



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



LUIZA FERNANDA SILVA PAVANELLO

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO DO
OESTE, RONDÔNIA**

Ji-Paraná

2018

LUIZA FERNANDA SILVA PAVANELLO

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO DO
OESTE, RONDÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

Ji-Paraná

2018

Dedico esta monografia e todas as demais conquistas à mulher me ensinou os valores da vida e o poder transformador da educação, à quem eu devo minha eterna gratidão, à minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Ninguém faz nada sozinho, tampouco alcança triunfos sem apoio, orientação e participação de pessoas e forças espirituais. Por isto, reservei este espaço para explicar minha gratidão àqueles que se fizeram presentes na minha vida.

Inicialmente, agradeço à Deus, divindade superior que me orientou, conduziu e permitiu chegar até aqui.

À minha mãe, mulher admirável e exemplar, que sempre me apoiou e me alicerçou na realização de sonhos, e por sempre ter priorizado a minha educação.

À minha orientadora Prof^ª. Elisabete que me deu a oportunidade e a honra de fazer parte da sua equipe, por nunca medir esforços para a realização desta pesquisa e por todo o carinho, paciência, compreensão e amizade construída.

Agradeço à instituição de fomento à pesquisa FAPERO/CAPES que confiou na proposta deste trabalho, concedendo-me a bolsa de pesquisa.

À Prof^ª. Andreza Mendonça por ter me preparado para a graduação, por todos os conselhos, incentivos e indicações, e por sempre abrir portas.

À Josilena Laureano, Caryne Ramos e Thiago Alves pelo conhecimento repassado e pela disposição em tornar este trabalho uma realidade, sem vocês eu certamente não teria conseguido.

Ao Joaquim Pedro, parceiro nas coletas e na vida, que sempre esteve disponível para ajudar, sem jamais reclamar.

À Raissa Fonseca e à Prof^ª. Beatriz Gomes por terem aceitado participar da banca, e mais que isso, por terem feito parte diretamente das coletas e das análises em laboratório.

Também agradeço ao Daipson Paganini que dispôs o seu tempo e não hesitou, mesmo diante do sol e calor, em ser o guia para chegar aos pontos amostrais.

À Larissa Fambri pela amizade sincera construída durante o curso, e à Aline Caldas, Karine Faustino, Yara Regina e Aline Kelly, amigas especiais que o Instituto Federal me deu, e que se fizeram presentes com palavras de apoio e ânimo.

À minha prima Jéssica Pavanello, engenheira ambiental, que me motivou e apoiou na escolha do curso.

Ao Prof^º. Alberto por nunca criar obstáculos ou se opor à cessão de materiais e equipamentos para a feitura das análises laboratoriais.

Agradeço, ainda, ao Wanderley Bastos e ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da UNIR/Porto Velho, por terem aceitado realizar as análises de metais pesados.

À Prof^ª. Ana Lúcia e Calina Barros que se dispuseram desde o início, sem medir esforços, em auxiliar na elaboração dos mapas e sanar minhas dúvidas.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Água Superficiais e Subterrâneas (GPEASS), em especial àqueles que não mencionei anteriormente – Amanda Sobrinho, Daíse Lopes, Luciana Coriolano, Clávio Momo, Wagner Eduardo, Wesley Detman e Luiz Eduardo – que me ajudaram nas análises, e com todo o bom humor e disposição tornaram o trabalho menos árduo e cansativo.

A todos os amigos e colegas que fiz durante a graduação, inclusive àqueles que por motivos diversos trilharam outros caminhos, especialmente ao Matheus Rodrigues, Lucas Alcântara e Pablo Amâncio, agradeço por terem feito parte da minha história.

E, por fim, mas não menos importante, meu muito obrigada a todos os professores, mestres e doutores da Engenharia Ambiental, do ensino médio técnico e do ensino básico que contribuíram e foram essenciais para a minha formação.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”
(WALTERS, GRAHAM; PROCURANDO NEMO, 2003).

RESUMO

As águas subterrâneas são importantes reservatórios de água doce disponível na Terra e muito utilizadas como fonte alternativa de abastecimento por meio de poços. Porém, seu uso indiscriminado pela população associado a fatores hidrossanitários, têm contribuído para a contaminação das águas subterrâneas. O município de Ouro Preto do Oeste/RO é contemplado por um cenário de acelerado crescimento e ausência de rede de tratamento de esgotos. Assim, objetivou-se avaliar a qualidade da água subterrânea por meio de coletas em poços de captação de água em períodos hidrológicos distintos (ago./2017: estiagem; fev./2018: chuvoso). Foram amostrados dezenove poços e uma mina selecionados aleatoriamente. As amostras de água foram coletadas diretamente no poço com um coletor específico e acondicionadas em garrafas plásticas de 500mL esterilizadas e refrigeradas até a realização das análises. Em campo mediu-se a temperatura e CE pela sonda multiparâmetro YSI-EC300 e o pH pela Sonda LUTRON-PH-221. Em laboratório obteve-se turbidez pelo turbidímetro de bancada HACH 2100P, o OD por titulometria (APHA, 1998), os nutrientes (PT, PD, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻ e NH₃+NH₄⁺) pelo método espectrofotométrico e os coliformes através de membranas filtrantes em meio cromogênico (APHA,1998). Os metais pesados na fração total e dissolvida (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Zn, V) foram analisados por ICP-OS. Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pela PRC 05/2017/MS e CONAMA 386/2008. Os valores de temperatura estiveram próximos nos dois períodos, fato explicado pelo clima da região. A turbidez excedeu os limites da Portaria (5uT) em 50% (estiagem) e em 17,65% (chuvoso). Em geral, a turbidez foi menor na chuva, muito em decorrência do aumento da vazão que acarreta maior diluição. A CE embora não possua um valor orientador, estudos indicam que águas naturais apresentam condutividade entre 10µS.cm⁻¹ a 100µS.cm⁻¹. Somente o P1 e o P13 apresentaram valores <100µS.cm⁻¹, em ambos os períodos, e o P15 em ago./2017. Quanto ao OD, as concentrações estiveram abaixo de 6mg.L⁻¹, provavelmente, pela inexistência do contato da água com o oxigênio atmosférico. O pH esteve em divergência com a Portaria em 55% (seca) e 100% (chuvoso) dos pontos. O P-total atingiu valores de 81,67µg.L⁻¹ (ago./2017) e 31,50µg.L⁻¹ (fev./2018), e o ortofosfato manteve valores <5,0µg.L⁻¹ (fev./2018) e média de 8,74µg.L⁻¹ (ago./2017). O nitrato esteve em conformidade com a legislação (<10mg.L⁻¹), o nitrito teve concentrações relativamente baixas (média de 9,54µg.L⁻¹ ago./2017; <5,0µg.L⁻¹ fev./2018), e a amônia apresentou desconformidade com o estabelecido apenas no P12. Ademais, a maioria dos pontos apresentaram contaminação microbiológica, cuja quantidade de UFC/100mL foi maior no período chuvoso. Os metais que excederam os limites da CONAMA foram: em ago./2017 (Al, As, Ba, Mn e Pb) e em fev./2018 (Al, As, Ba, Mn, Ni, Pb e Zn). O fluxo subterrâneo predominou da direção leste para oeste, com altos potenciométricos no P9 e P7, fator preocupante, já que o P9 apresentou considerável carga de contaminação por metais. Portanto, tendo como referência os padrões da Portaria 05/2017, as águas dos poços amostrais de Ouro Preto do Oeste estão impróprias para consumo humano sem tratamento prévio.

Palavras-chave: Poço, aquífero, contaminação.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 DISPONIBILIDADE E ABASTECIMENTO HÍDRICO	11
3.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA	12
3.2.1 Usos e saúde pública	13
3.2.2 Normatizações e gestão das águas subterrâneas	15
3.3 CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	19
3.4 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	20
3.4.1 Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metais-pesados	21
3.5 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 AMOSTRAGEM	25
4.3 QUESTIONÁRIO SOCIOAMBIENTAL E CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS	25
4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	26
4.4.1 Análises <i>in loco</i>	27
4.4.2 Análises em laboratório -variáveis físico-químicas.	27
4.4.3 Análises em laboratório – variáveis microbiológicas	27
4.4.4 Análises em laboratório: metais-pesados	27
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO	27
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL	28

5.2 CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS.....	30
5.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	33
5.3.1 Variáveis físico-químicas.....	33
5.3.1.1 Temperatura, Turbidez e Condutividade elétrica	33
5.3.1.2 Oxigênio dissolvido, pH, Fósforo total e Ortofosfato.....	36
5.3.1.3 Nitrogênio (nitrato, nitrito e amônia).....	40
5.3.2 Variáveis microbiológicas.....	43
5.3.3 Metais pesados.....	46
5.4 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO.....	51
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
7 RECOMENDAÇÕES	55
8 REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Na década de 80, as pesquisas das águas subterrâneas nos países industrializados mudaram o enfoque do aspecto quantitativo voltado ao abastecimento para se estudar os problemas oriundos de sua qualidade, a fim de quantificar a presença de poluentes provenientes de diversas fontes (COSTA e SILVA, 2000 apud RODRIGUES et al., 2014a). Isto porque a poluição das águas é um indicativo de que esta não está sendo utilizada corretamente e que há descaso quanto aos cuidados necessários para sua manutenção (ROHDEN et al., 2009).

Especificamente, as águas de poços e fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer, desempenhando importante papel no desenvolvimento socioeconômico do País e permitindo o atendimento de comunidades pobres ou distantes das redes de abastecimento público (ODM, 2010).

Contudo, além da deficiência ao acesso aos serviços de saneamento básico em várias regiões do Brasil, outros fatores como a ineficácia da fiscalização dos órgãos e dos instrumentos de outorga e licenciamento para distribuição equitativa e cobrança pelo uso das águas subterrâneas, contribuem para que as pessoas utilizem poços para obter água, mesmo possuindo abastecimento público de água tratada em suas residências.

A avaliação da qualidade deste recurso natural é feita de acordo com os constituintes presentes no fluido e os efeitos que os mesmos podem causar à saúde humana (SANTOS, 2008; GOMES e CAVALCANTE, 2017), cujas principais fontes de poluição atuais estão associadas com vazamentos de esgotos, de tanques de combustíveis em postos de serviços e de substâncias químicas perigosas em áreas industriais. Todas essas fontes, entretanto, se relacionam com as áreas mais densamente urbanizadas (BERTOLO et al., 2015).

Segundo Silva (2008), os produtos orgânicos e inorgânicos lançados em sistemas rudimentares, fossas negras ou sépticas, tendem a chegar ao lençol freático, introduzindo substâncias tóxicas e microrganismos muitas vezes patogênicos, bem como aumentando as concentrações de alguns íons na água subterrânea. Assim, quando há o consumo de água de má qualidade, proporcionalmente, há o surgimento e proliferação de diversas doenças de veiculação hídrica, tornando-se um problema de saúde pública.

Para Terra et al. (2016), a contaminação das águas subterrâneas tem sido uma preocupação crescente, pois, embora o solo possua capacidade de imobilização de grande parte das “impurezas”, ainda assim, essa é limitada, cuja terminologia ‘contaminação de aquíferos’, é entendida como a degradação das águas subterrâneas ocasionada pela perda de qualidade da água potável quando nela há concentrações de substâncias nocivas superiores aos padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (HIRATA e FERNANDES, 2008; OLIVEIRA e FRANCA-

ROCHA, 2013). E, essa contaminação pode atingir grandes extensões, alcançando pontos distantes das fontes de poluição, e que são usados pela população (GONÇALVES, 2014).

No Brasil, existem legislações específicas para avaliar a qualidade da água. As mais usuais para fontes subterrâneas é a Portaria nº 2.914/2011/MS, modificada recentemente pela Portaria de Consolidação (PRC) nº 05/2017, anexo XX, em que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e a Resolução nº 396/CONAMA/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Contudo, pesquisas realizadas em água de poços em Rondônia têm demonstrado desconformidade de alguns parâmetros com as normativas supracitadas e indicadores de contaminação por efluentes, como por Helbel (2011) no perímetro urbano de Ji-Paraná, Martins (2011) em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança em Ji-Paraná, Ferreira (2013) na região central de Rondônia, Cremonese (2014) em áreas de deposição de resíduos sólidos em Ji-Paraná, Laureano (2017) no distrito de Bandeira Branca e na cidade de Presidente Médici, e Ramos (2017) no distrito de Nova Colina e de Nova Londrina (Ji-Paraná).

O município de Ouro Preto do Oeste, em Rondônia, é contemplado com um cenário de acelerado processo de crescimento e ausência de rede de tratamento de esgotos (SOUZA, 2012), além disso, há poucas pesquisas direcionadas a esta temática no município. Destarte, considerando que as águas subterrâneas desempenham papel fundamental na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (SANEAS, 2008), de que é essencial à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas, e sendo o seu acesso um direito garantido por lei, torna-se de grande importância conhecer os aspectos desse bem, a fim de direcionar sua gestão (ANA, 2012).

Assim, como forma de planejar o ordenamento das ocupações populacionais, se faz necessário estudos de estimativa do fluxo subterrâneo por meio da superfície potenciométrica da área e levantamento das atividades potencialmente poluidoras como postos de combustíveis, oficinas mecânicas, cemitério, lixões ativos ou abandonados e esgotamento sanitário *in situ*. (BARROS et al., 2016; TERRA et al., 2013).

Diante do exposto, objetiva-se neste trabalho avaliar a qualidade da água, a direção do fluxo subterrâneo e caracterizar as medidas hidrossanitárias no município de Ouro Preto do Oeste, a fim de auxiliar os órgãos gestores na formulação de propostas e ações para mitigação e preservação desse recurso natural, garantindo a todas as gerações o seu acesso em qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea no município de Ouro Preto do Oeste/RO, bem como as medidas hidrossanitárias e a direção do fluxo subterrâneo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a qualidade da água subterrânea em períodos hidrológicos distintos;
- b) Comparar os resultados obtidos com a Portaria de Consolidação nº 05/2017/MS (anexo XX) e Resolução 396/CONAMA/2008;
- c) Caracterizar as práticas e medidas hidrossanitárias utilizadas no abastecimento de água e a forma de disposição do esgotamento sanitário nas propriedades em estudo;
- d) Levantar as características dos poços (tipo, nível da água, condições de manutenção, distância entre poço e fossa, declividade do terreno, entre outros); e,
- e) Elaborar o mapa do fluxo subterrâneo e identificar possíveis fontes poluidoras.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DISPONIBILIDADE E ABASTECIMENTO HÍDRICO

O uso das águas subterrâneas tem ganhado força como um ponto estratégico para o abastecimento devido ao comprometimento da sua qualidade, ao desenvolvimento de novas tecnologias para exploração subterrânea e ao barateamento dos custos de abertura de poços tubulares. Todavia, não existe um controle efetivo para utilização desta água (CASALI, 2008).

No Brasil, a água subterrânea corresponde a cerca de 1,1 trilhão de m³/ano do ciclo hidrológico, cuja vazão das reservas disponíveis atingem cerca de 14.650m³/s. Contudo, a distribuição dessas reservas não é uniforme e a produtividade dos aquíferos é variável, tendo regiões de escassez e outras com relativa abundância. A região Amazônica, por sua vez, possui reservas com o maior potencial direto (parcela da chuva que infiltra e chega aos aquíferos livres) e explorável (porção que poderá ser explorada de forma sustentável) do país (ANA, 2017).

Quanto ao abastecimento hídrico, a maioria (86%) dos municípios brasileiros são abastecidos por sistemas isolados – aqueles que possuem captação própria para o abastecimento da localidade –, sendo que, desse total, 44% captam água exclusivamente de mananciais subterrâneos e 56% utilizam apenas mananciais superficiais ou poços de forma complementar.

Se analisado por região, a maior parte da população do norte, centro-oeste e sul são atendidas pelos sistemas isolados (ANA, 2010a).

Em Rondônia, todos os municípios possuem sistemas de produção de água isolados, sendo 37 abastecidos por águas superficiais, 10 por mananciais subterrâneos e 5 de forma mista. Especificamente, na cidade de Ouro Preto do Oeste a captação para o abastecimento público se dá por águas superficiais, estando o sistema avaliado como satisfatório até 2025, isto é, tende a não apresentar problemas para o atendimento às demandas, não havendo, pois, a necessidade de investimentos em ampliação ou adequações dos sistemas de produção de água (ANA, 2010b).

3.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA

A Resolução CONAMA nº 396/2008, que trata especificamente do enquadramento das águas subterrâneas, as define como àquelas “que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo”, e conceitua ‘aquíferos’ como “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Nessa mesma linha, Coutinho (2015) complementa ao dizer que toda água que ocorre abaixo de uma superfície é considerada água subterrânea, mas não necessariamente como um recurso hídrico subterrâneo, pois nem sempre há viabilidade econômica em seu uso ou utilização. Sendo assim, a água que infiltra na superfície constitui a umidade do solo e o excedente que percola configura a umidade do subsolo, cujas águas preenchem alguns poros vazios e formarão, assim, a zona não-saturada ou zona vadosa. As águas que pela força da gravidade e diferença de pressão preenchem todos os poros formarão a zona saturada (PRESS et al., 2006).

Já o limite existente entre as zonas não-saturada e saturada é chamado de lençol freático (Figura 1.A), o qual é observado ao perfurar um poço raso, sendo a profundidade encontrada denominada de nível freático, nível d’água ou nível potenciométrico. Sob o ponto de vista hidrogeológico, a movimentação e distribuição da água subterrânea comporta-se de maneira diferente de acordo com as características rochosas do local.

Cleary (2007) diferencia em aquífero e aquitarde, este subdivido em aquíclode. Os **aquíferos** possuem formações geológicas com suficiente permeabilidade e porosidade para armazenar e transmitir grandes quantidades de água; os **aquitardes** tem formações de baixa permeabilidade que armazenam água, mas não podem suprir poços de bombeamento, podem, contudo, transmitir água suficiente através de enormes áreas; e os **aquíclodes** que são tipos extremos de aquitarde, usados para descrever materiais geológicos impermeáveis à água, isto é, que transmitem fluxos de água extremamente baixos.

No Brasil, o potencial subterrâneo se caracteriza por 181 aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes, que se dividem em três domínios quanto a composição rochosa (VILLAR, 2016). Os domínios são definidos pela ANA (2017) como **domínio poroso ou sedimentar**: há a circulação e o armazenamento da água pelos poros das rochas (porosidade primária); **domínio fraturado, fissural ou cristalino**: a água subterrânea é armazenada e circula em fraturas das rochas (porosidade secundária); e **domínio cárstico**: o armazenamento e a circulação das águas são condicionados principalmente pela dissolução, orientada a partir de fraturas em rochas carbonáticas, nas quais há presença de minerais solúveis (porosidade secundária).

Os aquíferos são, ainda, classificados de acordo com o grau de confinamento (Figura 1.C): os **aquíferos não-confinados (freáticos ou livres)** são aqueles em que a superfície freática não está confinada ou impedida de movimentar-se para cima e para baixo, estando sob pressão atmosférica. O fluxo da água é horizontal e o nível da água do poço é o mesmo que o nível da água fora do poço. Já os **aquíferos confinados ou artesianos** são aqueles em formações geológicas permeáveis contornadas abaixo e acima por materiais relativamente impermeáveis, submetendo as águas a uma pressão superior à atmosférica. De acordo com Ferreira (2013), estes aquíferos apresentam recarga indireta e a maioria estão situados em bacias sedimentares.

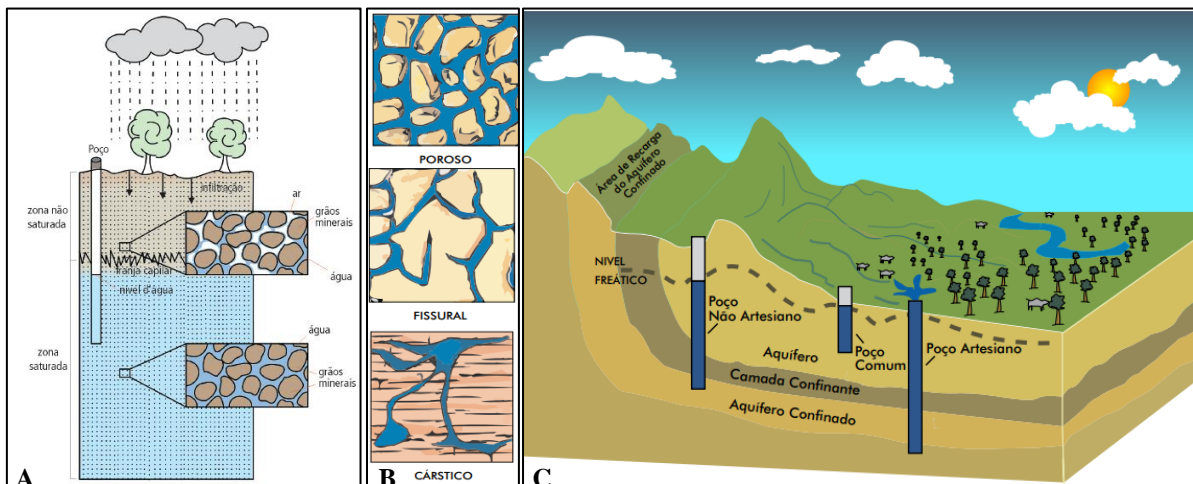


Figura 1 – A. Distribuição da água no subsolo na zona saturada e não-saturada. B. Classificação dos aquíferos quanto a composição rochosa (poroso, fissural e cárstico). C. Representação de um aquífero confinado e não-confinado. Fonte: IRITANI e EZAKI, 2012; MMA, 2007.

3.2.1 Usos e saúde pública

A história da humanidade mostra que o uso de águas subterrâneas por meio da perfuração de poços ocorre desde a idade Antiga. Há registros de perfurações no subsolo da China em 5.000-3.000 a.C., da escavação de 14 poços por volta de 2.100 a.C pela dinastia egípcia, e, construção de túneis e poços que atingiam os aquíferos em de 800 a.C. pelos persas e egípcios. Ocorre que, nesta época, acreditava-se que a água do mar era convertida em água potável através da infiltração e, por

isto, não existem registros de estudos científicos sobre águas subterrâneas na idade antiga. (RODRIGUES et al., 2014b).

Atualmente, porém, há um crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos e do número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas tanto nos aspectos técnico-científicos e socioeconômico, como no administrativo e legal (ANA, 2009).

Isso porque, as águas subterrâneas têm sido demasiadamente utilizadas no atendimento total ou suplementar do abastecimento público e das atividades agrícolas e industriais (HELLER e DE PÁDUA, 2006), havendo indicações de que essa tendência deverá continuar. No mundo, países como Arábia Saudita, Dinamarca e Malta utilizam somente águas subterrâneas para todo o abastecimento humano. Em países como Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça mais de 70% da demanda é atendida por manancial hídrico subterrâneo (VIEIRA, 2016a). Assim, resta evidente a importância desse recurso.

Corroborando com o exposto, Rebouças (2006) e Villar (2016) retratam que o uso dos aquíferos se intensificou a partir da década de setenta e segue esse constante crescimento devido a diversos fatores, tais como os avanços da hidrogeologia e das técnicas de perfuração de poços, redução dos custos de extração, menor suscetibilidade climática, a qualidade das águas subterrâneas, ao aumento da demanda, e a degradação das águas superficiais.

No Brasil, a exploração das águas subterrâneas ocorre desde a época colonial e ainda hoje é altamente explorado (LARINI, 2013). De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2009), a água de poços e fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer.

Entretanto, a grande maioria dos poços brasileiros são perfurados e operados sem controle, sendo propriamente buracos de onde se extrai água, cujas vazões obtidas são como que ‘prêmios de loterias’. Tal fato, aliado a fatores como a ocupação desordenada do solo e ausência de coleta e tratamento de esgotos domésticos nos aglomerados urbanos, torna o consumo de água subterrânea do lençol freático um problema de saúde pública (ALDO, 2004).

De acordo com Paiva e Souza (2018), as doenças de veiculação hídrica como a diarreia, cólera, febres tifoides e paratifoide, shigelose, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais, foram responsáveis em 2015 por 2,35% das internações totais no Brasil, gerando uma parcela de 0,7% dos gastos totais do Sistema Único de Saúde (SUS) com internações no período.

Por sua vez, Vieira (2016b), enfatizou que no Brasil a diarreia, mais especificamente a aguda, é uma das maiores causas de mortalidade infantil, sendo vista como um grave problema de

saúde pública muito comum em países em desenvolvimento, e, a segunda maior responsável por óbito infantil em crianças de até 5 anos.

Ademais, autores vêm defendendo que as questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos têm ganhado notoriedade no cenário nacional e internacional, uma vez que o manejo sustentável da água garante o bem-estar das populações e o desenvolvimento dos países. (TUNDISI, 2006; LOPES e TEIXEIRA, 2012; CARVALHO e CURI, 2015).

3.2.2 Normatizações e gestão das águas subterrâneas

Ao longo do tempo, a legislação brasileira buscou tratar da proteção das águas por meio de diversas leis, tais como o Código das Águas (DEC nº 24.643/1934), Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) e a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), estabelecendo padrões e cuidados para a utilização desse recurso (SANTANA, 2016).

O Código das Águas de 1934 classificou as águas em públicas, comuns e particulares, caracterizando como particulares as nascentes e todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não estiverem classificadas como públicas ou comuns. Logo, a propriedade era distribuída entre a União, os Estados, os Municípios e aos indivíduos proprietários (FREITAS, 2006).

Já em 1981 com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi instituída com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, estabelecendo que os órgãos e entidades dos entes da federação, bem como as fundações públicas ficariam responsáveis por proteger e melhorar a qualidade ambiental. Para tanto, a PNMA instituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e criou o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o qual ficou encarregado, inclusive, de deliberar, no âmbito de sua competência, normas e padrões compatíveis com o ambiente ecologicamente equilibrado (SILVA et al., 2016).

Mas, o grande avanço na questão ambiental se deu com a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CF/88). Além de inserir um capítulo exclusivo sobre meio ambiente, no que tange à questão hídrica, a CF/88 modificou em vários aspectos o Código de Águas de 1934, sendo uma delas a extinção do domínio privado dos corpos d'água para o domínio público, tornando o poder público o único gestor sustentável deste bem, não sendo mais passível o uso livre da água por cada indivíduo (ALDO, 2004).

Referente as águas subterrâneas, a CF/88 em seu art. 26, I, as considerou como bens dos Estados:

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

Importante ressaltar que, mesmo havendo divergências se o domínio seria da União quando as águas subterrâneas ultrapassassem o limite de mais de um Estado e/ou país, o art. 20, III, dispôs como bens da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”, não mencionando, portanto, as águas subterrâneas (FREITAS, 2006). Logo, o domínio continua sendo do Estado.

Ultrapassada a análise constitucional, em 1995 foi criada a Secretaria Nacional de Recursos Hídricos subordinada ao Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, cujo objetivo era a execução e o planejamento dos recursos hídricos do Brasil, tendo sido a percussora do projeto que levou à criação e aprovação em 1997 da Lei nº 9.433 da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (FINOTTI et al., 2001).

De acordo com Miranda et al. (2017), o principal objetivo para criação da PNRH foi de garantir às atuais e futuras geração o acesso à água potável, através dos seguintes instrumentos: os planos nacionais de recursos hídricos, os enquadramentos dos corpos de água, a outorga pelo direito de uso, a cobrança pelo uso e o sistema de informações sobre recursos hídricos.

Granziera e Granziera (2014) referem-se à PNRH como uma norma de natureza geral que se aplica a todo o território nacional, devendo os Estados no ato da gestão e formulação de suas políticas estaduais de recursos hídricos seguir as diretrizes desta política. Entretanto, o autor menciona, ainda, que a norma geral se omitiu na edição de diretrizes para a articulação entre os entes da federação quando a gestão das águas subterrâneas se fizer de forma compartilhada, isto é, quando determinado corpo hídrico se estender no território de mais de um Estado.

Posteriormente à criação da PNRH, sobreveio a edição do Decreto n 2.612/98 que regulamentou o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e da Lei nº 9.984/2000 que criou a Agência Nacional de Águas (ANA), a qual é uma entidade federal responsável pela implementação da PNRH e coordenação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SINGREH) (GUIMARÃES e RIBEIRO, 2008).

Assim, com o intuito de disciplinar a temática da gestão hídrica, o CNRH e o CONAMA editaram resoluções específicas. Em se tratando das águas subterrâneas pode-se citar:

- a) CNRH nº 15/2001 que trata dos principais conceitos acerca deste tema e da gestão integrada das águas subterrâneas e superficiais;
- b) CNRH nº 16/2001 que dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos;
- c) CNRH nº 22/2002 que objetiva introduzir as águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos;

- d)** CNRH nº 76/2007 que estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários;
- e)** CONAMA nº 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas;
- f)** CNRH nº 91/2008 que trata dos procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos;
- g)** CNRH nº 92/2008 que estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro;
- h)** CNRH nº 107/2010 que estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, implantação e operação da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas;
- i)** CNRH nº 153/2013 que trata dos critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro.

Além das normatizações supracitadas, as águas subterrâneas estão sujeitas ao controle da poluição, uma vez que grande parte da população as utilizam como solução alternativa de abastecimento de água. Tal sujeição é realizada pela Portaria de Consolidação (PRC) nº 05/2017 (anexo XX), de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Contudo, embora haja normatizações no plano federal, os estados enfrentam problemas na aplicação dos instrumentos previstos na PNRH. De acordo com Villar (2016), o enquadramento das águas subterrâneas em classes segundo os usos preponderantes não saiu do papel e os planos de recursos hídricos têm dificuldades para incluí-las, isto porque além da ausência de infraestrutura mínima para geração de dados indispensáveis para gerir os aquíferos e nortear seus usos, poucos estados possuem leis específicas nesta temática, o que gera prejuízos na aplicação de outros instrumentos da política, como a outorga.

Em Rondônia, a Política Estadual de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei Complementar (LC) nº 255/2002 que criou, também, o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia. Esta LC foi regulamentada pelo Decreto nº 10.114/2002, o qual foi alterado pelo Decreto nº 20.337/2015.

Cabe destacar, ainda, que em 2014 foi publicada a Resolução pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia CRH/RO nº 04 que tratou dos critérios para definição de derivações, captações, lançamentos de efluentes, acumulações e outras interferências em corpos d'água de domínio do Estado de Rondônia que independem de outorga, que não estão sujeitos à outorga.

A referida resolução, os usos insignificantes da água não são objeto de outorga de direito de uso de recursos hídricos pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), mas obrigatoriamente de registro no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), dispondo no art. 2º o que pode ser considerado como usos insignificantes:

Art. 2º São consideradas insignificantes:

I - vazões de captação máximas instantâneas inferiores a 1,0 L/s, quando não houver deliberação diferente por parte do CRH/RO ou um critério diferente expresso no plano da bacia hidrográfica em questão;

II - captação por nascentes, respeitada a Área de Preservação Permanente estabelecida no art. 4º, IV da Lei 12.651/2012;

III - derivações, captações e lançamentos destinados a usos temporários de recursos hídricos, tais como atendimento emergencial de atividade de interesse público, realização de testes de equipamentos, outros usos de curta duração, os quais não se estabeleçam como uso permanente;

IV - lançamentos de efluentes em corpos de água superficiais, por usuário em um mesmo corpo de água, com exceção dos lagos e reservatórios, e a montante desses, cujos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5 20°C sejam iguais ou inferiores aos valores de referência estabelecidas para as respectivas classes de enquadramento dos corpos receptores, em consonância com a Resolução CONAMA nº 357/05 e 430/11;

V - lançamento máximo de efluente com temperatura superior à do corpo hídrico receptores inferiores a 40°C, exceto nos casos em que o CRH/RO tenha decidido de forma diversa;

VI - a captação superficial para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural de 200 litros/dia por habitante;

VII - acumulações de volumes de água de volume máximo igual a 20.000 m³ (vinte mil metros cúbicos) e altura do maciço seja igual ou inferior a 4,0 m (quatro metros), ressalvado o disposto no art. 4º desta Resolução.

VIII - Captações subterrâneas, por meio de poços manuais (amazônicos, cacimbas), desde que a derivação da água seja para os usos individuais que caracterizam o atendimento das necessidades básicas da vida: higiene, alimentação e produção de subsistência. A este critério em áreas onde haja sistema de abastecimento de água cumprir o estabelecido no art. 45 da lei 11.445/2007, e não será considerado uso insignificante a utilização da água para fins econômicos.

Recentemente, a SEDAM editou a Portaria nº 081/GAB/SEDAM/2017, que alterou a Portaria nº 38/GAB/SEDAM/2004, dispondo sobre os procedimentos administrativos e documentação necessária para emissão de autorização de uso de recursos hídricos no âmbito do Estado de Rondônia.

Por fim, insta salientar que o governo do Estado de Rondônia, por meio da SEDAM, contratou a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia (PERH/RO), o qual foi concluído em 2017, sendo, pois, um grande avanço para o estado na questão hídrica, já que o objetivo do plano é subsidiar os órgãos gestores e componentes do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na administração efetiva dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2017).

3.3 CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas são captadas para abastecimento de água e/ou para o monitoramento dos níveis ou qualidade de águas, geralmente, por meio de poços, piezômetros e outros dispositivos. (FITTS, 2015). No que tange ao abastecimento, grande parte da população brasileira rural e urbana utiliza tradicionalmente os poços, entretanto, tal uso foi acompanhado da proliferação de poços construídos sem levar em conta critérios técnicos adequados que permitissem condições qualitativas básicas de potabilidade (CAPP et al., 2012).

Assim, a depender do modo de construção, diâmetro, revestimento e pressões hidráulicas atuantes, os poços recebem classificações. Contudo, a denominação dos tipos de poços existentes não é um consenso entre os estudiosos, cuja falta de padronização nacional dos termos tendem a gerar dificuldades na interpretação dos dados em determinadas situações. Desta forma, este trabalho utilizará a classificação proposta por Giampá e Gonçalves (2005) e Vasconcelos (2014).

Giampá e Gonçalves (2005) definiu dois grupos de poços. Para o autor, existem os poços escavados que são, em geral, de grandes diâmetros, profundidades de até 20 metros e captam água do lençol freático. E, há os poços tubulares profundos que são perfurados verticalmente com sonda perfuratriz e possuem profundidade de até 2000 metros.

Na mesma linha, Vasconcelos (2014) subdividiu esses dois grupos de poços. Para ele:

- a) **Poços escavados:** são caracterizados por possuírem, geralmente, diâmetro maior que 0,5m e profundidades que variam de um metro a dezena de metros, dependendo diretamente da litificação da formação geológica. São subdivididos em cacimba, cacimbão e amazonas.
 - **Cacimba:** poço com diâmetro superior a 0,5m e que não possui revestimento em sua parede;
 - **Cacimbão:** poço com diâmetro superior a 1m e inferior a 5m e que possui revestimento parcial ou total em sua parede;
 - **Amazonas:** poço com diâmetro superior a 5m e que possui revestimento parcial ou total em sua parede.
- b) **Poços tubulares:** são caracterizados por possuírem um revestimento tubular que, geralmente, pode ser de PVC ou aço com diâmetro inferior a 0,5m, podendo apresentar diâmetros diferentes para o mesmo poço conforme a profundidade. Seu diâmetro é comumente expresso em polegadas, variando de 2 a 18 polegadas, sendo mais comuns os de 6 e 8 polegadas. São subdivididos em dois grupos quanto à posição da carga hidráulica do aquífero, podendo ser:
 - **Freático:** poço que capta água de aquíferos livres;

- **Artesiano:** poço que capta água de aquíferos confinados, podendo ser dividido em dois outros tipos segundo o nível potenciométrico em relação à superfície topográfica. **Artesiano não jorrante** (poço que capta água de aquíferos confinados em que a superfície potenciométrica se encontra abaixo no nível topográfico, sendo necessários mecanismos para bombear água até a superfície) e **artesiano jorrante** (poço que capta água de aquíferos confinados em que a superfície potenciométrica se encontra acima da superfície topográfica. Assim, a água chega naturalmente à superfície do terreno sem a necessidade de bombeamento).

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A preservação da qualidade da água é uma necessidade universal. Como é sabido, os aquíferos apresentam ampla distribuição no território nacional e a qualidade de suas águas permitem os aproveitamentos para diferentes fins, tais como abastecimento humano, irrigação, turismo, entre outros (ANA, 2007).

Corroborando com isto, Monteiro (2012) enfatiza que em decorrência do baixo custo de instalação e operação do sistema, solução de abastecimento local, e a possibilidade de uso sem tratamento prévio, as águas subterrâneas tornaram-se alvos de interesse e especulação dos diversos setores da sociedade. Porém, o autor complementa dizendo que o fato desse recurso ser tão acessível na maioria dos lugares, fez com que a extração fosse desenfreada e poços fossem construídos sem critérios técnicos, levando, assim, à diminuição de sua disponibilidade e à contaminação de inúmeros aquíferos, principalmente, em centros urbanos sem condições de saneamento adequadas.

Conforme Barrientos (2015), os processos de mudanças da quantidade e qualidade das águas subterrâneas são mais lentos se comparados com as águas superficiais, uma vez que ocorrem sob a Terra e em grandes extensões. Tais mudanças só são perceptíveis através do monitoramento e interpretação contínua dos dados obtidos, os quais fornecem subsídios para se alcançar a gestão eficaz deste recurso, permitindo o controle dos impactos decorrentes da extração e das cargas de poluentes presentes.

O monitoramento periódico do nível estático e dinâmico, bem como das vazões, é fundamental para avaliação do comportamento do poço e do conjunto de bombeamento, a fim de identificar antecipadamente problemas relacionados ao desgaste ou mau funcionamento de componentes elétricos, hidráulicos e eletrônicos, e condições do poço. Enquanto que, análises físico-químicas e bacteriológicas permitem detectar possíveis variações na qualidade da água, que podem ser causadas por fontes internas e externas de contaminação, por falhas na construção e operação, e pelo envelhecimento natural do poço (GIAMPÁ, 2008).

Para Fitts (2015), as fontes de contaminação subterrâneas podem ter diversos tamanhos e formas, englobando as pontuais (vazamento de tubulação ou tanque subterrâneo, lagoa de recepação de efluentes, derramamento de resíduos químicos de uma fábrica), e não pontuais (precipitação de chuvas poluídas, uso de pesticidas, desastres em rodovias e estacionamentos de automóveis liberado compostos químicos para o subsolo).

Os parâmetros físico-químicos da água e de soluções aquosas objetivam identificar e quantificar os elementos e espécies iônicas contidos nesses compostos, bem como visa-se associar os resultados aos possíveis efeitos e alterações no meio ambiente através de parâmetros conhecidos e especificados em portaria e resoluções (PARRON et al., 2011). Isso porque as moléculas de água são polares, cuja distribuição de carga desigual causa atração, principalmente, com outras moléculas e íons dissolvidos (FITTS, 2015).

Já os parâmetros microbiológicos auxiliam na identificação das condições sanitárias da água, utilizando-se de organismos indicadores de contaminação de matéria de origem fecal (humana ou animal) e risco de presença de organismos patogênicos. Isso porque a exata identificação de organismos patogênicos na água é, via de regra, morosa, completa e onerosa, tornando-se tecnicamente e economicamente mais viável o uso de indicadores que possuam melhores correlações com os riscos de saúde associados à contaminação de um ambiente (BRASIL, 2006b).

Por fim, os metais-traço formam o grupo de contaminantes que causam efeitos sobre a biota aquática e nos seres humanos de acordo com o tipo de metal e de sua concentração no meio. Alguns metais são essenciais ao metabolismo humano, porém em certas concentrações podem tornar-se altamente tóxicos, podendo, inclusive, apresentar características carcinogênicas, mutagênicas e até teratogênicas (BRASIL, 2006b).

3.4.1 Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metais-pesados

Dentre as variáveis físico-químicas estão a temperatura, turbidez, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), nitrato ($N-NO_3^-$), nitrito ($N-NO_2^-$), amônia ($NH_3+NH_4^+$), fósforo total (PT) e fósforo dissolvido (PD).

A temperatura mede a intensidade de calor nos corpos d'água, geralmente, expressa pela unidade graus Celsius ($^{\circ}C$). Quanto maior for a temperatura, maior será as taxas de reações físicas, química e biológicas, e a taxa de transferência de gases, entretanto, menor será a solubilidade dos gases (VON SPERLING, 2005). Já a turbidez indica a presença de sólidos dissolvidos em suspensão ou material em estado coloidal, sejam eles orgânicos ou inorgânicos (areia, argila), que podem formar bancos de lodos, que associado a digestão anaeróbia tendem a produzir gases metano, carbônico, nitrogênio e sulfídrico (SCORSAFAVA et al., 2010).

Por sua vez, a condutividade elétrica é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica em função da concentração dos íons presentes e da temperatura, sofrendo influência do pH (ESTEVES, 1998), isto porque, os valores do potencial hidrogeniônico contribuem para um menor ou maior grau de solubilidade das substâncias e determina o potencial de toxicidade de vários elementos, cujas variações decorrem da dissolução de rochas, fotossíntese, despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2014).

O oxigênio dissolvido (OD), também, é fundamental para a caracterização dos efeitos da poluição por despejos orgânicos, pois a decomposição da matéria orgânica consome OD (VON SPERLING, 2005). Já o nitrato é um dos constituintes inorgânicos nocivos à saúde que possui alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas. Sua presença na água indica contaminação antiga, por ser produto final da estabilização aeróbia de nitrogênio orgânico. (FOSTER, 1993).

E, como se não bastasse, o nitrato pode ser convertido em nitrito ainda no corpo humano, principalmente na saliva e no trato intestinal, podendo causar cianose intensa (metahemoglobinemia) e levar à morte, principalmente, de crianças e idosos (ALABURDA e NISHIHARA, 1998; SILVA e ARAÚJO, 2003).

Em relação à amônia, sua presença acima dos limites estabelecidos pelas normatizações, pode indicar ausência de boas condições sanitárias no local e, provavelmente, poluição por despejos domésticos *in natura* nos poços, ou, proximidade destes com fossas sépticas incorretas, escoamento de águas pluviais de solos fertilizados em atividades agrícolas próximas e/ou processos erosivos do solo (COSTA et al., 2012).

O fósforo pode ter origem natural quando da dissolução de compostos do solo e matéria orgânica, ou origem antropogênica em decorrência do despejo de efluentes domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes (VON SPERLING, 2005).

Ademais, a qualidade microbiológica da água é muito utilizada para a verificação de microorganismos indicadores que podem sugerir a presença de patógenos danosos à saúde humana. Dentre estes indicadores, geralmente, utiliza-se os coliformes totais e os coliformes termotolerantes (BRASIL, 2006a; SILVA et al., 2017). Os coliformes totais incluem espécies do gênero *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, sendo *Escherichia coli* a principal representante do subgrupo termotolerante e excelentes indicadores de contaminação fecal e de patógenos entéricos em água fresca (ZULPO et al., 2006; OLIVEIRA, 2015b).

Por fim, os metais podem estar relacionados a processos naturais como decomposição de rochas, lixiviação do solo, ressuspensão de sedimentos, erupções vulcânicas e deposição atmosférica, e processos antropogênicos associados a atividades de mineração e fundição, industriais, uso de produtos domésticos e agrícolas (BEZERRA, 2016).

O fato dos metais não serem biodegradáveis, propicia seu acúmulo no solo, no sedimento e na água. Assim, a toxicidade na água varia em função do pH e dos teores de carbono dissolvidos e em suspensão, cuja forma mais tóxica ocorre quando o metal se encontra como cátion ou ligado a cadeias carbônicas (BAIRD, 2002, LIMA e MERÇON, 2011).

3.5 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

O sentido do fluxo subterrâneo é um dos parâmetros mais importantes na obtenção das tendências de direção e sentido da pluma de contaminação subterrânea provenientes de diversas fontes (postos de combustíveis, cemitérios, lixões, esgotos *in natura* etc). Isso porque, com o direcionamento, pode-se planejar ações que visem a minimização dos riscos ou evitem a instalação de empreendimentos potencialmente poluidores em áreas com alta vulnerabilidade (TERRA et al., 2013).

Assim, para obter a direção de fluxo das águas subterrâneas é necessário a determinação da superfície potenciométrica de cada poço de monitoramento, nos quais mede-se os níveis de água e correlaciona-os com as cotas altimétricas acima do nível do mar (CHAVES e SILVA, 2008). O nível da água, por sua vez, é adquirido com a diferença da profundidade de fundo e a de superfície (HEATH, 1982; RAMOS, 2017).

Por fim, com as curvas de igual altitude da superfície piezométrica, chamadas de curvas isopiezas, é possível a criação de mapas potenciométricos que possibilitam a visualização bidimensional da direção do fluxo e proporcionam subsídios para o delineamento do gradiente hidráulico e da vazão unitária de um local, e a determinação dos limites de bacias hidrogeológicas (ARRAES e CAMPOS, 2007).

Um exemplo prático da relevância em se determinar a direção do fluxo subterrâneo está na Resolução CONAMA nº 273/2000, uma vez que a norma determinou no art. 5º, I, alínea “e”, que para a emissão de licença prévia e de instalação de postos de combustíveis e serviços, é necessário a caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado, no raio de 100m.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A região Centro-Oeste do estado de Rondônia é denominada de Grande Ouro Preto, correspondendo aos municípios de Ouro Preto do Oeste, Nova União, Mirante da Serra, Vale do

Paraíso, Teixeirópolis e Urupá, os quais situam-se na bacia do rio Ji-Paraná, também denominado por Rio Machado (QUOOS, 2007).

A área objeto deste estudo situa-se no município de Ouro Preto do Oeste ($10^{\circ}44'53''S$; $62^{\circ}12'57''W$), localizada aproximadamente 330km de distância da capital do estado de Rondônia, possuindo 36.340 habitantes em uma área de 1.969,850 km² (IBGE, 2018).

Segundo o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (ZSEE-RO, 2010), o município de Ouro Preto do Oeste possui toda sua extensão territorial situada em regiões com intensa ocupação, definida de acordo com diretrizes traçadas pela sub-zona 1.1. Porém, tal ocupação teve um encolhimento de mais de 50% entre 1991-2016 (RONDÔNIA, 2018).

A região não sofre significativas influências do mar ou da altitude, possuindo um clima tipicamente tropical úmido, com temperaturas elevadas durante todo o ano (em torno de 26°C e 23°C), amplitude térmica elevada e precipitação média anual de 1300mm a 2600mm. (MMA, 2010). De acordo com Webler et al. (2013), a região apresenta um período úmido característico de janeiro a março, úmido-seco de abril a junho, seco de julho a setembro e seco-úmido de outubro a dezembro.

A fitogeografia do local possui fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Submontana com Dossel Uniforme (Dsu), Floresta Ombrófila Densa Submontana com Dossel Emergente (Dse) e Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Palmeiras (Asp) (IBGE, 2012; MASCARENHAS, 2017).

O município de Ouro Preto do Oeste/RO localiza-se sobre rochas cristalinas (Charnoquitos) Suíte Serra da Providência, cujas características morfológicas, fisiográficas e estruturais configuram baixo potencial do hidrogeológico do aquífero se comparado a outros domínios rochosos (CPRM, 2013). De acordo com ANA (2010a), a capacidade específica, isto é, a vazão que pode ser obtida de um poço por metro de rebaixamento do nível d'água estático no município de Ouro Preto do Oeste, é menor que 0,5 m³/h/m, avaliado como baixo a muito baixo. Entretanto, mesmo diante da baixa produtividade, a captação de água subterrânea representa alternativa de abastecimento de água às populações locais, sobretudo rurais, através de poços rasos (CPRM, 2013).

Na zona urbana, ANA (2010b) informa que 87% das sedes municipais do estado de Rondônia são atendidas pela concessionária de serviços de abastecimento de água CAERD (Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia), inclusive o município de Ouro Preto do Oeste. E, segundo MMA (2010), apesar das deficiências de abastecimento de água da cidade, o acesso aos serviços básicos apresentam situação melhor se comparado com outros municípios, já que 90% das residências possuem banheiro ou sanitário e mais de 60% são atendidos por serviço de coleta de lixo, embora a destinação seja precária, pois não há aterro sanitário.

Quanto a rede coleta e sistema de tratamento de esgoto, os moradores do município de Ouro Preto do Oeste utilizam as fossas negras individuais como alternativa para a destinação dos efluentes domésticos (MULER e SILVA FILHO, 2015).

4.2 AMOSTRAGEM

Foram amostrados 19 (dezenove) poços e 1 (uma) mina selecionados aleatoriamente no município de Ouro Preto do Oeste (Figura 2), onde priorizou-se os locais que utilizavam a água de poço como alternativa de abastecimento e que aceitaram participar da pesquisa.

Importante destacar que, não foi possível obter pontos amostrais no centro comercial da cidade, uma vez que ambas as coletas foram realizadas aos domingos com o intuito de encontrar os moradores em suas residências.

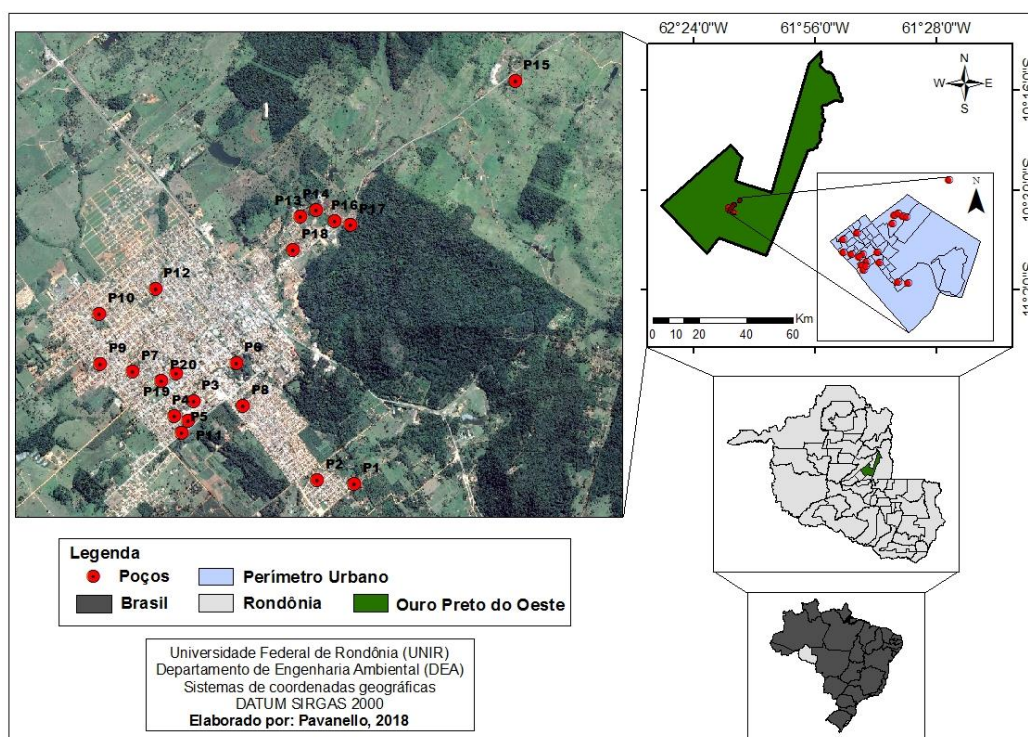


Figura 2 – Mapa de localização dos pontos amostrais do estudo da água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO.

Realizou-se duas coletas, sendo a primeira no mês de ago./2017 inserido no período de estiagem e a segunda em fev./2018, mês com alta pluviosidade. As coordenadas geográficas foram georreferenciadas com o sistema de coordenadas geográficas DATUM SIRGAS 2000.

4.3 QUESTIONÁRIO SOCIOAMBIENTAL E CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS

Os participantes da pesquisa receberam um termo de livre consentimento (Anexo C) esclarecido para a aplicação de um questionário socioambiental (Anexo B) aos moradores do local,

a fim de identificar as práticas, medidas e condições hidrosanitárias utilizadas, além de informações concernentes a percepção ambiental dos mesmos e a situação social da família.

Questões como o tipo de instalação predial, a quantidade de moradores, a fonte de água utilizada pela família, tratamento prévio da água ao consumo, forma de destinação e disposição dos resíduos sólidos e efluentes gerados, bem como presença de sintomas e doenças advindos da ingestão de água, foram questionamentos aplicados aos moradores.

Ademais, usou-se de uma ficha de campo (Anexo A) para facilitar o preenchimento e posterior análise das características dos poços, tais como a presença de revestimento interno e tampa, condições das tampas, forma de retirada da água, dentre outros aspectos.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A coleta da foi realizada diretamente nas fontes de captação por meio de coletor específico para água em profundidade e uso de garrafas plásticas de água mineral (500mL), as quais foram abertas no momento da coleta para manter a integridade das amostras e, posteriormente, mergulhadas na fonte de água com o auxílio de um coletor próprio para esta finalidade. As amostras foram mantidas refrigeradas até a realização das análises físicas, químicas e microbiológicas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM, da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), *campus* Ji-Paraná.

Frisa-se que, nos poços amostrais que estavam lacrados, a água para análise qualitativa foi coletada na própria fonte de saída, isto é, diretamente da torneira/mangueira.

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram:

- a) **Físico-químicos:** Temperatura (T°C), Turbidez (UNT) e condutividade elétrica (CE); Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total (PT), Fósforo Dissolvido (PD), Nitrato (N-NO₃⁻), Nitrito (N-NO₂⁻) e Amônia (NH₃+NH₄⁺);
- b) **Microbiológicos:** Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF);
- c) **Metais pesados:** prata (Ag), alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), berílio (Be), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), antimônio (Sb), estanho (Sn), estrôncio (Sr), zinco (Zn) e vanádio (V). Na tabela periódica, os seguintes metais estão inseridos nas classes: metais de transição (prata, cádmio, cobalto, cromo, cobre, manganês, molibdênio, vanádio, zinco, níquel), metais representativos (alumínio, chumbo, estanho), semi-metais (antimônio, arsênio) e metais alcalinos-terrosos (bário, estrôncio, berílio).

4.4.1 Análises *in loco*

Em campo foram realizadas as medições das variáveis temperatura (°C) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) por meio da sonda YSI - EC 300, bem como o potencial hidrogeniônico (pH) pela sonda LUTRON – PH-221, cuja média foi obtida com os valores de \log_{10} .

4.4.2 Análises em laboratório -variáveis físico-químicas.

Em laboratório, obteve-se a turbidez através do turbidímetro de bancada HACH, modelo 2100 P. Para o oxigênio dissolvido utilizou o método titulométrico de Winkler (1969) descrito em APHA (1998). Os nutrientes amônia, nitrito, nitrato, fósforo dissolvido e total foram realizados pelo método espectrofotométrico conforme descrito em *Standard of Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (APHA, 1995).

4.4.3 Análises em laboratório – variáveis microbiológicas

O método utilizado para a análise da presença de bactérias do grupo coliformes totais e coliformes fecais (*Escherichia coli*) foi o de membranas filtrantes em meio cromogênico, conforme descrito no *Standard of Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (APHA, 1998). A análise foi feita em menos de 24 horas após a coleta das amostras. A contagem do número de colônias formadas nas placas e os resultados obtidos foram expressos em unidades formadoras de colônia por 100mL (UFC/100mL). As UFCs de *E. coli* correspondem às colônias que apresentam coloração violeta/preta e as UFCs de coliformes totais apresentam coloração rosa/lilás.

4.4.4 Análises em laboratório: metais-pesados

As concentrações de metais foram analisadas nas amostras de água bruta (Fração Total – FT) e amostras de água filtradas (Fração Dissolvida – FD). Após a coleta, acidificou-se 10mL de água bruta de cada ponto amostral com HNO_3 (ácido nítrico) concentrado (70% m/m). Posteriormente, filtrou-se 10mL de água de cada ponto em filtros de acetato de celulose de $0,45\mu\text{m}$ de poro, repetindo-se o processo de acidificação referido anteriormente.

Após o preparo das amostras, estas foram mantidas refrigeradas e conduzidas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da UNIR campus de Porto Velho onde os metais pesados foram quantificados pela técnica de (Espectrômetria de Emissão Óptica com Plasma Indutivo Acoplado -ICPOS), marca/modelo Perkin Elmer Optima 8300.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A fim de caracterizar o fluxo subterrâneo, foram obtidos a cota altimétrica e o nível de água dos poços, para que a partir do programa Surfer 8, utilizando o interpolador krigagem, fossem

gerados os mapas da tendência de direção de fluxo das águas subterrâneas. Para as medições das cotas altimétricas, as demarcações das coordenadas geográficas dos poços e fossas, e a distância entre as mesmas, nas respectivas residências, utilizou o aparelho GPS (Garmin Etrex Vista H 2,8”). O nível de água dos poços foi determinado pela diferença entre a profundidade da fonte e a profundidade de superfície, utilizando-se uma fita métrica.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para melhor análise dos resultados obtidos, utilizou-se da análise multivariada, denominada por Análise de Componentes Principais – ACP, via matriz de correlação. Para tanto, foi baixado o suplemento XLSTAT 2018 (versão estudante) para auxiliar na confecção dos gráficos no Microsoft Office Excel.

A ACP consiste na redução das variáveis originais em um conjunto de variáveis de mesma dimensão linear que formam as componentes principais, possibilitando a verificação de padrões temporais (períodos analisados) e espaciais (entre os poços), com a menor perda possível da informação (RAMOS, 2017).

A projeção de cada amostra no novo sistema de eixos gerados fornece os *scores* e cada amostra terá um valor, que podem ser organizados na forma de um gráfico biplot. Assim, quanto mais forte for a estrutura de correlação entre as variáveis, maior será o poder de síntese das novas variáveis, eixo de ordenação (NASCIMENTO, 2006; LAUREANO, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL

Com base no questionário socioambiental foi possível conhecer os hábitos hidrosanitários dos usuários dos poços amostrais, tais como a forma de disposição e destinação dos resíduos sólidos e efluentes das residências, os tratamentos prévios utilizados antes do consumo, assim como o tempo de atividade dos poços e possíveis sintomas e doenças de veiculação hídrica que acometeram os moradores do local.

Os pontos amostrais são compostos por 18 (dezoito) residências, 1 (uma) escola de ensino fundamental e 1 (uma) mina. Em relação aos poços residenciais, 33% dos entrevistados disseram morar no local há mais de vinte anos; 28% há menos de cinco anos; 22% de dez a vinte anos; e 17% de cinco a dez anos. O tempo de residência serve como um indicativo do tempo de consumo/uso da água do poço, e que também reflete no tempo em que uma família pode estar exposta a um contaminante.

A maioria das moradias eram construções de alvenaria (67%) e as demais de madeira (33%), sendo, no geral, 89% das residências de aquisição da própria família. Em relação à composição do núcleo familiar, 33% das famílias eram compostas por quatro adultos; 28% por dois adultos; 22% por três adultos; e nos outros 18% residiam um, cinco ou seis adultos.

Com relação ao número de jovens e crianças, apenas 22% (P1, P9, P12 e P17) das residências possuíam pelo menos um jovem e 28% (P13, P14, P15, P17 e P18) pelo menos uma criança. O percentual restante contempla àquelas residências sem jovens e crianças.

Conforme pesquisa realizada por Marinho et al. (2016) em Barcarena/PA, as internações por doenças infecciosas e parasitárias provocadas por veiculação hídrica, principalmente diarreias e gastroenterites de origem infecciosa presumível, ocorre com maior frequência em crianças de 0 a 4 anos, seguida por adultos maiores de 60 anos e, novamente, crianças de 5 a 9 anos.

Quanto a principal fonte de água utilizada nos pontos amostrais (Figura 3.A), 42% (P1, P6, P8, P10, P13, P14, P15, P20) utilizam apenas a proveniente do poço; 26% (P4, P5, P7, P12, P19) usam a água do poço, mas compra água mineral para ingestão; 21% (P2, P3, P9, P17) fazem o uso do poço e da água tratada fornecida pela CAERD; e os outros 11% (P11 e P18) usam somente a água da CAERD. Vale ressaltar que o ponto P11 corresponde à escola.

Quanto ao prévio tratamento da água antes do consumo nas residências (Figura 3.B), 47% (P2, P3, P4, P6, P8, P13, P17, P19, P20) dos entrevistados declararam adicionar cloro diretamente no poço mas sem regularidade; 42% (P1, P5, P9, P10, P11, P12, P16, P18) disseram não tratar; e, especificamente, no ponto P14 disseram realizar apenas a filtragem da água antes do consumo e no P7 não souberam informar a existência ou a ausência de tratamento.

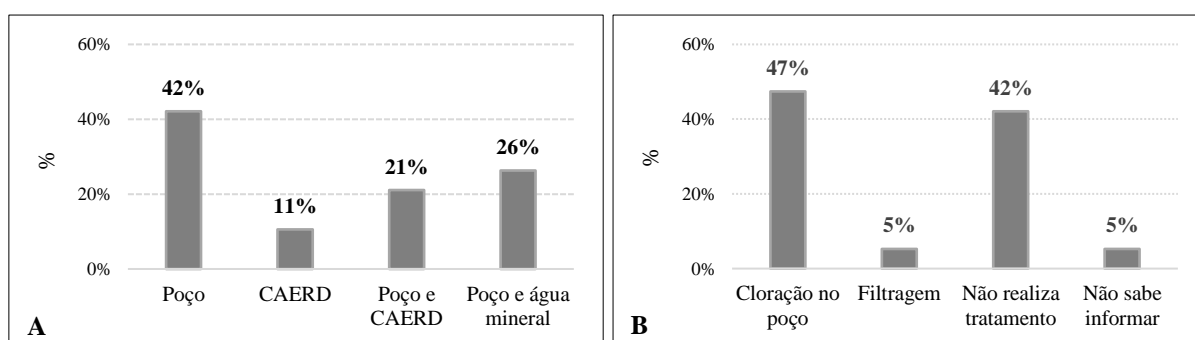


Figura 3 – **A.** Fonte de água utilizada pelos poços amostrais. **B.** Tratamentos realizados pelos usuários antes do consumo da água subterrânea (à direita) do município de Ouro Preto do Oeste/RO em 2017. Fonte: Autora (2018).

Soluções de hipoclorito em frascos são disponibilizados, de forma gratuita, pelo Ministério da Saúde, cujos rótulos dos recipientes instruem o usuário a adicionar 2 gotas da solução para cada litro de água por no mínimo 30 minutos antes do consumo (FERREIRA et al., 2016). Logo, a aplicação do produto diretamente em poços não é eficiente, pois devido ao fluxo subterrâneo é

difícil a quantificação do volume correto de água e, conseqüentemente da dose de cloro que deverá ser aplicada.

Outro ponto observado, em relação aos 47% dos moradores que adicionam cloro diretamente nos poços, é a frequência da dosagem: 33% disseram adicionar uma vez por mês; 11% a cada 15 dias; e o restante (56%) declararam outras possibilidades de dosagem, como a cada 3 meses, 6 meses, ou, quando há a necessidade de usar a água do poço em decorrência de falhas no abastecimento do sistema público.

Em relação aos aspectos sanitários, 100% dos entrevistados afirmaram haver coleta pública para a destinação dos resíduos sólidos gerados, cuja frequência, na maioria das residências (56%), ocorre duas vezes na semana. Já a destinação dos efluentes domésticos gerados em todos os pontos amostrais se dá por meio de fossas negras, haja vista que toda a cidade não possui sistema de coleta e tratamento de esgotos (SOUZA, 2012). Contudo, observou-se que 17% dos entrevistados responderam haver rede coletora de esgoto, demonstrando desconhecimento sobre o assunto.

Quando indagados se há casos frequentes no local de doenças ou agravos a saúde de veiculação hídrica, dois entrevistados disseram ter apresentado sintomas de diarreia, especificamente nos pontos P9 e P14. No ponto P9, utiliza-se a água do poço para lavar o quintal e regar as plantas, não havendo nenhuma forma de tratamento prévio. Já no P14 residem duas crianças, cujo tratamento da água do poço antes do consumo ocorre por filtragem.

5.2 CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS

Conforme classificação de Giampá e Gonçalves (2005), todos os poços em estudo e que não estavam lacrados no momento da coleta, podem ser considerados como escavados, uma vez que as profundidades de fundo foram menores que 20 metros. Os pontos com poços lacrados foram P1, P17 e P20 (primeira coleta) mais o ponto P16 (segunda coleta). Importante ressaltar que o poço P1, embora lacrado, possui profundidade menor que 20 metros, segundo o proprietário.

O fato de todos os poços amostrais de Ouro Preto do Oeste, que foram dimensionados terem sido classificados como escavados, apenas ratifica resultados de pesquisas como de Martins (2011), Ferreira (2013), Ramos (2017) e Laureano (2017), todos em Rondônia, cuja maioria dos poços estudados são rasos, os quais são denominados nesta pesquisa como escavados.

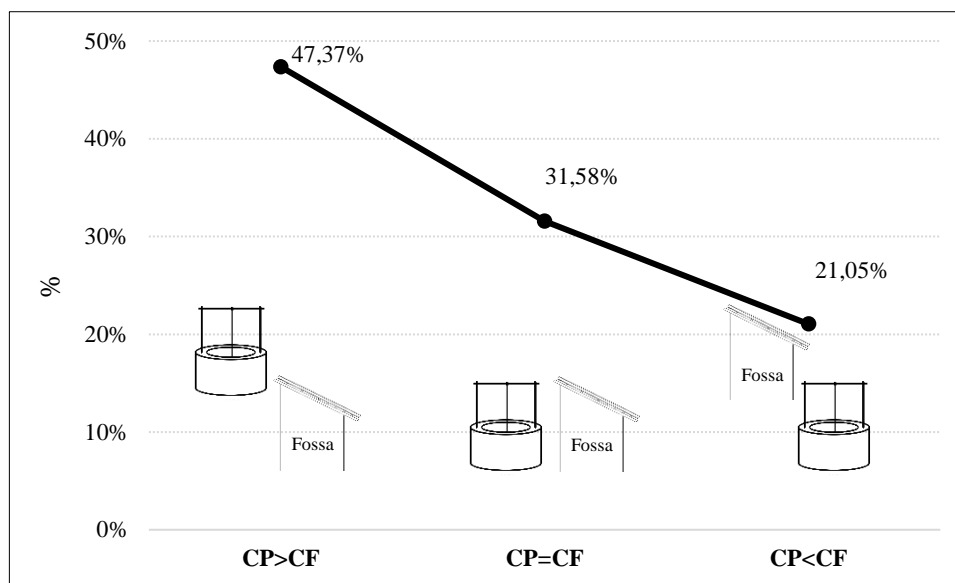
Já em relação a classificação de Vasconcelos (2014), 10 poços (P3, P4, P8, P9, P11, P12, P13, P14, P18, P19) foram enquadrados como poços cacimbas, uma vez que não possuem revestimento em suas paredes e 8 poços (P1, P2, P5, P6, P7, P10, P16, P17) como poços cacimbões devido ao revestimento interno de manilha (7 poços) ou alvenaria (1 poço). O P20, por sua vez, estava lacrado e o morador não soube informar as condições internas do poço, e o P15 corresponde

à mina. Em 44% dos poços havia revestimento nas paredes, sendo que deste total, 87% eram manilhados e 13% de alvenaria.

Todos os poços possuíam tampas, das quais 15 (P1, P2, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P16, P18, P19, P20) apresentaram boas condições de manutenção e 4 (P3, P13, P14, P17) más condições (aquelas que apresentaram rachaduras e aberturas), sendo que 89% das tampas eram de alvenaria e 11% de madeira. A utilização de tampa nos poços é de extrema importância, pois evita a contaminação da água por materiais que possam estar na superfície em volta do poço (ROCHA et al., 2011).

Vale dizer, também, que todos os poços deste estudo possuem bombas para a retirada da água e fossas negras para destinar o esgoto doméstico de suas residências.

No que tange a cota poço-fossa (Figura 4), em 47,37% dos pontos o poço está em cota superior ao da fossa, em 31,58% estão na mesma cota e em 21,05% a fossa está em cota superior ao do poço. Desta forma, os resultados indicam que a contaminação na maioria dos poços por efluente doméstico não está sendo favorecida.



Nota: CP > CF: cota do poço maior que a cota da fossa; CP = CF: cota do poço igual à cota da fossa; CP < CF: cota do poço menor que a cota da fossa.

Figura 4 – Percentual da relação cota poço-fossa nos poços amostrais do município de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

A distância entre o poço-fossa de cada residência está em média $24,92 \pm 19,70$ m afastados um do outro. A NBR 7.229/93 estabelece que os poços devam estar a uma distância mínima de 15m das fossas, sendo assim, 21% dos poços amostrais (P3, P4, P8, P13) estão em desconformidade com este requisito de segurança.

Em pesquisas realizadas no estado de Rondônia, em locais próximos ao município de Ouro Preto do Oeste, observa-se que: 46,7% em Nova Colina e 80% em Nova Londrina (RAMOS, 2017),

40% em Bandeira Branca e 90% em Presidente Médici (LAUREANO, 2017), 86,6% no entorno da Rebio Jaru na zona rural (FERREIRA, 2013), e, 70% no bairro Boa Esperança em Ji-Paraná (MARTINS, 2011), possuem distância poço-fossa maior que 15 metros.

Ademais, em 100% dos dados adquiridos na primeira e segunda coleta, a profundidade de superfície esteve menor que 10m, indicando que o nível d'água do poço, mesmo em período de estiagem, se encontra próximo à superfície. Silva (2008) diz que não há uma distância que possa ser considerada segura entre os poços de abastecimentos domésticos e as fossas, uma vez que a maioria dos terrenos urbanos possuem dimensões reduzidas, sendo difícil não haver contaminação.

Quanto à profundidade de fundo, apenas um poço atingiu mais de 10 metros, sendo este o P9 com 11,18m (primeira coleta) e 11,29m (segunda coleta). Importante destacar que, embora o poço P1 estivesse lacrado, o morador informou que a profundidade do mesmo era maior que 20 metros. Conforme Silva e Araújo (2003), poços com até dez metros de profundidade estão mais susceptíveis às condições ambientais, tendo o autor constatado em sua pesquisa, relação direta com o crescimento de coliformes termotolerantes.

Por fim, a lâmina d'água em fevereiro/2018 (mês com alta pluviosidade) foi maior que em agosto/2017 (mês característico do período seco) em todos os pontos onde foi possível obter as profundidades de fundo e de superfície. Isso porque, além do P15 que corresponde à mina, e do P1, P17 e P20 que desde a primeira coleta estavam lacrados, na segunda coleta o P16 também foi encontrado lacrado e os moradores dos pontos P10 e P11 não estavam na residência no momento da visita *in loco*.

Na Figura 5 é possível observar os níveis d'água coletados nos pontos amostrais em período de estiagem e chuvoso.

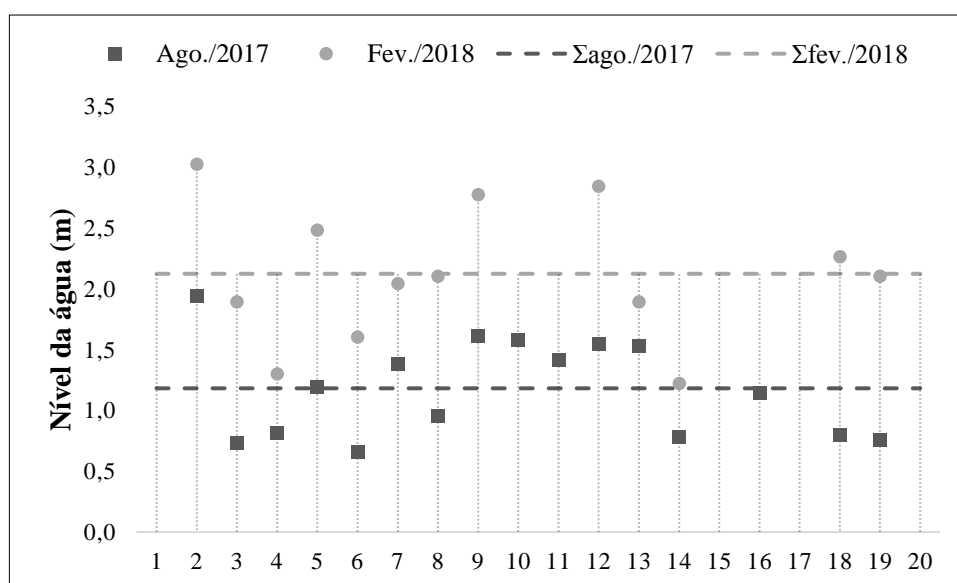


Figura 5 – Comparação entre os níveis d'água da primeira coleta (ago./2017) e segunda coleta (fev./2018) nos poços amostrais do município de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

O maior valor encontrado foi no ponto P2, para ambos os períodos, sendo de 1,94m (ago./2017) e 3,02m (fev./2018). Por sua vez, o menor valor em ago./2017 foi no P6 (0,66m) e em fev./2018 no P14 (1,22m). As médias encontradas foram de 1,18m (ago./2017) e 2,12m (fev./2018), havendo a diferença estatística altamente significativa entre os dois períodos com p-valor <0,001, indicando que no período de cheia a lâmina d'água é maior que na seca.

A síntese da caracterização dos poços amostrais durante a primeira e segunda coleta estão dispostos no Apêndice A e B.

5.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

5.3.1 Variáveis físico-químicas

5.3.1.1 Temperatura, Turbidez e Condutividade elétrica

As médias da temperatura, turbidez e condutividade elétrica por período sazonal encontradas neste trabalho e em outros estudos semelhantes realizados em Rondônia, especificamente, locais próximos ao município de Ouro Preto do Oeste, encontram-se dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios temperatura, turbidez e condutividade elétrica da água obtidas neste trabalho e em estudos realizados em localidades próximas ao município de Ouro Preto do Oeste/RO.

Referencial bibliográfico	Temperatura (°C)		Turbidez (UNT)		CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
<i>Neste trabalho</i>	28,3 ($\pm 0,97$)	27,6 ($\pm 0,84$)	11,08 ($\pm 14,68$)	3,02 ($\pm 3,76$)	178,44 ($\pm 82,33$)	196,17 ($\pm 85,95$)
HELBEL (2011)	28,6 ($\pm 1,37$)	25,8 ($\pm 0,98$)	1,10 ($\pm 0,56$)	1,66 ($\pm 2,18$)	146,28 ($\pm 27,23$)	158,15 ($\pm 33,69$)
MARTINS (2011)	26,93	28,0	N/A	1,76	60,67	77,25
FERREIRA (2013)	N/A	N/A	2,73	2,68	72,87	69,93
CREMONESE (2014)	27,81	28,30	2,99	3,83	55,0	77,7
LAUREANO (2017) A	28,6	27,84	*	*	286,94	62,4
LAUREANO (2017) B	28,62	28,48	*	*	230,85	215,69
RAMOS (2017) A	27,77 ($\pm 0,49$)	28,45 ($\pm 0,39$)	3,62 ($\pm 3,07$)	2,22 ($\pm 1,66$)	117,8 ($\pm 68,55$)	159,3 ($\pm 139,39$)
RAMOS (2017) B	28,94 ($\pm 1,78$)	8,39 ($\pm 0,73$)	11,57 ($\pm 21,72$)	6,23 ($\pm 7,46$)	202,68 ($\pm 113,9$)	369,18 ($\pm 364,0$)

Notas: N/A: Nenhuma análise; *: Sem valor médio. **Áreas de estudo:** Helbel, 2011 (cidade de Ji-Paraná); Martins, 2011 (Bairro Boa Esperança em Ji-Paraná); Ferreira, 2013 (Região Central de Rondônia); Cremonese, 2014 (Áreas de deposição de resíduos sólidos em Ji-Paraná), Laureano, 2017A (Distrito de Bandeira Branca); Laureano, 2017B (cidade de Presidente Médici); Ramos, 2017A (Distrito de Nova Colina); Ramos, 2017B (Distrito de Nova Londrina).

Houve pouca variação na temperatura média encontrada em ago./2017 ($28,3 \pm 0,97^\circ\text{C}$) e fev./2018 ($27,6 \pm 0,84^\circ\text{C}$). Em ago./2017 a temperatura variou entre $26,5^\circ\text{C}$ a $30,7^\circ\text{C}$ e em fev./2018

de 25,7°C a 29,2°C (Figura 6.A). Os outliers em fev./2018 ocorreram pelo fato de cerca de 70% dos valores de temperatura estarem na faixa dos 27°C.

A pequena variação da temperatura encontrada em Ouro Preto do Oeste decorre da característica climática da região, em que conforme classificação de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013), o clima enquadra-se no tipo Am, com temperatura média anual de 26°C (MASCARENHAS et al., 2017).

Corroborando com isto, verifica-se que as médias encontradas nos trabalhos de Helbel (2011), Martins (2011), Ferreira (2013), Cremonese (2014), Laureano (2017) e Ramos (2017) são semelhantes a este trabalho em ambos os períodos.

Para a turbidez (Figura 6.B), obteve-se valores de 0,5UNT a 55,5UNT no mês de seca (ago./2017) e de 0,35UNT a 12,15UNT no mês de alta pluviosidade (fev./2018), cujas médias foram de 11,08(\pm 14,68)UNT e 3,02(\pm 3,76)UNT, respectivamente.

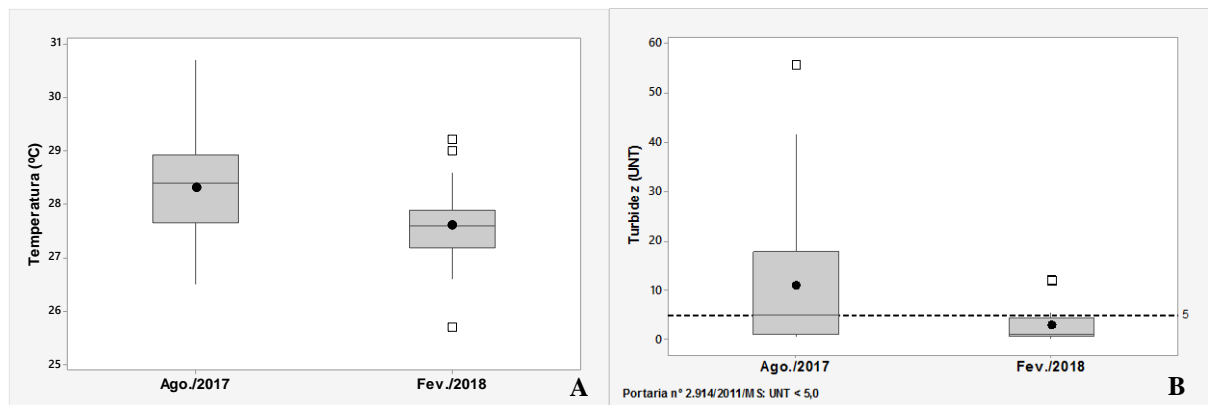


Figura 6 – Boxplot da temperatura em °C (A) e turbidez em UNT (B) dos pontos amostrais do estudo da água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 e fev./2018. Fonte: Autora (2018).

Considerando que a PRC n° 05/2017 estabeleceu como VMP 5,0UNT, tem-se que 50% dos pontos amostrais (P5, P6, P8, P11, P13, P15, P16, P17, P18, P19) em ago./2017 estão em desconformidade com a normativa, enquanto que esse percentual reduziu para 17,65% (P13, P15, P18) em fev./2018.

Não houve diferença significativa dos valores de turbidez no período seco (ago./2017) em relação ao VMP ($p>0,05$), mas houve diferença significativa no período chuvoso (fev./2018) com p -valor $<0,05$. De acordo com (BARROS et al., 2011), a redução do valor de turbidez no período chuvoso deve-se, possivelmente, ao aumento da vazão que causa o efeito de diluição.

Os dois pontos que apresentaram os maiores valores de turbidez (Figura 7) em ago./2017 foram o P19 (55,5UNT) e P18 (41,67UNT), enquanto que em fev./2018 foram o P18 (12,15UNT) e o P13 (11,8UNT). Tais valores podem estar associados a ausência de revestimento interno nos poços, e, embora as tampas eram feitas de alvenaria, possuíam perfuração para a instalação da bomba submersa, fato que pode ter propiciado a entrada de sólidos.

Ramos (2017), que obteve valores médios de turbidez semelhantes aos encontrados nesta pesquisa com $p>0,05$ (seca) e $p<0,05$ (chuva), supõe relação da turbidez com a profundidade rasa dos poços e a intrusão da água superficial em alguns casos pontuais devido características construtivas.

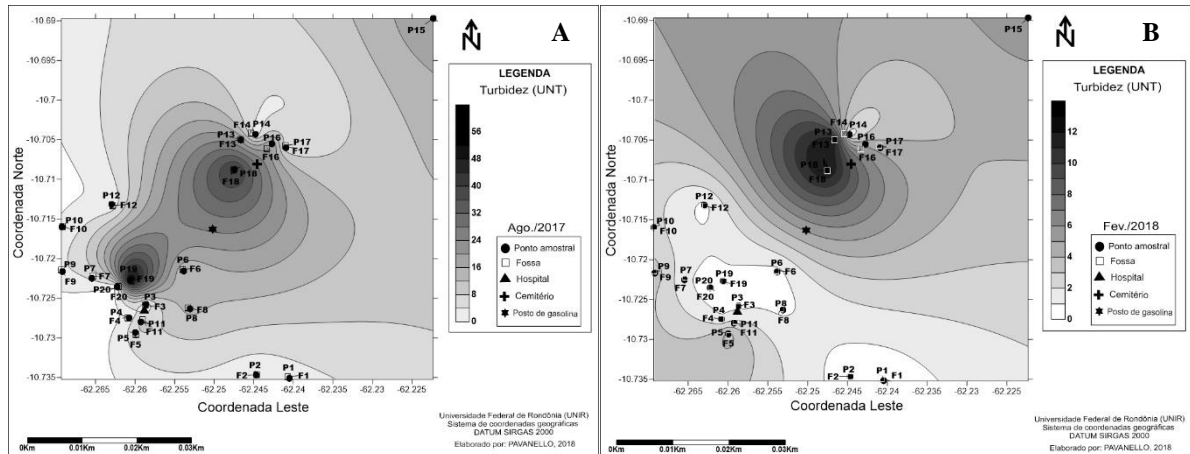


Figura 7 – Cartograma dos valores de turbidez (UNT) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 (A) e fev./2018 (B). Fonte: Autora (2018).

A condutividade elétrica em ago./2017 variou de $69,2\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $343,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, tendo média de $178,44 (\pm 82,33)\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Em fev./2018 de $69,7\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $450,8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ com média de $196,17\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} (\pm 85,95)$. Helbel (2011), Laureano (2017) e Ramos (2017) também encontraram valores médios de CE semelhantes a este trabalho.

Nas normas orientadoras, não há um valor máximo pré-estabelecido para condutividade elétrica. Segundo Brasil (2014), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a $1.000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Desta forma, 85% dos pontos amostrais em ago./2017 e 88% em fev./2018 estiveram acima de $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Somente o P1 e o P13 apresentaram valores menores que $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em ambos os períodos, e o P15 em ago./2017, havendo diferença estatística altamente significativa ($p<0,001$). Na Figura 8, é possível observar que a maioria dos dados possuem CE elevada.

Para Gasparotto (2011), altos valores de condutividade elétrica não indicam, necessariamente, contaminação química elevada, haja vista que podem estar refletindo a natureza e composição das rochas e do solo, o que é determinante em suas propriedades. Por isso, a importância das análises dos parâmetros químicos da água.

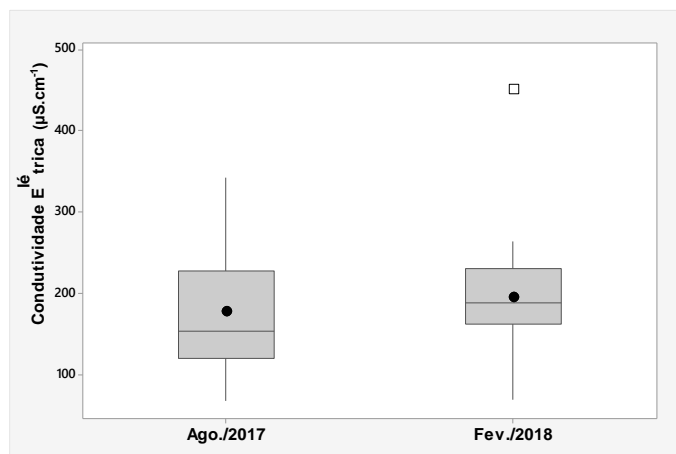


Figura 8 – Boxplot da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) dos dados obtidos para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 e fev./2018. Fonte: Autora (2018).

5.3.1.2 Oxigênio dissolvido, pH, Fósforo total e Ortofosfato

As características das águas potáveis variam de tal forma que se torna imprescindível as determinações físico-químicas da qualidade da água (MACHADO et al., 2012). Na Tabela 2 encontram-se as médias das variáveis OD, pH, P-total e o PO_4^{3-} em Ouro Preto do Oeste e em localidades próximas ao município objeto deste estudo.

Tabela 2 – Concentrações médias obtidas de oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, fósforo total e ortofosfato neste trabalho e em estudos realizados em localidades próximas ao município de Ouro Preto do Oeste/RO.

Referencial bibliográfico	OD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		pH		P-total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		PO_4^{3-} ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
<i>Neste trabalho</i>	2,69 ($\pm 1,16$)	2,89 ($\pm 1,27$)	5,85 ($\pm 0,57$)	5,41 ($\pm 0,48$)	20,93 ($\pm 22,23$)	9,86 ($\pm 7,67$)	8,74 ($\pm 9,18$)	<5,0
HELBEL (2011)	3,28 ($\pm 0,86$)	3,39 ($\pm 0,75$)	5,55 ($\pm 0,82$)	5,53 ($\pm 0,73$)	N/A	N/A	N/A	N/A
MARTINS (2011)	0,64	1,48	4,7	4,9	0,061	0,44	N/A	N/A
FERREIRA (2013)	1,29	1,26	5,7	6,6	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
CREMONESE (2014)	1,49	2,16	4,93	5,04	N/A	N/A	N/A	N/A
LAUREANO (2017) A	N/A	2,9	*	*	40,7	N/A	26,1	30,6
LAUREANO (2017) B	3,4	3,9	*	*	10,0	22,0	4,4	10,4
RAMOS (2017) A	N/A	N/A	6,52	5,15	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
RAMOS (2017) B	N/A	N/A	5,44	5,14	N/A	N/A	860,0	1020,0

Notas: N/A: Nenhuma análise; *: Sem valor médio. **Áreas de estudo:** Helbel, 2011 (cidade de Ji-Paraná); Martins, 2011 (Bairro Boa Esperança em Ji-Paraná); Ferreira, 2013 (Região Central de Rondônia); Cremonese, 2014 (Áreas de deposição de resíduos sólidos em Ji-Paraná), Laureano, 2017A (Distrito de Bandeira Branca); Laureano, 2017B (cidade de Presidente Médici); Ramos, 2017A (Distrito de Nova Colina); Ramos, 2017B (Distrito de Nova Londrina).

Inicialmente, cabe mencionar, que não há um valor orientador para o oxigênio dissolvido para as águas subterrâneas na CONAMA nº 396/2008 e PRC nº 05/2017. A média de oxigênio

dissolvido obtida em ago./2017 foi de $2,69\text{mg.L}^{-1}$ ($\pm 1,16$), mínimo de $0,67\text{mg.L}^{-1}$ e máximo de $5,17\text{mg.L}^{-1}$. Em fev./2018 a média foi de $2,89\text{mg.L}^{-1}$ ($\pm 1,27$) com mínimo de $0,98\text{mg.L}^{-1}$ e máximo de $5,22\text{mg.L}^{-1}$ (Figura 9.A). Observa-se que, assim como nos demais trabalhos da Tabela 2, as concentrações médias de OD relativamente baixas.

Devido a inexistência do contato da água com o oxigênio atmosférico, bem como da ausência de organismos fotossintéticos, as concentrações de OD em poços são normalmente baixas (GONÇALVEZ et al., 2009, CREMONESE, 2014).

Além disso, Helbel (2011, p.74) e Ferreira (2013, p.71), explicam que “águas com baixos teores de OD indicam que estas receberam matéria orgânica, uma vez que a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água”.

Corroborando com o exposto acima, verificou-se que os pontos que tiveram as menores concentrações de OD em ago./2017 – P16 ($0,67\text{mg.L}^{-1}$), P13 ($1,0\text{mg.L}^{-1}$) e P12 ($1,33\text{mg.L}^{-1}$), foram os mesmos em fev./2018 – P16 ($0,98\text{mg.L}^{-1}$), P13 ($1,47\text{mg.L}^{-1}$) e P12 ($1,47\text{mg.L}^{-1}$). O ponto P16 embora manilhado internamente, estava em área com bastante matéria orgânica, principalmente, folhagens (Figura 9.B). No P13 e P12, por sua vez, os poços não possuíam revestimento, e, especificamente no P13, detectou-se o lançamento de esgoto a céu aberto ao lado do poço (Figura 9.D).

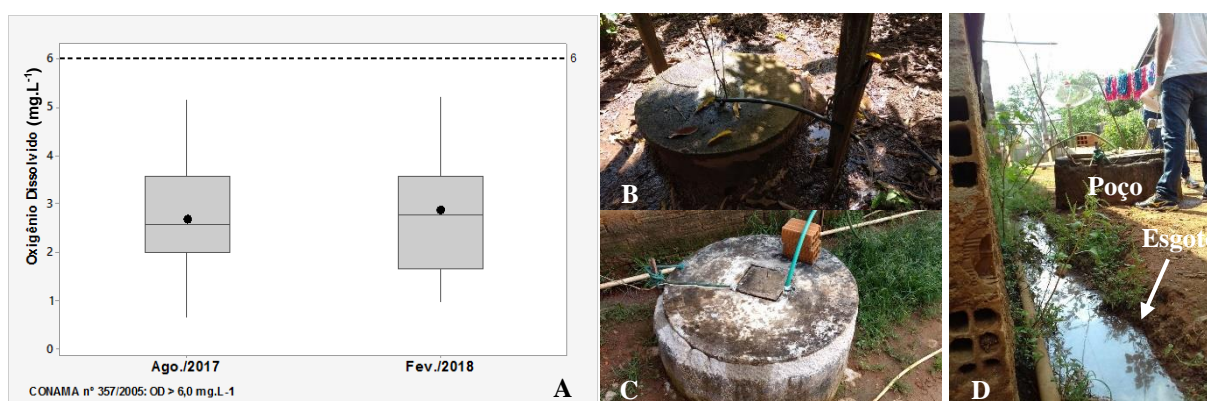


Figura 9 – A. Boxplot dos dados obtidos de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 e fev./2018. B. Poço do ponto P16 circundado por folhagens. C. Poço do ponto P13 e lançamento de esgoto ao lado (D). Fonte: Autora (2018).

Na Figura 10 é possível observar, de forma geral, que as concentrações de OD aumentam no sentido norte-sul, sendo que no mês de fev./2018 este aumento tende a sudoeste.

O pH em 55% dos pontos (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P12, P19, P20) em ago./2017 e em 100% dos pontos amostrais em fev./2018 estiveram em desconformidade com a Portaria de Consolidação 05/2017 (anexo XX) que recomenda valores de pH entre 6-9,5. A média encontrada em ago./2017 foi de 5,82 com máximo de 4,1 e mínimo de 6,6. Já em fev./2018 a média, máximo e

mínimo foram de 5,38, 4,0 e 5,9, respectivamente (Figura 12). Logo, os pontos amostrais apresentaram pH ácido ou levemente ácidos, cujos valores diminuíram na coleta do período chuvoso em todos os pontos.

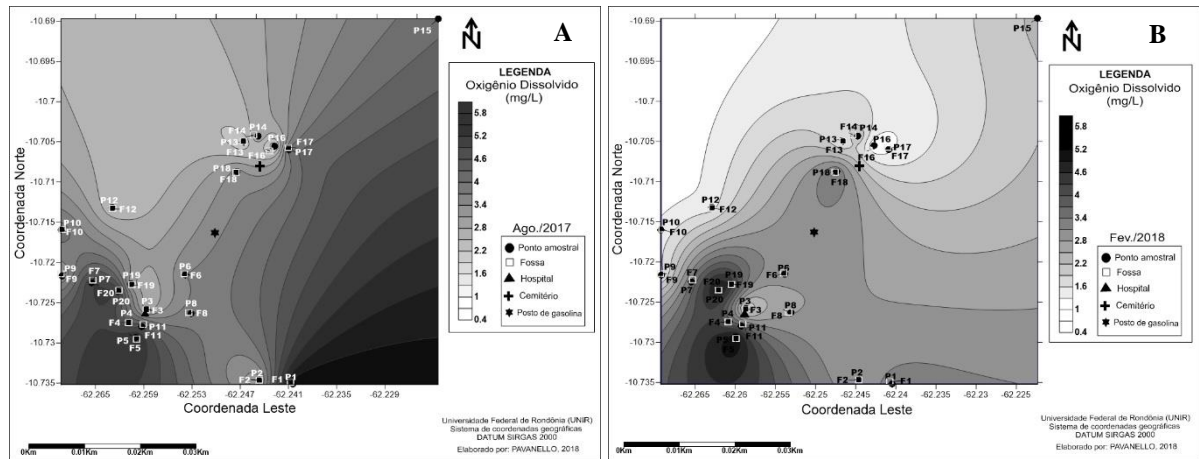


Figura 10 – Cartograma do valores de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 (A) e fev./2018 (B). Fonte: Autora (2018).

O pH em 55% dos pontos (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P12, P19, P20) em ago./2017 e em 100% dos pontos amostrais em fev./2018 estiveram em desconformidade com a Portaria de Consolidação nº 05/2017 que recomenda valores de pH entre 6-9,5. A média encontrada em ago./2017 foi de $5,85(\pm 0,57)$ com máximo de 4,1 e mínimo de 6,6. Já em fev./2018 a média, máximo e mínimo foram de $5,41(\pm 0,48)$, 4,0 e 5,9, respectivamente (Figura 11). Logo, os pontos amostrais apresentaram pH ácido ou levemente ácidos, cujos valores diminuíram na coleta do período chuvoso em todos os pontos.

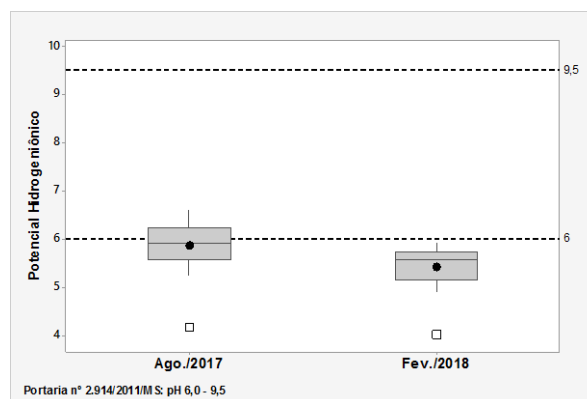


Figura 11 – Boxplot dos valores obtidos de pH para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 e fev./2018. Fonte: Autora (2018).

Segundo Bahia et al. (2011) e Lauthartte et al. (2016), os baixos valores de pH podem ser explicados pela abundância de chuvas e decomposição da matéria orgânica que provocam o aumento de substâncias ácidas nas águas subterrâneas, o que é considerado normal para ambientes da região Amazônica.

Valores semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Helbel (2011), Martins (2011), Ferreira (2013), Cremonese (2014) e Ramos (2017) em ambos os períodos sazonais (Tabela 2). Tanto é verdade que houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) dos valores de pH obtidos em cada ponto amostral com as médias dos trabalhos supracitados, não havendo diferença significativa ($p > 0,05$) apenas em relação ao pH médio de Ferreira (2013) na seca e de Helbel (2011) na chuva.

Outro ponto que merece destaque é a relação inversamente proporcional do potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. Isto porque, o ponto P9 apresentou os menores valores de pH, sendo de 4,1(ago./2017) e 4,0(fev./2018), e os maiores valores de condutividade elétrica, qual seja, $343,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ago./2017) e $450,8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (fev./2018). Segundo Carvalho et al. (2015), águas subterrâneas com pH ácido e teores elevados de condutividade elétrica podem indicar contaminação por efluentes domésticos.

Tal relação pode ser identificada na Figura 12, especialmente em ago./2017, visto que enquanto se observa redução da condutividade elétrica de sudoeste para nordeste, verifica-se um aumento do pH no mesmo sentido.

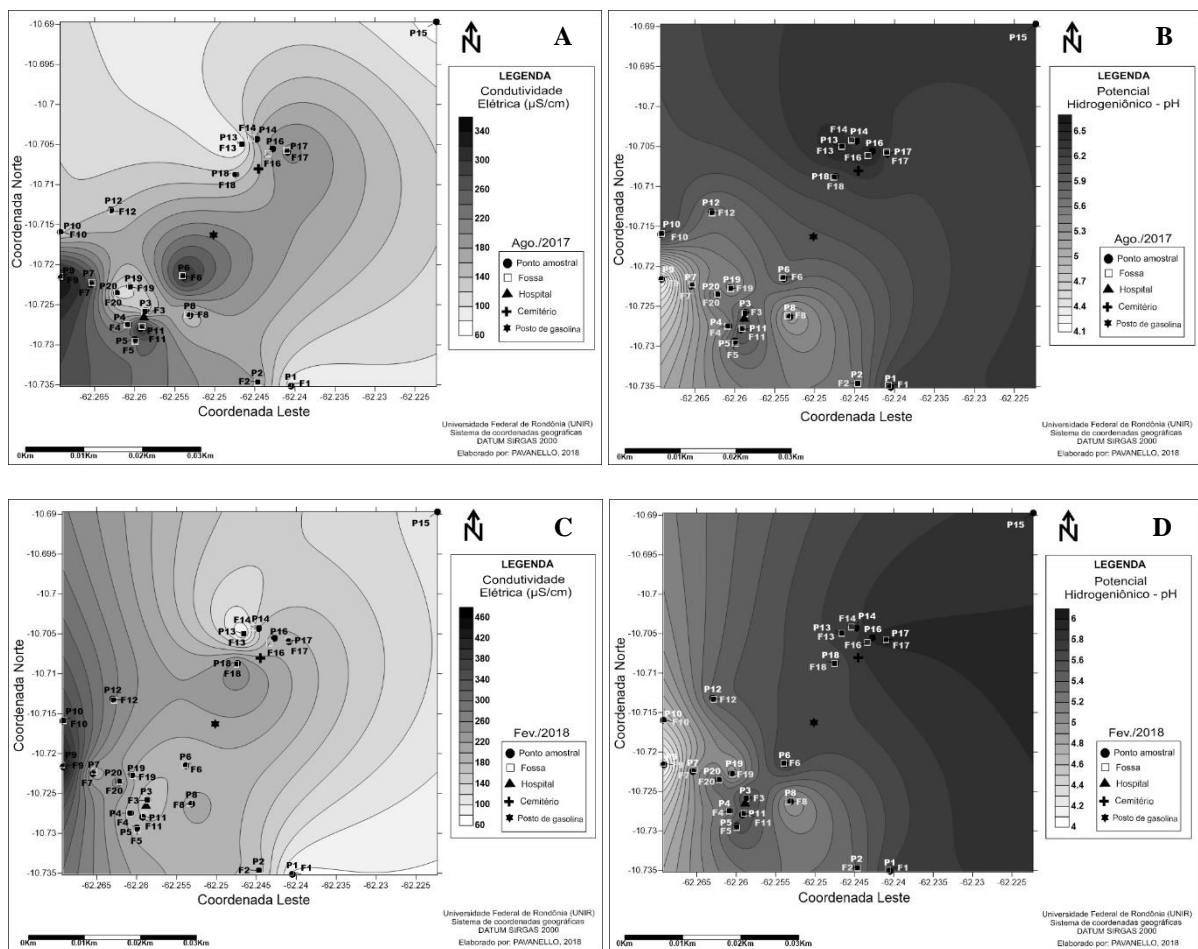


Figura 12 – Cartograma da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) em ago.2017 (A) e fev./2018 (C) e do potencial hidrogeniônico em ago./2017 (B) e fev./2018 (D) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Em águas subterrâneas os teores de fósforo tendem a ser baixos, haja vista que é um elemento facilmente fixado ou insolubilizado no solo, e devido a reduzida mobilidade do fosfato no solo, as perdas por lixiviação são desprezíveis (FINEZA, 2008).

Entretanto, nos pontos amostrais da água subterrânea de Ouro Preto do Oeste obteve-se concentração média de P-total de $20,93\mu\text{g.L}^{-1}$ ($\pm 22,23$) em ago./2017 e $9,86\mu\text{g.L}^{-1}$ ($\pm 7,67$) em fev./2018, cujos valores variaram de $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ a $81,67\mu\text{g.L}^{-1}$ (ago./2017) e $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ a $31,50\mu\text{g.L}^{-1}$ (fev./2018). Concentrações em consonância a este trabalho foram adquiridos por Laureano (2017) que encontrou valores até $146,0\mu\text{g.L}^{-1}$ (seca-chuva) no Distrito de Bandeira Branca, até $31,7\mu\text{g.L}^{-1}$ (chuva-seca) e até $30,0\mu\text{g.L}^{-1}$ (seca) no município de Presidente Médici.

As normativas para águas subterrâneas não trazem valores orientadores para o P-total e PO_4^{3-} . Desta forma, utilizando o limite de P-total ($0,020\text{mg.L}^{-1}$) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas superficiais em ambientes lênticos, verifica-se que 30% (P9, P15, P16, P17, P18, P19) e 11,76% (P12, P15) estão em desconformidade com esta resolução (Figura 13).

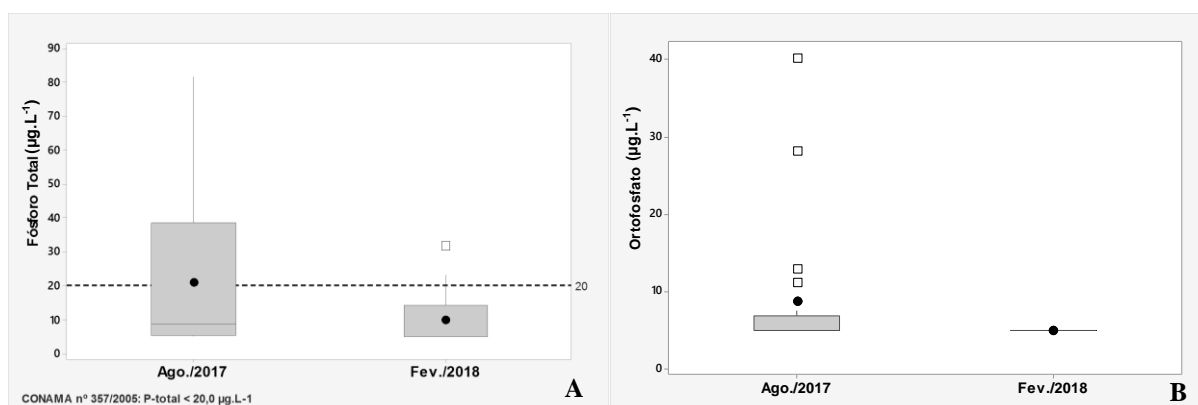


Figura 13 – Boxplot dos dados adquiridos em ago./2017 e fev./2018 de P-total em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (A) e ortofosfato em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (B) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Já para o ortofosfato, obteve-se concentração média, máxima e mínima de $8,74\mu\text{g.L}^{-1}$ ($\pm 9,18$), $81,57\mu\text{g.L}^{-1}$ e $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ em ago./2017 e concentrações menores que $5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ em todos os pontos amostrais em fev./2018.

Segundo Fineza (2008), em geral, águas naturais não poluídas apresentam concentrações baixas de fósforo entre $0,01$ e $0,05\text{mg.L}^{-1}$, e quando maior que 1mg.L^{-1} indica poluição (FEITOSA et al., 2000 apud RAMOS, 2017).

5.3.1.3 Nitrogênio (nitrato, nitrito e amônia)

Na Tabela 3 é apresentado os dados médios de nitrato, nitrito e amônia obtidos de estudos para água subterrânea em diversos município no estado de Rondônia.

Tabela 3 – Concentrações médias obtidas de nitrato, nitrito e amônia neste trabalho e em estudos realizados em localidades próximas ao município de Ouro Preto do Oeste/RO.

Referencial bibliográfico	N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)		N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)		NH ₃ +NH ₄ ⁺ (µg.L ⁻¹)	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
<i>Neste trabalho</i>	1,85 (±1,25)	2,14 (±1,56)	0,00954 (±0,0093)	<0,005	140,14 (±264,56)	162,36 (±441,20)
HELBEL (2011)	3,58 (±3,26)	9,91 (±8,38)	0,02 (±0,03)	0,04 (±0,04)	N/A	N/A
MARTINS (2011)	N/A	N/A	0,00081	0,0071	N/A	N/A
FERREIRA (2013)	0,43	0,56	<0,005	<0,005	<5,0	<5,0
CREMONESE (2014)	11,72	11,13	<0,01	<0,01	N/A	N/A
LAUREANO (2017) A	13,8	13,9	0,0118	0,0067	148,2	61,7
LAUREANO (2017) B	13,3	16,5	0,0168	0,0097	49,0	224,7
RAMOS (2017) A	6,61 (±4,05)	10,23 (±8,96)	<0,005	<0,005	<5,0	<5,0
RAMOS (2017) B	N/A	N/A	<0,005	<0,005	<5,0	<5,0

Notas: N/A: Nenhuma análise. **Áreas de estudo:** Helbel, 2011 (cidade de Ji-Paraná); Martins, 2011 (Bairro Boa Esperança em Ji-Paraná); Ferreira, 2013 (Região Central de Rondônia); Cremonese, 2014 (Áreas de deposição de resíduos sólidos em Ji-Paraná), Laureano, 2017A (Distrito de Bandeira Branca); Laureano, 2017B (cidade de Presidente Médici); Ramos, 2017A (Distrito de Nova Colina); Ramos, 2017B (Distrito de Nova Londrina).

O nitrato apresentou valores <0,1mg.L⁻¹ a 5,13mg.L⁻¹ e média de 1,85mg.L⁻¹ (±1,25) em ago./2017, e, <0,1mg.L⁻¹ a 5,8mg.L⁻¹ e média de 2,14(±1,56)mg.L⁻¹ em fev./2018 (Figura 14.A). Tendo como base o valor máximo permitido de nitrato para águas subterrâneas de 10mg.L⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e PRC n° 05/2017, não houve desconformidade desta variável em nenhum ponto amostral.

Os pontos que apresentaram os maiores valores de nitrato foram o P9 (5,13mg.L⁻¹) e P11(3,05mg.L⁻¹) em ago./2017 e P9 (5,8mg.L⁻¹) e P12 (4,28mg.L⁻¹) em fev./2018. Em locais onde há concentrações de nitrato maior que 5,0mg.L⁻¹, pressupõe-se que houve interferência antrópica envolvendo compostos nitrogenados como fertilizantes solúveis, sistemas sépticos humanos ou esterco de animais domésticos, demonstrando condições sanitárias inadequadas. (WILLIAMS, 1998 apud CASALI, 2008).

Observou-se que em comparação com as médias de nitrato dos trabalhos expostos na Tabela 3, as concentrações encontradas neste trabalho estiveram mais próximas daquelas obtidas por Ferreira (2013) com p<0,05. Segundo a autora, nas águas subterrâneas, geralmente, os nitratos ocorrem em teores abaixo de 5,0mg.L⁻¹. A presença deste nutriente indica contaminação mais antiga e/ou fonte de contaminante mais distante, principalmente por ação antrópica, já que águas subterrâneas rasas inalteradas por atividades humanas, em geral, contém valores menores que 2mg.L⁻¹ (MUELLER e HELSEL, 1996; FERREIRA, 2013).

É importante destacar ainda sobre o trabalho de Ferreira (2013), que a autora encontrou concentrações médias de nitratos em nascentes de 0,23mg.L⁻¹ (período chuvoso) e de 0,1mg.L⁻¹

(período seco), parecidos com os encontrados no P15 deste trabalho, correspondente a mina, cujas concentrações foram $<0,1\text{mg.L}^{-1}$ em ambos os períodos de coleta.

Por fim, vale expor que foi observado relação do nitrato com a condutividade elétrica. Isto porque os pontos com maiores concentrações de N-NO_3^- P9 ($5,13\text{mg.L}^{-1}$) e P11($3,05\text{mg.L}^{-1}$) foram àqueles com maiores valores de CE P9 ($343,3\mu\text{S.cm}^{-1}$) e P11($323,5\mu\text{S.cm}^{-1}$) em ago./2017. O mesmo ocorreu em fev./2018, sendo as maiores concentrações N-NO_3^- no P9 ($5,8\text{mg.L}^{-1}$) e P12 ($4,28\text{mg.L}^{-1}$) e CE no P9 ($450,8\mu\text{S.cm}^{-1}$) e P12 ($264,6\mu\text{S.cm}^{-1}$). Tal relação também foi identificada por Souza (2012), que encontrou boa correlação do N-NO_3^- com a CE ao estudar a água de poços cacimbas do centro urbano de Ouro Preto do Oeste/RO.

O nitrito apresentou concentrações relativamente baixas. Em ago./2017 os valores variaram de $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ a $45,61\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $9,54\mu\text{g.L}^{-1}$. Já em fev./2018, em todos os pontos amostrais as concentrações eram $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$. Resultados similares também podem ser observados nos trabalhos da Tabela 3.

Os baixos valores de nitrito podem ser atribuídos a adsorção dessas substâncias à partículas do solo, bem como sua rápida oxidação a nitrato (FERREIRA, 2013; LAUREANO, 2017; RAMOS, 2017).

Na Figura 14.B, é possível verificar em ago./2017 que um ponto amostral destoou dos valores encontrados nos demais pontos ($p<0,001$), sendo esse correspondente ao P3 ($45,61\mu\text{g.L}^{-1}$). A presença de nitrito em águas subterrâneas indica possível contaminação recente ou proximidades com esgotos (USEPA, 1997). Logo, é provável ter havido contaminação pontual no P3.

Outrossim, todos os pontos estiveram em conformidade com a Resolução CONAMA nº 396/2008 e Portaria de Consolidação nº 05/2017 (anexo XX), as quais estabelecem como valor máximo permitido de nitrito $1,0\text{mg.L}^{-1}$ ($p<0,001$).

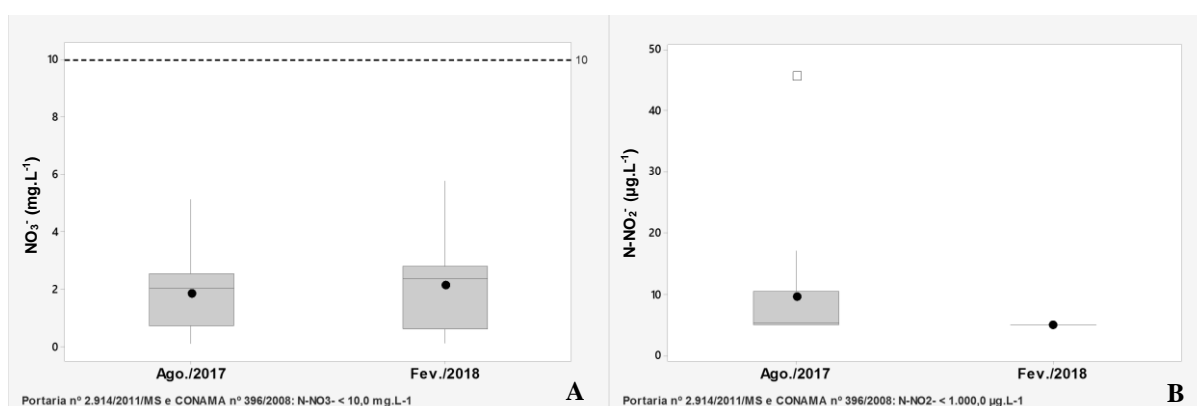


Figura 14 – Boxplot dos dados de nitrato (NO_3^-) em mg.L^{-1} (A) e nitrito (N-NO_2^-) em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (B) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Por sua vez, a amônia apresentou valor médio, máximo e mínimo, respectivamente, de $140,14 (\pm 264,56)\mu\text{g.L}^{-1}$, $864,85\mu\text{g.L}^{-1}$, $<10,0\mu\text{g.L}^{-1}$ em ago./2017, e $162,36\mu\text{g.L}^{-1} (\pm 441,20)$, $1.775,0\mu\text{g.L}^{-1}$, $<5,0\mu\text{g.L}^{-1}$ em fev./2018. O P12 apresentou as maiores concentrações de $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$

(Figura 15), sendo de $864,85\mu\text{g.L}^{-1}$ (ago./2017) e $1.775,0\mu\text{g.L}^{-1}$ (fev./2018). Supõe-se que houve contaminação pontual neste poço por cargas orgânicas, inclusive porque a profundidade de superfície do poço é relativamente pequena com 2,92m (ago./2017) e 1,76m (fev./2018).

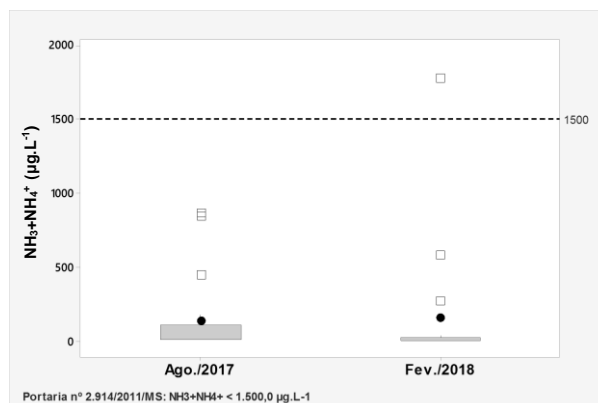


Figura 15 – Boxplot dos dados de amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Segundo Araújo et al. (2013), a amônia é formada no processo de decomposição de matéria orgânica e por ser o primeiro produto da decomposição de substâncias nitrogenadas, a presença deste nutriente indica uma poluição orgânica recente. Contudo, mesmo tendo obtido no P12 as maiores concentrações de amônia, apenas o valor encontrado em fev./2018 apresentou desconformidade com a PRC nº 05/2017, a qual estabelece limite de $1,5\text{mg.L}^{-1}$.

Os valores médios de amônia encontrados neste trabalho se assemelha àqueles obtidos por Laureano (2017) no distrito de Bandeira Branca e no município de Presidente Médici, ambos em Rondônia. A autora justifica que as condições inapropriadas dos poços em razão da ausência de revestimento facilitam a entrada de contaminantes. Verificou-se, tão logo, que o P12 não possui revestimento interno.

5.3.2 Variáveis microbiológicas

Os coliformes totais são considerados microrganismos ambientais, estando relacionados à presença de matéria orgânica como galhos, folhas etc. (SILVA et al., 2017). Os bioindicadores tradicionais para esse fim são as bactérias do grupo coliforme (coliformes totais e coliformes termotolerantes) e a espécie de bactéria *Escherichia coli* (SOTERO-MARTINS et al., 2013; COELHO et al., 2016).

Em ambos os períodos de coleta, obteve-se unidades formadoras de colônias de coliformes totais em todos os pontos. Em ago./2017 a média foi de $18.060 (\pm 52.594,64)$ UFC/100mL, mínimo de 200UFC/100mL e máximo de 240.000UFC/100mL. Por sua vez, em fev./2018 a média foi de $5.731 (\pm 7.273)$ UFC/100mL, mínimo de 88UFC/100mL e máximo incontáveis.

Referente a *E. coli*, em alguns pontos não foram detectados presença de UFC/100mL, sendo estes o P1, P2, P4, P5, P7, P11, P12 e P20 em ago./2017, bem como o P12 em fev./2018. Em contrapartida, no P15 e P19 em fev./2018 não foi possível determinar a quantidade de colônias, pois devido ao grande número eram incontáveis. A média obtida no mês de ago./2017 foi de 2.420UFC/100mL (± 4.806) e em fev./2018 de 879UFC/100mL. (± 1.641)

Estudos semelhantes realizados em poços no estado de Rondônia (HELBEL, 2011; MARTINS, 2011; SOUZA, 2012; FERREIRA, 2013; CREMONESE, 2014; LAUTHARTTE, 2013; LAUREANO, 2017; RAMOS, 2017) apontaram contaminação por *E. coli* e coliformes totais.

Observa-se, pois que no período chuvoso a densidade média de colônias encontradas foi maior que na coleta realizada no período seco. Cremonese (2014) que encontrou a mesma relação em seu trabalho, explica que tal situação pode ser explicada pela presença de fossas negras, pela ação transportadora (infiltração e percolação) que a chuva exerce, pelas condições impróprias de vedação dos poços, bem como em decorrência do nível do lençol freático que acaba interligando com fontes poluidoras, haja vista que a maioria dos poços da região são rasos.

Na Figura 16 é possível verificar as unidades formadoras de colônias de coliformes totais e fecais obtidas em ago./2017 e fev./2018.

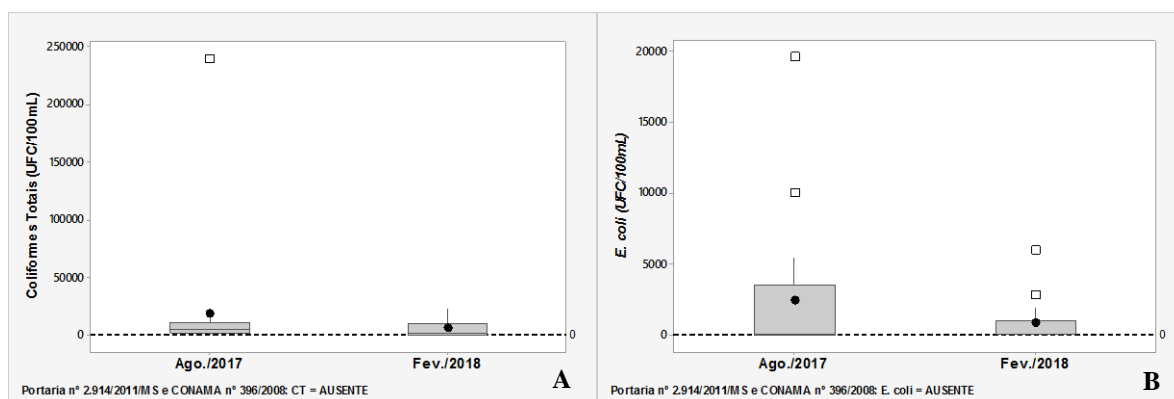


Figura 16 – Boxplot dos dados obtidos de coliformes totais (A) e *E. coli* (B) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a PRC nº 05/2017 estabelecem que as águas subterrâneas destinadas ao consumo humano devem estar ausentes de coliformes totais e *E. coli*. Portanto, verifica-se que todos os pontos amostrais demonstraram estar em desconformidade com as legislações no que tange aos coliformes totais. Em se tratando da *E. coli*, a não conformidade foi detectada em 60% dos pontos em ago./2017 e 94% em fev./2018.

As maiores densidades de *E. coli* foram encontradas no P8 (19600UFC/100mL) em ago./2017 e, P15 e P19 (incontáveis) em fev./2018. Quanto aos coliformes totais, o P15 (240.000UFC/100mL) apresentou em ago./2017 o maior número de colônias, e em fev./2018 foi a

contaminação foi extremamente elevada, não permitindo a contagem das colônias que se desenvolveram nas placas nos pontos P9, P15 e P19.

O ponto P15 corresponde à mina (Figura 17.A), a qual situava-se no lado oposto da rodovia da área do lixão do município, na porção baixa do terreno com alta declividade, onde havia o desenvolvimento da pecuária e presença de muita matéria orgânica. Além disso, perto da fonte de água foi detectado fezes de animais (Figura 17.B). O ponto P8, por sua vez, além do terreno possuir declividade acentuada, foi o que apresentou menor distância poço-fossa (8,7m). Além disso, o P8 e P9 não possuíam revestimento interno nas paredes dos poços, o que deve ter favorecido a contaminação das águas.



Figura 17 – Mina utilizada como ponto amostral (A) e fezes de animais encontradas próximo à mina (B). Fonte: Autora (2018).

Foi observado, também, que no P8 em ago./2017 houve uma anomalia no crescimento das unidades formadoras de colônias. Conforme pode ser vislumbrado na Figura 18, as colônias da espécie *E. coli* cresceram consideravelmente mais que as demais, indicando possível contaminação pontual.

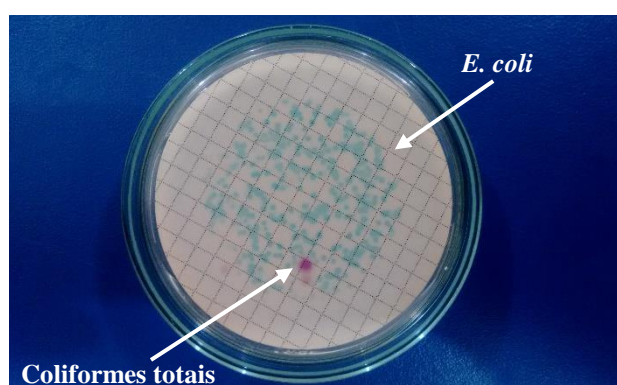


Figura 18 – Anomalia encontrada no ponto amostral P8 do estudo da água subterrânea em Ouro Preto do Oeste/RO e ago./2017 quanto ao crescimento microbiológico. Fonte: Autora (2018).

Na Figura 19 é possível observar o sentido do aumento das unidades formadoras de colônias de coliformes totais e fecais nos meses de ago./2017 e fev./2018.

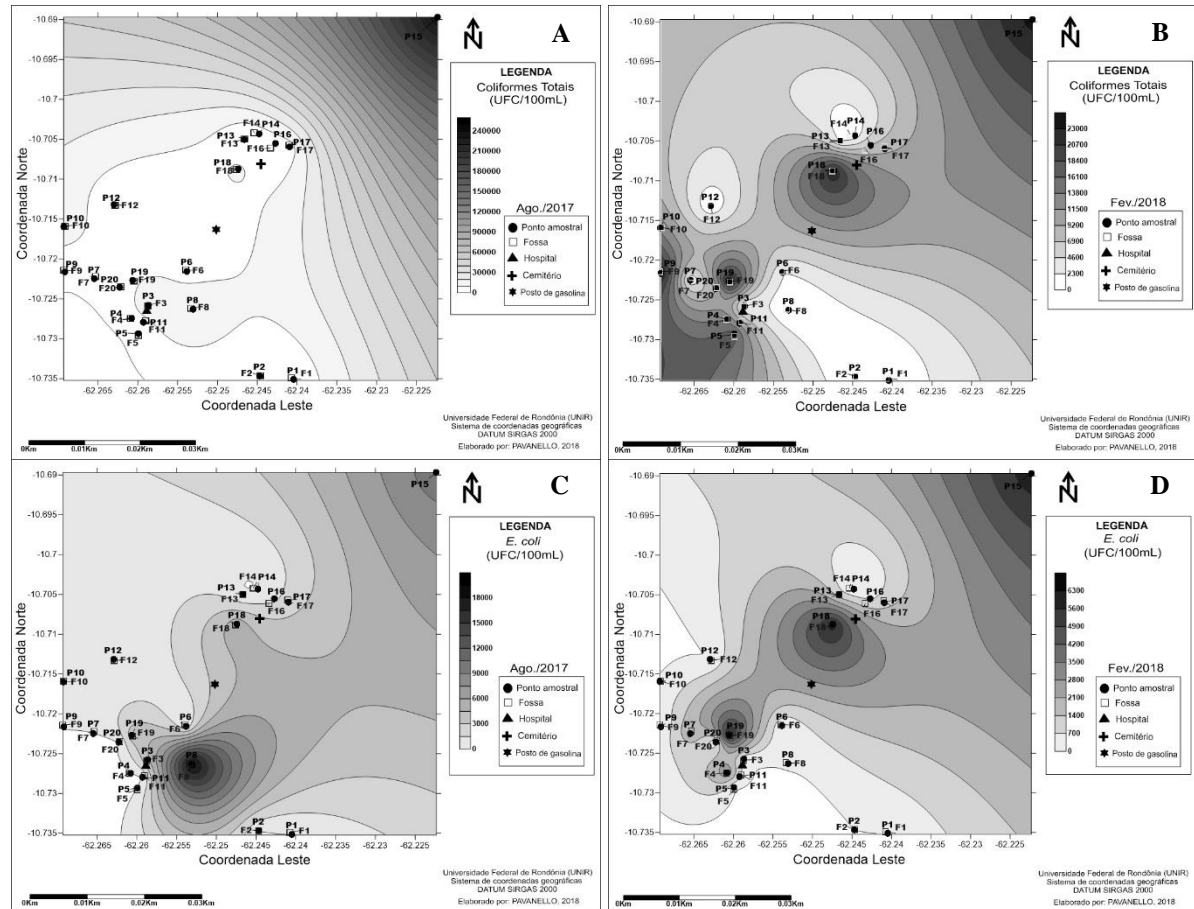


Figura 19 – Cartograma dos coliformes totais em ago.2017 (A) e fev./2018 (B) e da *E. coli* em ago./2017 (C) e fev./2018 (D) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

5.3.3 Metais pesados

Inicialmente, cabe lembrar que os metais pesados foram analisados em apenas 10 pontos amostrais, qual seja: Em ago./2017 (P1, P3, P9, P13, P14, P15, P16, P17, P18 e P19) e em fev./2018 (P1, P3, P4, P9, P13, P14, P15, P16, P18 e P19).

Os valores médios, desvio padrão e mediana de cada metal analisado neste estudo, em ambos os períodos de coleta, bem como os respectivos valores máximos permitidos na categoria consumo humano conforme a CONAMA nº 396/2008, estão apresentados na Tabela 4.

Não foi detectado concentrações dos metais cádmio (ago./2017), antimônio (ambos os períodos de coleta) e vanádio (fev. 2018) nas amostras de água. Por conseguinte, os elementos que apresentaram desconformidade com a CONAMA nº 396/2008 em alguns pontos amostrais, foram: em ago./2017 (Al, As, Ba, Mn e Pb) e em fev./2018 (Al, As, Ba, Mn, Ni, Pb e Zn).

Tabela 4 – Estatística descritiva das concentrações ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de metais-traço obtidos nos poços amostrais do município de Ouro Preto do Oeste/RO em agosto/2017 e fevereiro/2018.

Elemento químico	CONAMA 396/2008 ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Período de coleta	Média ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		Desvio Padrão ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		Mediana ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	
			FT	FD	FT	FD	FT	FD
Ag	100	Ago./2017	0,37	0,29	0,15	0,13	0,41	0,30
		Fev./2018	3,71	3,54	11,21	10,85	0,17	0,087
Al	200	Ago./2017	1161,17	1075,25	3215,72	3143,05	129,25	88,53
		Fev./2018	3295,50	3066,60	2386,86	2224,40	2601,00	2406,50
As	10	Ago./2017	23,24	22,59	71,74	70,77	0,26	0,001
		Fev./2018	18,12	16,39	54,04	51,83	1,35	0
Ba	700	Ago./2017	372,24	360,26	522,42	509,43	144,80	140,65
		Fev./2018	346,69	341,37	384,60	378,40	190,05	189,20
Sr	-	Ago./2017	49,71	48,22	28,68	28,03	47,48	46,08
		Fev./2018	42,52	41,33	23,14	22,41	41,90	41,60
Cd	5	Ago./2017	0	0	0	0	0	0
		Fev./2018	0,18	0,08	0,04	0,05	0,16	0,07
Co	-	Ago./2017	5,62	5,51	16,87	16,64	0	0
		Fev./2018	4,56	4,32	14,29	13,58	0	0
Cr	50	Ago./2017	0,25	0	0,37	0	0,087	0
		Fev./2018	8,18	7,58	0,51	0,58	8,24	7,62
Cu	2000	Ago./2017	7,10	5,07	11,68	9,80	1,99	1,43
		Fev./2018	13,54	12,93	8,40	8,10	10,12	9,62
Mn	100	Ago./2017	360,16	343,73	825,50	811,57	45,86	35,66
		Fev./2018	259,36	246,06	616,08	594,13	37,41	33,33
Mo	70	Ago./2017	1,24	1,05	1,86	1,72	0,69	0,56
		Fev./2018	0,03	0,02	0,08	0,06	0	0
Ni	20	Ago./2017	5,05	4,33	1,13	1,07	4,65	4,02
		Fev./2018	2,66	0,08	7,77	0,21	0,18	0
Pb	10	Ago./2017	5,22	4,86	16,50	15,38	0	0
		Fev./2018	16,89	5,45	31,79	13,68	2,66	1,21
Sb	5	Ago./2017	0	0	0	0	0	0
		Fev./2018	0	0	0	0	0	0
V	50	Ago./2017	0,53	0,14	0,42	0,17	0,49	0,05
		Fev./2018	0	0	0	0	0	0
Zn	5000	Ago./2017	364,22	259,91	69,84	98,95	362,95	232,25
		Fev./2018	5927,10	5533,00	298,48	334,46	5899,00	5702,50

Notas: Ag: Prata; Al: Alumínio; As: Arsênio; Sr: Estrôncio; Cd: Cádmio; Co: Cobalto; Cr: Crômio; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Mo: Molibdênio; Ni: Níquel; Pb: Chumbo; Sb: Antimônio; V: Vanádio; Zn: Zinco; FT: Fração Total; FD: Fração Dissolvida. Fonte: Autora (2018).

Para o alumínio obteve-se concentrações maiores que o valor preconizado pela CONAMA 396/2008 ($200\mu\text{g.L}^{-1}$) no P9 (FT e FD), P15 e P19 (FT) em ago./2017 e em todos os pontos (FT e FD) em fev./2018. Conforme observado na Figura 20.A, no período chuvoso as concentrações de Al giraram entorno de $2.601,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (mediana), e, em ambos os períodos, os outliers referem-se ao P9, cujos valores da FT foram de $10.310,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (ago./2017) e $10.080,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (fev./2018), e da FD $10.020,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (ago./2017) e $9.382,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (fev./2018).

O manganês (Figura 20.B) apresentou concentrações maiores que $100\mu\text{g.L}^{-1}$ no P3, P9, P16 e P19 (ago./2017 para FT e FD), e P9 e P19 (fev./2018 para FT e FD). E, assim como ocorreu com o Al, o P9 teve os maiores valores de Mn, sendo em ago./2017 de $2.673,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $2.621,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (FD), e em fev./2018 de $1.993,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $1.920,00\mu\text{g.L}^{-1}$ (FD).

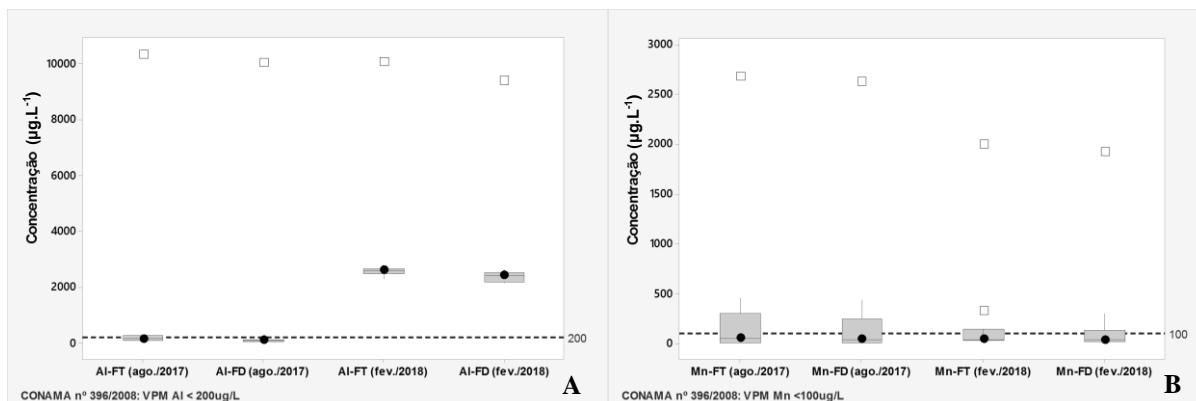


Figura 20 – Boxplot das concentrações de Alumínio (A) e Manganês (B) fração total (FT) e fração dissolvida (FD) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

O Al^{3+} predomina em águas ácidas, sendo que a doença de Alzheimer está relacionada a altas concentrações deste metal no cérebro. Já a forma dissolvida do Mn^{+2} , pode causar manchas em roupas e louças sanitárias, causando desconforto à população, além de poder acometer o indivíduo à doença neuropsíquica conhecida por manganismo (SANTOS et al., 2018).

Em regiões tropicais, os solos são geralmente ácidos com $\text{pH} < 5,5$, podendo indicar presença de altos teores de Al e Mn (RUDNICK, 2015). Ratificando isto, Schindwein et al., 2014 diz que parte da pedologia de Rondônia é caracterizada por apresentar pH baixo e concentração de alumínio e manganês em níveis tóxicos para as plantas, o que poderia explicar os altos teores de Al e Mn nas amostras. Ademais, insta destacar que baixos teores de pH podem propiciar a solubilização dos metais pesados (BRANDELERO et al., 2016).

Analisando os dados de pH obtidos por ponto amostral, observou-se que o P9 apresentou os menores valores de pH em ambos os períodos, sendo de 4,1 (ago./2017) e 4,0 (fev./2018), com diferença significativa entre as concentrações de Al-FT e Al-FD e os valores de pH dos respectivos períodos ($p < 0,05$). Para o Mn e pH não houve diferença significativa ($p > 0,05$).

Em relação ao Bário, os pontos P9 e P19 foram os únicos que estiveram em desconformidade com a normativa em ambos os períodos de coleta (Figura 21), os quais não possuem revestimentos e estão próximos um do outro, sendo que o P19 está em cota inferior ao P9, o que tende a favorecer sua contaminação. Em ago./2017 as concentrações foram para P9-FT ($1.476,00\mu\text{g.L}^{-1}$), P9-FD ($1.444,00\mu\text{g.L}^{-1}$), P19-FT ($1.223,00\mu\text{g.L}^{-1}$) e P19-FD ($1.180,00\mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto que em fev./2018, P9-FT ($1.150,00\mu\text{g.L}^{-1}$), P9-FD ($1.122,00\mu\text{g.L}^{-1}$), P19-FT ($940,60\mu\text{g.L}^{-1}$) e P19-FD ($938,10\mu\text{g.L}^{-1}$).

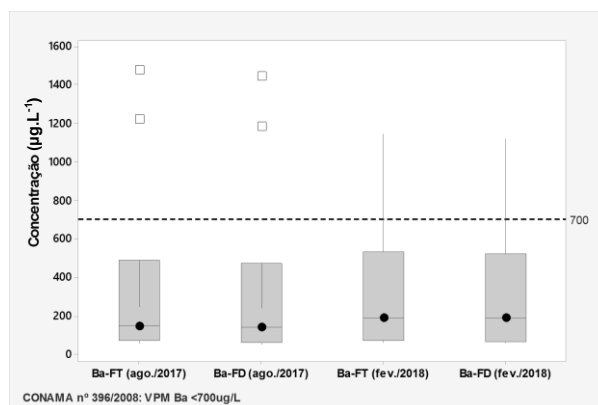


Figura 21 – Boxplot das concentrações de Bário fração total (FT) e fração dissolvida (FD) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Segundo Sousa (2008), os compostos de bário possuem relações muito próximas com os compostos de cálcio e estrôncio, ambos metais alcalinos terrosos ($p < 0,05$). Ao realizar a correlação de Spearman para (Ba-FT e Sr-FT) e (Ba-FD com Sr-FD), obteve-se $r = 0,83$ ($p = 0,003$) em ago./2017, e $r = 0,75$ ($p = 0,013$) em fev./2018, demonstrando que tal relação ocorreu nos pontos amostrais.

O Ba é usado em venenos para ratos, depilatórios, pigmentos para pintura, vidros e cerâmicas (Teixeira, 2003; KEMERICH et al., 2012). Conforme Lopez e Sanchez (2015), o bário é similar ao cálcio, porém mais reativo, já que oxida com muita facilidade quando exposto ao ar e por ser altamente reativo com água e álcool.

O arsênio, por sua vez, obteve concentrações superiores ao estabelecido pela Resolução ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) apenas no P9 (Figura 22.A). Em ago./2017 as concentrações foram de $227,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $224,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FD). Já em fev./2018 foram de $171,90 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $163,90 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FD). Os principais modos de intoxicação por As ocorrem via consumo de águas poluídas e por ingestão de solos contaminados, o que pode provocar patologias cancerígenas, bem como cutâneas, gastrintestinais, cardiovasculares, hematológicos, pulmonares, neurológicos, endocrinológicos, reprodutivos e outros (USEPA, 2000; BORBA et al., 2004).

No período de estiagem, o único ponto que apresentou concentrações de chumbo foi o P9 com $52,19 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $48,63 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FD). Já no período chuvoso, todos os pontos analisados tiveram alguma concentração de Pb, mas apenas o P9 com $49,49 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e $44,34 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FD), e o P1 $97,08 \mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) estiveram em desconformidade com a CONAMA nº 396/2008 (Figura 22.B).

Martins (2011), estudando a água subterrânea em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança em Ji-Paraná, detectou as maiores concentrações de Pb no período chuvoso, assim como nesta pesquisa, e em pontos mais próximos ao antigo lixão, tendo relacionado a possível contaminação das águas pelo chumbo proveniente da decomposição dos resíduos sólidos.

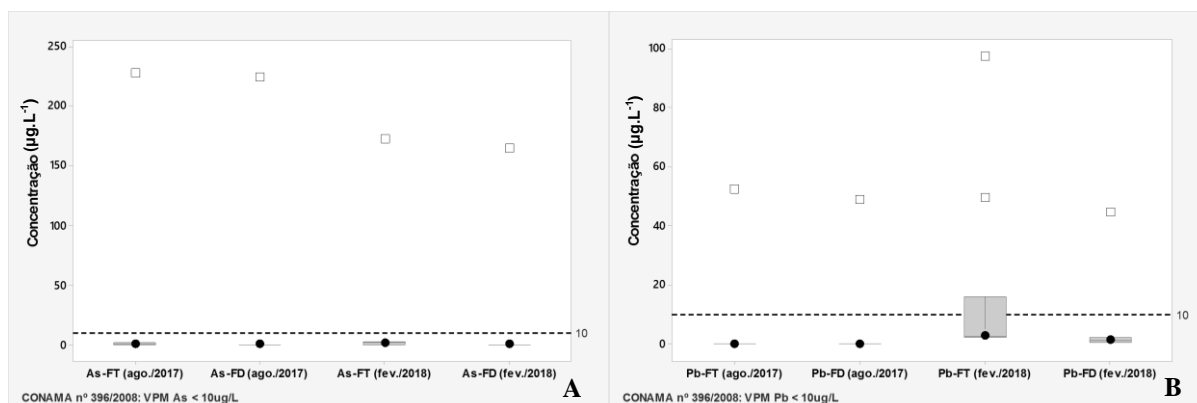


Figura 22 – Boxplot das concentrações de Arsênio (A) e Chumbo (B) fração total (FT) e fração dissolvida (FD) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Porém, vale dizer que o maior valor encontrado pela autora foi de $12,69\mu\text{g.L}^{-1}$, inferior a maior concentração encontrada neste estudo. O Pb, não é um elemento comum em águas naturais, cuja exposição pode levar a intoxicações que, em geral, se dá de forma lenta e gradual e ocorre devido a acumulação (ARAÚJO, 1999; MARTINS, 2011).

Cabe mencionar, ainda, que houve desconformidade com a CONAMA nº 396/2008, na segunda coleta (fev./2018), o elemento níquel na fração bruta no P18 ($24,77\mu\text{g.L}^{-1}$), e, o zinco em todos os pontos (FT e FD). Na Figura 23, é possível observar que os valores de Zn variaram em ago./2017 de $276,3\mu\text{g.L}^{-1}$ a $507,0\mu\text{g.L}^{-1}$ (FT) e em fev./2018 de $5.329\mu\text{g.L}^{-1}$ a $6.472\mu\text{g.L}^{-1}$ (FT).

O Ni está associado às indústrias de aço inoxidável, galvanoplastias, fabricação de margarinas e manteigas, niquelagem, bem como pela disposição inadequado de lodo e resíduos contaminados e degradação das rochas (QUINÁGLIA, 2012). Já o Zn pode ser oriundo da combustão da madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos (PHILLIP JR et al., 2004; CHAVES, 2013).

Observa-se (Figura 23) que no período chuvoso as concentrações de Zn excederam-se consideravelmente em relação ao período de estiagem ($p < 0,05$), possivelmente devido as altas precipitações que facilitaram a percolação deste elemento do solo.

Chaves (2013), quantificando a concentração de Zn em amostras de solo no lixão inativo de Ji-Paraná/RO encontrou valores de até $2.367,57\text{mg.kg}^{-1}$ (estiagem) e $798,70\text{mg.kg}^{-1}$ (chuvoso). Martins (2011) estudando o metal zinco da água subterrânea no bairro Boa Esperança em Ji-Paraná/RO, entorno do lixão inativo, encontrou as maiores concentrações no período chuvoso, os quais mantiveram-se abaixo do VMP.

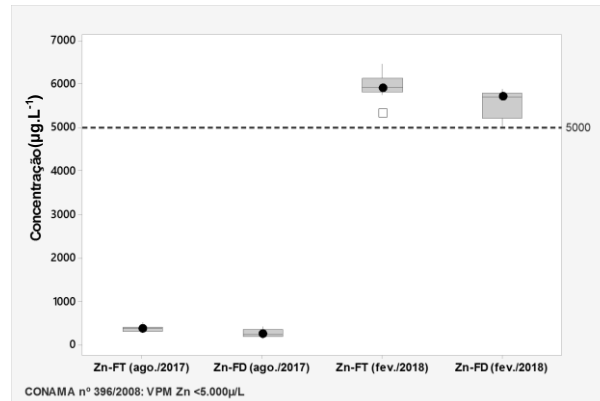


Figura 23 – Boxplot das concentrações de Zinco fração total (FT) e fração dissolvida (FD) em ago./2017 e fev./2018 para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Em síntese, o ponto com maior contaminação foi o P9, o qual apresentou valores exorbitantes para os diferentes metais, bem como nas análises de parâmetros físico-químicos da qualidade da água, como na condutividade elétrica, sendo o ponto com o maior valor desta variável em ambos os períodos de coleta. Supõe-se que haja contaminação pontual no local.

Por fim, vale dizer que, em entrevista com os moradores do P9, os mesmos relataram que a água deste poço possui aspecto viscoso, bem disseram ter ocorrido casos de diarreia e dor no estômago quando faziam o consumo rotineiro da mesma.

5.4 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

O fluxo subterrâneo do município de Ouro Preto do Oeste predominou, de forma geral, na direção leste para oeste, não havendo diferença entre os meses representativos dos períodos em análise (Figura 24). Os altos potenciométricos foram verificados nos poços P9 e P7, que agem como divisores de águas, enquanto que as depressões potenciométricas foram observadas no P6 e P2.

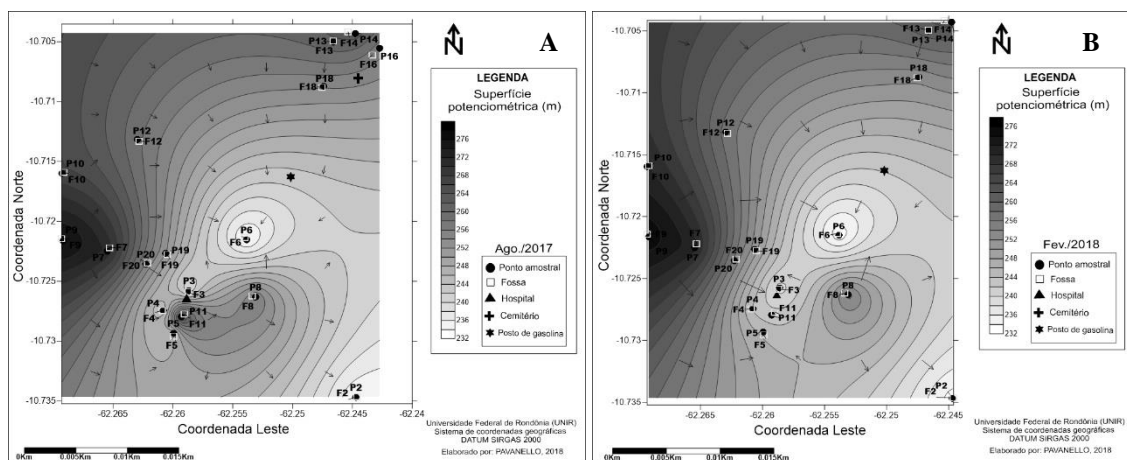


Figura 24 – Cartograma da direção do fluxo subterrâneo em ago.2017 (A) e fev./2018 (B) para água subterrânea de Ouro Preto do Oeste/RO. Fonte: Autora (2018).

Em uma análise macro, observou-se que embora o P6 e P2 estavam situados nos baixos potenciométricos, cuja pluma de contaminação tenderiam a estes pontos, não apresentaram em

nenhum parâmetro analisado valores tão elevados se comparado aos valores obtidos nos outros pontos amostrais. O revestimento em manilha destes (P6 e P2) poços pode ter contribuído para a minimização da pluma de contaminação.

Ao contrário, verificou-se que os maiores valores em ago./2018 se situaram no P19 e P18 (turbidez), P9 e P11 (condutividade elétrica), P9 e P11 (nitrito), P3, P9 e P18 (nitrito), P12 e P9 (amônia), P18 e P19 (P-total), P15 e P8 (coliformes totais), e P8 e P15 (*E. coli*). E, em fev./2018 nos pontos P18 e P13 (turbidez), P9 e P12 (condutividade elétrica), P9 e P12 (nitrito), P12 e P9 (amônia), P12 e P15 (P-total), P9, P15 e P19 (coliformes totais), e P15 e P19 (*E. coli*). Em todos estes pontos supracitados, os poços não possuíam revestimento e o P15 corresponde a mina.

Em relação aos metais pesados em desconformidade com CONAMA nº 396/2008, as maiores concentrações foram obtidas no P9-FT e P9-FD (Al, Mn, Ba, As e Pb) em ambos os períodos, no P18 (Ni-FT) em fev./2018, e para no P1, P18 e P15 (Zn-FT) e P3, P15, P1 e P18 (Zn-FD) em fev./2018.

É importante ressaltar que os poços e cursos d'água da região podem estar recebendo carga contaminante, principalmente, proveniente da pluma de contaminação do P9, o qual se repetiu diversas vezes como ponto amostral com maiores valores encontrados nos parâmetros analisados. O P18 e P3, provavelmente, também estão recebendo cargas oriundas do cemitério e hospital por estarem situados próximos a estas fontes de contaminação. A mina do P15, embora não apresentado no mapa acima, possivelmente, está sendo influenciado pela área do lixão do município.

A contaminação dos aquíferos está diretamente ligada ao tipo de atividade exercida, tipo de contaminante e sua carga, destacando como potenciais fontes de contaminação fossas, lixões, cemitérios, postos de combustíveis etc. (OLIVEIRA et al., 2016; LAUREANO, 2017).

Conclui-se, pois, que evidente está que os efluentes domésticos das fossas negras, bem como as demais fontes de contaminação estão interferindo na qualidade da água subterrânea de Ouro Preto do Oeste, e que, apesar da direção do fluxo subterrâneo contribuir para esta interferência, as características dos poços, como a presença de revestimento interno, atenuam o impacto adverso.

Por fim, cabe dizer, assim como Ramos (2017), que não se exclui a interferência de outros fatores na constituição da água, como características do solo, mobilidade dos elementos na água e o uso e ocupação anterior da área.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP) podem ser observados na Figura 25, os quais explicam 49,27% da variação total dos dados das características físicas, químicas, microbiológicas e metais da água subterrânea do município de Ouro Preto do Oeste/RO, sendo o percentual distribuído em 33,34% no eixo 1 e 15,93% no eixo 2.

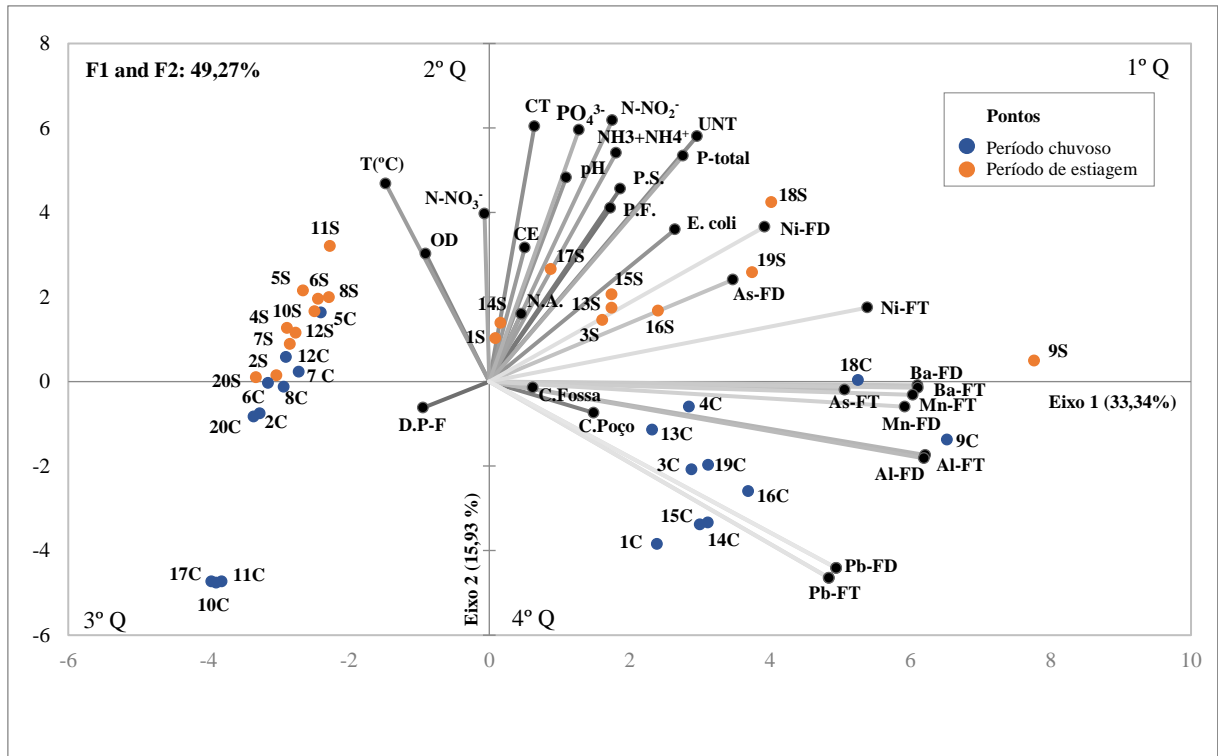


Figura 25 – Representação da ACP dos pontos amostrais de Ouro Preto do Oeste/RO em relação a média das variáveis da água subterrânea em ago./2017 e fev./2018. Fonte: Autora (2018).

Notas: D.P-F: Distância Poço-Fossa; P.F.: Profundidade de fundo; P.S.: Profundidade de superfície; N.A.: Nível d'água; C.Poço: Cota do poço; C.Fossa: Cota da fossa; OD: Oxigênio dissolvido; UNT: Turbidez; CT: coliformes totais; *E. coli*: Coliformes fecais (*E. coli*); pH: potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; T(°C): Temperatura; $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$: Amônia; N-NO_2^- : Nitrito; N-NO_3^- : Nitrato; P-total: Fósforo total; PO_4^{3-} : Ortofosfato; Al: Alumínio; As: Arsênio; Ba: Bário; Mn: Manganês; Pb: Chumbo; Ni: Níquel; FT: Fração Total; FD: Fração Dissolvida.

Ramos (2017) conseguiu explicar a variação dos seus dados pela ACP em 42,75% em Nova Londrina e 49,56% em Nova Colina, enquanto que Laureano (2017) explicou 48,8% em Bandeira Branca e 63,73% em Presidente Médici.

Assim, como os trabalhos supracitados, é possível verificar que a espacialização dos pontos nos quadrantes ocorreram, em geral, em grupos conforme o período sazonal de coleta das amostras, sendo no período de estiagem (ago./2017) melhor distribuído no 1º e 2º quadrantes e no período chuvoso (fev./2018) no 3º e 4º quadrantes.

Verifica-se, também, que há pontos como o P5, P12, P7 e P20 que mantiveram comportamentos semelhantes em ambos os períodos analisados (2º quadrante).

A Tabela 5 apresenta a importância de cada variável em relação as componentes do eixo 1 e eixo 2. Assim, os maiores valores no primeiro eixo ocorreram para as variáveis de metais Al-FT (0,960), Al-FD (0,957), Ba-FT e Ba-FD (0,943), Mn-FT (0,932) e Mn-FD (0,914), havendo uma maior correlação com os pontos amostrais coletados no período chuvoso. Enquanto que, para o segundo eixo, os maiores valores foram para nitrito, *E. coli* e turbidez (0,660; 0,645 e 0,620), tendo maior correlação com os pontos amostrais no período de estiagem.

Tabela 5 – Correlação das variáveis nos dois primeiros eixos da análise de componentes principais para as variáveis físicas, químicas, microbiológicas e metais para as águas subterrâneas do município de Ouro Preto do Oeste/RO.

VARIÁVEIS	ABREVIACÕES	EIXO 1	EIXO 2
Distância Poço-Fossa	D.P-F	-0,146	-0,066
Profundidade de fundo	P.F.	0,266	0,438
Profundidade de superfície	P.S.	0,288	0,487
Nível d'água	N.A.	0,070	0,171
Cota do Poço	C.Poço	0,230	-0,079
Cota da Fossa	C.Fossa	0,096	-0,015
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,140	0,323
Turbidez	UNT	0,457	0,620
Coliformes Totais	CT	0,099	0,645
Coliformes Fecais (<i>E. coli</i>)	<i>E. coli</i>	0,409	0,384
Potencial hidrogeniônico	pH	0,169	0,515
Condutividade elétrica	CE	0,078	0,338
Temperatura	T (°C)	-0,228	0,500
Amônia	NH ₃ +NH ₄ ⁺	0,279	0,577
Nítrito	N-NO ₂ ⁻	0,271	0,660
Nitrato	N-NO ₃ ⁻	-0,010	0,424
Fósforo Total	P-total	0,427	0,570
Fósforo Dissolvido (ortofosfato)	PO ₄ ³⁻	0,197	0,636
Alumínio Fração Total	Al-FT	0,960	-0,185
Alumínio Fração Dissolvida	Al-FD	0,957	-0,194
Arsênio Fração Total	As-FT	0,782	-0,021
Arsênio Fração Dissolvida	As-FD	0,536	0,257
Bário Fração Total	Ba-FT	0,943	-0,009
Bário Fração Dissolvida	Ba-FD	0,943	-0,015
Manganês Fração Total	Mn-FT	0,932	-0,033
Manganês Fração Dissolvida	Mn-FD	0,914	-0,063
Chumbo Fração Total	Pb-FT	0,747	-0,496
Chumbo Fração Dissolvida	Pb-FD	0,764	-0,471
Níquel Fração Total	Ni-FT	0,832	0,187
Níquel Fração Dissolvida	Ni-FD	0,606	0,391

Fonte: Autora (2018).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas subterrâneas possuem relevância social e econômica para a sociedade há muito tempo. Entretanto, a ocupação urbana desordenada que desencadeou a falta de planejamento hidrossanitário e o uso indiscriminado dos recursos hídricos, tem gerado contaminação dos lençóis freáticos.

Tal afirmativa é evidenciada por meio de pesquisas científicas, como o presente estudo, que teve por objeto as águas subterrâneas do município de Ouro Preto do Oeste/RO. As análises laboratoriais da qualidade da água demonstraram que em alguns pontos os parâmetros: turbidez, pH, amônia, coliformes totais e fecais, e os metais Al, As, Ba, Mn, Ni, Pb e Zn, apresentaram desconformidade com as normativas vigentes, as quais estabelecem valores máximos permitidos para cada variável. Outros parâmetros como oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, P-total e o ortofosfato, que não possuem valores orientadores, demonstraram resultados que devem especial atenção, cuja ausência desses valores prejudicam uma melhor análise e discussão dos dados.

Além disso, observou-se que a utilização de poços na área de estudo não é necessária, tampouco recomendada, já que o município conta com sistema público de abastecimento de água, e em todos os pontos amostrais os efluentes são dispostos em fossas negras.

E, como se não bastasse, o fluxo subterrâneo indicou que áreas com altas cargas de contaminantes podem estar contribuindo para a contaminação de poços em cota altimétrica inferior, visto que foi identificado pontos amostrais em cotas elevadas com mais parâmetros em desconformidade que pontos em cotas mais baixas, demonstrando, também, contaminações pontuais. Ademais, evidenciou-se que o revestimento adequado dos poços atenua a contaminação.

Logo, diante do exposto acima e segundo as legislações vigentes, os poços amostrais demonstraram estarem impróprios ao consumo humano sem antes haver o tratamento prévio. Por fim, cumpre destacar que, este estudo vem a corroborar com outros já realizados no estado de Rondônia, todos ratificando a contaminação das águas subterrâneas.

7 RECOMENDAÇÕES

Sugere-se a conscientização da população sobre esta temática, mostrando-lhes a importância das condições físicas dos poços, como revestimentos e tampas, bem como a necessidade de se tratar a água antes do consumo.

Sugere-se, também, a formulação de políticas que possam onerar os usuários das águas subterrâneas, ainda que o uso seja de forma insignificante, como forma de desestimular o uso, já que a população possui acesso às redes de abastecimento público.

Outrossim, não restam dúvidas, sobre a necessidade governamental em alocar recursos para a efetiva implantação e funcionamento das redes de coleta e tratamento de esgotos domésticos e industriais nos municípios de Rondônia, pois os dejetos, em sua maioria, ainda são dispostos de forma arcaica e ambientalmente reprovável.

8 REFERÊNCIAS

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160-165, abr. 1998.

ALDO, R. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil**. Textos elaborados por Antonio Cardoso Neto. Brasília, 2012. 72 p.

ANA. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Consórcio Engecorps/Cobrape. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2010a, 70p.

ANA. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Consórcio Engecorps/Cobrape. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2010b, 90p.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: 2017, 169p.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2009, 204p.

ANA. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2007. 124p. (Caderno de Recursos Hídricos, 5).

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. Ed. 19. Washington, 1995.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. Ed. 20. Washington, 1998.

ARAUJO, U. C.; PIVETTA, F. R. & MOREIRA, J. C. Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo: proposta de uma estratégia de monitoramento para prevenção dos efeitos clínicos e subclínicos. Fiocruz. Rio de Janeiro, 1999.

ARAUJO, C. F.; HIPÓLITO, J. R.; WAICHMAN, A. V. Avaliação da qualidade da água do poço. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 72, n. 1, p. 53-58, 2013.

ARRAES, T. M.; CAMPOS, J. E. G. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 81-89, mar. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7229/93**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. ABNT, 1993.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUÍZ, J. G. Caracterização Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas na Área de Abrangência do Reservatório de

Abastecimento Público do Utinga – Belém (PA). **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 43-46, 2011.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Trad. M.A.L. Recio e L.C.M. Carrera. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRIENTOS, J. C. G. **Perforación e instalación de piezómetros de tubo abierto para el manejo ambiental de cantidad y calidad de agua subterránea**. Monografía (Bacharel em Ciências de Engenharia de Minas). 2015. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, 2015.

BARROS, C. G. D.; ROSA, A. L. D.; SILVA, J. L. S.; OLIVEIRA, G. A.; TEIXEIRA, L. G.; SAMPAIO, R. B. S. Superfície Potenciométrica e possíveis fontes de contaminação do aquífero Parecis no município de Vilhena – RO, BR. **Monografias Ambientais – REMOA**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 74-84, jan./abr. 2016.

BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; FRAGA, M. S.; GENEROSO, T. N.; MELO, A. R. B. Variação da turbidez em pontos distintos de um perfil transversal do Rio Catolé-BA sob diferentes níveis de vazão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2011.

BERTOLO, R.; HIRATA, R.; CONICELLI, B.; SIMONATO, M.; PINHATTI, A.; FERNANDES, A. Água subterrânea para abastecimento público na região metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala? **Revista DAE**, v. 63, n. 199, p. 6-17, mai./ago. 2015.

BEZERRA, E. S. **Determinação de metais na água disponibilizada para consumo humano no município de Governador Valadares – MG**. Brasília: UnB, 2016. Monografia (Bacharel em Farmácia), Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, 2016.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea de Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 57, n. 1, p. 45-51, jan./mar. 2004.

BRANDELERO, S. M.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; DORS, P. Monitoramento de água e sedimento no Rio Palmeiras, Bacia Hidrográfica do Tubarão (SC), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 203-212, nov. 2016.

BRASIL. Decreto n. 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o código de águas. Rio de Janeiro, 1934.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e responsável pela

instituição de normas de referência nacionais para a regulação da prestação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília, 2000.

BRASIL. IBGE. População estimada, 2018. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: ago. 2018.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. **Inspeção Sanitária em Abastecimento de água**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006a. 84p. (Série A: normas e manuais técnicos).

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. **Diário Oficial da União**, n. 190. 2017.

BRASIL. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, Seção 1, n. 66, 7 abr. 2008, pp. 64-68.

BRASIL. Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, n. 005, 8 jan. 2001, pp. 20-23.

BRASIL. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 212p. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

CAPP, N.; AVACH, 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). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 77-91, set./dez. 2012.

CARDOSO, R. N. C.; GONÇALVES, E. D.; DE 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. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, 2018.

CARVAHO, F. I. M.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F.; Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2.221-2.241, 2015.

CARVALHO, J. B. M.; CURI, W. F. Indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma proposta metodológica de construção e análise. **Economia e Gestão, Belo Horizonte**, v. 15, n. 38, jan./mar. 2015.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: 2008. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

CHAVES, A.; SILVA, J. L. S. Comportamento do fluxo das águas subterrâneas na área de um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/RS. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008, 16p.

CHAVES, C. L. **Avaliação das concentrações de metais pesados em áreas de deposição de lixo no município de Ji-Paraná – Rondônia.** Ji-Paraná: 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Ambiental. 2013.

CLEARY, R. W. Águas subterrâneas. Princeton Groundwater, Inc. e Clean Environment Brasil®, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. 2007.

COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M.; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A.; SOTERO-MARTINS, A. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na cidade de São Luís, MA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 156-167, jan./fev. 2017.

CNRH. Legislação Correlata. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/2013-10-27-00-11-6>>. Acesso em 01 mai. 2018.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180, jul./dez. 2012.

COUTINHO, L. **Água – recurso mineral: o paradoxo hídrico resultante da regulamentação jurídica aplicada às águas minerais no Brasil.** Brasília: 2015. Monografia (Bacharel em Ciências Ambientais), Consórcio IG / IB / FACE-ECO / CDS, Universidade de Brasília, 2015.

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

DANTA, J. M. Hidrogeoquímica e estudo da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim no município de Maruim, Sergipe, NE do Brasil. Salvador: UFBA, 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente), Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, 2013.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FERNANDES, O. C. Controle da qualidade microbiológica e parasitária em áreas de recreação. **Gestão & Saúde**, v. 4, n. 3, p. 1075-1092, 2013.

FERREIRA, D. C.; LUZ, S. L. B.; BUSS, D. F. Avaliação de cloradores simplificados por difusão para descontaminação de água de poços em assentamento rural na Amazônia, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 767-776, 2016.

FERREIRA, R. F. **Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na Região Central de Rondônia.** Ji-Paraná: UNIR, 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2013.

FERREIRA, R. F. **Vulnerabilidade do manancial subterrâneo da área de entorno da Reserva Biológica do Jarú: estudo de caso da comunidade Santa Rosa, Rondônia.** Rolim de Moura: UNIR, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2015.

FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro – MG.** Viçosa: 2008. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUEZ, M. T. R. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 29-46, abr./jun. 2001.

FITTS, C. R. 1953. **Águas subterrâneas.** Trad. VIEIRA, D. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FOSTER, S. 1993. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** Instituto Geológico, São Paulo. 1993.

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, 38., 1987, Noordwijk. **Proceedings and Information of the International Conference held in the Netherlands.** Noordwijk: TNO Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69-86.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? **Hydrogeology Journal**, p. 737-750, 2013.

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.** Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial, 2006. 114p.

FREITAS, F. P. Dominialidade das águas subterrâneas no Brasil à luz da constituição federal de 1988 e o caso do aquífero Guarani. In: *Anais XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006. 18p.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba – SP.** Piracicaba: 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2011.

GIAMPÁ, C. E. Q. Tenho um poço: o que faço agora? **Revista Águas Subterrâneas**, ano 1, n. 4, mar./abr. 2008.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo. In **ABAS (Associação Brasileira de Água Subterrânea)**. 37f. set. 2005.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GONÇALVES, C. M. **O impacto ambiental: discutindo os fatores de degradação do solo causado pelos lixões do Roger e o aterro sanitário.** João Pessoa: UEPB, 2014. Monografia (Graduação em Geografia EAD), Pró-Reitoria de Ensino Médio Técnico e Educação à Distância, Universidade Estadual da Paraíba, 2014.

GONÇALVEZ, C.; CRUZ, L. T. M.; SILVÉRIO, P. F. Soluções rastreáveis e estáveis para determinação de oxigênio dissolvido em águas subterrâneas: melhoria da qualidade técnica dos resultados de campo. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, I, 2009. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2009.

GRANZIERA, M. L. M.; GRANZIERA, B. M. Desafios na gestão das águas subterrâneas. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABAS, 2014. 14p.

GUIMARÃES, P. B. V.; RIBEIRO, M. M. R. Águas subterrâneas: aspectos compartilhados da gestão de recursos hídricos na legislação brasileira. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008, 16p.

HEATH, R. C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea.** Título original: Geological Survey Water Supply Paper. Trad. WREGE, M.; POTTER, P. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas Núcleo Sul-ABAS, 1982.

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, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2011.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Editora UFMG, 2006.

HIRATA, F.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: Feitosa, F. A. C (org.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed., Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.

HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-50, mar. 2001.

IBGE. **Banco de dados georeferenciado dos recursos naturais da Amazônia legal.** Rio de Janeiro, 2012.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** 3. ed., São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2012. 104p.

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F. S.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. Valores anômalos de metais pesados no solo cemitério. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 140-156, 2012.

LARINI, M. M. **Avaliação do uso das águas subterrâneas na região metropolitana de Londrina – PR e comparativo da utilização dos mananciais superficiais para o**

abastecimento público. Londrina: UTFPR, 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

LAUREANO, J. J. **Qualidade da água subterrânea no município de Presidente Médici.** Ji-Paraná: UNIR, 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2017.

LAUTHARTTE, L. C. **Avaliação da qualidade de água subterrânea no distrito de Jaci-Paraná, município de Porto Velho – RO.** Porto Velho: UNIR, 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2013.

LAUTHARTTE, L. C.; HOLANDA, I. B. B.; LUZ, C. C.; MUSSY, M. H. PANSINI, S.; MANZATTO, A. G. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: estudo de caso no distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho – RO. **Águas subterrâneas**, v. 30, n. 2, p. 246-260, 2016.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino química. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, nov. 2011.

LINDSTRÖM, R. **Groundwater vulnerability assessment using process-based models.** Stockholm: Royal Institute of Technology, 2005. 44p.

LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brazil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 141-153, jan./mar. 2015.

LOPES, M. M.; TEIXEIRA, D. A trajetória do comitê da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu e suas contribuições para a gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 8, n. 3, p. 24-49, set./dez. 2012.

LOPEZ, M. G. A.; SANCHEZ, M. A. A. **Determinacion de sodio, potasio, calcio, bario y litio en el agua que se distribuye en el canton ojo de agua municipio de Huizucar departamento de la libertad por fotometria de llama.** San Salvador: 2015. Monografia (Licenciatura em química e farmácia). Universidade de El Salvador, Faculdade de Química e Farmácia, 2015.

MACHADO, R. P.; AUGUSTO, R. S.; MARTINS, O. A. Análise química da água de nascentes nas cidades de Avaré e Cerqueira César, São Paulo. **Revista Eletrônica de Educação e Ciência**, v. 2, n. 3, p. 40-44, 2012.

MARINHO, J. S.; JESUS, I. M.; ASMUS, C. I. R. F.; LIMA, M. O.; OLIVEIRA, D. C. Doenças infecciosas e parasitárias por veiculação hídrica e doenças respiratórias em área industrial, Norte do Brasil. **Cad. Saúde Colet.**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 4, p. 443-451, 2016.

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 (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2011.

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MULLER, M. W. Atributos físicos e estoques de

carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27, jan./mar. 2017.

MIRANDA, J. F.; FIGUEIREDO, J. R.; CURI, A.; ALAMEDA-HERNANDEZ, P. A gestão participativa dos recursos hídricos no setor mineral brasileiro. **Revista de médio ambiente minero y minería (VER. MAMYM)**, n. 3, p. 16-23, 2017.

MMA. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Petrobras. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 40p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo Reserva Biológica do Jarú**. Resumo Executivo. MMA, ICMBio. Brasília, 2010.

MONTEIRO, I. Nobre e indispensável. **Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo**, ABAS: Ed. Marlene Simarelli, ano 4, n. 27, maio./jun. 2012.

MUELLER, D. K.; HELSEL, D. R. *Nutrients in the Nation's Waters-Too Much of a Good Thing*. U.S. Geological Survey Circular 1136. 1996.

MULER, R. A. S.; SILVA FILHO, E. P. Bio-físico-química da água de poços cacimba do centro urbano de Ouro Preto do Oeste – RO: uma análise espacial. **Bol. geogr., Maringá**, v. 33, n. 2, p. 89-99, mai./ago. 2015.

NASCIMENTO, E.L. **Concentração de mercúrio no plâncton e fatores ecológicos no reservatório da U. H. E.-SAMUEL-AMAZÔNIA OCIDENTAL (RONDÔNIA/BRASIL)**. Porto Velho: 2006. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2006.

ODM. **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – Relatório Nacional de Acompanhamento**. Brasília: Ipea, 2010. 184p. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/odm/relatorios/4--relatorio-nacional-de-acompanhamento-dos-odm.html>>. Acesso em: 04 set. 2017.

OLIVEIRA, A. I. L.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Modelagem da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos livres em região hidrográfica do semiárido baiano explorada pela agroindústria. In: Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, 17., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 6214-6221.

OLIVEIRA, C. E. S.; CAJAZEIRAS, C. C. A.; PEREIRA, L. A.; BARBOSA, F. A. R. Relatório de prospecção geofísica de água subterrânea. Porto Velho: 2013.

OLIVEIRA, G. A.; BARROS, C. G. D.; ROSA, A. L.; NASCIMENTO, E. L.; GEORGIN, J. Análise da qualidade microbiológica e superfície potenciométrica da água subterrânea do município de Vilhena – RO. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. **Anais Segurança hídrica e Desenvolvimento Sustentável**. Porto Alegre: ABRH, 2015b. 8p.

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.

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. Associação entre as condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, 11p., 2018.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, L. C.; SOARES, H. L. T.; CASTRO, S. S. de. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Bauru no município de Rio Verde – GO. **Águas subterrâneas**, v. 29, n. 2, p. 129-145, 2015.

PHILIPPI JR, A.; ROMERIO, M. A.; BRUNA, G. C. **Controle ambiental da água. In: curso de gestão ambiental – USP**. Ed. Monole Ltda. Barueri, SP, 2004.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T., H. **Para Entender a Terra**. Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4. ed., Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos níveis de basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista**. Ed. 1ª. Ed. Biblioteca 24h. São Paulo, mar. 2012.

QUOOS, R. D. **Desenvolvimento rural sustentável na região de Ouro Preto do Oeste-RO: desafios da ater agroecológica**. Santa Maria: UFSM, 2007. Relatório (Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

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)**. Ji-Paraná: UNIR, 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2017.

RAMOS, C. F.; LAUREANNO, J. J.; NASCIMENTO, E. L.; FERREIRA, R. F.; MENDONÇA, A. P.; ROSA, A. L. D.; GOMES, J. P. O. G.; RUEZZENE, C. B.; BASTOS, W. R. Avaliação da qualidade da água subterrânea no distrito de Nova Londrina – RO no período de estiagem. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 1 (supl II), p. 5, 2016.

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

REVISTA SANEAS. **O papel essencial das águas subterrâneas**. AESABESP (Associação dos Engenheiros da Sabesp). Ano IX - Edição 29 – 6 – 17 p. Abril/Maio/Junho 2008. Fonte: Livro “O Aquífero Guarani” de autoria de Nádia Rita BoscardinBorghetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho. Dados fornecidos pela ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

RIBEIRO, L. F. T. Um novo índice vulnerabilidade específico de aquíferos: formulação e aplicações. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), 7., 2005, Évora.

ROCHA, A. G. K.; ROCHA, A. L. R.; SOUZA, R. S.; FORTUNA, J. L. Avaliação microbiológica da água de poços rasos próximos a um córrego. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 7, n. 1, p. 28-34, jul. 2011.

RODRIGUES, E. R. D.; HOLANDA, I. B. B.; CARVALHO, D. P.; BERNARDI, J. V. E.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. B. Distribuição espacial da qualidade da água subterrânea na área urbana da cidade de Porto Velho, Rondônia. **Scientia Amazonia**, v. 3, n. 3, p. 97-105, set./dez. 2014a.

RODRIGUES, H. O.; SILVA, V. M.; RODRIGUES, H. O. S. Breve abordagem sobre as características da formação geológica do aquífero Beberibe na região metropolitana do Recife. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABAS, 2014b. 12p.

ROHDEN, F.; ROSSI, E. M.; SCAPIN, D.; CUNHA, F. B.; SARDIGLIA, C. U. Monitoramento microbiológico de águas subterrâneas em cidades do Extremo Oeste de Santa Catarina. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 14, n.6, p. 2199-2203, 2009.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia (PERH/RO). Porto Velho, SEDAM, 2017.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia: Relatório Final. Porto Velho, SEDAM, 2018.

RONDÔNIA. Lei Complementar n. 255, de 25 de janeiro de 2002. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências. Porto Velho, 2002.

RONDÔNIA. Decreto n. 20.337, de 03 de dezembro de 2015. Altera os dispositivos do Decreto n. 10.114, de 20 de setembro de 2002, que dispõe sobre o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia. Porto Velho, 2015.

RUDNICK, V. A. S. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes usos e manejos em Rondônia**. Porto Velho: 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2015.

RUSSO, A. S. **Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando sistemas de informações geográficas e geoestatística – UGRHI – PCJ**. São Paulo: USP, 2009. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2009, 75p.

SANTANA, J. E. S. **Direito ambiental: percepções ambientais, sociais e jurídicas acerca da água no Brasil**. Campina Grande: UEPB, 2016. Monografia (Bacharel em Direito), Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Jurídicas, 2016.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 3. ed. revisada e ampliada, p. 325-357. 2008.

SANTOS, M. S.; BAGGIO FILHO, H.; ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; COSTA, T. M.; HORN, A. H. Análise da concentração e distribuição de metais pesados na água do rio das Velhas

entre a cidade de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaiçuí – MG. **Revista Cerrados**, v. 16, n. 1, p. 130-158, jan./jun. 2018.

SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; PASSOS, A. M. A. dos; MILITÃO, J. S. L. T.; FIORELLI-PEREIRA, E. C.; PEREIRA, A. P. M.; TONINI, J. Atualizações em calagem de solos em Rondônia. In: Reunião de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental, 2, 2014, Porto Velho. Manejo dos Solos e a sustentabilidade da produção agrícola na Amazônia Ocidental: **anais**. Porto Velho: SBCS, 2014, p. 267-287.

SCORSFAVA, M. A.; SOUZA, A.; STOFER, M.; NUNES, C. A.; MILANEZ, T. V. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 229-232, 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). CPRM. Relatório de prospecção geofísica de água subterrânea. Porto Velho: jul. 2013.

SEDAM. Portaria n. 081/GAB/SEDAM, de 23 de março de 2017. Altera a Portaria SEDAM nº 38/GAB/SEDAM/2004 que dispõe sobre os procedimentos administrativos e documentação necessária para emissão de autorização de uso de recursos hídricos no âmbito do Estado de Rondônia.

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

SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; SANTANA, G. P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: condições de suas águas versus resolução nº 356/CONAMA/2005. **Scientia Amazonia**, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2016.

SILVA, R. A.; BARBOSA, B. G.; SILVA, L. R. Análise microbiológica da água de poços residenciais em Carmo do Rio Verde – GO. **REFACER**, v. 6, n. 1, p. 1367-2317, 2017.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, set./dez. 2003.

SOTERO-MARTINS, A.; DUARTE, A. N.; CARVAJAL, E.; SARQUIS, M. I. M.; FERNANDES, O. C. Controle da qualidade microbiológica e parasitária em áreas de recreação. **Gestão & Saúde**, v. 4, n. 3, p. 1075-1092, 2013.

SOUSA, K. C. P. M. **Estudo dos fluxos fluviais de isótopos naturais de rádio e bário dissolvido para as enseadas de Ubatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2008.

SOUZA, R. A. **Bio-físico-química de poços cacimba do centro urbano de Ouro Preto do Oeste – RO: uma análise sócio espacial**. Porto Velho: UNIR, 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2012.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P. ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas

localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 227-236, abr./jun. 2009.

TEIXEIRA, SA Medicina holística: a harmonia do ser humano. Rio de Janeiro: 2003.

TERRA, L. G.; BORBA, W. F.; FERNANDES G. D.; TROMBETA, H. W.; SILVA, J. L. S. da. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul – RS. **Monografias Ambientais – REMOA**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 94-104, jan./abr. 2016.

TERRA, L. G.; LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. Estimativa da vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos do município de Santiago – RS. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2208-2218, jan./abr. 2013.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. Revista USP, São Paulo, n. 70, p. 24-35, jun./ago. 2006.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). *Nitrate and nitrite in drinking water*. California Public Health Goal (PHG). 1997.

USEPA. National Primary Drinking Water Regulations, Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Contaminants Monitoring; Proposed Rule. Federal Register, v. 65, n. 121, June 22, 2000, p.38888-38983.

VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABAS, 2014. 12p.

VIEIRA, E. S. **Qualidade microbiológica da água de poços rasos em um conjunto habitacional de Feira de Santana (BA)**. Cruz das Almas: UFRB, 2016. Monografia (Bacharel em Medicina Veterinária), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2016a.

VIEIRA, J. M. **Doenças de veiculação hídrica sob vigilância: uma análise dos casos da regional de Ceilândia-DF em 2015**. Brasília, UnB, 2016. Monografia (Bacharel em Saúde Coletiva), Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, 2016b.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 83-102, jan./mar. 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452p.

WEBLER, A. D; GOMES, J. B; AGUIAR, R. G; ANDRADE, N. L. R; AGUIAR, L. J. G. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 868 – 876, 2013.

WILLIAMS, A. E. Natural and anthropogenic nitrate contamination of groundwater in a rural community, California. **Environmental Science & Technology**, v. 32, n. 1, p. 32-9, 1998.

ZONEAMENTO SÓCIOECONÔMICO ECOLÓGICO DO ESTADO DE RONDONIA-ZSEE-RO. 21anos, Planejamento para o desenvolvimento sustentável e proteção ambiental. Porto Velho-RO, 2010.

ZULPO, D.L.; PERETTI, J.; ONO, L.M; GARCIA, J.L. Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil. *Ciências Agrárias*, v. 27, n. 1, p. 107-110, 2006.

8 APÊNDICE

Apêndice A – Características dos poços amostrais do município de Ouro Preto do Oeste/RO.

POÇOS	REVES.	TAMPA	CF	CP	DIS. PF (m)	OBS.
P1	Alvenaria	Alvenaria	233	236	27,0	Impermeabilizado em volta do poço.
P2	Manilha	Alvenaria	234	236	15,7	Fossa negra com tijolo e brita; Poço dentro da cozinha.
P3	Ausente	Alvenaria	241	241	8,8	Depósito de objetos sobre a tampa; Vegetação rasteira em volta do poço.
P4	Ausente	Madeira	245	245	11,0	Presença de fezes caninas na tampa; Uso da água para cozinhar, mas não para beber.
P5	Manilha	Alvenaria	246	248	19,2	Nível do poço próximo ao solo; Ausência de impermeabilização em volta do poço; Compra de água mineral para beber.
P6	Manilha	Alvenaria	236	234	23,1	Gramado em volta poço.
P7	Manilha	Alvenaria	274	273	20,3	Compra água mineral para beber.
P8	Ausente	Alvenaria	253	257	8,7	Terreno com declividade.
P9	Ausente	Alvenaria	279	278	16,0	Fossa sem tampa e coberta por lona; Poço na área da casa; Uso da água apenas para limpeza.
P10	Manilha	Alvenaria	267	268	22,1	Piso com cerâmica em volta; Água do poço não é consumida.
P11	Ausente	Alvenaria	265	267	34,2	Escola.
P12	Ausente	Alvenaria	259	260	27,6	Parte de baixo do poço é revestida; Compra água mineral para beber.
P13	Ausente	Alvenaria	263	263	12,6	Lançamento de efluente ao lado do poço.
P14	Ausente	Madeira	262	264	>100	Folhagens no quintal.
P15	Mina	-	-	280	-	Vegetação rasteira em volta; Presença de fezes de animais.
P16	Manilha	Alvenaria	258	258	25,0	Vegetação rasteira e matéria orgânica em volta.
P17	Manilha	Alvenaria	260	260	33,5	Presença de resíduos no terreno; Uso da água apenas para limpeza.
P18	Ausente	Alvenaria	263	265	27,4	Bomba ligada antes da coleta; Folhagens no quintal.
P19	Ausente	Alvenaria	252	254	17,1	Sem impermeabilização em volta; Compra água mineral para beber.
P20	Poço Lacr.	Alvenaria	255	258	23,2	Nível do poço próximo ao nível da área da casa.

Notas: REVES.: Revestimento; CF: Cota fossa; CP: Cota poço; DIS.PF: Distância entre o poço e a fossa; OBS.: Observações; Poço Lacr.: Poço lacrado.

Apêndice B – Profundidade de fundo e de superfície, e o nível da água obtido nos poços amostrais do município de Ouro Preto do Oeste/RO em ago./2017 e fev./2018.

POÇOS	Primeira coleta (ago./2017)			Segunda coleta (fev./2018)		
	PF (m)	PS (m)	NA (m)	PF (m)	PS (m)	NA (m)
P1	Lacrado <20m	Lacrado	-	Lacrado <20m	Lacrado	-
P2	5,62	3,68	1,94	5,59	2,57	3,02
P3	3,53	2,80	0,73	3,77	1,88	1,89
P4	4,38	3,57	0,81	4,43	3,13	1,30
P5	7,76	6,57	1,19	8,38	5,90	2,48
P6	6,45	5,79	0,66	6,23	4,63	1,60
P7	5,27	3,89	1,38	5,38	3,34	2,04
P8	5,20	4,25	0,95	5,20	3,10	2,10
P9	11,18	9,57	1,61	11,29	8,52	2,77
P10	5,98	4,40	1,58	-	-	-
P11	7,57	6,16	1,41	-	-	-
P12	4,47	2,92	1,55	4,60	1,76	2,84
P13	6,68	5,15	1,53	6,68	4,79	1,89
P14	3,42	2,64	0,78	3,42	2,20	1,22
P15	Mina	Mina	-	Mina	Mina	-
P16	3,04	1,90	1,14	Lacrado	Lacrado	-
P17	Lacrado	Lacrado	-	Lacrado	Lacrado	-
P18	8,65	7,85	0,8	8,60	6,34	2,26
P19	9,62	8,86	0,76	9,58	7,48	2,10
P20	Lacrado	Lacrado	-	Lacrado	Lacrado	-

Notas: PF: Profundidade de fundo; PS: Profundidade de superfície; NA: Nível da água.

9 ANEXO

Anexo A – Ficha de campo.

Projeto: Estudo da Água Subterrânea no Município de Ouro Preto do Oeste.

Data da coleta: _____ Responsável pelas anotações: _____

Coordenadas: fossa _____ poço _____

Cota: fossa _____ poço _____

1) O poço possui revestimento? () sim () não

Se sim: () manilha () alvenaria () outro _____

2) O poço possui tampa? () sim () não

Se sim: () tampa de madeira () tampa de alvenaria () outra

3) Condições de manutenção da tampa: () em boas condições () em más condições (tampas quebradas com orifícios, etc)

4) Retirada da água do poço: () manualmente com balde () bombeamento para caixa d'água () outro _____

5) Profundidade poço: _____ profundidade superfície: _____

6) Tipo de esgotamento sanitário utilizado:

() fossa negra () fossa séptica () lançamento em corpos d'água () rede de esgoto

7) Distância poço-fossa: _____

Observações:

Variáveis: 1° coleta: OD _____ T° _____ pH _____ CE _____ TDS _____
 2° coleta: OD _____ T° _____ pH _____ CE _____ TDS _____

Anexo B – Questionário socioambiental.

Projeto: Estudo da Água Subterrânea no Município de Ouro Preto do Oeste.

Data da coleta: _____

Nome do responsável: _____ **Idade:** _____

Endereço: _____ **telefone:** _____

1) Tipo instalação predial:

() residência de alvenaria () residência de madeira

() comércio tipo: _____

Outros: _____

2) Quantas pessoas moram na residência?

Crianças (menores de 12 anos): _____

Jovens (13 a 17 anos): _____

Adultos: _____

3) Há quanto tempo reside (trabalha, caso comércio) nesta área?

() menos de 5 anos

() de 5 a 10 anos

() de 10 a 20 anos

() mais de 20 anos

4) Como foi a aquisição do terreno?

() comprou () ganhou () grilou

5) Qual é a fonte de água que é utilizada pela família?

() poço () CAERD () outra fonte

6) Se for poço, faz algum tipo de tratamento da água antes de consumir?

() adição de cloro na caixa d'água () adição de cloro na água

() filtragem () ferve a água () não trata

7) Se adiciona cloro, qual a frequência?

() 1 vez por mês () 1 vez a cada 15 dias () 1 vez por semana

() outros _____

8) Qual a destinação final do lixo doméstico da sua residência?

- 9) Se houver coleta pela prefeitura, qual a frequência?
 1x/ semana 2x/semana 3x/ semana mais 3x por semana
- 10) Existe rede de esgoto no seu bairro?
 sim não
- 11) Se não, qual o destino final do esgoto da sua residência?
 fossa negra rio ou outro corpo d'água outro _____
- 12) Na sua família houve ou há frequência nos casos de doenças como:
 diarreia coceira na pele/alergia após contato com a água
 vômito dor de estomago câncer dor de cabeça frequente.

Observações:

Anexo C – Termo de consentimento livre e esclarecido.

Convidamos o (a) Sr (a) para participar da pesquisa intitulada **“ESTUDO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO DO OESTE”**, sob a responsabilidade da professora Doutora Elisabete Lourdes do Nascimento, Portaria 625/GR/2010, a qual pretende verificar a qualidade da água subterrânea no município de Ouro Preto do Oeste, no estado de Rondônia. A pesquisadora compromete-se em fornecer o resultado da análise da água do poço sem nenhum custo.

Sua participação é voluntária e se dará por meio de disponibilidade para responder a um questionário, o qual contém informações sobre o seu poço, sua fossa, entre outros, além disso, será coletada uma amostra da água do seu poço para realização de análises laboratoriais. Não haverá riscos decorrentes de sua participação na pesquisa. Caso o (a) Sr (a) aceite participar dessa pesquisa estará contribuindo para o levantamento da qualidade da água subterrânea do município de Ouro Preto do Oeste, informação essa muito importante para a saúde da população e para os órgãos gestores do município.

Se, depois de consentir em sua participação, o (a) Sr (a) desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. O (a) Sr (a) não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade não

será divulgada, sendo guardada em sigilo. Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com o pesquisador pelo telefone (69) 3421-3595.

Consentimento Pós-informação.

Eu, _____, CPF _____, fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa de minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar da pesquisa.

Assinatura do participante

Ouro Preto d'Oeste, _____ de _____ de 2018.

Assinatura do pesquisador