



UNIR
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA

Josilena de Jesus Laureano

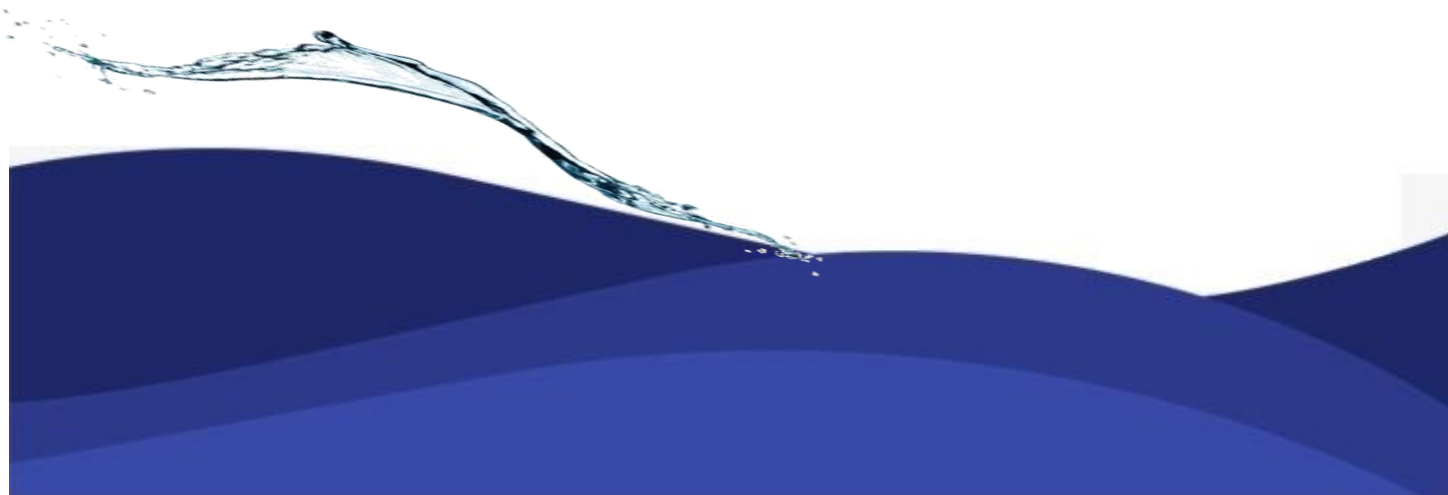
Prof^a. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

RELATÓRIO TÉCNICO

DIAGNÓSTICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA MICROBACIA DO IGARAPÉ NAZARÉ (JI-PARANÁ, RO): SUBSÍDIOS PARA O ENQUADRAMENTO

MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA



Sumário

1	APRESENTAÇÃO.....	1
2	INTRODUÇÃO.....	2
2.1	Objetivo.....	4
2.2	Área de estudo.....	4
3	METODOLOGIA APLICADAS.....	6
3.1	Coleta da água subterrânea.....	6
3.2	Análise da água subterrânea.....	8
3.3	Análise das Componentes Principais.....	9
3.4	Aquisição de dados.....	9
3.5	Tendência de direção de fluxo.....	10
3.6	Vulnerabilidade natural da água subterrânea.....	10
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	11
4.1	Aspectos Hidrossanitários.....	11
4.2	Resultados da avaliação microbiológica.....	15
4.3	Resultados da avaliação Físico- químico.....	18
4.4	Análise de Componentes Principais.....	26
4.5	Tendência de Direção de fluxo.....	28
4.6	Vulnerabilidade.....	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
6	RECOMENDAÇÕES.....	36
	AGRADECIMENTOS.....	37
	REFERÊNCIAS.....	37



1 APRESENTAÇÃO

A atual precariedade no setor de saneamento, principalmente na região Norte, associado a fatores como disponibilidade de água subterrânea e facilidade na captação das mesmas, faz com que a população utilize-se está como meio alternativo para o abastecimento doméstico. Contudo impactos decorrentes do uso e ocupação contribuem para a contaminação dessas águas, que podem servir como meio de veiculação de doenças hídricas, com reflexo na saúde pública.

Segundo o art. 9º da Lei nº 9.433/1997, o nível de qualidade da água, isto é, as classes a serem alcançadas ou mantidas, são estabelecidas pelo seu enquadramento, a fim de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

No entanto, o que ocorre é que a maioria dos estudos da qualidade da água está voltada à caracterização de áreas contaminadas, a vulnerabilidade e proteção dos aquíferos é um tema que necessita ainda ser incorporado na gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais (ANA, 2007).

Diante do exposto, buscando contribuir com o desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos na região, este relatório traz informações referentes a qualidade da água subterrânea na microbacia do Igarapé Nazaré em Ji-Paraná (RO), assim como estudos que visam subsidiar o seu enquadramento.

Este relatório foi elaborado como produto final do estudo desenvolvido pela mestrandia Josilena J. Laureano, sob orientação do Prof^ª. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento e co-orientação do Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos.

As informações contidas neste relatório fazem parte da dissertação intitulada **“Diagnóstico da Água Subterrânea na microbacia do Igarapé Nazaré (Ji-Paraná, RO): Subsídios para o Enquadramento”** apresentada ao programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos- Prof^ªÁgua da Universidade Federal de Rondônia-UNIR, *campus* de Ji-Paraná, Rondônia.



2 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, podendo ocorrer em zona não saturada e na zona saturada (BRASIL, 2008). Estão disponíveis em todas as regiões da terra, constituindo importante recurso natural, sendo utilizadas para atender aos diversos usos, devido sua grande disponibilidade e qualidade (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

Porém, em função da crescente demanda em seu uso, têm sofrido forte pressão, devido à superexploração e problemas de degradação da sua qualidade (MMA, 2007). De maneira geral a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da ação antrópica, pode-se dizer que é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (SPERLING, 2014).

A contaminação das águas subterrâneas é fonte importantíssima de deterioração dos recursos hídricos e das reservas disponíveis. Há diversas fontes de contaminação com efeitos diversificados e com repercussão na saúde humana (TUNDISI & TUNDISI, 2011). Entre as principais destacam-se: atividade industrial, área de destinação final de resíduos, postos com estocagem de combustível subterrâneos e área urbana sem rede de coleta de esgoto (HIRATA & FERREIRA, 2001). E os cemitérios, quando não contam com estudos sobre a geologia, hidrologia e saneamento (SILVA et al., 2017).

Essa contaminação se torna ainda mais preocupante tendo em vista que o Brasil possui condições sanitárias precárias na maioria das cidades, repercutindo, principalmente, sobre as taxas de mortalidade infantil (TUNDISI & TUNDISI, 2011). Cabe ressaltar, ainda, que o problema da contaminação das águas subterrâneas é agravado quando observado que as águas de poços subterrâneos, geralmente, são consumidas sem qualquer tipo de tratamento prévio (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

No estado de Rondônia dos 52 municípios existentes, 37 são abastecidos por mananciais superficiais, 10 municípios o abastecimento ocorre através de mananciais subterrâneos e em 5 o sistema é misto, embora como em todo o Brasil é comum que ocorra o abastecimento complementar por poços em algumas regiões (ANA, 2010).

A utilização da água subterrânea no abastecimento de água para o consumo humano no município de Ji-Paraná tem despertado preocupação, considerando-se a influência de fatores socioeconômicos domiciliares e fatores sanitários, pois é uma cidade desprovida de rede de



captação de esgoto sanitário, prevalecendo a utilização de fossas negras como alternativa para disposição do esgoto doméstico, visto que cerca 4% da população tem seu esgoto coletado mas não recebe tratamento, 18% utilizam soluções individuais e cerca de 77% da população não é atendida por esse serviço (BRASIL, 2018).

Quanto ao abastecimento doméstico de água este é realizado pela companhia de Água e Esgoto de Rondônia– CAERD, em julho de 2020 contava com cerca de 25.488 ligações ativas, sendo 24.298 ligações residenciais. No entanto o segundo distrito enfrenta sérios problemas na regularidade do abastecimento, moradores dos bairros JK, Nossa Senhora de Fátima, Primavera e Nova Brasília são os mais afetados (ALE RO, 2020).

Diversos trabalhos com água subterrânea como os realizados por Ferreira et al. (2013), Nunes et al. (2012), Helbel (2011) e Silva (2008) no município de Ji-Paraná, vêm associando a perda da qualidade dessas águas ao uso e ocupação do solo. Todos estes estudos encontraram presença de coliformes totais, *Escherichia coli* e nitrato, devido ao contato destas águas com esgoto doméstico e o uso de fertilizantes, indicando que estão impróprias para o consumo humano.

O estudo da qualidade da água é fundamental, tanto para se caracterizar as consequências de uma determinada atividade poluidora, quanto para se estabelecer os meios para que se satisfaça determinado uso da água (SPERLING, 2014). Neste sentido, medidas de planejamento ambiental, como a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos, são imprescindíveis no processo de ordenamento do uso e da ocupação do solo (MOURA et al., 2016).

A vulnerabilidade intrínseca de um aquífero é decorrente das propriedades físico-químicas inerentes do meio aquífero que expressa a susceptibilidade hidrogeológica da água ser afetada por contaminantes (MAIA & CRUZ, 2011).

Entre os métodos de avaliação da vulnerabilidade pode-se citar o método GOD que foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, e graças a sua simplicidade conceitual e de aplicação é amplamente utilizado apresentando bons resultados (FOSTER et al., 2006). É economicamente viável, principalmente para regiões carentes de dados, apresentando maior eficiência quando associados às análises de qualidade da água (CARDOSO et al., 2018). Além disso, o zoneamento da vulnerabilidade deve ser utilizado para a análise integrada considerando-se os tipos de fontes potenciais de contaminação, visto que



auxilia na tomada de decisão dos órgãos gestores da qualidade ambiental (BARBOSA et al., 2011).

A caracterização das águas subterrâneas é essencial para estabelecer a referência de sua qualidade (BRASIL, 2008), o que possibilita o seu enquadramento, que é um dos instrumentos de gestão proposto pela Política Nacional de Recursos Hídricos, que visa estabelecer o nível de qualidade, ou seja, as classes a serem alcançadas ou mantidas em um corpo d'água.

O enquadramento é de extrema relevância, serve de referência para os demais instrumentos de gestão dos recursos hídricos e de gestão ambiental, pois se apresenta como um importante elo entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGRH e o Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA (ANA, 2007).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH n° 91, de 2008, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, no art. 3° a proposta de enquadramento a primeira etapa é o diagnóstico.

Diante disso, realizar o diagnóstico da água subterrânea contribuirá com informações importantes para melhor gerir os impactos já existentes na área, este se apresenta como a primeira etapa para a realização de um futuro enquadramento, importante ferramenta para reverter impactos, e garantir a sustentabilidade desse importante recurso para as gerações atuais e futuras.

2.1 Objetivo

O objetivo deste relatório é descrever as informações levantadas durante a etapa de diagnóstico da água subterrânea realizados na microbacia do igarapé Nazaré, visando subsidiar o seu enquadramento.

2.2 Área de estudo

O município de Ji-Paraná está localizado na porção centro-leste do Estado de Rondônia, no sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, possui 116.610 habitantes (IBGE, 2010). O município possui área territorial de 6.896,649 km² e encontra-se entre os paralelos 8°22' e 11°11' de latitude sul e entre meridianos 61°30' e 62°22' de longitude oeste, estando a uma altitude 170 metros e, distante aproximadamente 373 km de Porto Velho, capital do Estado.



Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw-Clima Tropical Chuvoso, com média anual da temperatura do ar entre 24 a 26 °C, e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm (SEDAM, 2012).

De acordo com Cajazeiras et al. (2010) no município de Ji-Paraná podem ser identificados domínios hidrogeológicos: aquíferos Cristalino, Vulcânicas, Bacia Pimenta Bueno e Cobertura Sedimentar indiferenciada.

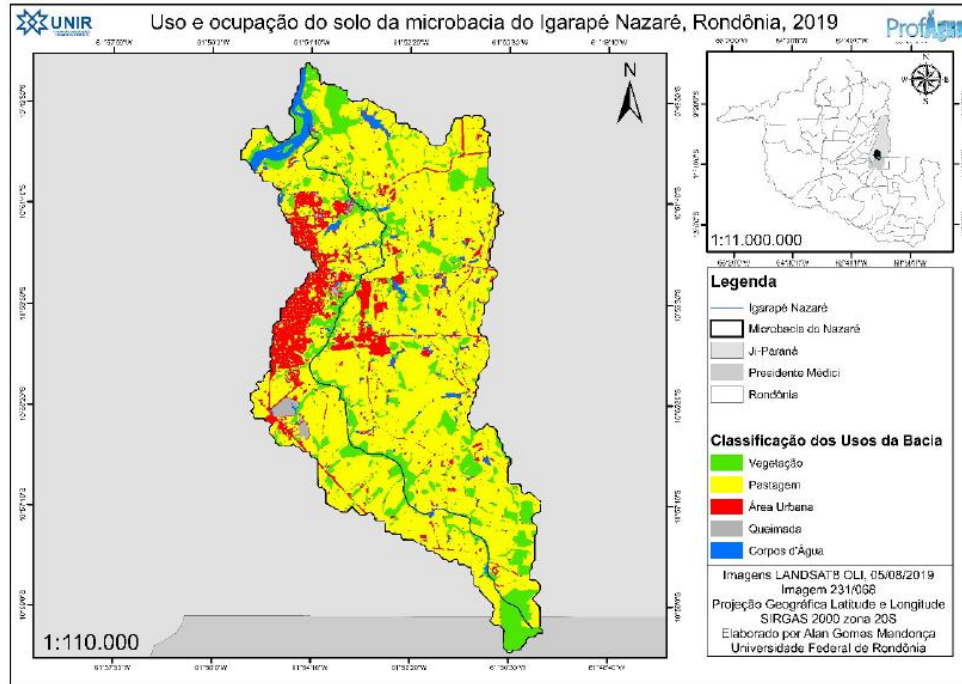
Em termos de representatividade geográfica, o Sistema Cristalino constitui o aquífero mais importante por sua distribuição e maior aproveitamento pela população. Embora esse domínio não seja importante como portador de aquíferos potenciais em comparação a outros domínios, representa uma alternativa de abastecimento de água as populações locais, sobretudo por meio de poços rasos (<40 m), a exemplo dos municípios de Ariquemes e Ji-Paraná (CAJAZEIRAS et al., 2010).

A área em estudo pertence a bacia Hidrográfica do rio Machado, segundo maior afluente do rio Madeira é o maior rio estadual em extensão, com aproximadamente 1.243 km, desde a nascente no rio Ávila (Vilhena) até sua foz no rio Madeira no distrito de Calama no município de Porto Velho (PESACRE, 2007).

A microbacia do Igarapé Nazaré está localizada na divisa entre os municípios de Presidente Médici e Ji-Paraná, porém grande parte de sua área encontra-se no município de Ji-Paraná. Possui área de aproximadamente 107 Km² (figura 1), e as principais atividades econômicas estão associadas à agropecuária, piscicultura e indústrias frigoríficas (MENDONÇA et al., 2020).



Figura 1 - Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Igarapé Nazaré 2019.



Fonte: Mendonça et al. (2020).

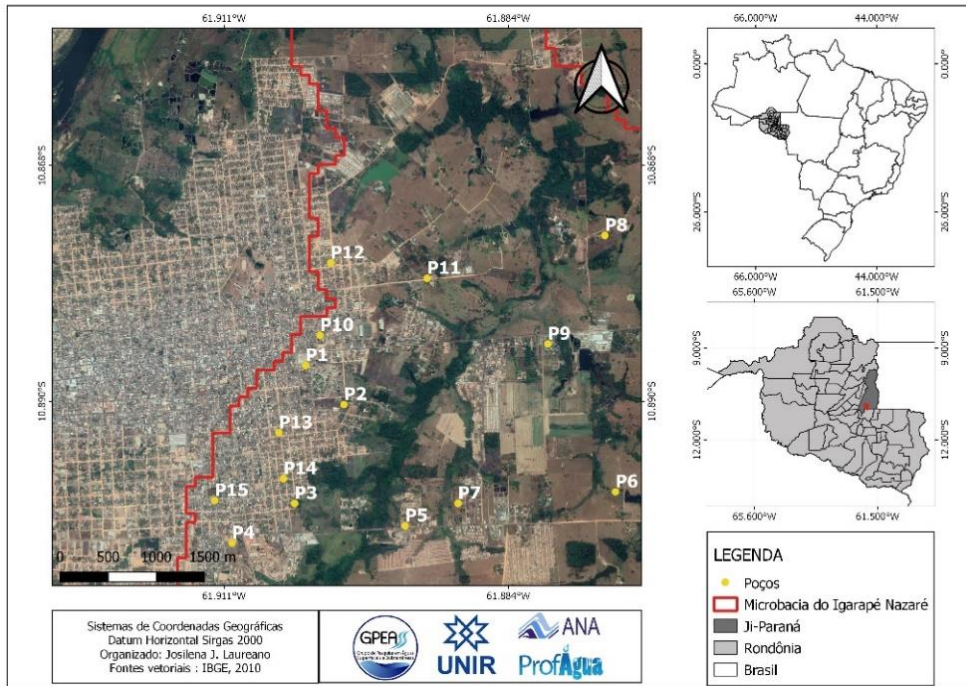
Segundo Mendonça et al. (2020) a microbacia é intensamente antropizada, cerca de 73,3 km² são ocupados por área de pastagem, 17,4 km² vegetação, 11,3 km² área urbana, 3,18 km² águas, 0,86 km² queimadas (figura 1).

3 METODOLOGIA APLICADAS

3.1 Coleta da água subterrânea

Foram selecionadas, de maneira aleatória, 15 residências que utilizam poços para captação de água destinada ao consumo humano (figura 2), e cujos responsáveis aceitaram participar da pesquisa mediante assinatura do termo de livre consentimento, a presente pesquisa foi autorizada pelo comitê de ética em pesquisa (nº parecer 3.941.852).

Figura 2 - Localização da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Rondônia), evidenciando a distribuição dos 15 pontos de coleta.



Fonte: A autora.

No intuito de representar os períodos sazonais da região foram realizadas 4 coletas que ocorreram no ano de 2019 conforme tabela 1. A escolha dos meses representativos para cada período foi baseado na série histórica da precipitação ocorrida na região representada na figura 3.

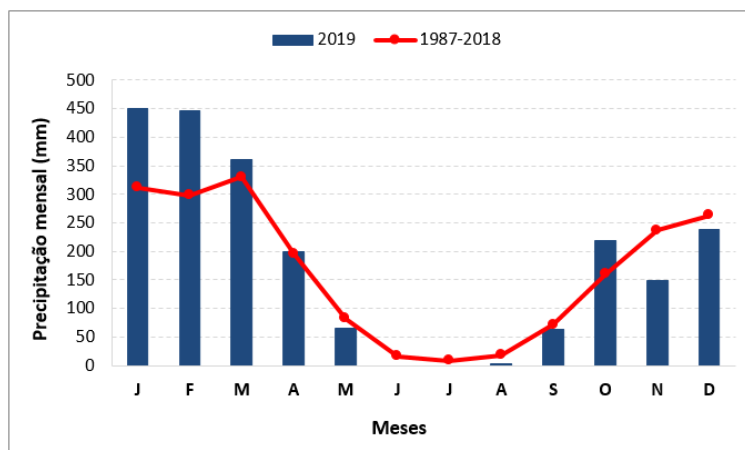
Tabela 1-Períodos amostrais na microbacia do Igarapé Nazaré em Ji-Paraná.

Mês de coleta	Período	Sigla
Março	Águas altas	AA
Junho	Transição de Águas altas para águas baixas	AA/AB
Setembro	Águas Baixas	AB
Dezembro	Transição de Águas baixas para águas altas	AB/AA

Fonte: A autora.

Figura 3 - Série temporal da precipitação média mensal na região do período de 1987 a 2018, e no ano de 2019.





Fonte: Agência Nacional de Águas-ANA (série histórica 1987-2018, estação 01061003, ano de 2019, estação 15560000).

No momento da coleta foram verificadas as características dos poços tais como: revestimento, profundidade, cota do poço e da fossa, condições das tampas.

A coleta da água ocorreu utilizando um coletor adaptado para água subterrânea, e a coleta foi realizada diretamente no poço (CETESB, 2011), e todas as análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM na Fundação Universidade Federal de Rondônia-UNIR (campus de Ji-Paraná).

3.2 Análise da água subterrânea

As análises de coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas conforme o método da membrana filtrante em meio cromogênico, conforme descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

As variáveis físico-químicas condutividade elétrica, temperatura e o potencial hidrogênio (pH) foram determinadas *in loco* por meio de sonda multiparâmetros (AKSO/AK88) (CETESB, 2011).

A análise de sólidos totais dissolvidos foi realizada utilizando-se sonda multiparâmetros de bancada (Hanna, modelo HI 3512) (CETESB, 2011).

As análises de turbidez foram realizadas com auxílio de turbidímetro portátil (HACH, modelo 2100 P) (CETESB, 2011).

O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método titulométrico (Winkler, 1969 descrito em APHA, 1995).

A alcalinidade total foi obtida por titulação potenciométrica com solução de ácido sulfúrico (0,01 N) (APHA,1995).

As análises dos nutrientes nitrato, nitrito, amônia, fósforo dissolvido e fósforo total foram realizadas por métodos espectrofotométricos descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

3.3 Análise das Componentes Principais

A fim de verificar a formação de padrões temporais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e as características dos poços, aplicou-se aos dados a Análise das Componentes Principais (ACP), via matriz de correlação.

A ACP é uma técnica de estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais, com o propósito de reter o máximo de informação contida nos dados com a menor perda possível da informação (VARELLA, 2008).

3.4 Aquisição de dados

Foi realizado uma pesquisa no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Onde foram selecionados os poços com informações referentes ao perfil litológico e a profundidade do nível estático. Como há poucos poços com essas informações localizados dentro da microbacia do Igarapé Nazaré foram selecionados todos os poços cadastrados no município.

Foi realizado um levantamento de pontos de potenciais fontes de contaminação da água subterrânea sendo eles: cemitérios, postos de combustíveis, lixões e indústrias. As coordenadas geográficas desses pontos foram obtidas utilizando as imagens do *Google Earth Pro*.

As informações referentes às cotas altimétricas na região dos poços, foram inferidas através do modelo digital de elevação MDE TOPODATA, as imagens foram adquiridas por meio do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil no site do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, com resolução de 30 metros, Datum WGS 84 (INPE, 2020).

Utilizando o software livre Qgis 3.4, as imagens processadas, e foram retirados os dados altimétricos dos poços e dos pontos de potencial contaminação.



3.5 Tendência de direção de fluxo

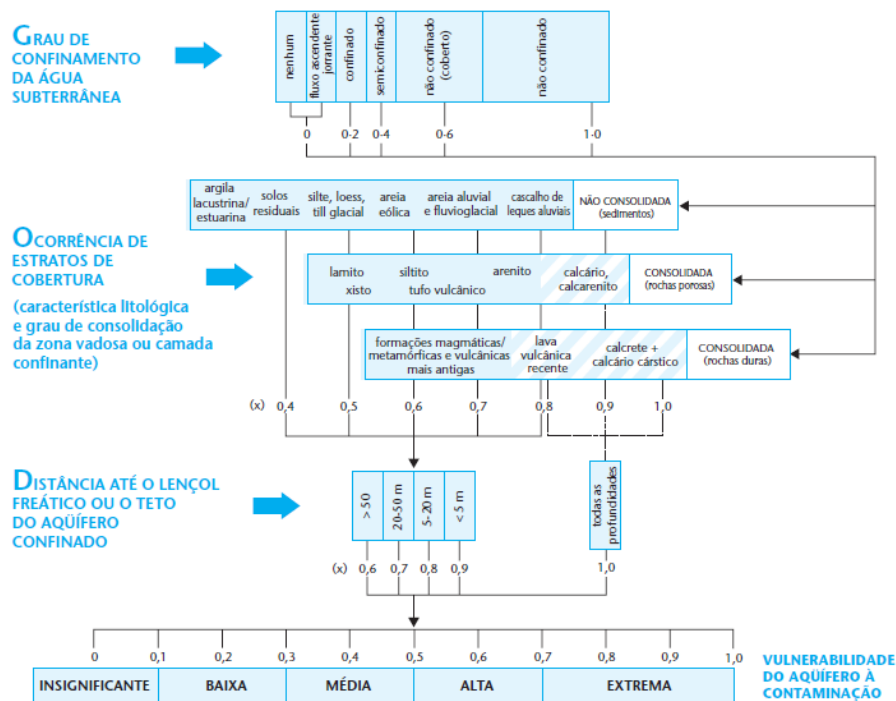
Foram utilizados as coordenadas geográficas, as cotas altimétricas e o nível estático da água no poço para obtenção da superfície piezométrica (relação entre altimetria do poço e o nível estático da água). A partir do Software *Surfer 13*, utilizando-se o interpolador *krigagem* foram gerados os mapas de tendência da direção de fluxo das águas subterrâneas.

O método de Krigagem é considerado uma boa metodologia de interpolação matemática de valores e é indicada para valores baixos e próximos (LOBLER et al., 2013).

3.6 Vulnerabilidade natural da água subterrânea

A vulnerabilidade natural da água subterrânea à contaminação foi obtida pela aplicação do método GOD (Foster et al., 2006), o qual é um índice resultante do produto dos valores encontrados em cada um dos parâmetros avaliados pelo método, conforme figura 4.

Figura 4 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Fonte: FOSTER et al, (2006).

Na metodologia GOD, a primeira etapa é a identificação do Grau de confinamento “G” e leva em consideração o tipo de aquífero, dos poços selecionados apenas 4 poços apresentavam essa informação, os poços sem informações foram classificados a partir da observação do

estrato litológico acima do nível freático conforme descrito por Oliveira et al. (2016), sendo atribuído valores entre 0 a 1,0.

A segunda etapa conforme apresentado na figura 4, se refere a Ocorrência de estratos de cobertura “O”, levando a uma pontuação na escala de 0,4 a 1,0. O terceiro parâmetro utilizado é a profundidade até o lençol freático “D” com classificação na escala de 0,6 a 1,0.

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices dos parâmetros avaliados com a obtenção da vulnerabilidade em classes que podem variar de insignificante à extrema conforme Figura 4, com valores de 0 a 1,0 respectivamente.

Utilizando as coordenadas geográficas e do índice de vulnerabilidade natural obtido para cada poço a partir do Software *Surfer 13*, através do interpolador *krigagem* foram gerados os mapas de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Aspectos Hidrossanitários

Dos 15 poços avaliados (tabela 2), dois poços (poço 5 e 15) são poços tubulares apresentando profundidade em torno de 50 m. Os demais poços são poços rasos (amazonas) apresentam 4 a 19,7 metros de profundidade.

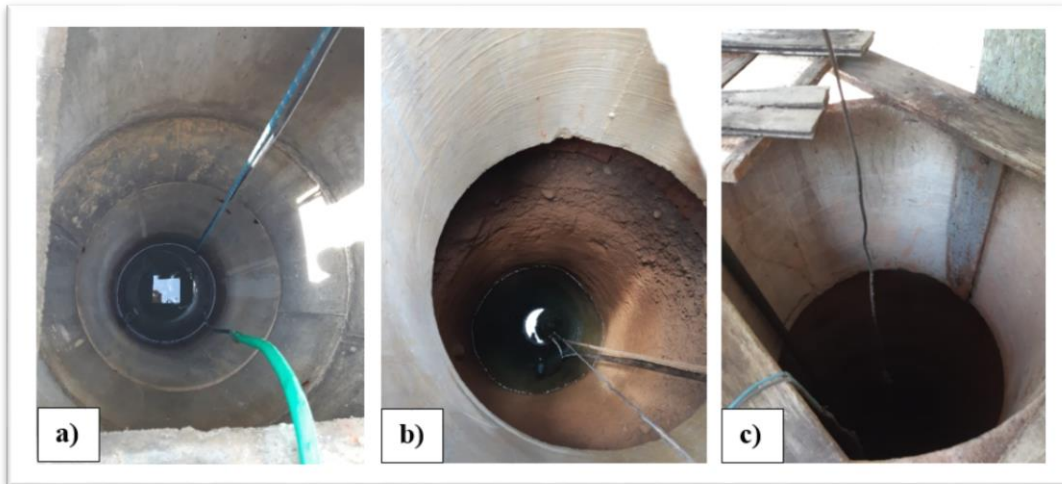
Tabela 2- Características dos poços amostrados.

Poço	Profundidade Poço (m)	Tipo de revestimento	Tampa/ Condições	Distância Poço-fossa	Cota poço	Cota fossa	Tipo fossa
1	11,40	Manilha	Alvenaria/más	16,5	177	185	Negra
2	8,83	Não	Madeira/más	29,1	180	173	Negra
3	4	Manilha	Alvenaria/ boas	14,74	165	177	Negra
4	12,24	Manilha	Alvenaria/más	69	174	175	Negra
5	50	Tubular	Lacrado	24,5	168	170	Negra
6	4,98	Não	Alvenaria/boas	50,2	160	164	Negra
7	6,31	Manilha parcial	Alvenaria/más	13,11	159	164	Negra
8	11,90	Alvenaria	Madeira/más	100,6	166	175	Negra
9	4,5	Alvenaria	Alvenaria/ boas	15,4	165	159	Negra
10	19,70	Não	Alvenaria/boas	26,30	181	181	Negra
11	12,22	Não	Alvenaria/más	28,40	180	183	Negra
12	14,64	Manilha	Alvenaria/boas	19	182	193	Negra
13	+16	Alvenaria	Alvenaria/más	20,4	185	189	Negra
14	7,72	Não	Alvenaria/boas	20	175	180	Negra
15	>50	Tubular	Lacrado	13,20	183	184	Negra

Fonte: A autora.

Conforme observado cerca 33% (5 poços) não possuem nenhum tipo de revestimento, 53% (8 poços) apresentam revestimento de manilha ou alvenaria, destes 1 poço é parcialmente revestido (figura 5).

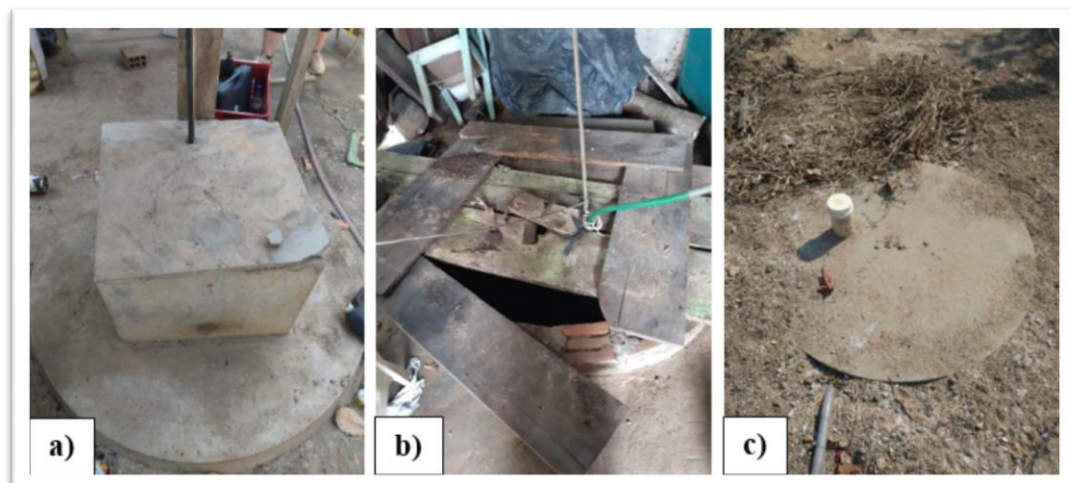
Figura 5- Condições de revestimento dos poços a) poço 3, b) poço 6, c) poço 8.



Fonte: A autora.

Com relação as tampas dos poços cerca de 73,3% (11 poços) possuem tampas de alvenaria destes 33% as tampas encontram-se em más condições apresentando rachaduras, orifícios ou próxima a superfície do terreno (figura 6). Nos poços 2 e 8 as tampas são construídas em madeira e se encontram em más condições.

Figura 6 - Condições das tampas dos poços a) poço 10, b) poço 2, c) poço 11.



Fonte: A autora.

Foi observado que 20% dos poços apresentam distância em relação a fossa inferior a distância recomendada de 15 m pela NBR 7.229/93, que trata de Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

De acordo com Silva (2008) não se pode estabelecer na zona urbana do município de Ji-Paraná uma distância segura entre poço e fossa, visto que a maioria dos terrenos do município tem medidas reduzidas, geralmente de 10x30m, frente e lateral, respectivamente.

Conforme pode ser observado na tabela 2 em 86,6% dos casos as fossa encontra-se em cota superior a do poço ou na mesma cota, essa situação favorece o fluxo do efluente doméstico para o interior do poço, agindo em alguns casos como possível foco de contaminação das águas subterrâneas.

Em todas as residências a disposição do esgoto doméstico é realizado através das fossas negras. O município de maneira geral não é assistido com serviço de rede de coleta e tratamento de esgoto a predominância na utilização desse tipo de alternativa para disposição dos esgotos domésticos no município de Ji-Paraná é comum e também foi relatada por Ramos (2017), Ferreira (2013), Cremonese (2014) e por Silva (2008).

A forma de abastecimento de água nas residências avaliadas ocorrem em 100% dos casos o através dos poços, porém em uma residência além do poço é utilizado o abastecimento pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia-CAERD.

Quanto a realização do tratamento da água antes do consumo, 8 participantes (53%) declararam realizar a cloração da água diretamente no poço, 2 (13%) fazem apenas a filtragem da água, 1 (7%) realiza a cloração e a filtragem da água, e 4 (27%) participantes não realizam nenhum tipo de tratamento antes do consumo.

Os que declararam realizar a cloração da água alegaram fazê-la diretamente no poço, e em períodos irregulares, variando esse período de uma vez por mês a uma vez a cada 4 meses.

A utilização do hipoclorito como tratamento da água na região é comum e também foi relatada nos estudos realizados por Ferreira (2013), Lauthartte (2013) e por Ramos (2017).

No entanto a aplicação de hipoclorito não é eficaz quando realizada diretamente no poço, pois devido ao fluxo não é possível estabelecer o volume correto da substância a ser aplicada, assim como pela sua característica volátil (BRASIL, 2014).

Em 33% dos poços avaliados não foi possível medir a profundidade de superfície da água. Nos poços 5 e 15 não foi possível medir a profundidade de superfície por serem poços

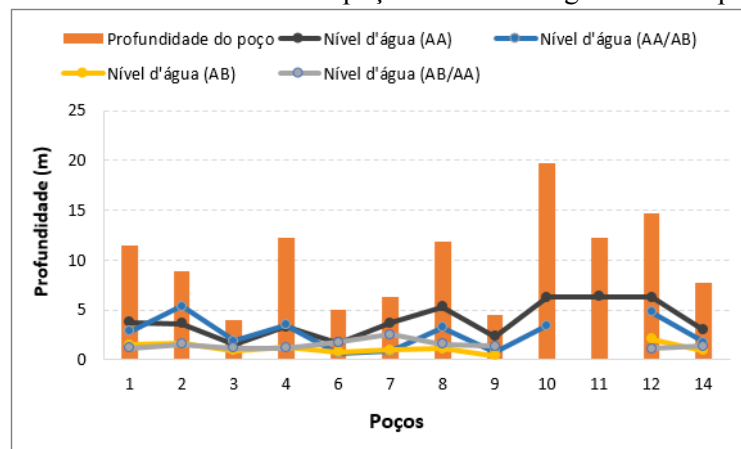


tubulares profundos, no poço 13 não foi possível a identificação da superfície da água devido a profundidade e a localização do mesmo, nos poços 11 e 10 também não foi possível a medição a partir da segunda coleta.

Em seis poços (40%) foi observado um aumento na profundidade da superfície da água nos períodos amostrados, indicando a redução da lâmina d'água ao longo do ano de estudo nos poços 1, 2, 4, 8, 12, 14. Em quatro poços, cerca de 27% a superfície d'água variou entre os meses analisados.

Para obtenção da lâmina d'água existente no poço foi subtraído da profundidade total o valor identificado da superfície da água (figura 7).

Figura 7 - Profundidade total dos poços e lâmina d'água em cada período.

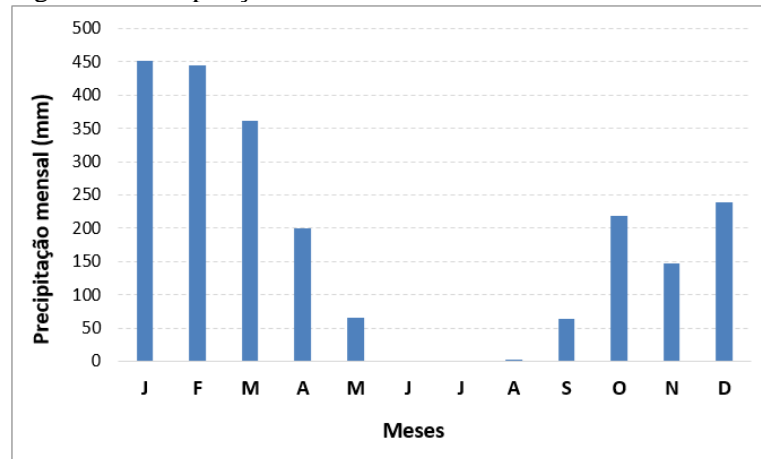


Fonte: A autora.

Os maiores valores da lâmina d'água ocorreram no período de águas altas (março) nos poços 1, 6, 7, 8, 9, 10, 12 e 14, o equivalente a 53% dos poços. Corroborando com o presente estudo, Cremonese encontrou no período seco menores lâminas de água nos poços, variaram de 0,39 a 2,89 m, e média de 1,48m. Martins (2011), encontrou valores variando de 0,40 a 2,74m e média de 1,41m. Segundo Cremonese esse rebaixamento ocorreu devido aos menores índices de precipitação, e o abaixando do nível do lençol freático.

Como pode ser observado, o período de maior precipitação mensal no ano de 2019 ocorreu de janeiro a março, e em fevereiro a precipitação mensal chegou a 445 mm. Tal fato, explicaria o maior volume de água nos poços na coleta do mês de março, uma vez que os poços em estudos são poços rasos, isso demonstra que o nível de água no lençol freático pode estar relacionado à precipitação na região no período.

Figura 8 - Precipitação mensal no ano de 2019.



Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas-ANA, estação 15560000.

Nos meses amostrados ocorreram precipitações mensais de 360,6 mm no mês de março (AA), no mês de junho (AA/AB) não ocorreu precipitação, 63 mm no mês de setembro (AB) e no mês de dezembro 238,2 mm.

4.2 Resultados da avaliação microbiológica

Os coliformes totais (CT) são os principais indicadores de contaminação utilizados, é um grande grupo de bactérias que tem sido isolada de amostras de água e solo poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e animais de sangue quente, são organismos de vida livre e não intestinal, podendo ser entendidos como coliformes “ambientais” (SPERLING, 2014).

Os resultados dos coliformes totais (CT) encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 - Resultado de coliformes totais e os valor recomendado pelas legislações.

Poços	AA	AA/AB	AB	AB/AA
	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL
1	38.000	3.300	14.000	22.000
2	5.000	5.500	7.700	18.000
3	5.000	700	6.500	26.000
4	8.059	1.900	12.300	8.000
5	45	500	521	5.000
6	159	13	800	6.000
7	4.000	200	5.100	34.000
8	10.021	8.900	4.100	9.000
9	1.430	7.400	18.500	118.000
10	18.013	500	350	18.000
11	1.001	200	220	34.000
12	2.001	40	225	7.000
13	2.356	2.100	1.509	16.000
14	36.000	1.100	820	3.053

15	Ausente	3	Ausente	*
Portaria PRC MS nº 5/2017	Ausente/100mL			
Resolução CONAMA nº 396/2008	Ausente/100mL			

(*) = residência encontrava-se fechada. Fonte: A autora.

Foi observada a ausência desse grupo bacteriano apenas no poço 15 nos períodos de águas altas e águas baixas.

Com relação aos resultados obtidos para o período de AA o máximo valor foi 38.000 UFC/100ml no poço 1, no período de AB todos os poços apresentaram contaminação variando de 3 UFC/100ml (poço 15) a 8.900 UFC/100ml (poço 8), no período de AB o máximo valor de coliformes totais ocorreu no poço 9 (18.500 UFC/100ml). No período de AB/AA novamente o poço 9 apresentou valor máximo (118.000 UFC/100 ml).

Os altos valores encontrados nos poços 1 e 9 podem ser explicados quando observados as características construtivas dos mesmos como, o poço 1, como pode ser observado na tabela 2 a tampa encontra-se em condições inadequadas, a fossa está localizada em cota superior a cota do poço, e no terreno foi observado a presença de animais domésticos e acúmulo de matéria orgânica. O poço 9 apresenta pouca profundidade (4,5 m) e está localizado nas proximidades de um igarapé que recebe grande quantidade de despejos de efluentes diversos.

A profundidade é uma característica que pode estar relacionada a qualidade da água, uma vez que pode reduzir a possibilidade de contaminação por substâncias que possuem baixa mobilidade no solo (CAPP *et al.*, 2012).

Nos poços 8, 10, 13, 14 houve uma variação da densidade de coliformes totais entre os períodos analisados, onde os meses de ocorrência de chuvas (março e dezembro) apresentaram valores elevados em relação aos encontrados no período com menor frequência delas (junho e setembro), esse resultado pode ser explicado pela redução das chuvas na região diminuindo assim a influência da água infiltrada no solo.

O aumento significativo nos meses chuvosos, ocorre devido ao carreamento da água da superfície para dentro dos poços, muitas vezes indevidamente vedados (FRANCO *et al.*, 2018; GROTT *et al.*, 2018; MESQUITA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2009).

A principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes é a *Escherichia coli* (*E. coli*), essa bactéria é encontrada em fezes humanas e de animais de sangue quente, é a única



que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal, no entanto não garante que a contaminação seja de origem humana (SPERLING, 2014).

No mês de março (tabela 4) os poços (3, 6 e 15) apresentaram ausência de *Escherichia coli* (*E. coli*), o máximo valor do período analisado ocorreu no poço 14 (17.000 UFC/100ml). Em junho foi observado ausência da bactéria nos poços (1, 7 e 11), e a densidade máxima encontrada 1.700 UFC/100 mL foi no poço 8 (tabela 3). No mês de setembro o máximo valor encontrado foi observado no poço 7 (2.600 UFC/100 mL), o único poço com ausência de *E. coli* foi o poço 15. Em dezembro todos os poços analisados apresentaram contaminação e a máxima densidade encontrada foi observada no poço 9 com 24.000 UFC/100 mL.

Tabela 4 - Resultado de *Escherichia coli* (*E. coli*) e os valor recomendado pelas legislações.

Poços	AA	AA/AB	AB	AB/AA
	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL
1	2.000	Ausente	1.100	2.000
2	1.000	100	1.000	1.000
3	Ausente	700	500	8.000
4	59	100	300	1.000
5	4	100	21	2.000
6	Ausente	1	600	2.000
7	1.000	Ausente	2.600	20.000
8	21	1.700	900	2.000
9	1.000	300	700	24.000
10	13	100	50	3.000
11	1	Ausente	20	6.000
12	1	5	25	2.000
13	2.000	1.100	9	4.000
14	17.000	400	20	53
15	Ausente	1	Ausente	*
Portaria PRC MS nº 5/2017	Ausente/100mL			
Resolução CONAMA nº 396/2008	Ausente/100mL			

(*) = residência encontrava-se fechada. Fonte: A autora.

Semelhante ao que ocorreu para as análises de coliformes totais os poços 13 e 14 novamente apresentaram uma variação da densidade de *E. coli* refletindo a variação sazonal, apresentando aumento e redução da densidade conforme ocorrem as chuvas da região.

A Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, e a Resolução do CONAMA nº 396/2008 estabelece que a água destinada ao consumo humano devem estar ausentes desses dois grupos bacterianos para atender aos padrões de potabilidade exigidos,



portanto a água subterrânea encontra-se imprópria para o consumo humano, podendo oferecer riscos à saúde pública se caso for consumida sem tratamento adequado.

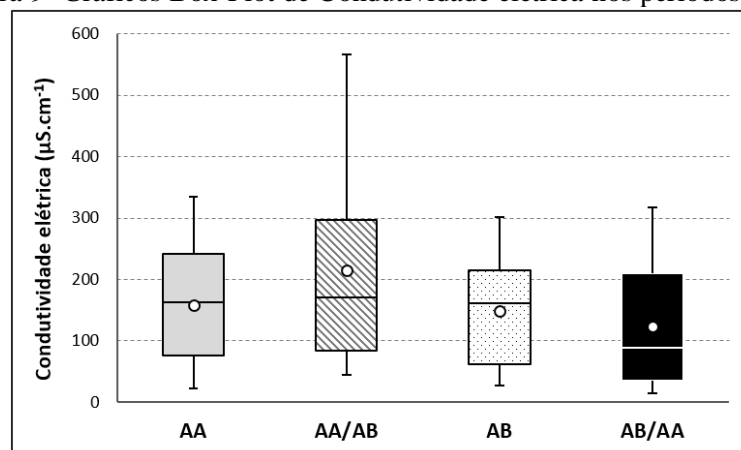
Essa situação é recorrente em diversas cidades Lauthartte *et al.* (2016) detectaram contaminação da água por *E. coli* em 100% dos poços de 82 residências no Distrito de Jaci-Paraná, em Rondônia. Ramos *et al.* (2017) no distrito de Nova Colina em Ji-Paraná encontraram contaminação em 100% dos poços avaliados e os valores máximos de CT 58.000 UFC/100 mL e *E. coli* de 38.000 UFC/100 mL associando a contaminação ao nível freático raso e a falta de saneamento. Oliveira *et al.* (2015), encontraram no município de Vilhena contaminação por coliformes em ambos os períodos estudados, e *E. coli* em 66% dos poços estudados, assim como no presente estudo os poços que apresentaram maior contaminação foram os do tipo amazonas.

4.3 Resultados da avaliação Físico- químico

Os resultados de condutividade elétrica (CE) encontram-se na figura 9. Foram encontrados valores que variaram de 14,6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período de transição de AB/AA a 567 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na transição entre AA/AB, a maior média encontrada foi de 214,6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ também nesse período.

O período de AB apresentou menor variabilidade dos dados, e de AA/AB a maior variabilidade, e em todos os períodos foram observados valores acima de 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A legislação não estabelece valor máximo para CE, no entanto as águas doces apresentam variação da condutividade entre 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (microSiemens) (BRASIL, 2006).

Figura 9- Gráficos Box-Plot de Condutividade elétrica nos períodos analisados.

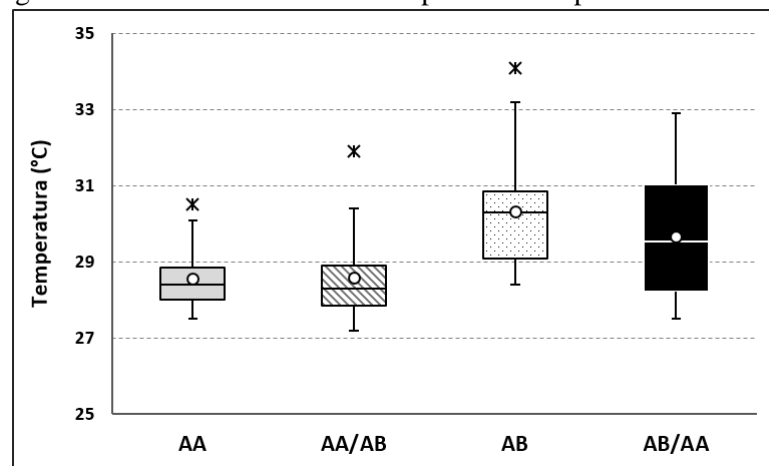


Fonte: A autora.

Conforme pode ser observado na figura 10 a temperatura da água subterrânea variou entre 27,2 nas AA/AB a 34,1 °C AB. O maior valor médio encontrado foi de 30,3 °C também no período de AB.

A legislação não estabelece limite para a temperatura das águas para consumo humano. No entanto segundo Santos (2008) a amplitude térmica anual das águas subterrâneas varia de 1 a 2 °C e independe da temperatura atmosférica, mas nos casos dos aquíferos freáticos (rasos), a temperatura é pouco superior à da superfície, fato que pode ser observado nos dados aqui apresentados, uma vez que os maiores valores de temperatura ocorreram no mês de setembro (AB) onde a temperatura atmosférica é elevada na região.

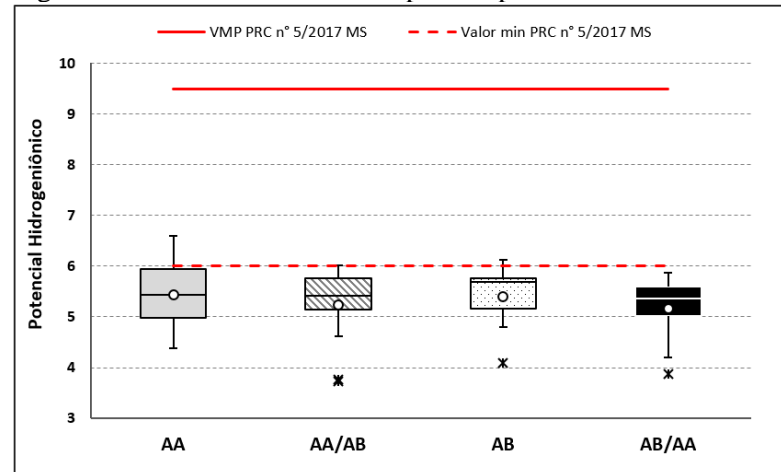
Figura 10- Gráficos Box-Plot de temperatura nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Os resultados encontrados (figura 11) para o período de AA apontam que 26,6% dos poços encontram-se dentro do intervalo de 6 a 9,5 estabelecido pela Portaria de consolidação nº 5 de 2017. No período de transição entre AA/AB esse percentual cai para 13,3% estando em conformidade apenas 2 poços. Nas AB apenas 1 poço apresenta em conformidade com valor de pH de 6,13. E no período de AB/AA 100% dos poços estiveram abaixo do limite permitido pela legislação.

Figura 11 - Gráficos Box-Plot de pH nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

O potencial hidrogeniônico indica a concentração de íons hidrogênio (H^+) e indica as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água podendo variar de 0 a 14, $pH=7$ é neutro, $pH<7$ indica acidez, e maiores indicam alcalinidade (SPERLING, 2014).

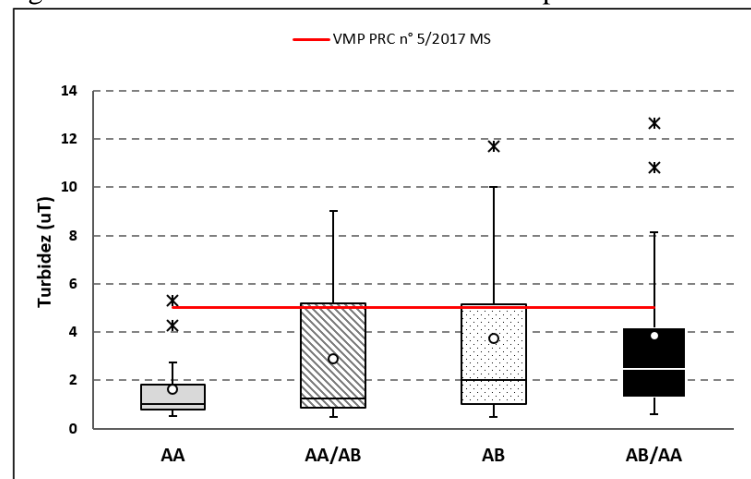
Segundo Santos (2008) a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5, mas em casos excepcionais, podem variar entre 3 e 11.

Diversos estudos apontam valores baixos de pH para água subterrânea no estado de Rondônia. Oliveira *et al.* (2015) no município de Vilhena registraram valores máximos de 4,94. Lauthartte *et al.* (2016) em Jaci-Paraná observaram valores entre 2,61 a 5,21. Silva *et al.* (2009) observaram pH médio de 4,30 no município de Ji-Paraná. Leite *et al.* (2011) encontraram valores médios de pH de 5,4 em poços rurais em Ji-Paraná.

Baixos valores de pH são característicos de climas tropicais com abundantes precipitações, que atingem facilmente o lençol freático, e com a decomposição da matéria orgânica ocorre o aumento de substâncias ácidas e a redução do pH (FARIAS *et al.*, 2003; BAHIA *et al.*, 2011).

No período de AA a turbidez máxima observada foi de 5,32 uT, e um poço esteve acima do limite de 5 uT permitido pela legislação (figura 12). Nas AA/AB o valor máximo foi de 9 uT e 33,3% dos poços (5 poços) estiveram acima do VMP. No período de AB o valor máximo foi 11,7 uT, e 4 poços (26,6%) estiveram em desacordo. E no período de transição entre AB/AA 20% estiveram acima do valor estabelecido, com máximo valor de 12,65 uT.

Figura 12- Gráficos Box-Plot de turbidez nos períodos analisados.



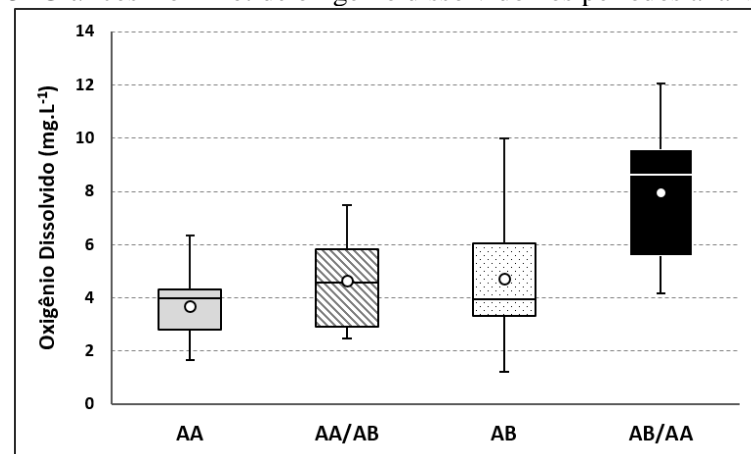
Fonte: A autora.

Entre os poços que apresentaram valores de turbidez acima do VMP pode-se destacar as características de construção de alguns poços como do poço 2 que além da pouca profundidade, não possui revestimento, e a tampa se apresenta em más condições de uso.

Assim como na presente pesquisa Grott *et al.* (2018) também encontrou maiores valores de turbidez no período seco, em seu estudo 9,61% das amostras estiveram em desacordo no período seco e 5,76% no período úmido.

O oxigênio dissolvido (figura 13) variou de 1,24 mg.L⁻¹ AB, a 12,07 mg.L⁻¹ AB/AA. E a maior média ocorreu no período AB/AA com valor de 7,95 mg.L⁻¹. A Portaria do MS e a CONAMA não estabelece limite de valores para o OD.

Figura 13- Gráficos Box-Plot de oxigênio dissolvido nos períodos analisados.



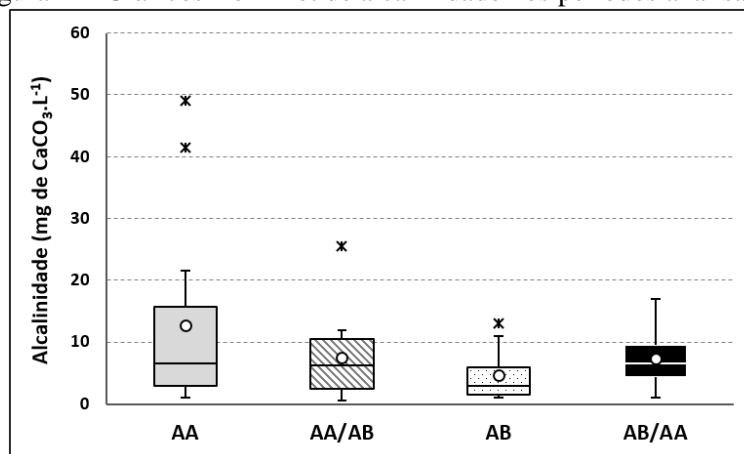
Fonte: A autora.

Segundo Santos (2008) o OD apresenta pequenas concentrações na água subterrânea entre 0 e 5 mg.L⁻¹, pois a maior parte, é consumida na oxidação da matéria orgânica, durante a trajetória da água subterrânea na zona de aeração. No entanto os altos valores aqui encontrados ocorrem devido alguns poços serem lacrados e a coleta ter sido realizada diretamente na torneira, causando uma maior aeração da amostra e elevando o resultado do OD.

A alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos (capacidade tampão), sendo uma consequência direta da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (SANTOS, 2008). Pode ocorrer por origem natural pela dissolução de rochas e reação do CO₂ com a água, ou por origem antrópica através de despejos industriais. Não tem importância sanitária para água potável, mas em elevadas concentrações podem gerar gosto amargo a água (SPERLING, 2014).

Os resultados encontrados para o parâmetro alcalinidade demonstraram uma variação entre 0,5 mg de CaCO₃.L⁻¹ ocorrido no período de AA/AB a 49 mg de CaCO₃.L⁻¹, e 17 mg de CaCO₃.L⁻¹ respectivamente. As legislações aqui citadas não estabelecem VMP para valores de alcalinidade.

Figura 14- Gráficos Box-Plot de alcalinidade nos períodos analisados.



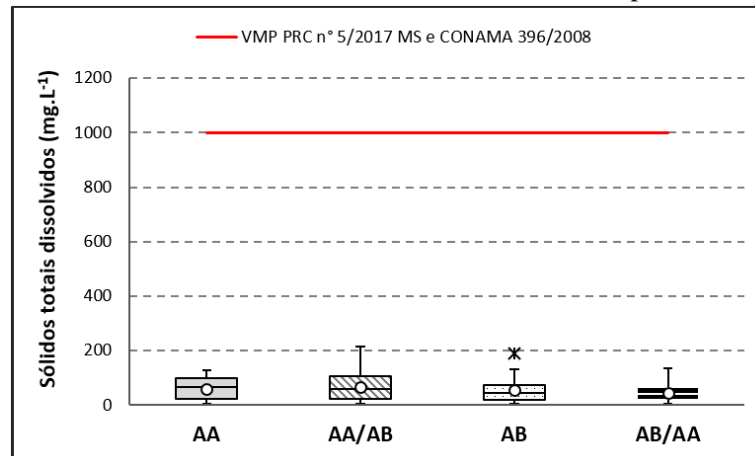
Fonte: A autora.

Conforme pode ser observado na figura 14 o mês que apresentou menor variabilidade dos dados foi o mês de setembro (AB). O mês de março apresentou maior variabilidade dos dados e dois poços apresentaram valores anormais aos encontrados nos demais poços no período, 41,5 mg de CaCO₃.L⁻¹ (poço 1) e 49 mg de CaCO₃.L⁻¹ (poço 15).

Com relação aos valores de sólidos totais dissolvidos encontrados, todos os poços estiveram no intervalo preconizado pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do MS e com a CONAMA 396/08, que estabelece valor máximo de até 1.000 mg.L⁻¹.

Os STD apresentaram valores máximos de 3,5 mg.L⁻¹ no período de transição entre AB/AA a 214 mg.L⁻¹ AA/AB. O período com a menor variabilidade dos dados foi nas AA, e o de maior variabilidade foi o de transição entre AA/AB.

Figura 15- Gráficos Box-Plot de sólidos totais dissolvidos nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

A tabela 5 apresenta o resumo dos resultados do fósforo total e dissolvido, amônia e nitrito avaliados.

As legislações aqui apresentadas não estabelecem limite de concentração de fósforo na água de consumo humano. Com relação ao fósforo total o máximo valor ocorreu no período de transição entre AB/AA com 395 µg.L⁻¹, e valor médio no período de 56,1 µg.L⁻¹. Já o fósforo dissolvido apresentou maior valor de 49,8 µg.L⁻¹ nas AB, como pode ser observado cerca de mais de 60% dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção do método para os períodos de AA e AB, e 40% para os períodos de transição AA/AB e AB/AA.

O fósforo é o principal fator limitante de produtividade, é o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos (TUNDISI & TUNDISI, 2008). Pode ocorrer devido a fatores naturais pela dissolução do solo e rochas, decomposição da matéria orgânica e o fósforo de composição celular de microrganismos, e através de despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes e pesticidas (SPERLING, 2014).

Tabela 5 - Resultados dos nutrientes fósforo total, fósforo dissolvido, amônia, nitrito para os períodos avaliados.

Parâmetro	Valor	AA	AA/AB	AB	AB/AA
PT (ug.L ⁻¹)	Min	6,29	5,57	5,5	7,7
	Médio	25,3	18,7	20,1	56,1
	Max	61,8	42	54,3	395
	<5ug.L ⁻¹ LD	0%	0%	0%	0%
VMP PRC n°5/2017		Não estabelecido			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
PD (ug.L ⁻¹)	Min	9,85	5,57	7,7	7
	Médio	7,6	6,69	5,8	11,2
	Max	32	30,5	49,8	45,5
	<5ug.L ⁻¹ LD	60%	40%	66%	40%
VMP PRC n°5/2017		Não estabelecido			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
NH ₄ ⁺ (ug.L ⁻¹)	Min	10,3	10,3	5,89	9,22
	Médio	10,39	14,67	15,39	28,7
	Max	100,67	145,1	122,8	67
	<5ug.L ⁻¹ LD	66%	60%	66%	0%
VMP PRC n°5/2017		1,5 mg/L ⁻¹			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	Min	7,3	5,6	7,8	7,9
	Médio	34	1,43	1,42	1,42
	Max	397	9,6	13,6	11,9
	<5ug.L ⁻¹ LD	53%	80%	86%	80%
VMP PRC n°5/2017		1 mg.L ⁻¹			
VMP CONAMA 396/2008		1 mg.L ⁻¹			

Fonte: A autora.

O nitrogênio está presente na biosfera de várias formas: nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amônia (NH₃), íon amônio (NH₄⁺), óxido nitroso (N₂O), nitrogênio molecular (N₂). Dentre as diversas frações, o íon amônio e o nitrito são de grande importância nos ecossistemas aquáticos, sendo as principais fontes de nitrogênios para os produtores primários (ESTEVEZ, 2011).

Na decomposição da matéria orgânica, há formação de amônia (NH₃), este através dos processos de nitrificação é transformado em NO₂⁻ e NO₃⁻ em condições aeróbicas a partir de atividades bacterianas, e a desnitrificação ocorre em condições próximas à anaerobiose, onde NO₃⁻ é reduzido a NO₂⁻ e a N₂ (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Com relação aos valores de amônia nos períodos de AA, AA/AB e de AB foram observados que mais de 60% dos poços avaliados estiveram abaixo do limite de detecção (LD) do método utilizado (5 µg.L⁻¹), e o valor máximo encontrado foi de 145,1 µg.L⁻¹ no período de transição entre AA/AB. A Portaria do MS n°5/2017 estabelece um limite de 1,5 mg.L⁻¹ de amônia na água de consumo humano, o valor máximo encontrado nesta pesquisa foi de 0,145 mg.L⁻¹, estando cerca de 10x abaixo do limite estabelecido.



Os valores encontrados para o nitrito revelam que o máximo valor ocorreu no período de AA 397 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no período de AA 53% dos poços apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção, nos demais períodos esse percentual foi superior a 80%. O valor máximo permitido em ambas as legislações são de 1mg.L^{-1} , portanto em todos os poços o nitrito esteve abaixo do valor estabelecido para o consumo humano.

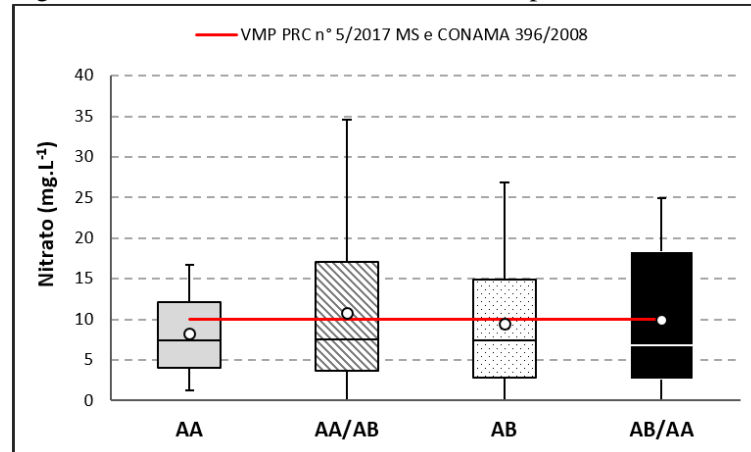
O nitrito é encontrado em concentrações reduzidas ($0,001\text{mg.L}^{-1}$), indicando poluição recente (HELLER & PÁDUA, 2010). Porém em altas concentrações é extremamente tóxico a alguns organismos aquáticos e até ao homem (ESTEVES, 2011).

Segundo Sperling (2014) a determinação da forma predominante do nitrogênio pode indicar o estágio de poluição, sendo que poluição recente está associada a amônia, enquanto que a poluição mais remota está associada ao nitrato.

Os resultados obtidos para o parâmetro nitrato encontram-se na figura 16, o valor máximo encontrado foi no período de transição entre águas altas para águas baixas $34,64\text{mg.L}^{-1}$ e média de $10,82\text{mg.L}^{-1}$.

Nos períodos de AA/AB, AB e de transição entre AB/AA foram encontrados valores a baixo do limite de detecção do método que é de 1mg.L^{-1} .

Figura 16- Gráficos Box-Plot de nitrato nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

O valor máximo permitido estabelecido pela Portaria de consolidação n° 5/2017 e pela CONAMA 396/2008 para a presença de nitrato na água de consumo humano é de 10mg.L^{-1} . Como pode ser observado na figura 16 em todos os períodos avaliados foram encontrados valores de nitrato acima do permitido pela legislação. No período de AA e AB, 40% dos poços

estiveram em desconformidade, já nos períodos de transição de AA/AB e de AB/AA cerca de 46% e 33% dos poços estiveram em desconformidade, respectivamente.

O nitrato é um componente de origem antrópica, relacionadas as atividades agrícolas e aos problemas relativos ao saneamento básico (vazamento das redes de esgoto) e manejo de resíduos sólidos em áreas urbanas e rurais (QUAGGIO et al., 2018). Sendo utilizado mundialmente, como indicador de contaminação devido sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas, comprometendo a qualidade da água subterrânea (VANIER et al., 2010). Podendo provocar a indução a metemoglobinemia, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA & NISHIHARA, 1998).

A presença do nitrato na água subterrânea destinada ao consumo humano na cidade de Ji-Paraná também foi relatada por Silva et al. (2009), encontraram concentração de 239 mg.L⁻¹. Nunes et al. (2012), encontraram valores máximos de nitrato de 26,2 mg.L⁻¹. Leite et al, em poços rurais em Ji-Paraná encontraram valor de 11,5 mg.L⁻¹, assim como no presente estudo ocorreu a predominância do nitrato, enquanto o amônio foi encontrado em concentrações pequenas. Os autores associaram a contaminação a utilização de sistemas rudimentares para disposição do esgoto, poços com instalações inadequadas, influência de áreas de pastagens e ao cultivo de hortaliças.

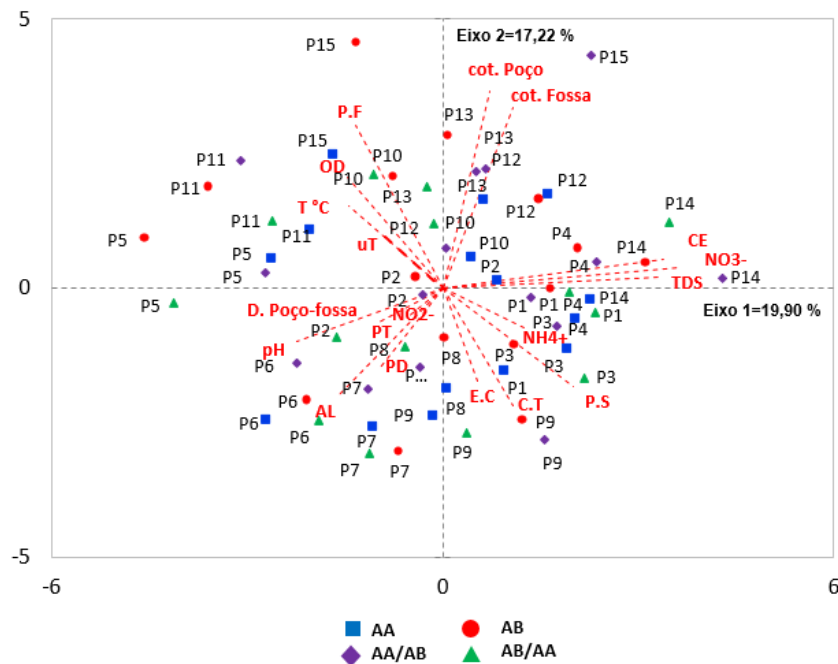
4.4 Análise de Componentes Principais

A matriz para a realização da análise de componentes principais ACP foi constituída por valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológico nos períodos sazonais em estudo, bem como das características dos poços.

Na figura 17 é apresentado a projeção dos dados da análise de componentes principais para as variáveis e os períodos aqui observados.

Figura 17- Projeção dos dados da Análise das Componentes Principais (ACP) da microbiologia do Igarapé Nazaré nos períodos analisados.





Fonte: A autora.

As proximidades entre os poços nos diferentes períodos amostrados demonstram que eles apresentaram características similares ao longo do ano, não apresentando influência das variações sazonais.

Como pode ser observado na figura 17 e na tabela 6, o total da variância explicada foi de 37,12%, sendo que o eixo 1 explicou 19,9% da variância dos dados, e o eixo 2 explicou 17,2%.

Tabela 6 - Correlação das variáveis em estudo, nos eixos 1 e 2 resultantes da Análise das Componentes Principais (ACP).

Variáveis	Abreviatura	Coeficiente de correlação	
		Eixo 1	Eixo 2
Coliformes totais	CT	0,267	-0,504
<i>Escherichia coli</i>	EC	0,133	-0,396
Temperatura	T°	-0,359	0,351
pH	pH	-0,557	-0,226
Condutividade elétrica	CE	0,841	0,123
Turbidez	uT	-0,221	0,221
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	0,828	0,045
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,364	0,474
Alcalinidade	AL	-0,405	-0,472
Fosforo total	PT	-0,253	-0,151
Fosforo dissolvido	PD	-0,239	-0,337
Amônia	NH4+	0,310	-0,171
Nitrito	NO2-	-0,002	-0,001
Nitrato	NO3-	0,905	0,086
Cota do poço	CP	0,178	0,846

Cota da fossa	CF	0,266	0,775
Profundidade de fundo	PF	-0,332	0,701
Profundidade de superfície	PS	0,498	-0,419
Distância entre poço e fossa	D. poço-fossa	-0,139	-0,127
Variância explicada		19,90%	17,22%
Total da variância explicada			37,12%

Fonte: A autora.

As variáveis mais representativas para a formação do eixo 1 foram nitrato (0,905) a CE (0,841), STD (0,828) e profundidade de superfície (0,498), fortemente relacionadas, indicando que os mesmos são os mais significativos na caracterização da qualidade da água em estudo. Já o eixo 2 foi formado pelas variáveis cota do poço (0,846), cota da fossa (0,775), profundidade de fundo (0,701) e oxigênio dissolvido (0,474). Evidenciando alta correlação entre características como, profundidade e cota da fossa e do poço na influência dos valores OD, temperatura e turbidez da água analisada.

A análise de componentes principais indicou também uma correlação inversa entre os parâmetros microbiológicos e a profundidade do poço, evidenciando assim que essa característica pode atuar como fator de redução da contaminação.

4.5 Tendência de Direção de fluxo

Segundo os dados disponibilizados no sítio do SIAGAS (2020), o município de Jiparaná possuía na ocasião 88 poços cadastrados no sistema, no entanto apenas 47 poços foram selecionados para a determinação da tendência de direção do fluxo subterrâneo, pois os mesmos apresentavam informações referentes ao nível estático da água subterrânea.

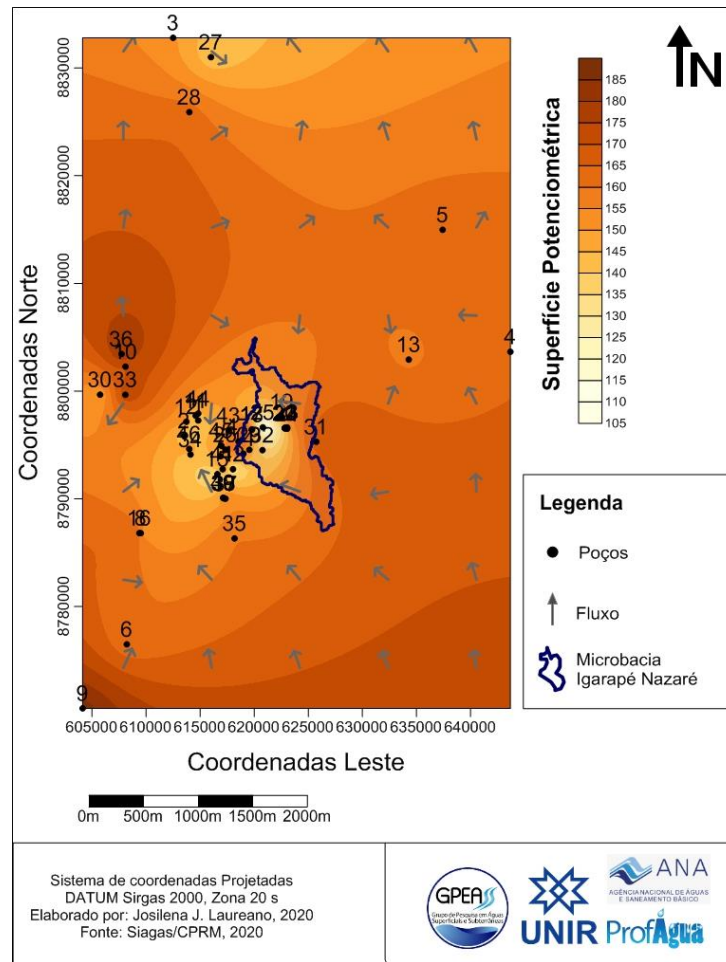
Os 47 poços selecionados apresentaram profundidade entre 13,3 m (poço 2) à 132 m (poço 26). Cerca de 76% dos poços apresentaram valores de profundidades maiores que 50 m, e apenas 2 poços (4,25%) foram inferiores a 20 m.

As cotas altimétricas variaram de 141 m localizado próximo ao principal curso d'água da cidade o rio Machado onde estão localizados os poços 1 e 11. Foram identificadas cotas de 198 m onde está localizado o poços 9, a altitude média estimada foi de 163,9 m.

A superfície potenciométrica foi obtida a partir da relação entre a cota do poço e o nível estático, os valores obtidos para os poços em análise estão espacializados na figura 18.

Figura 18- Mapa da Superfície Potenciométrica e tendência da direção de fluxo.





Fonte: A autora.

Como pode ser observado na figura 18 o valor máximo encontrado foi de 188 m ocorrido no poço 9 m, assim como na variação topográfica, isso coloca esse poço como alto potenciométrico agindo como divisor de águas subterrâneas que convergem o fluxo para a região central do cartograma. Ocorrem também fluxos secundários na parte superior do cartograma em direção as regiões norte e nordeste.

Os poços 25, 42 e 15 apresentaram os menores valores de superfície potenciométrica 105 m, 129 m e 131 m respectivamente, os mesmos estão localizados próximos aos cursos d'água da área, o que indica que essas áreas podem estar recebendo fluxo dos altos potenciométricos.

O estudo da tendência da direção de fluxo das águas subterrâneas é importante para obter-se a direção da pluma em caso de contaminação, possibilitando planejar e prever ações

para minimizar o risco de contaminação, ou ainda evitar a instalação de novos empreendimentos poluidores (LOBLER et al, 2013).

4.6 Vulnerabilidade

Dos 47 poços selecionados, apenas 25 poços foram utilizados para a avaliação de vulnerabilidade, pois os mesmos apresentavam dados referentes ao perfil litológico nos poços.

O primeiro parâmetro avaliado na metodologia GOD é o grau de confinamento hidráulico do aquífero, conforme informado na ficha técnica, 4 poços apresentavam classificação, sendo 2 poços livres (poços 1 e 2) e 2 poços confinados (poços 10 e 11). Os demais foram classificados utilizando-se as informações litológicas disponíveis nos perfis geológicos penetrados conforme descrito por Oliveira et al. (2016). A partir dessas informações os demais poços foram classificados quanto ao seu confinamento, 17 poços foram identificados como confinados, 2 livres, 2 não confinados mais cobertos.

Os poços considerados como pertencentes ao aquífero confinado apresentaram maior quantidade de argila na sua formação, enquanto que os poços não confinados são compostos por grande quantidade de areia. As argilas apresentam baixa permeabilidade, no entanto podem apresentar até 50% de porosidade, armazena mas não transmite a água, já as areias apresentam em torno de 25% de porosidade mas seu potencial de retenção é em torno de 3% (HEATH, 1983).

O segundo parâmetro é o “O” ocorrência de estratos de cobertura. Foram avaliados os tipos de solos e rochas que compõe os perfis construtivos dos poços, as camadas sedimentares de cobertura eram compostas em 52% de argila, 24% arenitos, 8% siltes, 8% areia, cascalho e solo 4% cada.

No Estado, os solos predominantes são Argissolos Vermelho-Amarelo (40 %), Latossolos Vermelho-Amarelo (18,4%) e Latossolos Amarelo (17,4%) (SHINZATO et al., 2010). Os poços que apresentaram frações de silte e areia estão localizados no segundo distrito da cidade e foram classificados com vulnerabilidade de média à alta. Em seu trabalho no segundo distrito de Ji-Paraná, Silva (2008) identificou a predominância de solos arenosos e areno-siltosos, que facilita a percolação de contaminantes pois são altamente permeáveis.

Com relação ao nível estático “D” apresentado pelos poços, foram encontrados valores de 2,4 a 60 m, 52% dos poços apresentaram nível estático de até 10 m, 44% entre 10 e 20m e

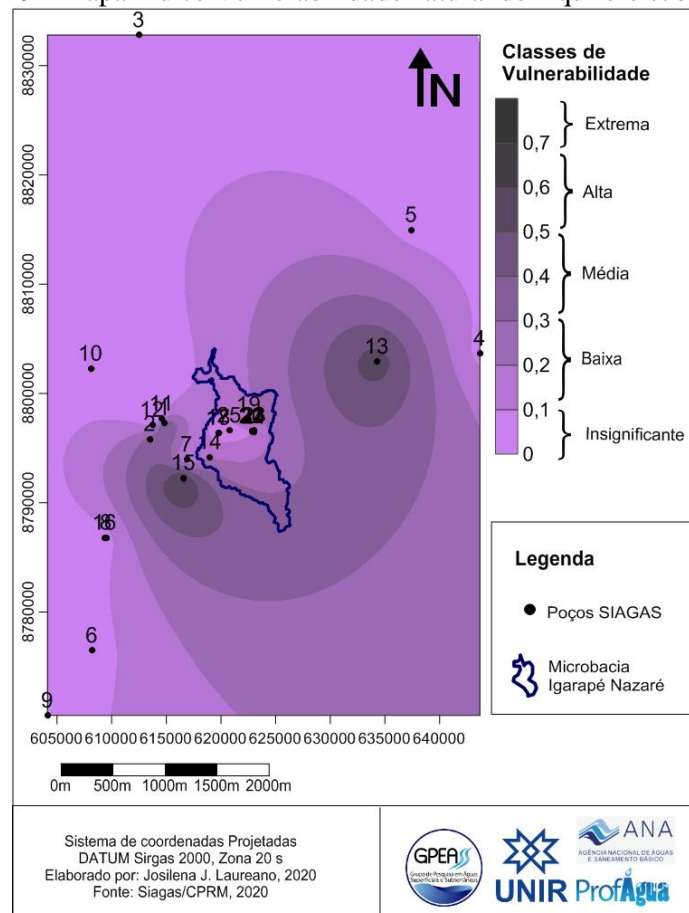


4% de 60 m. Dessa forma a área apresenta cerca de 96% dos poços com nível de água inferior a 20 m.

A avaliação da distância até o nível freático da água subterrânea possui importância fundamental. Isso porque, pequenas alterações na distância até o nível freático alteram significativamente o índice da vulnerabilidade, sabe-se que os níveis mais rasos permitem que o contaminante alcance rapidamente à zona saturada, devido à menor distância que o contaminante deve percorrer da superfície ao aquífero (BARBOSA et al., 2011).

Por meio do produto dos parâmetros avaliados, foi possível chegar ao índice de vulnerabilidade, e a sua respectiva classificação, o resultado foi espacializado na figura 19.

Figura 19 - Mapa Índice Vulnerabilidade natural do Aquífero subterrâneo.

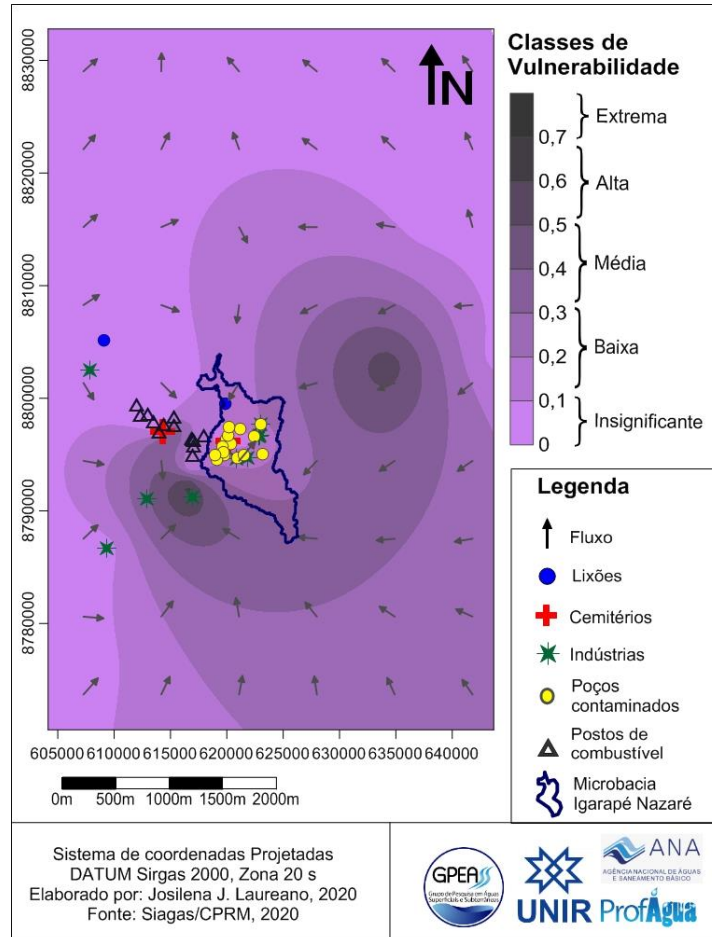


Fonte: A autora.

A análise GOD identificou as seguintes classes de vulnerabilidade: 68% como insignificante, 16% como baixa, 8% como média e 8% como alta vulnerabilidade.

A sobreposição das classes de vulnerabilidade, tendência de direção de fluxo subterrâneo e de possíveis pontos de contaminação para a água subterrânea resultaram no cartograma apresentado na figura 20.

Figura 20 - Vulnerabilidade natural do aquífero, direção do fluxo subterrâneo e pontos de contaminação.



Fonte: A autora.

Entre as possíveis fontes de contaminação para a água subterrânea na área estudada foram identificados: 2 cemitérios, duas áreas de deposição de resíduos sólidos, que correspondem ao lixão desativado localizado no Bairro Boa esperança (segundo distrito) e a atual área de deposição localizada no Km 11 (primeiro distrito). Quatorze postos de combustíveis e nove empreendimentos industriais (frigoríficos, laticínios, seboaria, indústria de produção de charque).

Também foram considerados como fontes de contaminação os 15 poços localizados na microbacia do Igarapé Nazaré, esses poços apresentaram contaminação por bactérias

(Coliformes totais e *E. coli*) e nitrato. Vale ressaltar que em cada residência analisada foram identificadas fossas negras que também atuam como fonte de contaminação para a água subterrânea, no entanto não foram espacializadas no cartograma devido a sobreposição aos poços presentes na microbacia visto a grande proximidade entre os mesmos.

Como os poços amostrados estão distribuídos tanto na área urbana como na área rural, as alterações na qualidade da água dos poços podem ocorrer por uma junção de fatores, como a proximidade entre poços e fossas, a permeabilidade do solo aos contaminantes e ser também decorrente do uso e cobertura do solo.

Como pode ser observado na figura 20, a sobreposição da vulnerabilidade com a tendência de direção de fluxo permite identificar que grande parte da área apresenta vulnerabilidade insignificante (68%). A distribuição dos possíveis pontos de contaminação identificou a localização desses pontos em áreas que apresentam classes de vulnerabilidade de baixa à alta, no entanto a direção de fluxo ocorre em direção ao centro do cartograma originando de áreas com maior vulnerabilidade em direção a áreas de menor vulnerabilidade. As áreas que apresentaram vulnerabilidade insignificante estão localizadas na parte norte do cartograma, e sofrem influências de fluxos secundários originados de áreas que apresentam possíveis pontos de contaminação.

De modo geral é possível um aquífero se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem risco de poluição devido à ausência de carga poluidora ou ao contrário, configurar uma situação de baixa vulnerabilidade com risco elevado pela presença de uma carga poluidora significativa (MAIA et al., 2013).

Porém o nitrato que é o poluente de maior ocorrência nas águas subterrâneas, devido a fontes como uso de fertilizantes, criação de animais, sistema de saneamento *in situ* (VANIER & HIRATA, 2002). Requer um pouco mais de atenção, de acordo com Auge (2003), a solubilidade, mobilidade e persistência desse contaminante, faz com que algumas variáveis percam consistência em relação à vulnerabilidade.

Portanto ressalta-se a necessidade de maior atenção com as áreas de média e alta vulnerabilidade, uma vez que podem servir de foco de contaminação e dispersão de poluentes de águas do aquífero livre para águas profundas, uma vez que o fluxo ocorre em direção a áreas de baixa vulnerabilidade. Nessas áreas foram identificados os poços classificados como



pertencente ao aquífero livre, com nível estático raso e portanto mais acessível à contaminantes diversos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na área em estudo o abastecimento de água ocorrem através dos poços, grande parte da população realiza o tratamento da água através da cloração, no entanto é realizada diretamente no poço e de forma irregular reduzindo a eficácia do tratamento.

Na falta de rede de coleta e tratamento de esgoto a população utiliza como alternativa a disposição em fossas negras, esta ocorre de forma inadequada.

Constatou-se a presença de bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli* em todos os poços avaliados em algum dos períodos avaliados. Sendo assim a água encontra-se em desacordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS e com a Resolução CONAMA nº 396/08 uma vez que se é requerido a ausência de ambos os grupos na água destinada ao consumo humano, podendo oferecer riscos à saúde humana uma vez que são consumidas sem tratamento adequado.

Os valores encontrados para os parâmetros pH, turbidez e nitrato estiveram fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS.

A presença de sistemas alternativos e rudimentares para disposição do esgoto doméstico atua como foco de contaminação assim como as características precárias de construções e vedação dos poços atuam como um potencializador da contaminação da água subterrânea.

A ACP demonstrou correlações entre as variáveis e as características em estudo, no entanto não foram observadas variações significativas entre os períodos sazonais em estudo.

Conclui-se que a água encontra-se fora dos padrões de potabilidade, e imprópria para o consumo humano sem que haja tratamento prévio adequado, apresentando potencial risco a saúde humana.

Considerando que o enquadramento é o estabelecimento de metas e objetivos de qualidade da água a ser alcançado ou mantido de acordo com os usos que se faz da mesma, conforme a legislação essas águas se enquadra como sendo de classe I, uma vez que são utilizadas para o abastecimento humano sendo consumidas sem tratamento. No entanto, os parâmetros aqui avaliados apresentaram-se em desconformidade com a referida classe,



fazendo-se necessário a intervenção do uso da mesma para fins de consumo humano, assim como ações do poder público que visem a melhoria da sua qualidade.

A tendência de direção do fluxo subterrâneo demonstram a convergência do fluxo para a região central do cartograma. Também foram observados fluxos secundários na parte superior do cartograma em direção as regiões norte e nordeste. Os baixos potenciométricos estão localizados próximos aos cursos d'água da área, o que indica que essas áreas podem estar recebendo fluxo dos altos potenciométricos.

A análise GOD classificou cerca de 68% como vulnerabilidade insignificante, 16% baixa vulnerabilidade, e nas classes média e alta 8% cada.

A sobreposição das classes de vulnerabilidade, tendência de direção de fluxo subterrâneo e de possíveis pontos de contaminação, permite concluir que a localização desses pontos se dá nas áreas que apresentam classes de vulnerabilidade de baixa a alta, no entanto a direção de fluxo se origina de áreas com maior vulnerabilidade em direção a áreas de menor vulnerabilidade.

Ressalta-se a necessidade de maior atenção com as áreas de média e alta vulnerabilidade que apesar de apresentar menor porcentagem de classificação, podem servir de foco de contaminação e dispersão de poluentes de águas do aquífero livre para águas profundas.

Por fim o mapeamento da tendência da direção do fluxo subterrâneo aliado ao mapa de vulnerabilidade natural do aquífero mostrou-se uma importante ferramenta para a proteção das águas subterrâneas e necessária ao ordenamento territorial urbano visto que pode indicar as áreas adequadas a implantação de atividades com potencial poluidor.

A espacialização de possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas já existentes na área propicia identificar a tendência da direção do fluxo subterrâneo em caso de formação de plumas contaminantes.



6 RECOMENDAÇÕES

- Ampliação da rede de abastecimento de água tratada, assim como a regularidade nos serviços de abastecimento a população.
- Implantação do sistema de rede de coleta e tratamento de esgoto, e a eliminação das fossas negras.
- Ações de sensibilização junto à população quanto a importância do correto tratamento da água destinada ao consumo humano, assim como a importância de soluções seguras para a correta coleta, tratamento e destinação final do esgoto sanitário.
- Cobrança para que os responsáveis pelos poços cadastrados no Sistema SIAGAS, realizem e apresentem a avaliação da qualidade da água, uma vez que os mesmos estando registrados no sistema e com autorização para exploração passam a sensação de segurança quanto a sua qualidade, no entanto a mesma é desconhecida.
- Aos gestores públicos e aos órgãos de saúde recomenda-se o monitoramento da qualidade da água utilizada pela população, controle, conservação e medidas de restrição da mesma, quando necessário, em virtude de as águas subterrâneas apresentarem alguns parâmetros com concentrações inadequadas para o consumo humano. Destacando-se a presença na água de bactérias do grupo coliformes e do nitrato, considerado uma substância cancerígena. O artigo 4º da Portaria nº 5/MS/2017 ressalta que é dever das Secretarias Estaduais de Saúde o monitoramento da qualidade da água utilizada pela população, mesmo que esta seja adquirida de soluções alternativas como os poços, tendo em vista que a utilização destes é uma característica regional.
- Recomenda-se a continuação dos estudos na temática e a elaboração do mapa de perigo de contaminação do aquífero, visando a identificação de locais sujeitos à contaminação, assim priorizando medidas preventivas de proteção e controle das águas subterrâneas.



AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015. À Fundação Universidade Federal de Rondônia, *campus* Ji-Paraná.

Ao Grupo de pesquisa em Águas Superficiais e Subterrâneas - GPEASS e a equipe do Laboratório de Limnologia e Microbiologia do Departamento de Engenharia Ambiental-DAEA da Fundação Universidade Federal de Rondônia-UNIR.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Caderno de Recursos Hídricos n 5°. Brasília-DF, 2007. 126p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água: panorama nacional/ Agência Nacional de Águas; Engecors/Cobrape*.-Brasília: ANA: 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. HIDROWEB. Séries Históricas de Estações. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>
Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. *Revista de Saúde Pública*. v. 32, nº2. p.160-165. 1998.

APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Edition 19^a. Washington, 1995.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE RONDÔNIA-ALE RO. Deputado Jhony Paixão cobra providências para a falta de água em bairros de Ji-Paraná. Disponível em: < <https://www.al.ro.leg.br/institucional/noticias/deputado-jhony-paixao-cobra-providencias-para-a-falta-de-agua-em-bairros-de-ji-parana>>
Acesso em 16 de novembro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. (1993). *NBR 7.229*. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, n. 4, p.85-103, 2004.

BARBOSA, M. C.; CARVALHO, A. M.; IKEMATSU, P.; FILHO, J. L. A.; CAVANI, A. C. M. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de



afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Revista Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p1-14, 2011.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUIZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga-Belém (PA). *Rev. Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p. 43-56, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, 09 de janeiro, 1997.

BRASIL. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018*. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.

BRASIL. Portaria de consolidação nº 5, de 3 de outubro de 2017 (anexo XX). Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde (MS). *Diário Oficial da União*, 03 outubro de 2017.

BRASIL. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Diário Oficial da União*, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BRASIL. Resolução nº91 de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneas. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). *Diário Oficial da União*, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BRASIL. *Vigilância e controle da qualidade de água para consumo humano*. Ministério da Saúde (MS). Brasília: MS, 2006. 212p.

CAJAZEIRAS, C. C. A.; PEREIRA, L. A. C.; CAVALCANTE, A. S. A. Aspectos Hidrogeológicos. In: AMILCAR, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho:, 2010. 337p.

CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). *Revista de Geografia Ensino & Pesquisa*, vol. 16, n. 3, 2012.

CARDOSO, R. N. C.; GONÇALVES, E. D. DEUS, J. C. S.; TEIXEIRA, L. C. G. M. Análise da vulnerabilidade e do risco a contaminação de aquíferos semiconfinados na Ilha de Cotijuba/PA. *Revistas Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 2, 2018.



DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29153>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Organizadores: Carlos Jesus Brandão, et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE RONDÔNIA-CAERD. *Número de ligações ativas no município de Ji-Paraná*. Documento de circulação interna-Ofício, 2020.

CREMONESE, E. R. *Avaliação da qualidade da água de poços localizados próximos as áreas de deposição de resíduos sólidos do município de Ji-Paraná (RO)*. Ji-Paraná-RO. UNIR 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Federal de Rondônia. 2014, 73p.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. 3º ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARIAS, W. M.; MARTINS, E. S.; CARDOSO, F. B. F. & CARVALHO, J. C. A influência do oxi-hidróxido de Fe matricial no comportamento mecânico de solos tropicais em áreas de disposição de resíduos sólidos. *Espaço e Geografia*, v. 6, n. 2, p. 115-131, 2003.

FERREIRA, R. F. *Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na região central de Rondônia*. Ji-Paraná-RO, UNIR, 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2013.

FRANCO, A.O.; ARCOS, F.O.; PEREIRA, J.S. Uso do solo e a qualidade da água subterrânea: estudo de caso do aquífero Rio Branco, Acre, Brasil. *Águas Subterrâneas*, Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29178>.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo, 2006.

GROTT, S.L., FAÇANHA, E.B. ; FURTADO, R.N. ; CUNHA, H.F.A.; CUNHA, A.C. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n.4, p. 645-654, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018162018.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DO ACRE-PESACRE. *Plano territorial de desenvolvimento rural sustentado*. Secretaria de Desenvolvimento Territorial- Ministério do Desenvolvimento Agrário. Território central- Estado de Rondônia, 2007.



HEATH, R. C. *Basic ground-water hydrology. U. S. Geological Survey Water-Supply Paper*, 2220, 1983, 84p.

HELBEL, A. F. *Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná / RO – Brasil*. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo*. 3 Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HIRATA, C.A.R. & FERREIRA, L.M.R. Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 31, pp.43-50, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=110025>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS. INPE. *TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*.

Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso 10 de dezembro de 2020.

LAUTHARTTE, L. C. *Avaliação da qualidade de água subterrânea no Distrito de Jaci-Paraná, Município de Porto Velho-RO*. Porto Velho: UNIR, 2013. Dissertação (Pós-Graduação em desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Federal de Rondônia, 2013.

LEITE, N. K., KRUSCHE, A. V., CABIANCHI, G. M., BALLESTER, M. V. R., VICTORIA, R. L., MARCHETTO, M., & SANTOS, J. G. D. (2011). Groundwater quality comparison between rural farms and riparian wells in the western Amazon, Brazil. *Rev Química Nova*, 34(1), 11-15.

LOBLER, C.A.; SILVA, J.L.S.; MARTELLI, G.V.; ERTEL, T. Pontos Potenciais de Contaminação e vulnerabilidade Natural das águas Subterrâneas do Município de Restinga Seca-RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.06, n°03, p.500-509. 2013.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. (2011). Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 2011, 15 (2) p.29-40.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M.; RODRIGUES, R. S. Modelagem da vulnerabilidade dos aquíferos no município de Aracatu - sudoeste do estado da Bahia. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. V. 17, n.1, p. 53-60. 2013.

MARTINS, I. A. V. *Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO)*. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.



MENDONÇA, A. G.; LAUREANO, J. J. COSTA, I. D.; LOPES, D. S.; SOUSA, L. M.; LIMA, T. O.; ROSA, A. L. D.; NASCIMENTO, E, L. Uso e ocupação do solo da microbacia do igarapé Nazaré, Ji-Paraná, Rondônia: Subsídio para o enquadramento. *Revista Gaia Scientia*. ISSN 1981-1268, v. 14 (3): p.189-209, 2020.

DOI.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n3.52610

MESQUITA, K.F.C.; SANTOS, M.L.S.; PEREIRA, J.A.R.; FIGUEIREDO, B.L. Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. *Revista Scientia Amazonia*, v. 3, n.3, p. 27-31, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. *Águas subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido*. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 2007. 40p.

MOURA, P.; SABADIA, J. A. B.; CAVALCANTE, I. N. Mapeamento de vulnerabilidade dos aquíferos Dunas, Barreiras e Fissural na porção norte do complexo industrial e portuário do Pecém, estado do Ceará. *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 35, n. 1, p.77-89, 2016.

NUNES, M.L.A.; GOMES, J.B.; WEBLER, A.D.; ANDRADE, L.R.; MARCHETTO, M. Comprometimento da qualidade da água subterrânea por nitratos. *Revista. Nucleus* v.9 n°1. p.63-72. 2012.

OLIVEIRA, G.A.; NASCIMENTO, E.L.; ROSA, A.L.D.; LAUTHERTE, L.C.; BASTOS, W.R.; BARROS, C.G.D.; CREMONESE, E.R.; BENTO, A.Q.; MALM, O.; GEORGIN, J.; CORTI, A.M. Avaliação da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso de Vilhena – RO. *Revista Brasileira das Águas Subterrâneas*, v. 29, n.2, p. 213-223, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.28399>.

OLIVEIRA, G. A.; VIEGA, J.F.V.; ROSA, A.L.D.; PESSOA, J.O.; SILVA, J.L.S. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas do município de Porto Velho/RO. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v. 8,n°2, p.187-198. 2016.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; KIRCHHEIM, R.; BATISTA, L. V. Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 3, p. 283-294, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29085>

RAMOS, C. F. *Estudo da direção de fluxo e das variáveis físicas, químicas e microbiológicas da água subterrânea dos distritos de Nova Londrina e Nova Colina (Ji-Paraná/RO)*: UNIR, 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2017.

SANTOS, A. C. Qualidade das águas subterrâneas. In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J, M.; FEITOSA, E, C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3° ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.



SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL-SEDAM. *Boletim climatológico de Rondônia- Ano 2010*. COGEO- SEDAM/ Coordenadoria de Geociências- Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental- Porto Velho. v.12, 2012. 89p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM. *Sistema de informações de águas subterrâneas- SIAGAS*.

Disponível em < http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>

Acesso 20 de junho de 2020.

SILVA, A. G. *Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná- RO*. Rio Claro: UEP, 2008. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SILVA, A.C.; DOURADO, J.C.; KRUSCHE, A.V.; GOMES, B.M. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná – RO. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 11, n.2, p. 101-112, 2009.

SILVA, M. P.; SILVA, L. R.; LIESENFELD, K. A.; MARTINI, L.; KEMERICH, P. D. C.; FILHO, L. L. V. D.; FERNANDES, G. D. *Vulnerabilidade do Aquífero nas Proximidades do Cemitério Municipal de Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 40 - 1 / 2017 p. 206-216

SPERLING, Marcos Von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte - MG: UFMG, 2014.

SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. SOLOS. *In: AMILCAR, A. Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho., 2010. 337p.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. *Recursos Hídricos no Século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

VARELLA, C.A.A. *Análise de Componentes Principais*. Análise Multivariada Aplicada as ciências Agrárias. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ. 2008, 12p.

VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; VIOTTI, M.; ODA, G.H.; FERREIRA, L.M.R. Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo. v.31, n°1/2, p.1-21. 2010.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê-São Paulo, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*. n°16. p.97-104, 2002.

