25,00	13,00	12,00
18	EC-39	612833	9527542	17,00	13,00	4,00
19	EC-40	612254	9527542	19,00	13,00	6,00
20	EC-4	611158	9527493	19,00	7,88	11,12
21	EC-55	609110	9527699	27,00	11,55	15,45
22	RS-43	612534	9528892	26,00	9,83	16,17
23	RS-47	611561	9528754	25,00	2,30	22,70
24	RS-50	612793	9528291	24,00	5,28	18,72
25	RS-51	612638	9527831	13,00	5,56	7,44
26	RS-52	612361	9528077	25,00	7,20	17,80
27	RS-53	610541	9527004	16,00	5,74	10,26
28	RS-63	613286	9527859	13,00	4,00	9,00

29	RS-64	612366	9527627	16,00	8,00	8,00
30	RS-66	612539	9527535	21,00	6,00	15,00
31	RS-69	612220	9527988	24,00	16,00	8,00
32	RS-70	612386	9528265	24,00	13,00	11,00
33	RS-72	611492	9528441	24,00	6,00	18,00
34	RS-68	610237	9530626	32,00	8,10	23,90
35	RS-87	611399	9529488	28,00	12,00	16,00
36	EC-235	609606	9530553	31,00	5,60	25,40
37	EC-237	609606	9530831	32,00	5,40	26,60
38	EC-226	609667	9530401	30,00	6,80	23,20
39	EC-8	608186	9528307	18,00	6,33	11,67
40	EC-140	611763	9529346	29,00	2,60	26,40
41	RS-72	611492	9528441	24,00	6,00	18,00
42	RS-46	611453	9529082	23,00	7,20	15,80

Fonte: O autor (2020)

Tabela 3 - Postos

NOME	LONGITUDE	LATITUDE	X	Y
Balsa Bandeirante	-55°58'42.15"	-4°16'25.21"	613427.3808	9527586.368
Balsa Equador	-55°58'39.80"	-4°16'23.98"	613445.7787	9527584.679
Posto São Matheus II	-55°58'50.07"	-4°16'26.85"	613129.3486	9527497.314
Posto Leal – 13 A	-55°58'58.64"	-4°16'19.41"	612865.1419	9527725.442
Posto Matheus I	-55°59'11.22"	-4°16'27.44"	612476.9853	9527479.708
Posto Equatorial	-55°59'20.27"	-4°16'11.58"	612198.6221	9527967.124
Posto Equador	-55°59'37.57"	-4°15'40.84"	611666.5094	9528911.824
Posto Dado	-55°59'52.44"	-4°15'30.99"	611208.4671	9529214.907
Posto Leal 13 B	-55°59'18.94"	-4°15'45.37"	612240.6822	9528771.960
Posto 29 <sup>a</sup>	-55°59'30.64"	-4°15'18.12"	611881.0700	9529609.259
Posto Leal BR	-55°59'58.89"	-4°15'23.88"	611009.8991	9529433.507
Posto Leal Buriti	-56° 0'51.44"	-4°14'53.87"	609390.9778	9530357.1688
Posto Nazaré	-55°58'56.63"	-4°15'56.07"	612928.0564	9528442.4651
Posto Primavera	-55°59'26.37"	-4°16'0.04"	612011.0283	9528321.7559
Posto Desativado Shell	-55°59'11.14"	-4°15'40.56"	612481.3470	9528919.3559
Posto Desativado WF	-55°58'50.09"	-4°16'24.98"	613128.5053	9527554.391
Posto Desativado Piscopo	-55°59'23.55"	-4°16'5.03"	612097.7661	9528168.402
TRRI Shell	-56° 0'32.47"	-4°16'44.03"	609971.4709	9526973.510
TRRI Ipiranga	-56° 1'38.67"	-4°17'4.34"	607929.8246	9526352.4219
BR Distribuidora AvGas	-56° 0'22.08"	-4°14'40.70"	610296.6298	9530760.470
Pioneiro AvGas	-56° 0'22.62"	-4°14'41.57"	610280.0158	9530733.732

Fonte: O autor (2020)

## ANEXO B — Reportagem fotográfica

Foto 1 - Detalhe caixa d'água



Foto 2 - Construção de poço amazonas

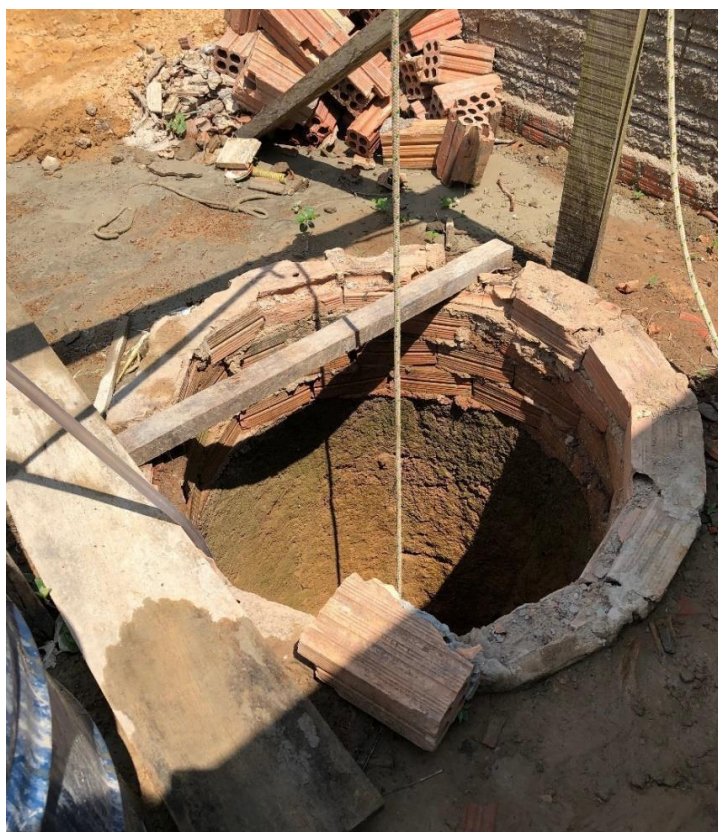


Foto 3 - Poço finalizado



Foto 4 - Vista de TRRNI



Foto 5 - Detalhe abastecimento no rio



Foto 6 - Balsa às margens do rio

