FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE DE PORTO VELHO – RO

CÉLIA CEOLIN BAÍA

Porto Velho, RO
Agosto/2020

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE DE PORTO VELHO – RO

CÉLIA CEOLIN BAÍA

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Área de Concentração em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Porto Velho, RO
Agosto/2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

B111q Baía, Célia Ceolin.

Qualidade microbiológica e físico-química das águas subterrâneas da cidade de Porto Velho - RO / Célia Ceolin Baía. -- Porto Velho, RO, 2020.

91 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Hidrologia. 2.Águas subterrâneas. 3.Identificação microbiológica. 4.Contaminantes químicos. 5.Geologia. I. Bastos, Wanderley Rodrigues. II. Título.

CDU 556.38:504(811.1)

Bibliotecário(a) Luã Silva Mendonça CRB 11/905

"*É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota*." - Theodore Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a Deus pelas bençãos e conquistas a mim concedidas, e pela força para continuar.

Meu agradecimento a Iuri Aparecida, Walkimar Aleixo e Natália Romão pela ajuda e orientações nas atividades metodológicas.

Agradeço também a Vivian Ribeiro, passamos pela jornada do mestrado juntas e nos ajudamos muito, obrigada principalmente pela ajuda nas coletas.

Sou muito grata a Taíse Ferreira, a qual teve uma participação muito grande nessa pesquisa, do início ao fim, sempre presente e ajudando no que era preciso.

A Daiana Angélica, minha gratidão pelo incentivo, estudamos juntas na graduação e estudamos juntas para passar no processo seletivo do mestrado, fico feliz por termos conseguido!

Agradeço a Charlliene Silva por sempre me ouvir e me dar bons conselhos.

Agradeço ao prof Wanderley Bastos por me orientar, e por, ao longo desses seis anos fazendo parte da equipe, sempre ter me ajudado de muitas formas e me incentivado a crescer, serei eternamente grata.

Agradeço as professoras Elisabete Nascimento e Maribel Funes por fazerem parte da banca e orientações na qualificação.

Agradeço a Josilena Laureano pela confecção do mapa de fluxo de água subterrânea.

Minha gratidão a minha família, aqueles que são meus melhores amigos e que sempre que eu preciso me ajudam, em especial a minha mãe, Marly Ceolin. Amo vocês.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES

ANA - Agência Nacional de Águas

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APHA - American Public Health Association

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DDTHA - Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar

$mg.L^{-1}$ - miligrama por litro

MMA - Ministério do Meio Ambiente

pH - Potencial hidrogeniônico

UFC/100 mL - unidade formadora de colônia por 100 mililitros

UNICEF - United Nations Children's Fund

WHO - World Health Organization

WWDR - United Nations World Water Development Report

$\mu.L^{-1}$ - micrograma por litro

$\mu S.cm^{-1}$ - micro Siemens por centímetro

RESUMO

Águas subterrâneas são imensamente explotadas para diversos usos, incluindo o consumo humano. A principal forma de extração da mesma ocorre através de poços, os quais podem ser tubulares ou escavados. Esses poços, dependendo de sua estrutura, podem ser um canal de entrada para diversos contaminantes biológicos e inorgânicos para a água subterrânea. No município de Porto Velho, os poços escavados, popularmente chamados "amazonas" são bem comuns e muitas vezes a água é desprovida de tratamento adequado antes do uso. Mediante um fluxo de migração oscilante na cidade e a falta de saneamento básico, as águas subterrâneas estão potencialmente expostas à contaminação microbiológica e química. Desta forma, o objetivo deste estudo foi levantar e especificar quais organismos e elementos são encontrados na água subterrânea. Foram 74 amostras de água coletadas de poços escavados e tubulares na área urbana do município de Porto Velho em três períodos sazonais diferentes (vazante, águas baixas e enchente). Nessas amostras foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos, microbiológicas, elementos-traço, cátions e ânions. Os resultados apontaram a presença de coliformes totais e termotolerantes em 89% e 81%, das amostras avaliadas, respectivamente. Observou-se a prevalência dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Cronobacter* e *Citrobacter*, com 13% cada. O nitrato apresentou médias acima do valor apresentado pelo Ministério da Saúde (Portaria nº 5/2017), com medianas entre 4 a 25 mg.L-1. Teores de elementos traço ficaram acima do que recomenda a legislação em oito pontos para alumínio (>0,2 $mg.L^{-1}$), dois para cobre (>2 e 1 $mg.L^{-1}$) e um para manganês (>0,1 $mg.L^{-1}$). A sazonalidade influenciou os parâmetros condutividade elétrica, nitrato, sódio, cloreto e amônio com valores maiores na enchente. Os parâmetros pH e coliformes termotolerantes apresentaram maiores valores na vazante. Esses resultados refletem a precariedade dos serviços básicos na cidade de Porto Velho e ausência de ações efetivas no combate a degradação das águas subterrâneas. Os mapas temáticos elaborados para aprsentar os resultados desta pesquisa podem auxiliar os tomadores de decisão nas ações referentes à saúde pública e saneamento básico na cidade de Porto Velho.

Palavras-chave: águas subterrâneas; identificação microbiológica; contaminantes químicos.

ABSTRACT

Groundwater is extensively exploited for a variety of uses, including human consumption. The main form of extraction is through wells, which can be tubular or excavated. These wells, depending on their structure, can be an entry channel for various biological and inorganic contaminants to groundwater. In the municipality of Porto Velho, excavated wells, popularly called “amazonas” are quite common and often the water is not properly treated before use. Through an oscillating migration flow in the city and the lack of basic sanitation, groundwater is potentially exposed to microbiological and chemical contamination. Thus, the aim of this study was to survey and specify which organisms and elements are found in groundwater. There were 74 water samples collected from excavated and tubular wells in the urban area of the municipality of Porto Velho in three different seasonal periods (*vazante*, low water and flood). In these samples, analyzes of physical-chemical, microbiological, trace elements, cations and anions parameters were performed. The results showed the presence of total and thermotolerant coliforms in 89% and 81%, of the evaluated samples, respectively. The prevalence of the genera *Escherichia, Enterobacter, Cronobacter* and *Citrobacte*r was observed, with 13% each. Nitrate showed averages above the value presented by the Ministry of Health (Ordinance No. 5/2017), with medians between 4 and 25 mg.L-1. Trace elements were above what is recommended by the legislation in eight points for aluminum (> 0.2 mg.L-1), two for copper (> 2 and 1 mg.L-1) and one for manganese (> 0, 1 mg.L-1). Seasonality influenced the electrical conductivity, nitrate, sodium, chloride and ammonium parameters with higher values in the flood. The pH and thermotolerant coliforms parameters showed higher values in the *vazante*. These results reflect the precariousness of basic services in the city of Porto Velho and the absence of effective actions to combat the degradation of groundwater. Thematic maps designed to present the results of this research can assist decision makers in actions related to public health and basic sanitation in the city of Porto Velho.

Keywords: groundwater; microbiological identification; chemical contaminants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização dos grupos de bactérias 20

Figura 2 - Perímetro urbano da cidade de Porto Velho evidenciando os pontos coletados.....30

Figura 3 – Processo realizado na identificação bioquímica. 34

Figura 4 - Distribuição percentual do destino do uso da água subterrânea nos poços estudados da cidade de Porto Velho (RO).....37

Figura 5 - Distribuição espacial dos valores de pH das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO).....40

Figura 6 – Distribuição espacial dos valores de condutividade elétrica das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO). 40

Figura 7 - Boxplot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) das concentrações de pH e condutividade elétrica para os pontos coletados nos diferentes períodos sazonais 42

Figura 8 – Cromatograma obtido para os cátions 43

Figura 9 – Cromatograma obtido ara os ânions 44

Figura 10 – Distribuição espacial das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas para os pontos coletados na cidade de Porto Velho (RO) 48

Figura 11 – *Boxplot* (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) Comparação sazonal para cátions e ânions nas águas subterrâneas dos poços escavados e tubulares da cidade de Porto Velho (RO).....49

Figura 12 – Boxplot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) da comparação sazonal para cátions e ânions nas águas subterrâneas dos poços escavados e tubulares da cidade de Porto Velho (RO).....54

Figura 13 - Box plot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) de UFC/100 mL de coliformes totais termotolerantes nas águas dos poços de Porto Velho (RO) 55

Figura 14 - Distribuição espacial dos valores de coliformes termotolerantes das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO). 56

Figura 15 – Poço escavado observado em coleta de campo (desativado e com lixos).....58

Figura 16 - Box plot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) dos valores de coliformes dos pontos coletados em poços escavados nos períodos sazonais.....58

Figura 17 - Distribuição percentual dos gêneros e espécies das bactérias nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho-RO 59

Figura 18 – Fluxo subterrâneo do perímetro urbano da cidade de Porto Velho (RO).....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos permitidos para água destinada ao consumo humano. 17

Tabela 2 - Principais gêneros e espécies da família *Enterobacteriaceae* e síndromes clínicas associadas.....21

Tabela 3 – Períodos das três coletas de água na cidade de Porto Velho (RO).....32

Tabela 4 – Descrição dos meios de cultura utilizados nos diferentes organismos alvo.....33

Tabela 5 – Descrição dos valores utilizados dos parâmetros do IC. 35

Tabela 6 – Descrição dos valores utilizados dos parâmetros do ICP-OES.....36

Tabela 7 - Estatística descritiva das profundidades e distâncias entre poços e fossas da área estudada na cidade de Porto Velho (RO). 38

Tabela 8 - Estatística descritiva dos resultados dos parâmetros físico-químicos nas águas dos poços da cidade de Porto Velho (RO).....39

Tabela 9 – Coeficiente de correlação e limite de detecção e quantificação de cátions e ânions 42

Tabela 10 - Coeficiente de correlação e limite de detecção e quantificação dos elementos-traço 43

Tabela 11 – Estatística descritiva dos resultados de cátions e ânions obtidos nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho (RO). 45

Tabela 12– Estatística descritiva dos resultados os elementos-traço obtidos. 51

Tabela 13 – Valores médios ($mg.L^{-1}$) de elementos traço em água subterrânea obtidos neste trabalho e em outros estudos em estados brasileiros e outros países, N/A – Não analisado 53

Tabela 14 – Valores médios (UFC/100 mL) de coliformes totais e termotolerantes nas águas d poços obtidos neste trabalho e em outras localidades no Estado de Rondônia.....56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....12

2 REFERENCIAL TEÓRICO.....14
2.1 ODS 6.....14
2.2 Água, saúde e desenvolvimento.....14
2.3 Águas Subterrâneas.....15
2.3.1 Legislações referentes as águas subterrâneas.....16
2.4 Contaminação das águas subterrâneas.....17
2.4.1 Contaminantes microbiológicos.....19
2.4.1.a Coliformes totais e termotolerantes.....19
2.4.1.b Outras enterobactérias.....20
2.4.1.c Enterococos.....22
2.4.1.d *Pseudomonas*.....22
2.4.1.e Identificação de bactérias.....22
2.4.2 Contaminantes inorgânicos.....24
2.4.2a Íons principais.....24
2.4.2.b Íons secundários e elementos traço.....25
2.4.2.c Constituintes iônicos tóxicos.....26

3 JUSTIFICATIVA.....28

4 OBJETIVOS.....29
4.1 Objetivo geral.....29
4.2 Objetivos específicos.....29

5 MATERIAIS E MÉTODOS.....30
5.1 Área de Estudo.....30
5.1.1. Clima.....31
5.1.2 Geologia e Hidrologia.....31
5.2 Comitê de Ética.....31
5.3 Amostragem.....32
5.4 Procedimentos metodológicos.....33
5.4.1 Análises microbiológicas.....33
5.4.2 Testes bioquímicos.....34
5.4.3 Determinação dos constituintes iônicos.....35
5.4.4 Determinação dos elementos-traço.....35
5.4.5 Tratamento dos dados.....36

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....37
6.1 Características dos poços e uso da água.....37
6.2 Parâmetros físico-químicos.....38
6.3 Constituintes Iônicos.....42
6.3.1 Parâmetros analíticos.....42
6.3.2 Cátions e ânions.....44
6.3.3 Elementos traço.....50
6.4 Parâmetros microbiológicos.....54
6.4.1 Coliformes totais e coliformes termotolerantes.....54
6.4.2 Identificação bioquímica das bactérias.....59
6.5 Fluxo da água subterrânea.....64

7 CONCLUSÃO.....66

RECOMENDAÇÕES.....67

REFERÊNCIAS.....68

APÊNDICE A – Termo De Consentimento Livre e Esclarecido.....83
APÊNDICE B – Coordenadas Geográficas dos Pontos Amostrados.....84
APÊNDICE C – Resultado dos testes bioquímicos.....85

ANEXO A – Questionário.....91

1 INTRODUÇÃO

O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável número 6 (ODS 6) é “assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todas e todos”. No Brasil, ainda há uma grande distância para o cumprimento dessa meta e também da meta nacional do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) (TRATA BRASIL, 2020). São 16% da população que não tem acesso a água e 46,9% sem coleta de esgoto (BRASIL, 2018). Além disso, a água destinada a ingestão deve estar dentro de padrões de potabilidade regidos pelos órgãos competentes. No país, a Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde estabelece os limites para garantir a ingestão de uma água segura (BRASIL, 2017). Entretanto, nem sempre as fontes de águas estão dentro desses requisitos.

Na região Norte cerca de 43% da população não é abastecida por água tratada (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2018), o que leva aos moradores à busca por soluções alternativas. Uma delas é o aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, explorados pelas construções de poços. No entanto, muitos poços escavados, geralmente chamados “amazonas”, são construídos de formas inadequadas nas residências, o que potencializa as chances de contaminação. Os poços mais seguros, os tubulares, também estão suscetíveis a contaminações devido a exposição dos aquíferos às poluições provindas principalmente das atividades antrópicas.

É nas regiões urbanas que as águas subterrâneas se encontram com contaminações mais elevadas por efeito do grande aporte de efluentes domésticos não tratados e disposição de resíduos sólidos em aterros comuns (LIMA et al., 2015), um vez que nos mesmos são encontrados alguns contaminantes, como alto teores de cloreto, nitrogênio, zinco, ferro, sulfato, magnésio e carbono orgânico (HIRATA et al., 2009). Dados do Trata Brasil (2018a), apontam que por ano, o subsolo do país recebe cerca de 4.329 Mm^3 de esgotos.

A falta de saneamento e água tratada em uma cidade, tem implicações diretas na saúde e qualidade de vida dos cidadãos, principalmente idosos e crianças, pois aumenta casos de infecções gastrointestinais (TRATA BRASIL, 2018b). Existem muitas pesquisas com parâmetros microbiológicos e químicos que apresentam riscos à saúde humana. A *Escherichia coli*, por exemplo, principal bactéria indicadora de contaminação fecal, a qual algumas cepas podem ser patogênicas e também indicar possível presença de outros organismos patogênicos. Constituintes iônicos, principalmente o nitrato, devido ser bem toxico à saúde. Concentrações

elevadas desse íon, por exemplo, em casos extremos, podem causar sérios problemas de saúde em recém-nascidos, ser responsável por câncer de estômago em adultos e influenciar em câncer de mama nas mulheres (BAIRD e CANN, 2008). Além disso, elementos-traço, com alumínio, zinco, cobre, entre outros, mesmo os considerados essenciais, sobre algumas condições, podem ter influência negativa sobre ecossistemas terrestres e aquáticos (LEMES, 2001).

A cidade de Porto Velho possuí um dos piores índices de saneamento do país (98ª posição no *ranking* das 100 maiores cidades, TRATA BRASIL, 2020). Portanto, tonar-se importante avaliar qual o grau de contaminação nas águas subterrâneas, recurso muito explorado pelos moradores, a fim de contribuir para diagnosticar o atual quadro da cidade em relação aos principais contaminantes biológicos e químicos que podem auxiliar na identificação de áreas de maior impacto ambiental na qualidade da água subterrânea.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ODS 6

A meta 7 dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), cujo ciclo findou em 2015, referia-se à qualidade de vida e respeito ao meio ambiente, no qual a meta 7C tinha como objetivo reduzir, até 2015, a proporção de pessoas sem acesso sustentável a água potável e saneamento básico. Em 2010 o objetivo para água potável foi considerado alcançado. A fim de endossar as metas e o que foi alcançado com a ODM, os Estados-Membros da Organização das Nações Unidas (ONU) construíam um novo conjunto de alvos chamado Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), composto por 17 metas. A meta referente a água (ODS 6) visa o fornecimento da água potável para todos (metas 6.1 e 6.3) e é associada a meta do esgotamento sanitário (meta 6.2), visto que sua falta pode ocasionar a contaminação do solo, rios, mares, fontes de água para o abastecimento, afetando a qualidade de vida e a saúde (United Nations Children's Fund e World Health Organization, 2015).

Essa nova meta para água é mais ampla do que a meta da ODM, considerando a água em uma visão mais abrangente como recurso hídrico, em termos de quantidade e qualidade, e a colocando em uma posição central de temas com conexão com outras ODS, tal com saúde pública e meio ambiente (Agência Nacional de Águas, 2019).

2.2 Água, saúde e desenvolvimento

No contexto mundial e de acordo com o relatório do *United Nations World Water Development* (WWDR, 2016), a água é essencial para a manutenção de empregos em muitos setores. A gestão sustentável dos recursos hídricos, juntamente com uma estrutura satisfatória de abastecimento de água, higiene e saneamento favorece um ambiente de empregos e propicia o desenvolvimento econômico. Cerca de 1,4 bilhões de empregos no mundo são dependentes da água. A deficiente governança pública associada a falta de investimentos no setor hídrico pode resultar na estagnação da economia de uma sociedade. Podendo esse cenário ser mais agravante onde se há contaminação dos recursos hídricos.

No Brasil, apesar de avanços significativos da cobertura de saneamento básico, quando comparado com países com padrões de desenvolvimento econômico semelhante, o acesso a água tratada e esgotamento sanitário ainda é baixo, trazendo prejuízos a qualidade de vida da

população e à economia do país (TRATA BRASIL, 2018). A universalização dos serviços básicos é um dos principais desafios, de forma que, segundo Santos et al. (2018), já deveria ter sido alcançada e estar compatível com o desenvolvimento econômico atingindo nos últimos anos.

Em zonas urbanas sujeitas a expansão demográfica, tanto águas superficiais e subterrâneas estão propícias a essas contaminações, onde aquíferos são comprometidos em consequência da urbanização, desenvolvimento industrial e expansão agrícola (BORGES et al., 2017; GOMES et al., 2018).

O Estado de Rondônia, por exemplo, passou por intensas transformações nos últimos 30 anos. A capital, Porto Velho, saltou de 84 mil habitantes em 1970 para 334 mil no ano 2000. Se ampliou de 369 mil habitantes em 2007 para 428 mil em 2010, período marcado pelos empreendimentos barrageiros pelas Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio (ALVES e JÚNIOR, 2012). Essa expansão demográfica foi acompanhada da falta de infra-estrutura refletindo-se na falta de serviços básicos, como saneamento básico, ausência de tratamento de dejetos industriais e domésticos e disposição inadequada dos resíduos sólidos. O índice de atendimento urbano total de água na cidade é de 36,70% e no *ranking* do saneamento Porto Velho se encontra na 98ª posição, das 100 maiores cidades do Brasil avaliadas, evidenciando a precariedade do saneamento básico na capital (TRATA BRASIL, 2020).

O Instituto Trata Brasil ainda lista, no relatório intitulado Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento no Estado de Rondônia (2014), os benefícios que seriam resultantes do investimento em saneamento básico no Estado, como melhorias na qualidade de vida, na produtividade, na educação e na valorização ambiental. Essas estimativas sobre a universalização do saneamento possibilitariam aceleração no desenvolvimento humano em Rondônia e no Brasil. Tendo isto importância devida, pois um dos requisitos para uma boa qualidade de vida inclui a promoção da saúde.

2.3 Águas Subterrâneas

No Brasil, os aquíferos localizados em terrenos sedimentares (rochas sedimentares no qual a água é armazenada entre os grãos e espaços) ocupam cerca de 4.130.000 km^2, em torno de 48% do território nacional. Os aquíferos de terrenos fraturados e cárstico-fraturados (água presente entre as rochas fraturadas ou com falhas) abrangem uma área de 4.380.000 km^2, aproximadamente 52% do território brasileiro (ANA, 2007). Na região hidrográfica Amazônica há o domínio de depósitos sedimentares e, em menor escala, de sistemas fissurados. Os

principais sistemas aquíferos Amazônicos podem chegar a uma vazão de reserva explotável de 1.641 m^3. s^{-1}, são eles o aquífero Solimões, Alter do Chão, Boa Vista, e o maior de Rondônia, o aquífero Parecis (ANA, 2005).

As principais aplicações da água subterrânea no país consistem no atendimento doméstico (30%), agropecuária (24%), abastecimento público urbano (18%), abastecimento múltiplo (14%), abastecimento industrial (10%) e outros (lazer, entre outros) (4%) (FEITOSA et al., 2008; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2018). Segundo dados da ANA (2010), 52% dos municípios brasileiros são atendidos parcialmente (16%) ou totalmente (36%) pelas águas subterrâneas e em Rondônia 20% das sedes municipais são exclusivamente abastecidas por fontes subterrâneas (Alto Alegre dos Parecis, Alto Paraíso, Cacaulândia, Candeias do Jamari, Chupingauia, Governador Jorge Teixeira, Pimenteiras do Oeste, Rio Crespo, Vale do Paraíso e Vilhena). Esses percentuais tendem a aumentar devido a simplicidade de explotação e a boa qualidade que geralmente essas águas possuem (DUARTE et al., 2017).

A água subterrânea é extraída através de poços, os quais, dependendo do método de perfuração utilizado, podem ser classificados em vários tipos. Os principais são os poços escavados e os poços tubulares. Os poços escavados, dependendo da região são popularmente chamados de poços amazonas, cacimbão, cacimba, poço raso, dentre outros. Este tipo de poço é utilizado para captação de água de aquíferos que ocorrem mais próximos da superfície. São escavados de forma manual, podem ser revestidos (tijolos, argamassa, bloco cerâmico ou manilha de concreto), no geral possuem diâmetro de 1 a 2 m e profundidade de até 25 m. Os poços tubulares popularmente conhecidos como poços artesianos, são poços perfurados por máquinas específicas e que recebem revestimento em forma de tubos e filtros (metálicos ou plásticos). Possuem de 4 a 8 polegadas de diâmetro e podem chegar até 2.000 m de profundidade (TRATA BRASIL, 2018a).

2.3.1 Legislações referentes as águas subterrâneas

As águas subterrâneas no Brasil são consideradas um bem comum (BRASIL, 1988) e existe algumas leis que visam a proteção e uso consciente desse recurso. Por exemplo, o decreto Nº 24.643/34 trata-se do código das águas (estabeleceu o uso da água subterrâneas); a lei Nº 6.938/81, a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu artigo 2º salienta a preservação, recuperação e melhoria da qualidade ambiental, incluindo o uso do subsolo; e a lei Nº 9.433/97, a qual instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e é conhecida como “Lei das Águas” (BRASIL, 1934, 19981, 1997).

Ainda, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da sua Resolução Nº 396/2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento exclusivamente das águas subterrâneas. Nesta Resolução, na condição de água para consumo, dessetentação de animais, irrigação e recreação, a água subterrânea deve atender a teores de parâmetros inorgânicos, orgânicos, agrotóxicos e microbiológicos considerados aceitáveis na água. No CONAMA ainda existe a Resolução Nº 107/2010, a qual aborda a respeito das diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrativo Qualitativo e Quantitativo de Águas subterrâneas (BRASIL, 2008, 2010).

No que concerne ao quesito saúde, a Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde Nº 5/2017 determina que a água para consumo humano deve ser potável, seja destinada a ingestão, higiene pessoal e preparação e produção de alimentos, independentemente de sua fonte de captação. Igualmente, os parâmetros da água devem se enquadrar dentro dos limites máximos permissíveis, livres de quaisquer organismos patogênicos e substâncias que oferecem risco à saúde (BRASIL, 2017). A tabela 1 exibe os limites permitidos para os parâmetros chave desta pesquisa, com ênfase na Portaria Nº 396/2008 do CONAMA e Portaria Nº 5/2017 do Ministério da Saúde.

Tabela 1 – Valores máximos permitidos para água destinada ao consumo humano.

Parâmetro	**Portaria Nº 5/2017 – mg.L^{-1}**	**CONAMA 396/2008 – mg.L^{-1}**
Alumínio	0,2	0,2
Cloreto	250	250
Fluoreto	1,5	1,5
Manganês	0,1	0,1
Nitrato	10	10
Sódio	200	200
Zinco	5	5
Amônia	1,5	-
Sulfato	250	250
Cobre	2	2
Coliformes termotolerantes	Ausente em 100/mL	Ausente em 100/mL
E.coli	Ausente em 100/mL	Ausente em 100/mL

+

2.4 Contaminação das águas subterrâneas

Acreditava-se, até meados da década de 70, que a água subterrânea estava imune a contaminações em razão de estar protegida pelas camadas de solos e rochas e conterem menos

abundância de bactérias e matéria orgânica e mais substâncias minerais que as águas superficiais (MELO et al., 2000). Hoje sabe-se que embora as camadas de solo possam reter certas impurezas, essa capacidade é limitada e o número de relatos de contaminação de aquíferos tem aumentado constantemente (TRATA BRASIL, 2018a). Por exemplo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018) registrou quase 6 mil casos de áreas declaradas contaminadas (solo, sedimento, rochas, águas subterrâneas), relacionando-as a atividades pontuais com capacidade para degradar algumas centenas de metros.

No que se refere a fontes de contaminação de água subterrânea, Fetter (1993) expôs uma classificação relatada no congresso americano *Protecting the Nation's Ground Water from Contamination*, o qual aloca as possíveis fontes contaminantes em seis categorias:

- Fontes que recebem substâncias: fossas sépticas, as popularmente chamadas fossas negras, poços de injeção, aplicações como fertilizante no solo;
- Fontes que armazenam, tratam ou recebem substâncias: aterros sanitários, valas clandestinas abertas, resíduos de mineração, vazamento em tanques de armazenamento;
- Fontes que retém substâncias durante o transporte: vazamentos de esgotos, aquedutos e oleodutos, acidentes no transporte de produtos químicos;
- Fontes que produzem substâncias em razão de outras atividades: irrigação, uso de pesticidas para controle de pragas, aplicações de fertilizantes, escoamento superficial urbano, deposição e percolação de poluentes atmosféricos;
- Fontes que podem ser condutoras de água contaminadas: poços produtores, poços mal construídos, poços escavados abandonados;
- Fontes naturais com descargas oriundas de atividades antrópicas: interação da água superficial com águas subterrâneas, lixiviação natural, intrusão da água do mar em aquíferos costeiros.

Na região Amazônica é comum o lançamento de águas residuais diretamente nos rios sem nenhum tratamento adequado. Igualmente acontece com a contaminação das águas subterrâneas, em decorrência da existência de fossas negras e inexistência de aterros sanitários apropriados. Essas circunstâncias apontam para uma poluição dos recursos hídricos na região de forma pontual, próxima aos centros urbanos onde há pouca coleta e tratamento de esgotos domésticos, ocasionando em cargas poluidoras domésticas expressivas (ANA, 2005).

2.4.1 Contaminantes microbiológicos

Os contaminantes microbiológicos presentes na água são uma preocupação no que diz respeito a saúde dos seres humanos e animais (PIANETTI et al., 2003). Entre as impurezas há bactérias, vírus, protozoários e helmintos. As doenças de veiculação hídrica podem ser transmitidas pela ingestão de água contaminada, pelo contato da pele ou mucosas com a água contaminada, por falta de rede de esgoto e condições precárias de higiene e por vetores que se desenvolvem na água (DDTHA, 2009).

Os patógenos rotineiramente pesquisados na água são as bactérias, pela facilidade e menor custo. Muitas bactérias de importância médica pertencem a família *Enterobacteriaceae*, normalmente chamadas de enterobactérias, um grupo grande e heterogêneo de organismos Gram negativos. Possuem ampla distribuição na natureza, podendo ser encontradas no solo, na água, plantas, frutas, vegetais, carnes, ovos, grãos, insetos, animais e no homem. Possui 44 gêneros e 176 espécies. O gênero *Escherichia* é o mais conhecido da família, mas engloba outros gêneros como *Citrobacter, Edwardsiella, Proteus, Enterobacter, Hafnia, Pectobacterium, Pantoea, Klebsiella, Morganella, Salmonella, Serratia, Shigella* e *Yersinia* (SILVA et al., 2017).

Os membros dessa família são bacilos Gram negativos com tamanho variando de 0,3 a 1,0 x 1,0 a 6,0 µm, podem ser móveis com flagelos perítriquios ou imóveis e não formam esporos. Além disso, crescem rapidamente de forma aeróbica e anaeróbica (anaeróbicos facultativos) em meios seletivos e não seletivos, fermentam a glicose, reduzem o nitrato a nitrito, são catalase positivos e oxidase negativos (MURRAY et al., 2014). As bactérias do grupo produzem ampla diversidade de enfermidades no homem, sobretudo intestinais e urinárias e são responsáveis por um terço das bacteremias (bactérias no sangue). Algumas enterobactérias estão sempre associadas a doenças em humanos e outras apenas fazem parte da microflora normal, podendo até causar infecções oportunistas. Já outras são microrganismos comensais que ocasionalmente podem ser tornar patogênica através da aquisição de genes de virulência (GUERRERO et al., 2014).

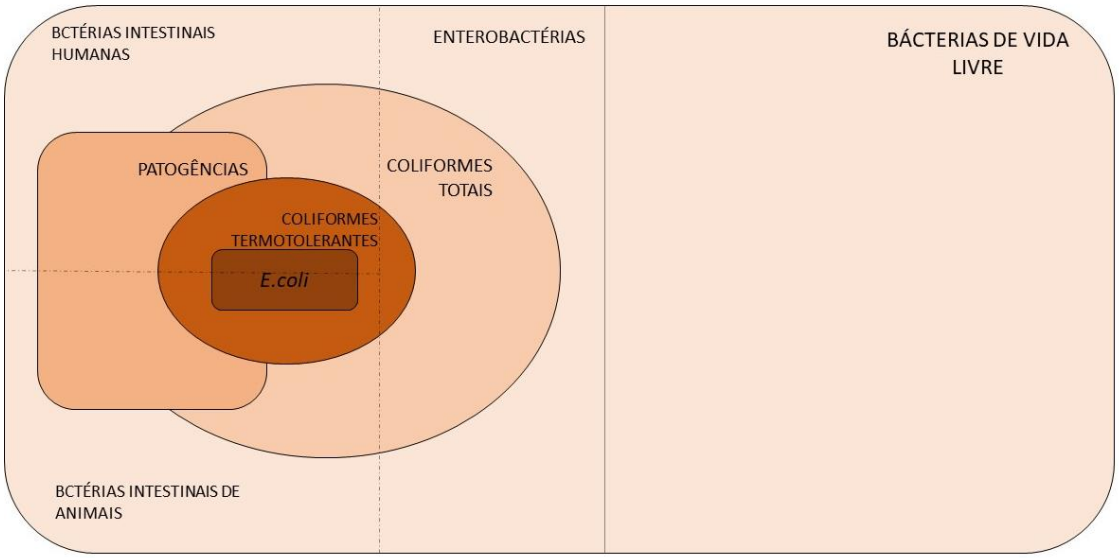
2.4.1.a Coliformes totais e termotolerantes

Na família *Enterobacteriaceae* encontra-se presente o subgrupo dos coliformes totais, fazendo parte do mesmo apenas enterobactérias capazes de fermentar a lactose com produção de gás a 35°C, sendo mais de 20 espécies que se encaixam nessa definição. São elas bactérias do trato gastrointestinal de humanos e outros animais de sangue quente (*Eshcerichia coli*) e

também bactérias não entéricas (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Citrobacter*, entre outras).

Por sua vez, o grupo dos coliformes totais também possui um subgrupo, atualmente denominado de coliformes termotolerantes, o qual se reduz a bactérias com capacidade de fermentar a lactose a 44,5 - 45,5 °C com produção de gás (SILVA et al., 2017). De acordo com Augusto (2007), este grupo inclui os gêneros *Eshcerichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. A figura 1 esquematiza as bactérias indicadoras de contaminação fecal.

Figura 1 - Esquematização dos grupos de bactérias.



Fonte: Adaptado de PEZARINO (2010).

Muitas cepas de *Eshcerichia* estão relacionadas a doenças, como gastroenterites, infecções extra intestinais, meningite e sepse. Esse microrganismo é o principal indicador de contaminação fecal e alerta a potencial presença de patógenos entéricos (MURRAY et al., 2014). Algumas subespécies de *Klebsiella pneumoniae* estão associadas a doenças específicas, como rinoscleroma e rinite atrófica crônica (ASENSIO et al., 2000). Esse gênero fica em segundo lugar, depois de *E. coli*, em causas de bacteremias por Gram negativos (KO et al., 2002). Em geral, cepas de *Enterobacter* colonizam pacientes hospitalizados e tem sido associada com infecções de feridas, queimaduras, em vias respiratórias e trato urinário (GARCÍA e RODRÍGUEZ, 2010).

2.4.1.b Outras enterobactérias

Três espécies de *Yersinia* (*Y. pestis, Y. enterolitica* e *Y. pseudotuberculosis*) *são* patogênicas ao homem. A primeira é causadora da peste bubônica e as outras causam gastroenterites (MURRAY et al., 2014). A *Y. enterolitica* provoca enterocolites referentes a ingestão de água ou alimentos contaminados, é mais comum em crianças manifestando diarreia, febre e dor abdominal (GUERRERO et al., 2014). Em relação a bactérias do gênero

Cronobacter, são consideradas agentes patogênicos oportunistas e que podem causar bacteremias, enterocolites necrosantes e meningite neonatal (GIOVANNINI et al., 2008; MULLANE et al., 2008).

Ainda outras espécies de enterobactérias, como *Citrobacter freundii*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Hafnia alvei e Morganella morganii*, são caracterizados como causas de infecções nosocomiais, provocando sintomas graves, não por seus fatores de virulência, mas em virtude da debilidade do hospedeiro (SOTO e DIFABIO., 2010). No gênero *Serratia*, microrganismo oportunista, em infecções nosocomiais (hospitalares), origina-se 4% de bacteremias e infeções do trato respiratório e 2% de infecções de vias urinárias (GARCÍA e RODRÍGUEZ, 2010). A tabela 2 apresenta os principais gêneros de enterobactérias com suas patologias associadas.

Tabela 2 - Principais gêneros e espécies da família *Enterobacteriaceae* e síndromes clínicas associadas.

Gênero	**Espécie**	**Patologia**
	Patógenos primários	
Escherichia	*E. coli* (EPEC, ETEC, EAEC, EHEC e EIEC) *	Gastroenterites
Salmonella	*S. enterica*	
	Sorotipos: Enteritidis, Typhimurium e outros	Gastroenterites
	Sorotipos: Typhi, Paratyphi A, B e C	Febres tifoide e paratifoide
Shigella	*S. flexneri, S. sonnei, S. boydii, S. dysenteriae*	Enterites
Yersinia	*Y. pestis*	Peste
	Y. enterocolitica	Enterites
	Y. pseudotuberculosis	Adenite mesentérica
Klebsiella	*K. granulomatis*	Granuloma inguinal
	Comensais (patógenos oportunistas)	
Escherichia	*E. coli*	Infecções oportunistas
Klebsiella	*K. pneumoniae*	
Enterobacter	*E. cloacae, E. aerogenes*	
Serratia	*S. marcescens*	
Citrobacter	*C.freundii, C.koseri*	
Proteus	*P. mirabilis*	
Morganella	*M. morganii*	

**E. coli* enteropatgênica (EPEC), *E. coli* enterotoxigênica (ETEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) e *E. coli* enteroinvasiva (EIEC). Fonte: GUERRERO et al., 2014.

2.4.1.c Enterococos

Além das enterobactérias, outros microrganismos, como os enterococos e *Pseudomonas aeruginosa*, vem sendo isolados de água recreacionais e a presença das mesmas pode indicar riscos à saúde através de contato corporal, inalação ou ingestão, e também tem sido sugerido como indicadores de qualidade da água de forma complementar aos coliformes (SOUTO et al., 2015).

Os enterococos são cocos Gram positivos que podem estar dispostos de forma isolada, em pares ou em cadeias curtas. Sendo geralmente imóveis, eles crescem de forma aeróbica e anaeróbica (facultativos) em uma faixa de temperatura variada (10-45 °C) e em concentrações elevadas de cloreto de sódio e sais biliares. Atualmente o termo enterococos refere-se aos membros do gênero *Enterococcus,* o qual integra não só espécies de origem intestinal, mas também de presença no solo, na água e nas plantas. Como são mais resistentes e tendem a viver mais tempo no ambiente aquático do que a *E. coli*, são utilizados como indicadores de contaminação remota. Os enterococos são patógenos importantes especialmente em pacientes hospitalizados, os quais frequentemente ocasionam infecções nosocomiais e relacionados ao trato urinário (BRASIL, 2006; WHO, 2011; MURRAY et al., 2014; SILVA et al., 2017).

2.4.1.d *Pseudomonas*

O gênero *Pseudomonas* corresponde a bactérias Gram negativas que são geralmente móveis e dispostas em pares e não exigem muitos fatores nutricionais de crescimento. Possuem respiração aeróbica, mas algumas espécies podem crescer em condições anaeróbias. Crescem bem a 28 °C e muitas espécies são psicrotróficas (capazes de crescer entre 0 - 7 °C). São encontrados na água, no solo, em esgoto e fezes, matéria orgânica em decomposição, na poeira em suspensão, no ar e nos vegetais. Normalmente sua presença em água potável não indica indícios de infecções na população, mas está associada com queixas de sabor, odor e turbidez. As espécies de *Pseudomonas* são patógenos de plantas e muitas são patógenos oportunistas em humanos, da qual *Pseudomonas aeruginosa* é a mais importante. Entre suas manifestações clínicas, as quais estão relacionadas a indivíduos com o sistema imunológico fragilizado, encontra-se infecções pulmonares, de pele, ouvido, oculares, do trato urinário, bacteremias, endocardite, entre outras (WHO, 2011; MURRAY et al., 2014; SILVA et al., 2017).

2.4.1.e Identificação de bactérias

A identificação de bactérias visa a confirmação da identidade das culturas isoladas, através de testes que averiguam as características típicas dos microrganismos alvo. As

propriedades mais utilizadas na confirmação são as morfológicas, bioquímicas e sorológicas. As características morfológicas abrangem a forma e arranjo das células, coloração de Gram, motilidade e formação dos esporos. Características sorológicas incluem verificação de antígenos somáticos e flagelados. As características bioquímicas dependem de cada organismo alvo. As provas bioquímicas mais utilizadas estão listadas a seguir (SILVA, 1996; ANVISA, 2004).

- Meio Tríplice Açúcar Ferro (TSI): microrganismos usam diferentes tipos de carboidratos como fonte de energia, incluindo monossacarídeos (glicose, ribose, xilose, frutose, etc.), dissacarídeos (lactose, sacarose, maltose), trissacarídeos (rafinose), polissacarídeos (amido, ilunina), e açucares-álcool (adonitol, dulcitl, manitol, sorbitol). Os testes de fermentação de carboidratos objetivam verificar se a bactéria é capaz de fermentar determinados carboidratos, resultando na produção de ácido com ou sem gás. A prova bioquímica TSI proporciona informações de fermentação da glicose, lactose e sacarose, presença ou não de gás (CO_2) e produção ou não de sulfeto de hidrogênio (H_2S).
- EPM (Escola Paulista de Medicina): este teste também fornece informações sobre a produção ou não de gás e H_2S. Além disto, objetiva também verificar se a bactéria produz a enzima urease, a qual degrada a uréia em amônia.
- Citrato: consiste em determinar se a bactéria é capaz de utilizar o citrato como única fonte de carbono para seu crescimento e energia.
- MILI (Motilidade Indol Lisina): esta prova bioquímica fornece três informações importantes, uma delas é a capacidade do microrganismo de desaminar o aminoácido triptofano. Isso é verificado através da produção do indol, um dos produtos gerados pela degradação e que é possível visualização nos tubos contendo MILI adicionando 3 ou 4 gostas do reagente de Kovacs, onde o aldeído presente no reagente reage quimicamente com o indol liberado, resultando em produtos de condensação coloridos, formando um anel líquido de cor vermelho-violeta na superfície do meio. Com essa prova também é possível saber se a bactéria é móvel ou não, por ser um meio sólido, é possível a visualização do crescimento por todo o meio (móvel) ou apenas no local de inoculação (imóvel). O terceiro ponto refere-se à descarboxilação de aminoácidos. Na descarboxilação a bactéria que possui uma enzima específica para esse fim ataca o grupo carboxil presente no aminoácido formando uma amina ou uma diamina e CO_2. A disponibilidade das enzimas descarboxilases varia entre as espécies e demonstra uma característica útil na identificação. A prova MILI indica se ocorre ou não descarboxilação do aminoácido lisina.

- Ornitina: objetiva verificar se a bactéria é capaz de descarboxilar o aminoácido ornitina.
- Manitol-mobilidade: Além de ser outra prova bioquímica que demonstra a motilidade da bactéria, também permite verificar se o microrganismo é capaz de fermentar o manitol.

2.4.2 Contaminantes inorgânicos

Por ser um bom solvente, a água contém diversas substâncias químicas dissolvidas nela. Desta forma, as águas naturais que podem ser destinadas ao consumo contêm vários compostos químicos, porém, a presença dos mesmos nem sempre indica contaminação. O efeito de contaminantes na água depende da quantidade ingerida, dos elementos químicos dissolvidos nela, do tempo de exposição e da sensibilidade e fisiologia do organismo exposto (MENDES e OLIVEIRA, 2004). As atividades industriais da atualidade vêm aumentando o uso de novos compostos, aumentando também as concentrações de alguns metais e substâncias orgânicas no meio ambiente. Desta forma, algumas substâncias tem se acumulado em níveis tóxicos, amplificando os efeitos toxicológicos nos ecossistemas (LEMES, 2001). A seguir, serão descritos os principais constituintes inorgânicos encontrados na água subterrânea e seus atributos na água subterrânea, baseado nas seguintes literaturas: Custodio e Llamas (1983), WHO (2011) e Freddo Filho (2018).

2.4.2a Íons principais

- Sódio (Na^+): um dos metais alcalinos mais importantes e em maior quantidade nas águas subterrâneas, aparecendo em concentrações entre 1 e 150 $mg.L^{-1}$. Ocorre especialmente na forma de cloretos tendo origem em minerais feldspatos plagioclásios, feldspatóides, anfibólios e piroxênios. Altas concentrações desse íon em água destinada ao consumo podem ser indicativas de contaminação por efluentes residuais domésticos pois ele é geralmente encontrado nas excreções humanas e também podem dar gosto salobro desagradável nas águas.
- Potássio (K^+): é um elemento essencial para a nutrição de plantas e do ser humano e sua presença na água subterrânea é devido a dissolução mineral de material vegetal em decomposição e escoamento agrícola. Entretanto, essa concentração é muito baixa, sendo inferior a 10 $mg.L^{-1}$ (mais frequente entre 1-5 $mg.L^{-1}$), pois participa intensamente de trocas iônicas e é facilmente adsorvido por minerais de argila. Se estiver presente em altas concentrações em águas consumidas, pode causar moléstias intestinais e náuseas, além do sabor

salobro. Estas moléstias, entretanto, afetariam especialmente indivíduos suscetíveis (com disfunção renal ou outras doenças).

- Cálcio (Ca^{2+}): elemento de maior abundância nas águas naturais, solos e rochas. Ocorrendo principalmente em minerais da calcita, aragonita e dolomita. Sua concentração na água subterrânea varia entre 10 e 100 $mg.L^{-1}$.

- Magnésio (Mg^{2+}): juntamente com o cálcio, são os cátions que mais participam da dureza total da água e produz gosto salobro a água. Geralmente ocorre em minerais como a magnesita e dolomita. Seu teor em águas subterrâneas é entre 1 a 40 $mg.L^{-1}$.

- Estrôncio (Sr^{2+}): este elemento é encontrado na natureza na forma de carbonatos e sulfatos estroncianita ($SrCO_3$) e celestina ($SrCO_4$). Em águas naturais sua concentração é entre 0,01 a 1,0 $mg.L^{-1}$.

- Cloreto (Cl^-): um dos principais íons inorgânicos presentes em águas naturais. É originário da lixiviação de minerais de ferro magnesianos e seu teor em águas subterrâneas é inferior a 100 $mg.L^{-1}$. Constitui um bom indicador de poluição de origem sanitárias e lixões, pois teores acima de 250 $mg.L^{-1}$ podem dar origem a sabor desagradável na água.

- Nitrato (NO_3^-): este íon é uma das formas do nitrogênio dissolvido na água. Geralmente ocorre com concentrações baixas, pois representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Concentrações acima de 5 $mg.L^{-1}$ já podem indicar contaminação por atividades antrópicas, tais como uso de fertilizantes com nitrogênio em plantações, cultivo do solo, esgoto humano depositado em fossas sépticas, lixões. Em águas subterrâneas, normalmente os teores são de 1,0 a 10 $mg.L^{-1}$, podendo esse valor chegar a 1.000 $mg.L^{-1}$ em ambientes poluídos. Um dos principais problemas de saúde causados por nitrato é a metahemoglobinemia, comumente conhecida como “síndrome do bebê azul”, a qual causa cianose.

- Sulfato (SO_4^{2-}): origina-se da oxidação do enxofre existente nas rochas e da lixiviação de gipsita e anidrita. Ocorre de forma natural em água subterrâneas, sobre concentrações inferiores a 100 $mg.L^{-1}$, encontrado na forma de enxofre. Descargas de água residuais, direta ou indiretamente, de sulfato nos aquíferos podem ser prejudiciais a qualidade das águas e interferir o ciclo natural do enxofre. Teores acima de 1000-1200 $mg.L^{-1}$ em águas ingeridas podem causar efeito laxante em humanos e gosto perceptível.

2.4.2.b Íons secundários e elementos traço

- Brometo (Br^-): normalmente este íon é encontrado na natureza junto com o cloreto de sódio em virtude da similaridade de suas propriedades físicas e químicas. Ele pode

estar envolvido na relação entre o cloro e a matéria orgânica em águas potáveis, formando subprodutos bromados e misturados de cloro-bromo. Em águas doces sua concentração é abaixo de 0,01 $mg.L^{-1}$.

- Manganês (Mn): é o metal mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo geralmente com o ferro. Presente usualmente como oxido de manganês bivalente, o qual se oxida na presença do ar originando precipitados negros. Sua concentração em águas naturais é abaixo de 0,2 $mg.L^{-1}$. Altas concentrações atribuem a água gostos desagradáveis, podem ser nocivos à saúde e danificam instalações sanitárias e tubulações.
- Zinco (Zn^{+2}): é um oligoelemento essencial encontrado nos alimentos e em água potável. Em águas subterrâneas os teores não ultrapassam 10 $mg.L^{-1}$. É proveniente de forma natural pela lixiviação de terrenos e rochas, sua corrosão em tubos de ferro de canalizações pode aumentar os teores. De forma antrópica, ocorre por contaminação de efluentes industriais. Apesar de não ser considerado um elemento tóxico ao homem, consumo de elevadas concentrações podem causar problemas digestivos e sabor desagradável a água.

2.4.2.c Constituintes iônicos tóxicos

- Antimônio (Sb): aparece sempre ligado a outros elementos, principalmente o enxofre. Seu teor em águas subterrâneas é inferior a 0,001 $\mu g.L^{-1}$. Seu aparecimento em águas subterrâneas é tóxico para o ser humano, podendo causar males ao músculo do coração e fígado.
- Arsênio (As): é encontrado largamente na crosta terrestre nos estados oxidados -3, 0, +3 e +5. Sua principal fonte natural são jazidas de metais, e como fontes antrópicas tem-se os herbicidas, inseticidas e resíduos industriais a base de arsênio. Em águas subterrâneas sua concentração normalmente é abaixo de 0,1 $mg.L^{-1}$. Intoxicação por arsênio causa efeitos tóxicos, agudos ou crônicos, devido á exposições curtas ou longas, podendo apresentar diversas patologias diferentes, entre elas o câncer.
- Bário (Ba^{2+}): ocorre, sobretudo sobre a forma de barita, sendo disponibilizado para as águas subterrâneas pela solubilização deste mineral. Suas fontes naturais são o intemperismo e erosão de depósitos minerais e suas fontes antrópicas correspondem a perfuração de poços, produção de pigmentos, fogos de artifícios, vidros, entre outros. Em águas naturais sua concentração é em torno de 0,1 $mg.L^{-1}$. Altas concentrações são nocivas ao sistema cardiovascular e nervoso, gerando constrição dos vasos sanguíneos e aumento da pressão arterial.
- Cádmio (Cd^{+2}): sendo um metal relativamente raro na natureza, é encontrado principalmente nos minerais de zinco. Atividades antrópicas podem introduzi-lo no ambiente,

como combustíveis fósseis, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, corrosão de tubos galvanizados, entre outros. Em águas subterrâneas sua concentração é inferior a 20 $mg.L^{-1}$. Por ser tóxico e acumulativo na cadeia trófica, seu excesso pode resultar em anemia, hipertensão arterial, retardamento do crescimento, disfunção renal e outras doenças.

- Chumbo (Pb): este metal é presente em diversos minerais, em especial a galena. As principais fontes antrópicas são o uso de encanamentos e soldas, plásticos, pigmentos, tintas e nas atividades metalúrgicas. Seu teor é em torno de 20 $mg.L^{-1}$ em águas subterrâneas. No consumo humano, teores acima de 0,5 $mg.L^{-1}$ podem causar intoxicações, tais como danos cerebrais.

- Cobre (Cu^{+}): ocorre em águas naturais em baixas concentrações e basicamente sob forma de calcopirita, calcosita, covelita e malaquita, liberado para águas subterrâneas através da solubilização destes minerais. Nas águas subterrâneas os teores são inferiores a 1 $mg.L^{-1}$. Mesmo sendo um elemento essencial para plantas e animais e sendo eliminado pelo organismo se ingerido pelo homem, altas concentrações de cobre podem conferir sabor metálico as águas e ocasionar hemocromatose.

- Fluoreto (F^{-}): é encontrado em baixas concentrações nas águas subterrâneas, sendo a principal fonte em rochas ígneas a fluorita. Em águas naturais a concentração variam entre 0,1 a 1,5 $mg.L^{-1}$. O cálcio limita os teores de flúor. Este, em concentrações de 1,5 $mg.L^{-1}$ é benéfico ao homem na prevenção de cáries dentárias em crianças em crescimento, mas em concentrações mais altas pode causar fluorose dental e deformações dos ossos.

Diante dos contaminantes citados, é imprescindível que toda água destinada a ingestão siga as legislações vigentes com o propósito de promover a saúde humana e preservar os recursos hídricos subterrâneos.

3 JUSTIFICATIVA

O saneamento básico na cidade de Porto Velho apresenta um déficit expressivo, onde apenas 35,26% da população tem acesso à rede de água, 4,76% é atendida com coleta e tratamento de esgoto (BRASIL, 2018). Soma-se ainda o fato que a cidade não deposita seus resíduos sólidos de maneira adequada, ainda fazendo uso de lixões a céu aberto. Esses fatores contribuem para a contaminação microbiológica e químicas das águas subterrâneas. Tal situação se agravou à medida que a cidade se expandiu, sem que houvesse um planejamento efetivo de forma a proteger os mananciais e consequentemente a saúde da população.

Assim, analisar e a avaliar a presença de possíveis agentes contaminadores aos recursos hídricos subterrâneos pode auxiliar no reconhecimento de áreas mais afetadas da cidade de Porto Velho, visto que, atualmente a mesma possui novos bairros periféricos e sem acesso nenhum aos serviços básicos. Em adição, este trabalho pode contribuir para ações mitigadoras direcionadas as quais podem ser mais eficazes. De forma a contribuir para a proteção das águas subterrâneas e da saúde pública.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Identificar bactérias de importância clínica e quantificar compostos inorgânicos nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho-RO.

4.2 Objetivos específicos

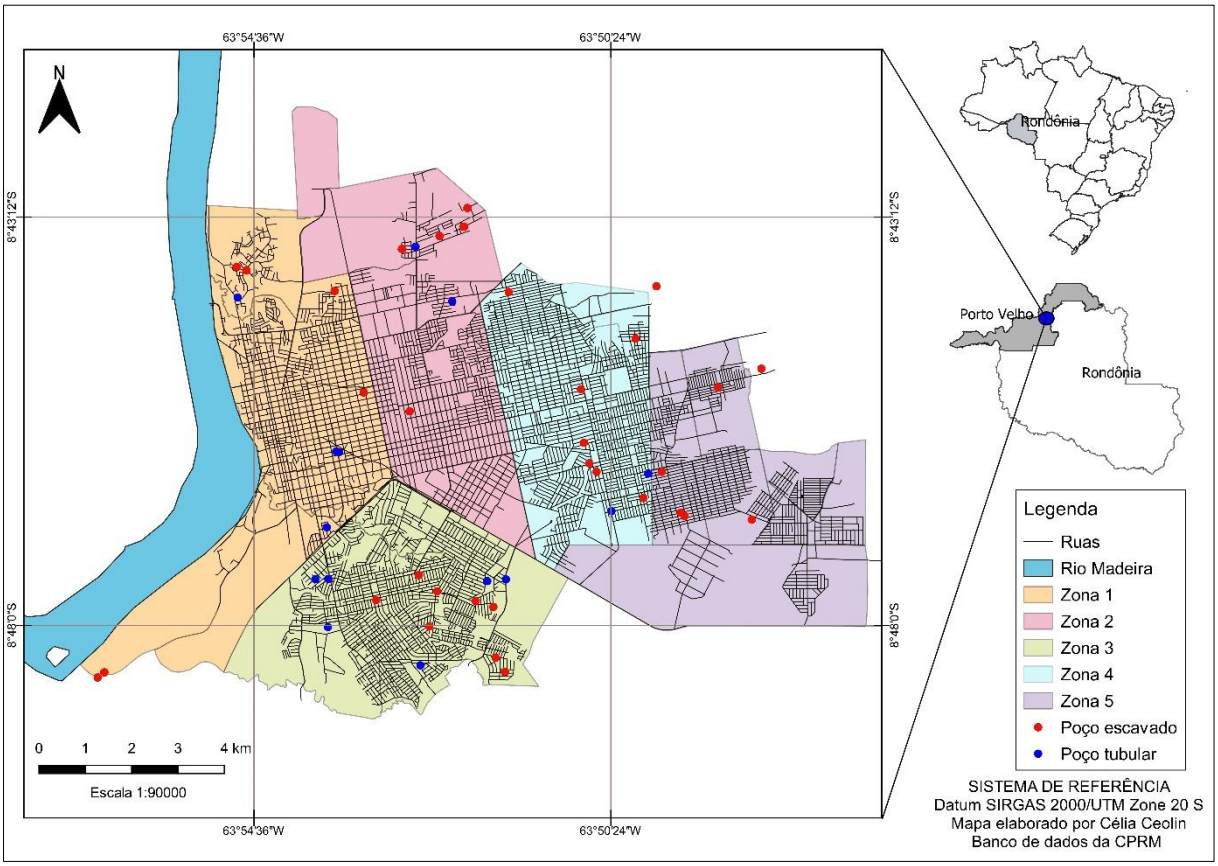
- Diagnosticar potencial ocorrência da contaminação por enterobactérias, *Enterococcus* sp. e *Pseudomonas* sp. nas águas subterrâneas;
- Quantificar as concentrações de cátions (Li^+, Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), e ânions (F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2});
- Analisar as concentrações dos principais elementos-traço nas águas subterrâneas;
- Avaliar o efeito da sazonalidade sob os contaminantes estudados;
- Elaborar mapas temáticos especializando os dados microbiológicos e físico-químicos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange o perímetro urbano da cidade de Porto Velho, Rondônia (Figura 2). A cidade de Porto Velho está localizada na margem direita do Rio Madeira, com coordenadas a Sul 8°46’17” e a Norte 63°53’2” e possui uma área de 1.185, 53 km^2 (DUARTE et al., 2017). No último censo de 2010 a população era de 428.257 pessoas, das quais 391.014 habitavam no meio urbano (IBGE, 2017). O número estimado de habitantes em 2019 era de 529.544. O perímetro urbano da cidade está dividido em 5 zonas administrativas (Lei N° 840/1989), as regiões Centro, Centro Sul e Centro Norte correspondem a Zona 1, a região Leste constitui as Zonas 2, 4 e 5, e a região Sul equivale a Zona 3 (PORTO VELHO, 2007; CPRM, 2015). Os pontos azuis (34) e vermelhos (16) no mapa representam os poços amostrados, sendo poços escavados e tubulares, respectivamente.

Figura 2 - Perímetro urbano da cidade de Porto Velho evidenciando os pontos coletados.



5.1.1. Clima

O clima predominante no Estado de Rondônia, segundo a classificação Köppen, é do tipo Aw (Clima Tropical Chuvoso). Durante o mês mais frio a média climatológica é superior a 18°C e tem um período seco bem definido durante o inverno, aonde os índices pluviométricos chegam a ser inferiores a 50 mm/mês. A média anual da temperatura varia entre 24 a 26°C e a média anual de precipitação entre 1.200 a 2.600 $mm.ano^{-1}$. A região possui uma estação chuvosa e seca bem definia. O período chuvoso ocorre entre novembro e abril com índice pluviométrico de 220 mm/mês e o período de seca de junho a agosto com níveis pluviométricos inferiores a 50 $mm.mês^{-1}$ (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental, 2012).

5.1.2 Geologia e Hidrologia

São distinguidas 5 unidades litoestratigráficas na área de estudo: Cobertura Sedimentares Indiferenciadas, as quais compõem 85,2% da área e são compostos por sedimentos do tipo alúvio e colúvio formado por depósito de areia, silte, argila ou cascalho; Depósitos Aluvionares, abrangendo 2,33% da área e composto por sedimentos arenosos e argilosos considerados incosolidados a semiconsolidados; Depósitos Lacustres, compreendendo 0,67% da área e composto por sedimentos argilosos e siltosos, maciços ou laminados e geralmente com alta presença de matéria orgânica; Coberturas Dentritico-lateriticas, as quais correspondem a 11,2% da área de estudo e são formadas por crostas lateríticas ferruginizadas e estruturas que podem ser compostas por detritos eluviares/coluviares; e Formação Santo Antônio, o qual ocupa 0,60% da área e é constituído por terrenos cristalinos de natureza ígnea (ADAMY, 2010; MAIA, 2010).

No perímetro urbano da cidade de Porto Velho tem ocorrência do aquífero Iça (tipo livre) e do aquífero Fraturado Norte (tipo semiconfinado). O Fraturado Norte ocorre em apenas 12,82% da área, em uma pequena parte no lado sul da cidade e é constituído por rochas da Formação Santo Antônio e Cobertura Dentritico-lateriticas, possui baixo potencial hídrico em razão da sua porosidade e permeabilidade ser do tipo fissural. O aquífero Iça abrange o restante da área de estudo e é constituído pelas Coberturas Sedimentares Indiferenciadas, Depósitos Aluvionares e Depósitos Lacustres. Devido suas características porosas e de permeabilidade, é considerado um bom produtor de água (SOUZA et al., 2013; CPRM, 2017).

5.2 Comitê de Ética

As coletas iniciaram somente após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Fundação Universidade Federal de Rondônia (Processo de número

82891917.1.0000.5300), cumprindo todas as recomendações da Resolução 466 (BRASIL, 2012a), respeitando a proposta de pesquisa que envolve seres humanos.

5.3 Amostragem

Com relação a amostragem, a mesma foi do tipo aleatória, em que a equipe de coleta identificava residências que possuíam poços e que aceitavam participar da pesquisa. Por esta razão, em algumas zonas há maior número de pontos do que em outras. O morador visitado aceitava participar da pesquisa assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A), após ter recebido todas as informações referentes ao projeto. Em seguida, era realizada uma entrevista baseada em um questionário (Anexo A), com o intuito de obter as características do poço e hábitos dos residentes.

O período de amostragem ocorreu nos meses de abril, agosto e novembro de 2018 (Tabela 3), nos quais são representativos dos períodos sazonais de vazante, águas baixas e enchente, respectivamente (Ministério do Meio Ambiente, 2006). Foram amostrados 50 poços amostrados (34 poços escavados e 16 tubulares). No período de enchente, foi possível retornar em 24 residências (17 poços escavados e 7 tubulares) refazendo amostragem em período diferente para comparação sazonal, totalizando 74 análises realizadas em poços.

Tabela 3 – Períodos das três coletas de água na cidade de Porto Velho (RO).

Período (2018)	**Período Sazonal**	**Quantidade de pontos**
1ª Campanha - Abril	Vazante	34
2ª Campanha - Agosto	Águas baixas	16
3ª Campanha - Novembro	Enchente	24

Na retirada da água para analises microbiológicas utilizou-se frascos de vidro de 500 mL previamente esterilizados e tubos cônicos tipo falcon de 50 mL para análises de cátions, ânions e elementos-traço. Quanto aos procedimentos, levou-se em consideração as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011): para poços freáticos (escavados) e profundos equipados com bomba deixar a água ser bombeada tempo suficiente para retirada de água empoçada e desinfecção do lugar de coleta (torneira ou mangueira próximas ao poço). Todas as amostras para as avaliações microbiológicas após a coleta foram mantidas sob refrigeração até a chegada ao laboratório e analisadas dentro das primeiras 24h. As amostras para as determinações de elementos traço também foram

refrigeradas até o laboratório e posteriormente acidificadas com gotas de HNO_3 (Merck®) para pH<2.

5.4 Procedimentos metodológicos

As medições dos parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica foram feitos *in loco* com os usos de sonda multiparâmetros Multiparameter Water Quality Meter, modelo Bante900P.

5.4.1 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram feitas nas amostras de água em até 24 horas após a coleta. A técnica utilizada foi a de membrana filtrante, método de análise quantitativo que permite determinar o número de unidades formadoras de colônias (UFC) do organismo alvo em 24 h. Este processo é baseado na filtração de um determinado volume da amostra através de um filtro membrana de celulose quadriculada com 0,45μm de porosidade e 47mm de diâmetro (Millipore), fazendo uso de meio de cultura específico (APHA, 1992). A tabela 4 apresenta os meios de cultura utilizados neste trabalho.

Tabela 4 – Descrição dos meios de cultura utilizados nos diferentes organismos alvo.

Organismos alvo	**Meio de cultura**	**Fabricante**
Coliformes (totais e termotolerantes) e outras enterobactérias	Cromocult Coliforme Agar Ágar Salmonella Shigella	Merck KGaA Himedia
Pseudomonas	Agar Cetrimide	Kasvi
Enterococcus	m-enterococcus Agar	Acumedia

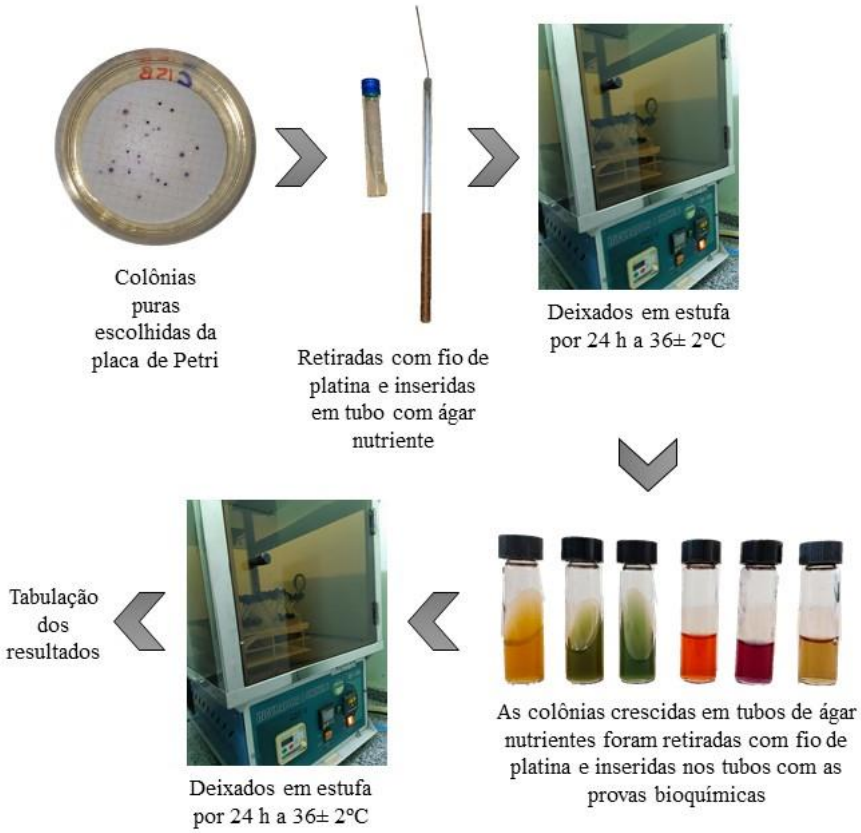
O volume filtrado de água foi 100 mL por amostra e de forma duplicada, sendo que dependendo da natureza da amostra, a mesma poderia sofrer diluição ou não. Amostras de poços profundos foram filtradas duas vezes, água bruta e diluída 10 vezes e a de poços escavados sofreram diluições de 10, 100 ou 1000 vezes. Após determinar os fatores de diluições da amostra, o mesmo servia para todas as placas de Petri dos diferentes meios de cultura. Antes de filtrar qualquer água coletada, filtrou-se os brancos das amostras (água destilada purificada) para a certificação da boa esterilização dos materiais e do ambiente laboratorial. Seguindo o período de incubação em estufa bacteriológica à 36 ± 2ºC por 24h, foi realizada a contagem das colônias e as colônias isoladas foram retiradas com auxílio de fio de platina e inseridas em tubos contendo Ágar Nutriente (Kasvi), os organismos aqui colocados foram estirpes de organismos

puros, em estufa bacteriológica a 36 ± 2ºC por 24 h para seu crescimento. As análises foram realizadas em duplicata.

5.4.2 Testes bioquímicos

As bactérias isoladas em ágar nutriente foram retiradas com fio de platina e inseridas um a um em cada bateria de provas bioquímicas: 6 tubos com provas do citrato, manitol/mobilidade, EPM, MILI, ornitina e TSI. Depois de 24h eram realizadas as leituras dos testes (Figura 3). Com os resultados dos testes bioquímicos, se fez uso de tabelas de identificação (ANVISA, 2004), e do software ABIS online (Advanced Bacterial Identification Software) (STOICA e SORESCU, 2017), um ferramenta online que identifica as espécies com base nos dados dos testes bioquímicos disponibilizados pelo pesquisador, concedendo a porcentagem de similaridade (somente os testes feitos pelo pesquisador) e porcentagem de probabilidade (comparando com os vários testes possíveis na identificação bioquímica) de certeza das espécies.

Figura 3 – Processo realizado na identificação bioquímica.



Para a certificação do preparo das provas bioquímicas, fez-se uso da cepa de *Enterobacter aerogenes* (ATCC 13048), da bacterioteca do CEPEM, disponibilizado no Laboratório de Microbiologia de Águas/Central Analítica da UNIR.

5.4.3 Determinação dos constituintes iônicos

A determinação dos constituintes iônicos nas amostras de água foi realizada por cromatografia iônica pelo equipamento Cromatógrafo de Íons com detector de condutividade iônica (Metrohm – modelo 882 Compact IC plus). As amostras foram previamente filtradas, com auxílio de seringa e filtro de acetato de celulose com 0,22 µm de porosidade (Sartorius). Esta etapa é necessária para retirada de material particulado da amostra que possa causar danos a coluna de separação de íons do aparelho e assim afetando a sua eficiência de separação (METROHM, 2012). As amostras foram injetadas no cromatógrafo com uma seringa hipodérmica descartável de 3 mL.

A calibração do equipamento foi realizada com padrões específicos para cátions (Specsol) e ânions (Thermo Scientific). As colunas analíticas usadas foram Metrosep A Supp. 5 – 150/4.0 para determinação de ânions e Metrosep C 4 – 150/4.0 para determinação dos cátions. A tabela 5 expõem as condições de operação no equipamento através do *software* MagIC.

Tabela 5 – Descrição dos valores utilizados dos parâmetros do IC.

Parâmetro	**Valor estabelecido**	
	Cátions	Ânions
Tempo de registo	20 min	17 min
Fluxo	0,700 $L.min^{-1}$	0,900 $L.min^{-1}$
Pressão	9,5 Mpa	10,25 Mpa
Condutividade	678,46 $\mu s.cm^{-1}$	1,80 $\mu s.cm^{-1}$
Volume injetado	100 µL	100 µL

5.4.4 Determinação dos elementos-traço

As amostras coletadas para as determinações dos elementos-traço na fração total foram acidificadas com ácido nítrico (HNO_3 65% ultra-puro, Merck) a fim de manter sua preservação, conservando o pH abaixo de 2. Posteriormente foram filtradas com filtro de seringa tipo PTFE hidrofílico com 0,45 µm de porosidade (Analítica), levadas para a determinação no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES Optima

8300/Perkin Elmer). Na tabela 6 é apresentado as condições de operação do equipamento através do *software* WinLab 32 for ICP versão 5.5.0.0174.

Tabela 6 – Descrição dos valores utilizados dos parâmetros do ICP-OES.

Parâmetro	**Valor estabelecido**
Fluxo do plasma	8,0 $L.min^{-1}$
Fluxo auxiliar	0,2 $L.min^{-1}$
Fluxo do nebulizador	0,70 $L.min^{-1}$
Potência do rádio frequência	1500 w
Visão do plasma	Axial
Tempo de integração	5 s
Tempo de estabilização	11 s
Fluxo da amostra	1,00 $mL.min^{-1}$
Tempo de aspiração da amostra	15 s
Tempo de enxágue	15 s
Números de replicas	2

5.4.5 Tratamento dos dados

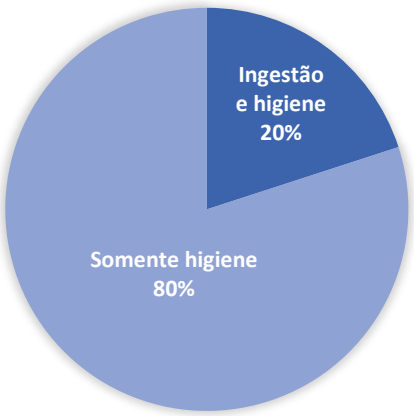
Levando em consideração a grande variabilidade dos dados, a medida de tendência central utilizada foi a mediana para melhor representatividade dos dados. Para a análise estatística dos dados foi usado o programa *GraphPad Prism* 5. A análise de normalidade dos dados foi baseada do Teste de *Shapiro-Wilk*. Na comparação de dois e três grupos não paramétricos utilizou-se o teste de *Mann-Whitney* e *Kruskal Wallis*, respectivamente. Na comparação de dois e três grupos paramétricos utilizou-se o teste t não pareado e o ANOVA, respectivamente. Todos os testes tiveram nível de significância de α=0,05. Na confecção dos mapas e plotagem dos dados, utilizou-se o *software* Qgis Desktop 3.2.3 with GRASS 7.4.1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Características dos poços e uso da água

Na figura 4 é exibido o percentual de uso das águas subterrâneas explotadas dos poços estudados da cidade de Porto Velho. Apesar de a maioria da população estudada destiná-la somente a higiene, uma parcela significativa declarou seu uso para ingestão humana (20%) (n=10). Deste valor, 30% (n=3) afirmaram realizar algum tipo de tratamento antes de consumir (uso de cloro e filtros). A parcela que utiliza a água apenas para higiene obtém água para ingestão e para preparo de alimentos através da compra de água mineral ou da rede geral de distribuição. Isto, entretanto, não os isenta do contato com os microrganismos provenientes do uso da água subterrânea seja através da limpeza de utensílios domésticos e na higiene pessoal, principalmente crianças, que costumam beber água enquanto tomam banho e escovam os dentes. Além do mais, o Art. 5º da Portaria nº 5/2017 do MS adota a seguinte definição de água para consumo: "água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independente da sua origem".

Figura 4 - Distribuição percentual do destino do uso da água subterrânea nos poços estudados da cidade de Porto Velho (RO).



Em relação aos poços, a tabela 7 apresenta o resumo descritivo para a profundidade dos poços e a distância do mesmo em relação a fossa presente nas residências. A profundidade dos poços escavados e tubulares apresentou média de 11,8 e 36,2 m, respectivamente. A distância entre os poços e fossas teve média de 17,9 m para escavados e 23 m para poços tubulares. No n amostral para na tabela 6 foram excluídos dois pontos apenas no item de distância entre o poço e fossa, pois em duas residências não havia nenhum tipo de fossa e os efluentes domésticos eram canalizados para córregos próximos as residências.

Tabela 7 - Estatística descritiva das profundidades e distâncias entre poços e fossas da área estudada na cidade de Porto Velho (RO).

	Poços Escavados				Poços Tubulares			
Parâmetros	n	Média ± DP	Mín.	Máx.	n	Média ± DP	Mín.	Máx.
Profundidade (m)	36	11,8 ± 3,3	6,0	20,0	14	36,2 ± 8,0	17	36,2
Distância entre fossa e poço (m)	34	17,9 ± 7,6	9,9	40,0	14	23,0 ± 8,7	7,5	23,0

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), segundo NBR 7229, recomenda que, para preservar a saúde pública e ambiental, as fossas sépticas devem ser construídas a uma distância mínima de 15 metros dos poços para abastecimento e de corpos de água de qualquer natureza. Esteve dentro deste padrão 75% dos pontos amostrados, mas mesmo com uma distância equivalente ou acima de 15 metros não garantiu uma água microbiologicamente potável. Foster e Hirata (1988), afirmam que fossas construídas em conformidades com as normas, não impede a contaminação da água subsuperficial de forma eficiente, embora possa diminuir. Além disso, deve-se levar em consideração a distância de fossas vizinhas e a granulometria do solo da área em questão, assim como a flutuação sazonal do lençol freático. Entretanto, destaca-se que certamente a maioria das fossas das residências não são do tipo sépticas, como indicado pela ABNT (1993), mas fossas negras, as quais propiciam maior contaminação.

6.2 Parâmetros físico-químicos

A tabela 8 mostra o resumo dos resultados de mediana, mínimo e máximo dos parâmetros físico-químicos analisados para as três estações coletadas. O p valor refere-se aos testes estatísticos realizados entre poços escavados e tubulares. O único parâmetro em que os dados não apresentaram distribuição normal foi a condutividade elétrica para os poços escavados. Sendo este o único parâmetro que apresentou diferença significativa entre escavado e tubular nos períodos de vazante e enchente.

Medições, como o pH e condutividade elétrica, são parâmetros normalmente utilizados na avaliação da qualidade da água e em estudos de saneamento ambiental (MESSIAS, 2008; LAUTHARTTE et al., 2016). O pH é uma propriedade que influencia nos equilíbrios químicos que acontecem naturalmente ou em procedimentos de tratamento de água e o Ministério Saúde preconiza que águas para consumo estejam na faixa de pH entre 6,0-9,5 (BRASIL, 2017).

Tabela 8 - Estatística descritiva dos resultados dos parâmetros físico-químicos nas águas dos poços da cidade de Porto Velho (RO).

VAZANTE					
	Poços Escavados (n=25)		**Poços Tubulares (n=9)**		
Parâmetros	Mediana	Mín - Máx	Mediana	Mín - Máx	p valor
Temperatura (°C)	28,4	26,6 - 33,9	28,6	26,4 - 30,2	0,2996
pH	5,5	4,9 - 6,1	5,3	4,9 - 6	0,2189
Condutividade elétrica (µs.cm-1)	131,7	34 - 465	62,6	12,6 - 126,5	0,0082
ÁGUAS BAIXAS					
	Poços Escavados (n=11)		**Poços Tubulares (n=5)**		
Parâmetros	Mediana	Mín - Máx	Mediana	Mín - Máx	p valor
Temperatura (°C)	30	25,2	28,8	28,4 - 29,3	0,7288
pH	4,8	4,1	5	4 - 5,9	0,7393
Condutividade elétrica (µs.cm-1)	60,6	20	81,8	17,8 - 129	0,7405
ENCHENTE					
	Poços Escavados (n=20)		**Poços Tubulares (n=6)**		
Parâmetros	Mediana	Mín - Máx	Mediana	Mín - Máx	P valor
Temperatura (°C)	28,8	27,5 - 30	28,5	25 - 29,7	0,1452
pH	4,9	4,2 - 6,8	4,6	4,6 - 5,6	0,3002
Condutividade elétrica (µs.cm-1)	179	15,7 - 336	90	44,9 - 172	0,0474

A mediana obtida para os poços escavados e tubulares esteve entre 4,8 – 5,5, indicando um pH ácido. Para condutividade elétrica, medição da capacidade de transporte da corrente elétrica (ESTEVES, 2011), a mediana para poços escavados foi de 60,6 a 179 µs.cm^{-1} e para os poços tubulares de 62,2 a 90 µs.cm^{-1}. Para este parâmetro não há limites estabelecidos na legislação, mas valores acima de 100 µs.cm^{-1} já indicam contaminação (FREDDO FILHO, 2018).

As figuras 5 e 6 apresentam a distribuição espacial dos valores de pH e condutividade elétrica na área estudada e nos períodos coletados, respectivamente. Segundo a ANA (2002), as águas subterrâneas apresentam valores de pH variando de 5,5 a 8,5. Nota-se, portanto, quase metade dos pontos abaixo desse valor (49%, n=36). Quando comparando com a Portaria de Consolidação Nº 5/2017, observa-se que 75% (n=55) dos pontos apresentaram valores abaixo dos limites estabelecidos.

Figura 5 - Distribuição espacial dos valores de pH das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO).

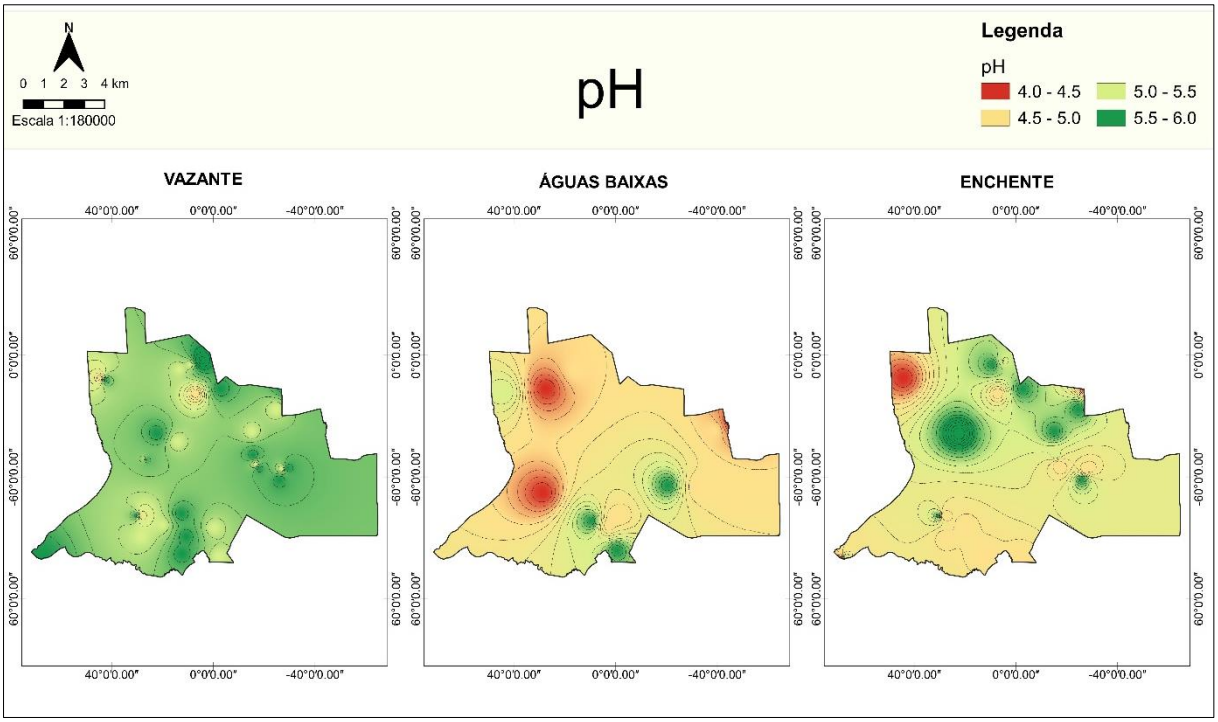
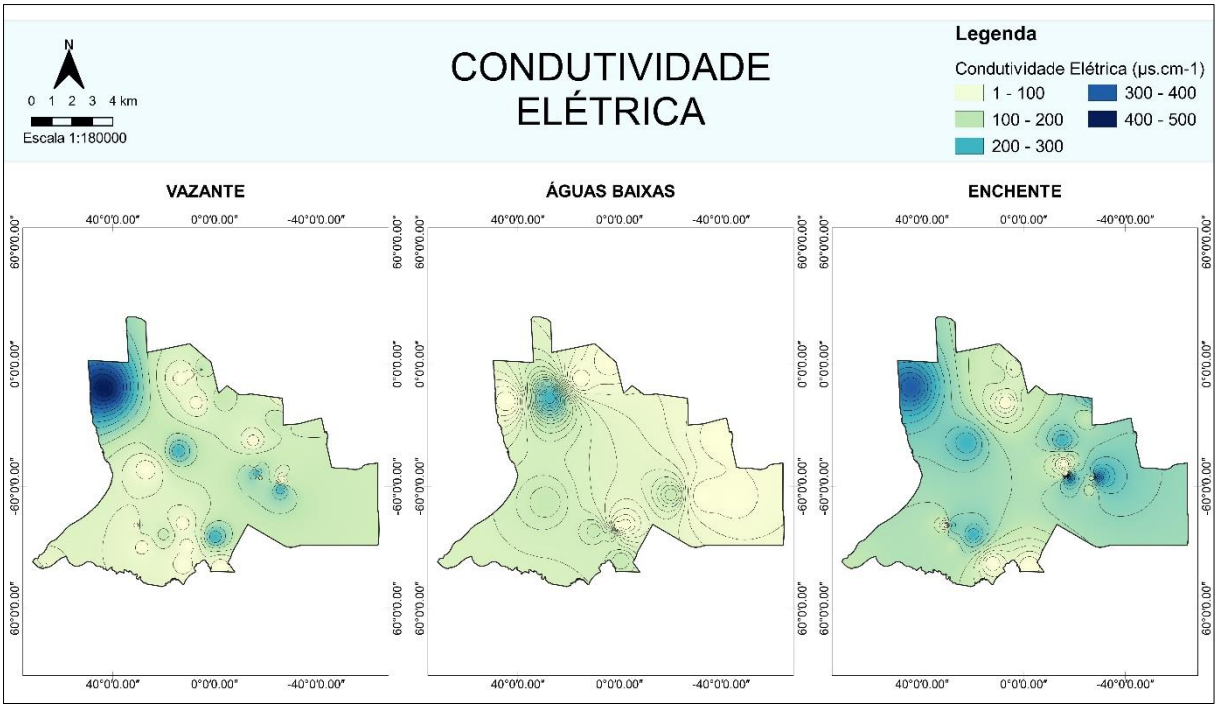


Figura 6 – Distribuição espacial dos valores de condutividade elétrica das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO).



Dejetos industriais e domésticos podem contribuir para acidificação das águas subterrâneas devido a decomposição da matéria orgânica. Entretanto, sabe-se que as águas Amazônicas possuem uma acidez típica da região por efeito da abundância de chuvas que atingem facilmente o lençol freático e a decomposição nos solos da cobertura vegetal densa, a qual gera ácidos orgânicos com grupos carboxílicos (-COOH) que se dissociam liberando íons H+ e reduzindo o pH da água (BAHIA et al., 2011).

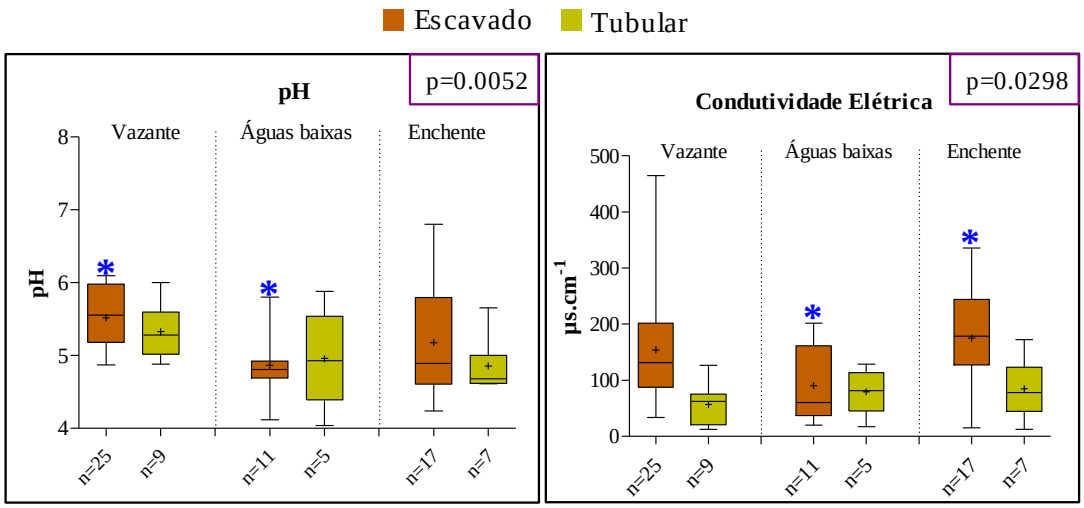
Águas naturais possuem condutividade elétrica na faixa de 10 a 100 $\mu s.cm^{-1}$. Consideráveis alterações na condutividade sugerem que uma descarga ou outra fonte de contaminação tenha adentrado no corpo hídrico, no qual contaminações provenientes de esgotos resultam em condutividade que variam de 100 a 10.000 $\mu s.cm^{-1}$ (BRASIL, 2006). Como já mencionado, valores acima de 100 $\mu S.cm^{-1}$ indicam ambiente poluído e também podem dar sabor desagradável a água (FREDDO FILHO, 2018). Ultrapassaram de 100 $\mu s.cm^{-1}$ 49% (n=36) dos pontos coletados, onde dois pontos próximos localizados na zona 1 (figura 5) chegaram a ultrapassar 400 $\mu s.cm^{-1}$ (411 e 465 $\mu s.cm^{-1}$), o que pode indicar uma fonte de contaminação de íons naquela área.

No trabalho de Rodrigues (2008) sobre poços escavados, também na área urbana de Porto Velho, os valores de condutividade elétrica encontrados pelo autor estiveram com média de 46,07 $\mu S.cm^{-1}$, e os valores mínimo e máximo variando de 0,32 e 144,6 $\mu S.cm^{-1}$, respectivamente. Esses valores estão bem abaixo dos encontrados nesta pesquisa, o que pode ser reflexo do crescimento urbano da cidade ao longo dos anos, simbolizando os impactos das atividades antropogênicas sobre o ambiente.

Realizando a comparação sazonal, a figura 7 exibe os valores de pH e condutividade elétrica nos períodos de vazante, águas baixas e enchente. Verifica-se significativas diferenças dos valores de pH de poços escavados apenas entre os períodos de vazante e águas baixas, com menores valores neste último período, e na condutividade elétrica, com maiores valores na enchente em relação ao período de águas baixas. Para condutividade elétrica observa-se que a sazonalidade não influenciou de forma significativa.

Os valores de temperatura não oscilaram entre os pontos coletados e nem entre os diferentes períodos sazonais.

Figura 7 - Boxplot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) das concentrações de pH e condutividade elétrica para os pontos coletados nos diferentes períodos sazonais.



6.3 Constituintes Iônicos

6.3.1 Parâmetros analíticos

Para maior confiabilidade às análises de cátions, ânions e elementos traço, foram realizadas determinação dos limites de detecção (LOD) e de quantificação (LOQ) de cada parâmetro. Nas tabelas 9 e 10 são apresentados esses limites assim como os coeficientes de correlação, para os cátion e ânions e elementos traço, respectivamente. Os coeficientes ficaram acima de 0,995, indicando uma boa linearidade da curva (SHABIR, 2003).

Tabela 9 – Coeficiente de correlação e limite de detecção e quantificação de cátions e ânions.

Elemento	**Coeficiente de correlação**	**LOD/ µg.L^{-1}**	**LOQ/ µg.L^{-1}**
Lítio	0,999364	6,327	6,626
Sódio	0,099915	2,571	30,631
Amônio	0,99937	6,482	32,958
Potássio	0,999359	7,778	66,472
Cálcio	0,999155	76,376	292,271
Magnésio	0,999569	23,436	31,820
Fluoreto	0,999548	7,392	10,345
Cloreto	0,999895	24,244	24,883
Nitrito	0,999851	23,691	97,581
Brometo	0,999265	9,428	65,965
Nitrato	0,999711	41,328	43,437
Fosfato	0,999433	117,837	360,624
Sulfato	0,999238	68,336	121,780

Tabela 10 - Coeficiente de correlação e limite de detecção e quantificação dos elementos-traço.

Elemento	Coeficiente de correlação	LOD/ $\mu g.L^{-1}$	LOQ/ $\mu g.L^{-1}$
Prata	0,99985	0,124	3,006
Alumínio	0,9985	0,286	17,672
Arsênio	0,9991	15,38	59,68
Bário	0,9998	46,32	143,15
Cádmio	0,9998	0,345	6,74
Cobalto	0,99975	26,89	85,71
Cromo	0,99985	0,211	4,96
Cobre	0,9998	0,350	7,60
Manganês	0,99975	0,029	0,803
Molibdênio	0,9996	234,75	684,30
Níquel	0,9992	0,769	3,06
Chumbo	0,99975	450,15	1054,85
Antimônio	0,99915	5,08	34,34
Selênio	0,99935	9,08	24,85
Estrôncio	0,99995	0,001	1,73
Vanádio	0,9994	36,52	119,18
Zinco	0,99965	0,417	24,61

Durante a pesquisa foram obtidos vários cromatogramas, como representação dos mesmos, as figuras 8 e 9 exibem cromatogramas obtidos dos padrões múltiplos de cátions e ânions, respectivamente, e o tempo de retenção de cada analito.

Figura 8 – Cromatograma obtido para os cátions Li^+ (125 $\mu g.L^{-1}$), Na^+ (500 $\mu g.L^{-1}$), NH_4^+ (625 $\mu g.L^{-1}$), K^+ (1250 $\mu g.L^{-1}$), Ca^{2+} (1250 $\mu g.L^{-1}$), e Mg^{2+} (625 $\mu g.L^{-1}$).

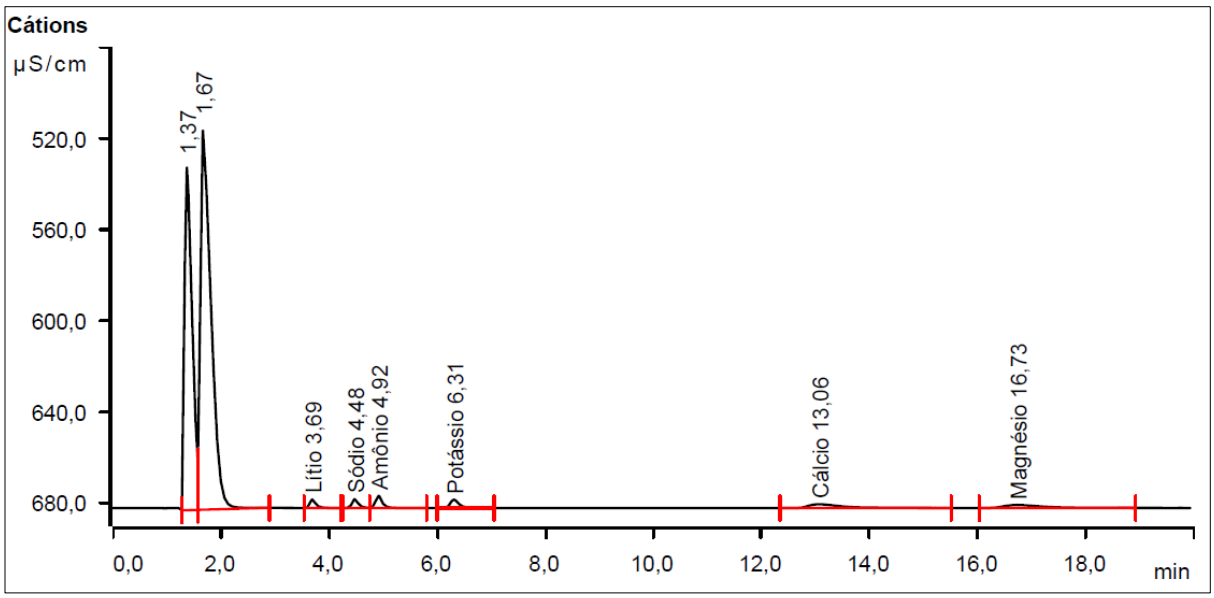
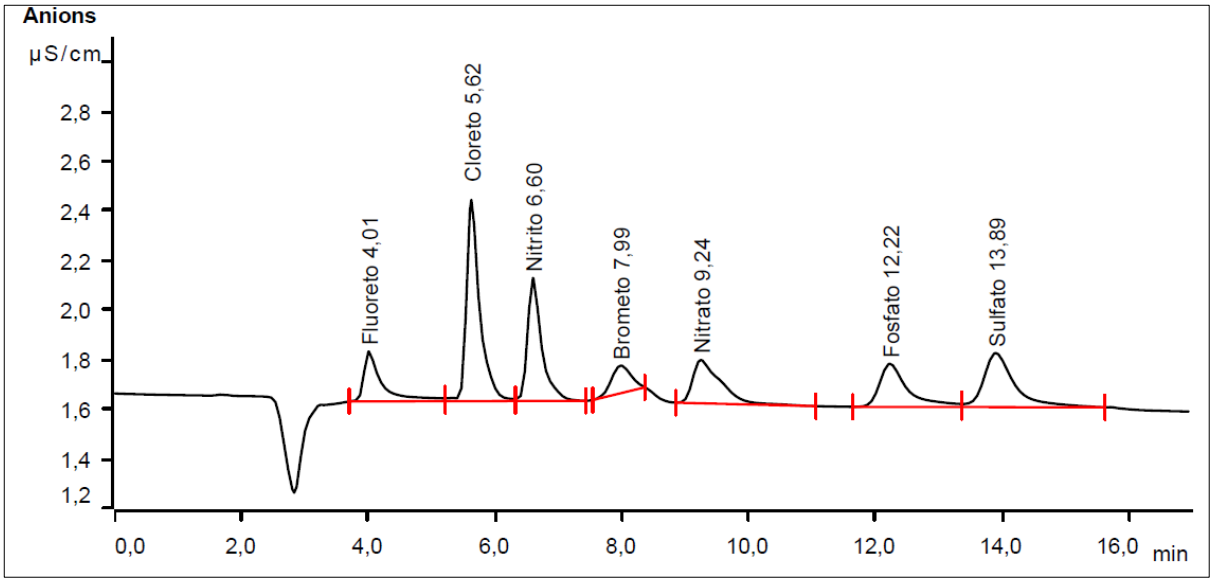


Figura 9 – Cromatograma obtido ara os ânions F^- (30 µg.L^{-1}), Cl^- (150 µg.L^{-1}), NO_2^- (150 µg.L^{-1}), Br^- (150 µg.L^{-1}), NO_3^- (150 µg.L^{-1}), PO_4^{3-} (300 µg.L^{-1}) e SO_4^{2-} (150 µg.L^{-1}).



6.3.2 Cátions e ânions

Na tabela 11 se encontra a estatística descritiva (mediana, mínima e máxima) para os poços amostrados referente aos constituintes iônicos, nos três períodos coletados. Também se encontra na tabela o p valor da comparação entre poço tubular (T) e poço escavado (E).

O íon sódio apresenta concentrações em águas subterrâneas de 1 a 150 mg.L^{-1}, um dos elementos mais abundantes, e possui limite de 200 mg.L^{-1} para ambas as legislações mostradas na tabela 11, caso a água seja destinada a ingestão para ambas as legislações. Vaitsman e Vaitsman (2005), afirmam que a carência desse elemento pode causar desidratação, fraqueza e confusão mental. Já altas concentrações são nocivas principalmente a bebês, causando problemas renais e gastroenterites (PAHECO, 2008). Observa-se que as medianas dos poços escavados e tubulares estiveram dentro dos limites permissíveis pelas legislações (200 mg.L^{-1} no MS e CONAMA) e, poços escavados tiveram teores maiores que poços tubulares apenas no período de vazante (p=0,0276).

Tabela 11 – Estatística descritiva dos resultados de cátions e ânions obtidos nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho (RO).

VAZANTE						**LEGISLAÇÕES – mg.L^{-1}**	
Analito	**Mediana**		**Mín - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017)	CONAMA 396/2008
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Na^{+} (mg.L-1)	15,5	10,2	2,1 - 49,5	1,3 - 18,7	0,0276	200	200
NH^{4+} (mg.L-1)	0,27	0,11	0,08 -3,6	0,04 -1,5	0,0247	1,5	-
K^{+} (mg.L-1)	1,4	1,3	0,3 - 15,6	0,32 - 10	0,7927	-	-
Ca^{2+} (mg.L-1)	6,3	1,4	0,3 - 27	0,8 - 28	0,4546	-	-
Mg^{2+} (mg.L-1)	0,4	0,2	0,08 - 1,8	0,12 - 0,9	0,5441	-	-
F^{-} (mg.L-1)	0,06	0,05	0,02 - 0,5	0,02 - 0,17	0,7582	1,5	1,5
Cl^{-} (mg.L-1)	11,3	8	1,8 - 99	0,9 - 18	0,1021	250	250
NO^{3-} (mg.L-1)	21,7	15	0,5 -69	0,07 - 25,8	0,0549	10	10
SO_4^{2-} (mg.L-1)	6	0,4	0,13 - 18	0,2 - 6	0,0483	250	250
ÁGUAS BAIXAS							
Analito	**Mediana**		**Mín - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017)	CONAMA 396
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Na^{+} (mg.L-1)	5	2,6	1,3 - 37	1,6 - 14	0,4967	200	200
NH^{4+} (mg.L-1)	0,1	0,07	0,06 - 2	0,04 - 0,15	0,2132	1,5	-
K^{+} (mg.L-1)	0,52	0,66	0,2 -2,9	0,2 - 7,2	0,4278	-	-
Ca^{2+} (mg.L-1)	1,9	1,3	0,2 - 27	0,6 - 4,5	0,865	-	-
Mg^{2+} (mg.L-1)	0,13	0,42	0,01 -0,34	0,1 - 1,3	0,0538	-	-
F^{-} (mg.L-1)	0,05	0,09	0,01 - 0,65	0,05 - 0,16	0,1705	1,5	1,5
Cl^{-} (mg.L-1)	4,4	2,2	0,4 - 29	0,85 - 12,7	0,9098	250	250
NO^{3-} (mg.L-1)	4,2	6	0,6 -33	1,7 - 45,6	0,4967	10	10
SO_4^{2-} (mg.L-1)	1,3	0,44	0,3 - 17,5	0,24 - 5,6	0,4278	250	250
ENCHENTE							
Analito	**Mediana**		**Mín - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017)	CONAMA 396
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Na^{+} (mg.L-1)	23,4	5,4	4 - 63,4	0,2 - 111	0,113	200	200
NH^{4+} (mg.L-1)	2,2	0,14	0,07 - 6,5	0,07 - 2,5	0,1495	1,5	-
K^{+} (mg.L-1)	1,5	1,04	0,6 - 13	0,6 - 42	0,4609	-	-
Ca^{2+} (mg.L-1)	9,7	1,4	0,3 - 46	0,5 - 25,7	0,3568	-	-
Mg^{2+} (mg.L-1)	0,34	0,24	0,07 - 2,4	0,07 -0,86	0,4833	-	-
F^{-} (mg.L-1)	0,07	0,06	0,02 - 0,2	0,03 - 0,15	0,5733	1,5	1,5
Cl^{-} (mg.L-1)	18,2	6,3	4,1 - 57	0,9 - 17	0,0245	250	250
NO^{3-} (mg.L-1)	25	8	0,12 - 68	0,6 - 28	0,0709	10	10
SO_4^{2-} (mg.L-1)	4,3	1,14	0,4 - 13,6	0,5 - 15	0,3567	250	250

O íon amônio, o qual é formado pela protonação da amônia, ocorre em baixas concentrações nas águas naturais em razão dos processos de degradação biológica da matéria orgânica. Um teor elevado deste cátion em águas pode indicar contaminação por esgoto bruto,

fertilizantes e efluentes industriais (FREDDO FILHO, 2018). A Portaria Nº 05/2017 e CONAMA 396/2008 não estabelece limite de potabilidade para amônio, mas sim para amônia de 1,5 $mg.L^{-1}$ (apenas a portaria), sendo o amônio considerado uma forma ionizada da amônia (REIS e MENDONÇA, 2009), e considerando o valor estabelecido pela Portaria, 34% (n=25) dos pontos ultrapassaram este limite. A detecção de altos teores desse íon é considerada contaminação orgânica recente, pois a amônia é o primeiro produto da decomposição de substâncias nitrogenadas (ARAÚJO et al., 2013). Seu excesso pode estar relacionado com a construção inadequada de fossas e carência na proteção do aquífero (COSTA et al., 2012). Teores em poços escavados só foi estatisticamente diferente dos poços tubulares no período de vazante (p=0,0247).

Potássio não possui valor estabelecido na legislação Brasileira para águas destinadas ao consumo, assim como cálcio e magnésio. Das amostras, 19% (n=14) ultrapassaram os padrões considerados normais de potássio para águas subterrâneas (WHO, 2011). Segundo Santos et al. (2006a), o potássio ocorre em baixas concentrações nas águas naturais devido à baixa mobilidade nas rochas e no solo e relativa resistência das rochas que contém potássio ao intemperismo (SRINIVASAMOORTHY et al., 2014), além da facilidade de ser incorporado aos minerais e vegetais (MAZZINI, 2012). O cálcio é um elemento bastante benéfico a saúde humana por ajudar a manter os ossos saudáveis, auxiliar na formação dos dentes e prevenir a osteoporose, porém, em excesso, é capaz de causar implicações tais como tártaro dentário, bursite, cálculos renais, entre outros (SANTOS, 2000). Nenhuma amostra extrapolou os padrões naturais para água subterrânea (WHO, 2011). As concentrações de magnésio também não excederam os valores naturais para água subterrânea.

Com relação ao fluoreto, todas as amostras tiveram concentrações (medianas entre 0,05 a 0,09 $mg.L^{-1}$) que ficaram dentro dos padrões de potabilidade da Portaria Nº 05/2017 e CONAMA 396/2008. Conforme Frazão et al. (2011), a concentração ideal de fluoreto na maioria dos municípios do país deve estar em torno de 0,6 a 0,9 $mg.L^{-1}$, tendo em vista que o flúor, em dosagens baixas ou excessivas, pode prejudicar a eficácia do mesmo, possibilitando toxicidades agudas e crônicas (BRASIL, 2012b).

Baixas concentrações de cloreto e sulfato estão relacionadas à baixa disponibilidade desses nutrientes nas rochas (SZYKSZY, 1993). As concentrações de ambos estiveram dentro dos limites de potabilidade e padrões naturais de água subterrânea. Para o cloreto, apenas um ponto esteve com concentração próxima a 100 $mg.L^{-1}$. Teores elevados deste íon atribuem sabor salgado a água, além de efeitos laxativos (BRASIL, 2014). A mediana de poços escavados (16,5

foi maior que dos poços tubulares apenas no período de enchente (p=0,0245). O sulfato, em quantidades elevadas, também pode causar males, como desidratação e irritação gastrointestinal (ARRUDA et al., 2012). Para esse íon, teores em poços escavados foram estatisticamente maiores que em poços tubulares somente no período de vazante.

O íon nitrato é mundialmente utilizado como indicador de contaminação em águas subterrâneas devido sua alta mobilidade e persistência, podendo contaminar extensas áreas (CASTRO et al., 2014). Suas concentrações elevadas tem se ampliado e ameaçado os sistemas aquíferos de várias partes do mundo, advindo dos efeitos de atividades agrícolas e lançamento desordenado de esgotos domésticos, principalmente fossas sépticas ou negras (FEITOSA et al., 2008; VANIER et al., 2010; WHO, 2016). Além disso, pesquisas sobre nitrato em águas subterrâneas manteve-se um tópico relevante nas últimas duas décadas (NIU et al., 2014).

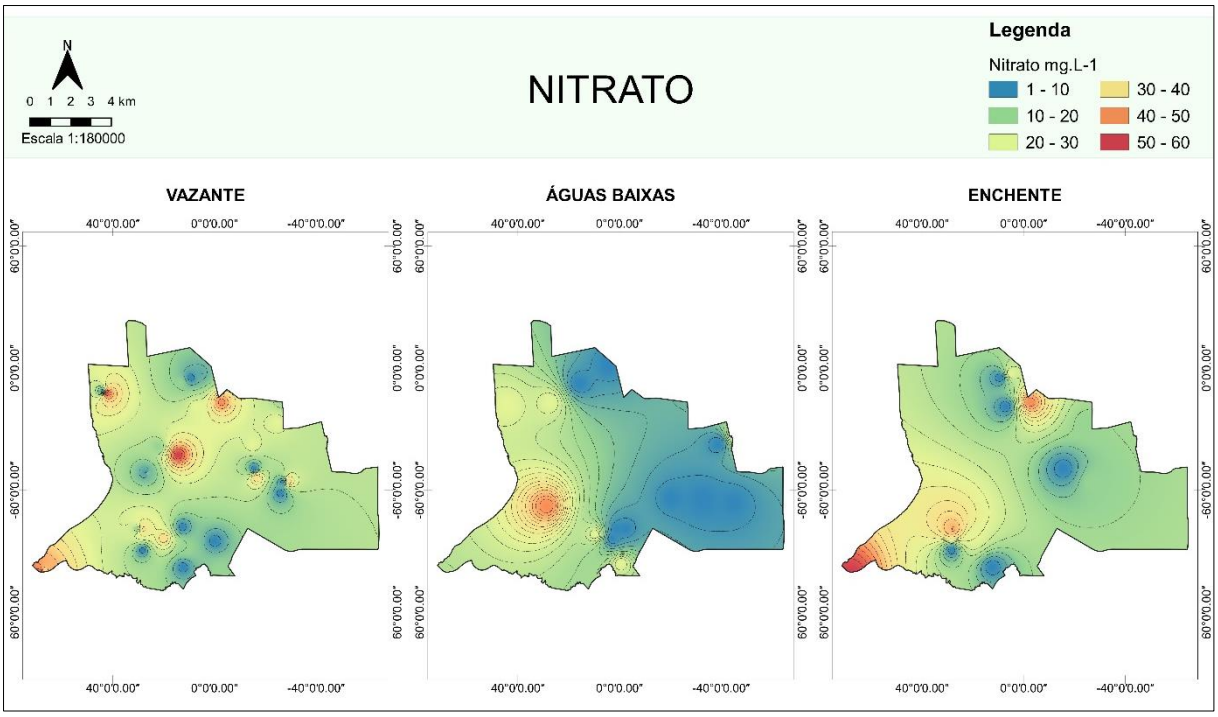
O valor máximo estabelecido na Portaria Nº 5/2017 e CONAMA 396/2008 para o nitrato, assim como seu valor natural em água subterrânea, é de até 10 $mg.L^{-1}$. Os valores de mediana para ambos os tipos de poços estiveram acima de 10 $mg.L^{-1}$ no período de vazante, abaixo no período de águas baixas, e acima apenas em poços escavados no período de enchente. Para os poços escavados foram 70,5% (n=36) e para os tubulares 48% (n=11) de amostras acima de 10 $mg.L^{-1}$. Na figura 10 se encontra a distribuição espacial das concentrações de nitrato para os pontos amostrados. É possível observar uma relação com os valores de condutividade elétrica, pois em ambos os maiores valores são nos mesmos pontos.

Aquíferos com teores de nitrato acima de 10 $mg.L^{-1}$ vem sido relatado em vários países e no Brasil (LAGES e SANTANA, 2017). Sendo esse íon facilmente lixiviável, altos níveis de contaminação oriundos de sistemas sépticos, esgoto doméstico, industrial e agrícolas, chegam facilmente as águas subterrâneas (WONGSANIT et al., 2015).

Um artigo de revisão (WARD et al., 2018) sobre os efeitos da ingestão de água com teores de nitrato relata evidências da ingestão da água potável com resultados adversos à saúde humana. Além da metahemoglobina, relação com câncer colorretal, doença da tireoide e defeitos do tubo neural são relatados, embora os autores informam que o número de estudos ainda não é suficiente para tirar uma conclusão firme. Outros estudos associam a ingestão de nitrato com o câncer gástrico provocado pela criação de nitrosaminas carcinogênicas (ROSSIETER et al., 2010; FRATUCCI et al., 2017; MORADNIA et al., 2019). Fantin (2018), em pesquisa sobre câncer gástrico no estado de Rondônia através de revisão sistemática, afirma ter uma relação deste câncer à exposição ao nitrato e nitrito, devido principalmente a atividade

ocupacional agrícola, no qual há uso de agroquímicos, pesticidas e agrotóxicos. Zhang et al. (2019), também mediante revisão sistemática, averiguaram que ingestão alta ou moderada de nitrato está relacionada com menor risco de câncer gástrico, enquanto que um risco alto de câncer gástrico está relacionado a ingestão alta ou moderada de nitrito.

Figura 10 – Distribuição espacial das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas para os pontos coletados na cidade de Porto Velho (RO).



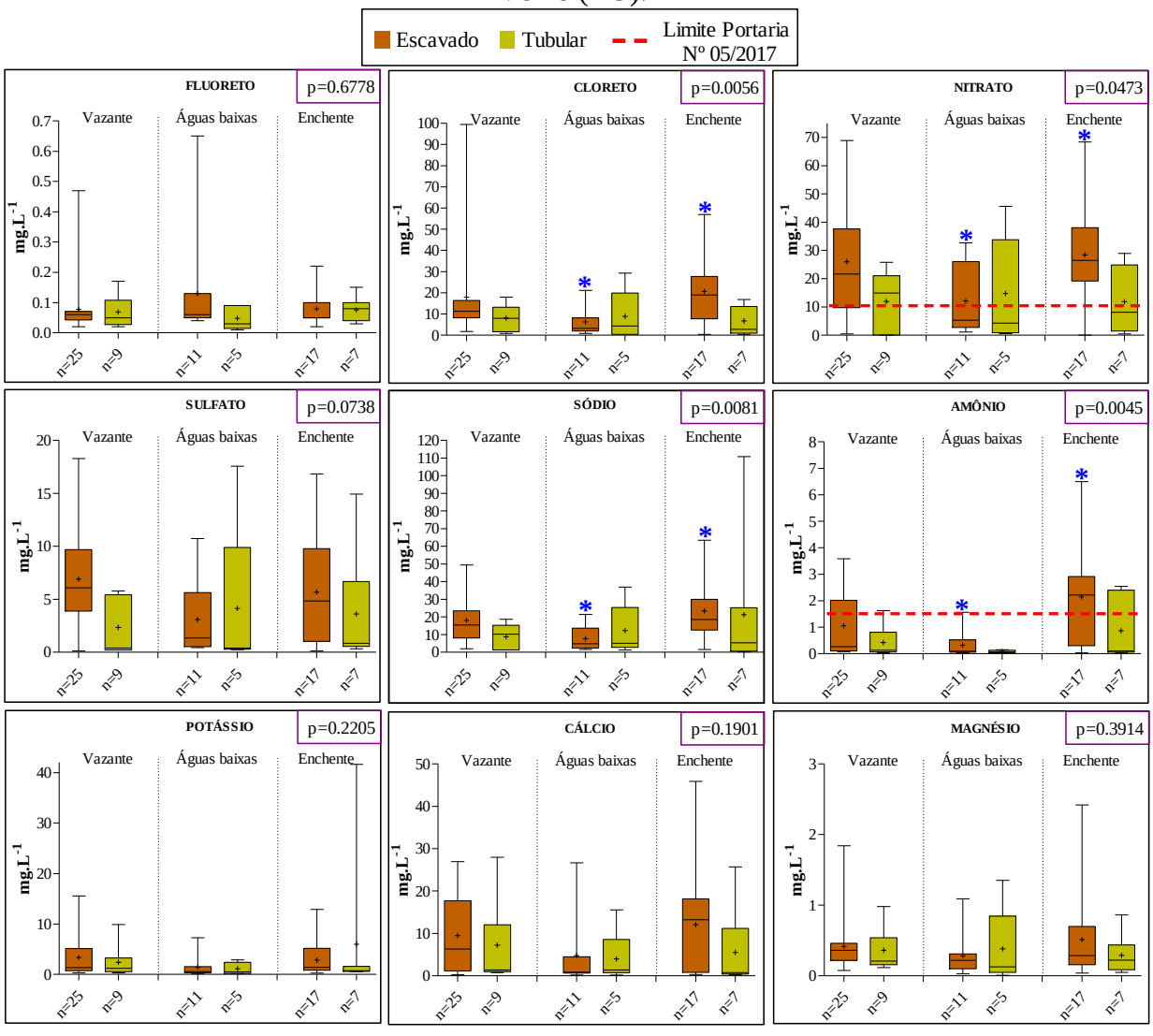
Os resultados dos íons apresentados que estiveram dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela legislação, corroboram com concentrações encontradas nas águas subterrâneas em outras pesquisas pelo país para esses íons: na região sul (REZENDE et al., 2019), nordeste (PEIXOTO e PEREIRA, 2019), sudeste (SOUZA et al., 2014), e norte (CASTRO et al., 2014; CREMONESE, 2014; LAUTHARTTE et al., 2016; MESCHEDE et al., 2018; SIQUEIRA et al., 2018). Também é possível notar que dos nove elementos, quatro (sódio, amônio, cloreto e sulfato) estiveram com concentrações em poços escavados significativamente maiores que os poços tubulares pelo menos em um período sazonal, evidenciando que os poços escavados estão mais suscetíveis a receber cargas maiores de elementos químicos. Muitos valores de nitrato acima do recomendado também foram encontrados em outras pesquisas na região Norte: Oliveira et al., 2015 (Vilhena, RO), Mendes et al., 2017 (Santarém, PA), Paraguassú-Chaves et al., 2019 (Nova-Mamoré, RO) e Laureano et al., 2019 (Presidente Médici, RO).

O relatório da CPRM (2015), sobre a qualidade da água subterrânea de Porto Velho referente anos de 2011, 2012 e 2013, mostra resultados de nitrato que corroboram com os resultados apresentados, igualmente para os íons cloreto, fluoreto, potássio, sulfato, cálcio e sódio. Essa composição da água subterrânea, segundo Alves (2016), é típica do ambiente que é abastecido pela água pluvial, devido à alta presença de bicarbonato, além do pH ácido das águas, as quais lixiviam sedimentos e rochas, disponibilizando para a água subterrânea elementos móveis de sódio, potássio e cálcio e elementos secundários, como o fluoreto, cloreto, sulfato e manganês, presente em concentrações normais.

Os íons fosfato, nitrito e lítio também foram analisados, mas como a maiorias dos resultados ficaram abaixo do limite de detecção, não foi possível fazer a estatística descritiva. O LOD do fosfato foi 0,1178 $mg.L^{-1}$, de nitrito 0,0236 $mg.L^{-1}$ e de lítio 0,0063 $mg.L^{-1}$.

Na figura 11 é mostrada a comparação sazonal na forma de *boxplot* para cada íon.

Figura 11 – *Boxplot* (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) Comparação sazonal para cátions e ânions nas águas subterrâneas dos poços escavados e tubulares da cidade de Porto Velho (RO).



Diferenças significativas foram constatadas para cloreto, nitrato, sódio e amônio, entre os períodos de água baixa e enchente, nos quais os teores foram maiores na enchente. Neste, a água está em movimento, trazendo maior volume de água para o aquífero para o período seguinte, de águas altas. Com fluxo de água maior nesses períodos, há o carreamento de muita matéria orgânica e vários constituintes iônicos, elevando as concentrações. À vista disso, infere-se que, nesta pesquisa, esse cenário favoreceu esses íons que estiveram com valores superiores na fase de enchente em relação a águas baixas.

Analisando concentrações dos mesmos íons em águas subterrâneas no Estado do Amazonas, Lages et al. (2019) encontraram o mesmo comportamento para o sódio, amônio, e também para cálcio e magnésio, mas não para o cloreto e nitrato. Pesquisas na Comunidade Santa Rosa (RO) (FERREIRA, 2015) e Vilhena (RO) (OLIVEIRA et al.,2015), não constataram influência da sazonalidade para sódio e potássio, mas sim para nitrato e fluoreto, com maiores concentrações no período de maior fluxo de água. Em Presidente Médici o mesmo comportamento para o íon nitrato foi relatado (LAUREANO et al., 2019).

6.3.3 Elementos traço

A contaminação por elementos traço pode ter origem em processos naturais (intemperismos e dissolução de rochas) ou antropogênicos (agricultura, mineração e indústria), os quais podem deteriorar a qualidade da água (BARZEGAR et al., 2017). Em virtude da bioacumulação e toxicidade dos mesmos, há grande preocupação da poluição de águas subterrâneas por elementos traço, e existem diversos estudos sobre elementos traço relacionados principalmente aos teores dos elementos, qualidade da água, fontes de poluição e riscos à saúde em todo mundo (MAITY et al., 2011; BUNDSCHUH et al., 2012; SAMAL et al., 2013; SAHA et al., 2017;QUIU et al., 2018; QUINO-LIMA et al., 2020).

A tabela 12 exibe a estatística descritiva (mediana, mínima e máximo) para os elementos alumínio, cobre, manganês, estrôncio e zinco.

O alumínio esteve com concentrações acima do valor permitido pela Portaria Nº 5/2017 e CONAMA 396/2008 (0,2 $mg.L^{-1}$) em oito pontos. Meschede et al. (2018), em estudos no estado do Pará com fontes subterrâneas que fornecem água para escolas infantis, encontraram teores de alumínio cinco vezes acima do recomendado pela legislação Brasileira. Alguns estudos apontam a relação de altas concentrações de alumínio em água potável com a doença de Alzheimer (RONDEAU et al., 2009; BHATTACHARJEE et al., 2014). Na pesquisa de Pavanello (2018) em Ouro Preto do Oeste-RO, também foi encontrado teores de alumínio acima

do recomendado em águas subterrâneas. Ambos autores atribuíram tal fato a processos naturais e não antropogênicos, mas sendo necessário estudo no solo para confirmação.

Tabela 12– Estatística descritiva dos resultados os elementos-traço obtidos.

VAZANTE						**LEGISLAÇÕES – m.L^{-1}**	
Elementos Traço	**Mediana**		**Mín - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017)	CONAMA 396/2008
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Al (mg.L-1)	0,060	0,030	0 - 0,710	0 - 0,100	0,1400	0,2	0,2
Cu (mg.L-1)	0,005	0,004	0,003-0,01	0,003-0,03	0,4793	2	2
Mn (mg.L-1)	0,004	0,004	0 - 0,210	0 - 0,009	0,6858	0,1	0,1
Sr (mg.L-1)	0,010	0,005	0 - 0,500	0 - 0,020	0,0972	-	-
Zn (mg.L-1)	0,020	0,030	0 - 0,300	0 - 0,070	0,0628	5	5
ÁGUAS BAIXAS							
Elementos Traço	**Mediana**		**Mín. - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017)	CONAMA 396/2008
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Al (mg.L-1)	0,070	0,030	0 - 0,870	0,010 - 0,048	0,4278	0,2	0,2
Cu (mg.L-1)	0,007	0,010	0,004-0,007	0,00002 - 0,020	0,3648	2	2
Mn (mg.L-1)	0,0008	0,003	0 - 0,008	0,0002 - 0,047	0,1708	0,1	0,1
Sr (mg.L-1)	0,004	0,006	0 - 0,010	0,002- 0,009	0,8208	-	-
Zn (mg.L-1)	0,010	0,030	0 - 0,020	0,010 - 0,10	0,0174	5	5
ENCHENTE							
Elementos Traço	**Mediana**		**Mín. - Máx**		**p-valor**	MS (nº 5/2017	CONAMA 396/2008
	Escavado	**Tubular**	**Escavado**	**Tubular**			
Al (mg.L-1)	0,060	0,040	0,010 - 0,750	0,010 - 0,067	0,2353	0,2	0,2
Cu (mg.L-1)	0,005	0,008	0 - 2,500	0,0009 - 2,100	0,6481	2	2
Mn (mg.L-1)	0,008	0,004	0,001 - 0,040	0,002 - 0,001	0,1208	0,1	0,1
Sr (mg.L-1)	0,010	0,004	0,0005 - 0,080	0,0006 - 0,020	0,0942	-	-
Zn (mg.L-1)	0,040	0,050	0,010 - 0,300	0,010 - 3,500	0,6050	5	5

Os teores de cobre só não ultrapassaram os limites de ambas as legislações Portaria nº 5/2017 e CONAMA 396/2008 (2 mg.L^{-1}) e dos valores naturais para águas subterrâneas (<2 mg.L^{-1}) (WHO, 2011), em apenas dois pontos. A toxicidade crônica desse elemento é rara em humanos, associado sobretudo a danos no fígado, e a intoxicação aguda leva a males gastrointestinais como náuseas, vômito, diarreia e dor abdominal (FRAGA, 2005). Concentração média de cobre próxima aos resultados deste trabalho, foi encontrado igualmente por Souza et al. (2014) em águas subterrâneas no estado do Pará.

Elevadas concentrações de manganês em águas subterrâneas tem como fontes alta atividade da dissolução de rochas ou esgoto industrial (LIAO et al., 2017) e líquidos provenientes de aterros sanitários (REZENDE et al., 2019) e podem causar danos ao cérebro,

como a síndrome de Parkinson (ASCHNER, 2000). Em apenas um ponto coletado o teor de manganês ultrapassou o limite da portaria (0,1 $mg.L^{-1}$), ademais, os valores foram baixos. Na Amazônia Peruana, Meyer et al. (2017) detectaram manganês em águas subterrâneas em concentrações prejudiciais à saúde humana, acima de 4 $mg.L^{-1}$. Pavanello (2018) detectou teores de manganês acima de 1,5 $mg.L^{-1}$ em Ouro Preto-RO, acima do recomendado pela legislação brasileira (2 1 $mg.L^{-1}$).

Atualmente o estrôncio não possui limites recomendáveis em água potável em ambas legislações do MS e CONAMA. Ele é um importante elemento para ossos e dentes humanos (SHIN et al., 2017). No entanto, Langley et al. (2009), mostram que ingestão de estrôncio pode representar ameaça à saúde humana devido seu papel no desenvolvimento esquelético anormal e calcificação óssea. Os teores de estrôncio nos pontos coletados foram baixos e em poços escavados a média. No Sul do país, teores de estrôncio já foram detectados em água subterrânea em concentrações variando de 0,005-0,181 $mg.L^{-1}$ (REZENDE et al., 2019).

Da mesma forma, para o elemento zinco, os teores foram baixos e dentro dos limites de ambas as legislações (5 $mg.L^{-1}$). O zinco é um dos elementos traço mais importantes do organismo humano, tendo três papéis biológicos principais: catalítico, regulador e estrutural. Contudo, ele também tem papel fisiopatológico em alguns distúrbios neurológicos, como na doença de Alzheimer, câncer, diabetes, depressão e doença de Wilson (CHASAPIS et al., 2012). Valores mais elevados, mas não acima do limite recomendado é relatado em água subterrâneas no Nordeste do país (0,264 $mg.L^{-1}$) (CASTILHO et al., 2014).

Os teores de elementos traço, em sua maioria, não ultrapassaram os valores estabelecidos pela Portaria nº05/2017 do Ministério da Saúde e Resolução CONAMA 396/2008. Outros trabalhos realizados no Brasil e em outros países corroboram com os resultados desta pesquisa (Tabela 13), com a maioria dos teores de elementos traço em águas subterrâneas abaixo de limites considerados nocivos.

Na cidade de Porto Velho, teores de elementos traço já foram analisados em sedimento de fundo de um igarapé presente na área urbana e em solo próximo ao lixão da cidade (SANTOS et al., 2012). Os autores concluíram que atividades antrópicas nas áreas estudadas influenciaram nos teores de elementos traço e também nas características imunológicas falar mais colocar valores.

Ribeiro (2019), também realizou análises de elementos traço em amostras de águas subterrâneas também em Porto Velho, encontrando valores irregulares com a Portaria nº 5/2017 do MS em apenas 6 pontos para o alumínio e em um ponto para o chumbo.

Tabela 13 – Valores médios ($mg.L^{-1}$) de elementos traço em água subterrânea obtidos neste trabalho e em outros estudos em estados brasileiros e outros países, N/A – Não analisado.

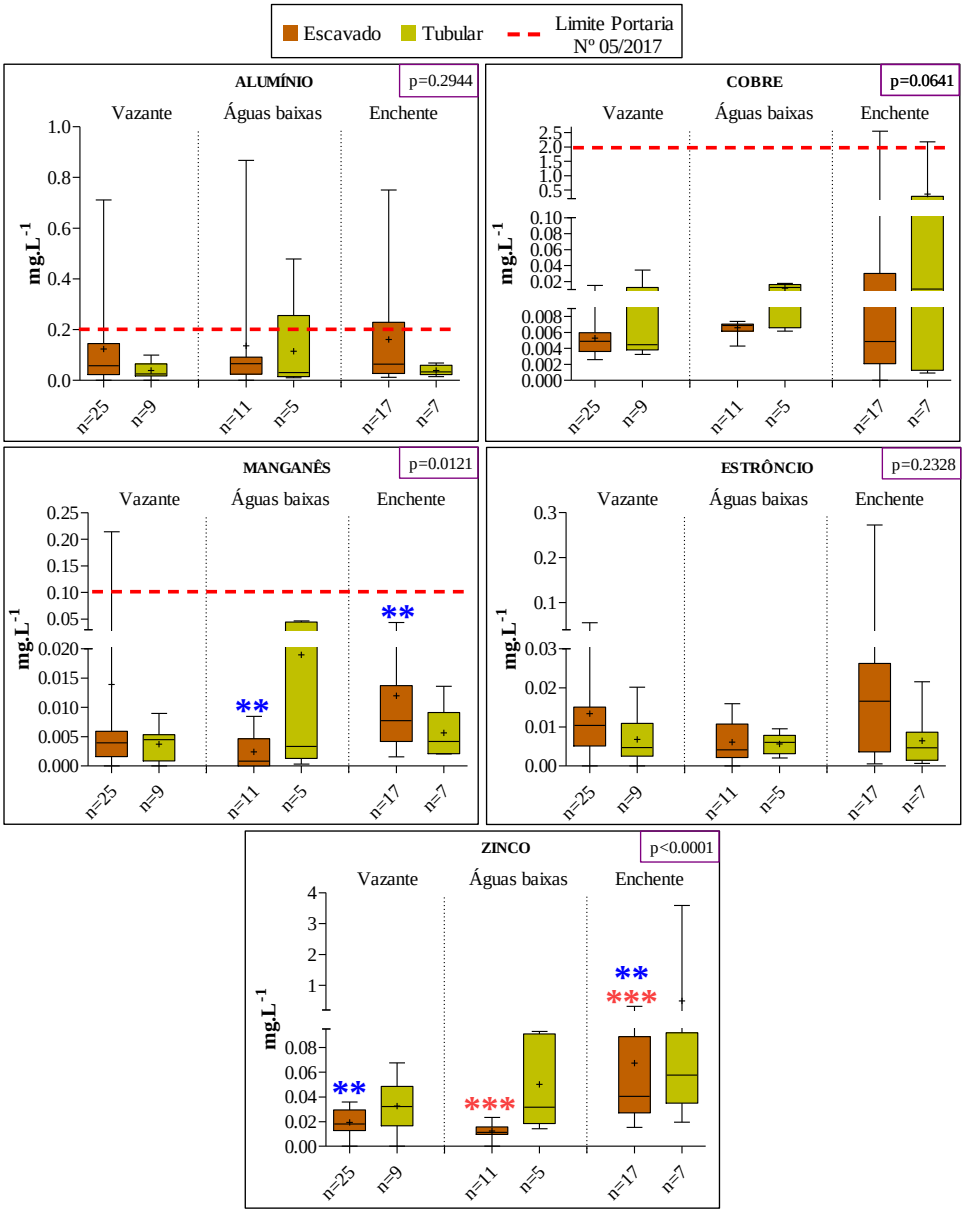
Local	Al	Cu	Mn	Sr	Zn	Referências
Índia	0,042	0,007	0,006	1,72	0,026	KHANDARE et al., 2015;
Japão	0,005	0,003	0,082	0,184	N/A	THUYET et al., 2016
Arábia Saudita	0,138	0,021	0,036	0,314	0,067	BRIMA, 2017
China	0,013	0,002	0,088	0,109	0,016	LIAO et al., 2017
	N/A	0,00006	0,104	N/A	0,0004	QIU et al., 2018
México	N/A	0,003	0,005	N/A	0,051	MORA et al., 2017
Bolívia	0,017	0,002	0,056	1,09	0,010	QUINO-LIMA et al., 2020
São Paulo	0,036	N/A	N/A	0,091	0,011	BONNOTO e ELLIOT,2017
	0,0004	1,3E-06	0,0002	0,0001	0,0002	LANGE, 2018
Rio Grande do Sul	N/A	0,002	N/A	N/A	0,048	SILVA, 2015
Paraná	N/A	0,017	0,012	N/A	0,130	MONTE BLANCO et al., 2018
Amazonas	0,0004	1,17E-05	2,00E-05	N/A	0,00003	LAGES, 2016
Bahia	N/A	0,002	0,136	N/A	N/A	SILVA et al., 2013
Porto Velho	0,14	0,005	0,011	0,018	0,033	Este estudo

Os elementos arsênio, cobalto, selênio, vanádio e antimônio não foram quantificados pois estiveram abaixo do limite de detecção que foram, respectivamente, 0,0153, 0,0268, 0,0090, 0,0365 e 0,0050 $mg.L^{-1}$. Para os elementos prata, bário, cádmio, cromo e molibdênio, as amostras ficaram abaixo do limite de detecção, os quais foram 0,0001, 0,0463, 0,0003, 0,0002 e 0,2347 $mg.L^{-1}$, respectivamente.

Na figura 12 é exposto a comparação sazonal para cada elemento traço quantificado. Diferenças estatísticas só foram observadas para os elementos manganês e zinco. Para o manganês, as concentrações foram maiores em período de enchente em relação ao período de águas baixas. Para o zinco, concentrações maiores foram observadas também no período de enchente, em relação tanto aos períodos de vazante e águas baixas. Tal como citado nas análises iônicas, o período de enchente aqui se destaca por possibilitar maior carreamento dos elementos traço, portanto, processos naturais como lixiviação podem ter sobressaído sobre processos de diluição que o período de cheia (enchente e águas altas) também podem causar. Pavanello (2018), em águas subterrâneas de Ouro Preto do Oeste-RO, também encontrou concentrações

mais altas de zinco em período chuvoso, diferença não observada para o manganês. Fato igualmente observado por Martins (2011), em águas subterrâneas de Ji-Paraná-RO.

Figura 12 – Boxplot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) da comparação sazonal para cátions e ânions nas águas subterrâneas dos poços escavados e tubulares da cidade de Porto Velho (RO).



6.4 Parâmetros microbiológicos

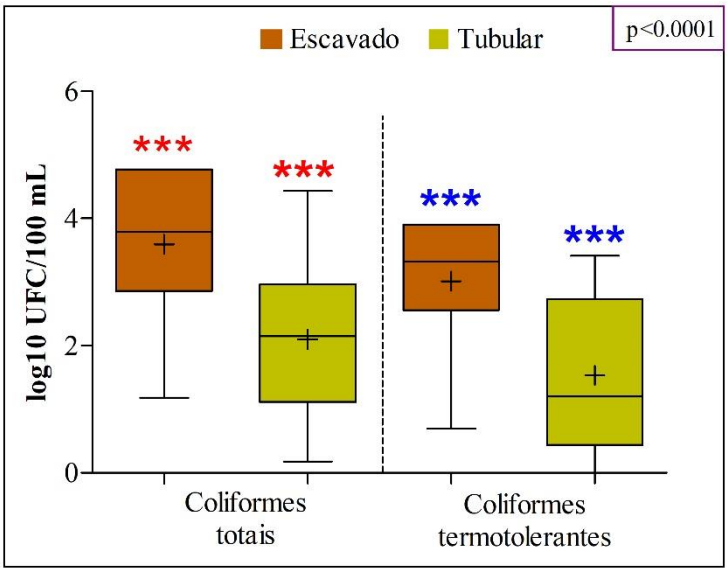
6.4.1 Coliformes totais e coliformes termotolerantes

Dos poços amostrados, 89% (n=66) apresentaram presença para os coliformes totais, com valores variando de 1.500 a 59.000 UFC/100 mL (Unidades Formadoras de Colônias). Em

81% (n=60) houve presença de coliformes termotolerantes com valores variando de 1 a 8.000 UFC/100 mL. Distribuindo esses valores para os tipos de poços, 96% (n=49) dos poços escavados apresentaram coliformes totais e em 90% (n=46) coliformes termotolerantes. Já nos tubulares, 74% (n=17) apresentaram presença para coliformes totais e 61% (n=14) para termotolerantes. Águas destinadas ao consumo, segundo a portaria nº 05/2017, deve ter ausência de *E. coli* e coliformes termotolerantes em 100 mL.

Na figura 13 encontra-se a representação das densidades para os pontos com presença. Foi identificada diferença significativa entre os poços tubulares e os escavados, com os poços tubulares apresentando menores valores de coliformes totais e termotolerantes.

Figura 13 - Box plot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) de UFC/100 mL de coliformes totais termotolerantes nas águas dos poços de Porto Velho (RO).



Na figura 14 encontra-se a distribuição espacial de coliformes termotolerantes para os pontos amostrados na área de estudo e valores UFC/100 mL conforme legenda.

A presença de coliformes nas águas subterrâneas já foi observada em diversos estudos no Estado de Rondônia. Alguns destes estudos são apresentados na tabela 14.

Figura 14 - Distribuição espacial dos valores de coliformes termotolerantes das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO).

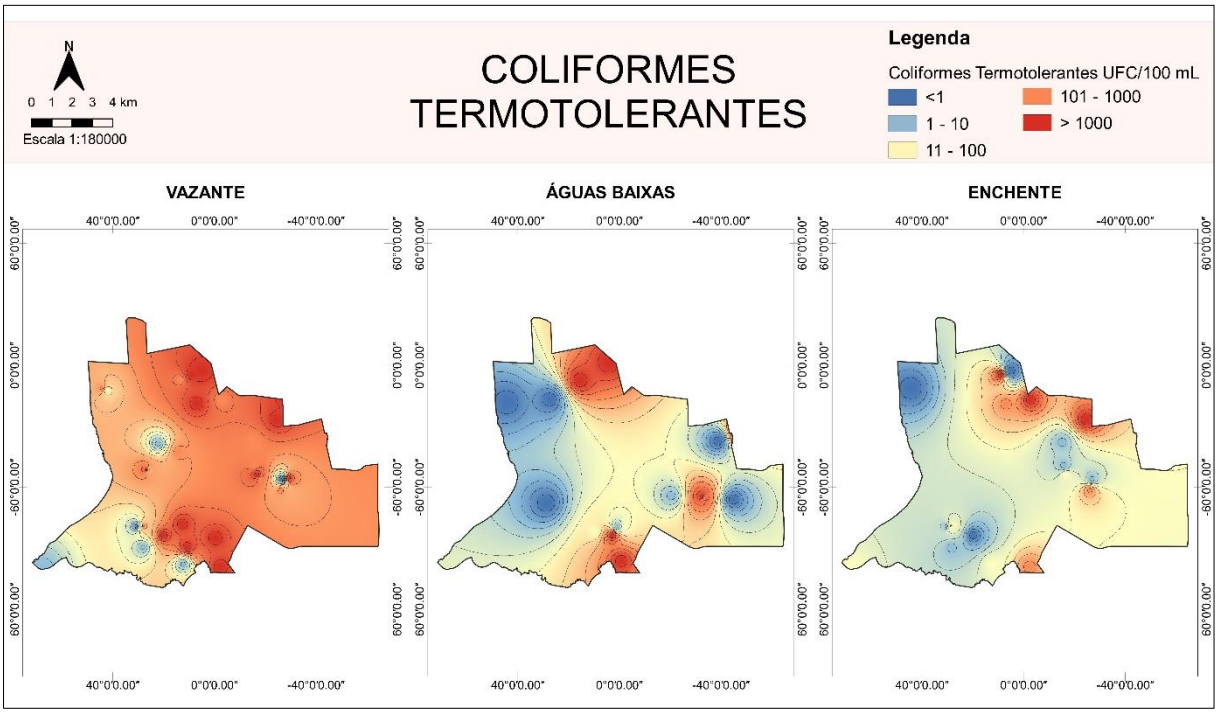


Tabela 14 – Valores médios (UFC/100 mL) de coliformes totais e termotolerantes nas águas d poços obtidos neste trabalho e em outras localidades no Estado de Rondônia.

Local	Coliformes totais	Coliformes Termotolerantes	Referências
Buritis	161800	27820	ZAN et al., 2012
Cacoal	>100	>100	(CARDOSO et al., 2010
Vilhena	1330	430	OLIVEIRA et al., 2015
Jaci-Paraná	690	170	LAUTHARTTE et al., 2016
Ariquemes	17100	2920	FAUSTINO et al., 2013
	>1*	>1*	MAGALHÃES, 2016
Ji-Paraná	140	67	HELBEL, 2011
	2548	514	MARTINS, 2011
	9120	3230	CREMONESE, 2014
Nova Londrina	16600	1400	RAMOS, 2017
Nova Colina	18800	3770	
Presidente-Médici	14360	3920	LAUREANO et al., 2019
Ouro Preto do Oeste	11890	1640	PAVANELLO, 2018
Santa Rosa	14150	4400	FERREIRA, 2015
Porto Velho	4190**	1930**	RODRIGUES et al, 2014
Porto Velho	8320	1530	Este estudo

*Apenas teste de presença/ausência; **Número Mais Provável.

O percentual de coliformes termotolerantes encontrado por Rodrigues (2008) na cidade de Porto Velho em poços escavados foi de 85%. O autor atribuiu o índice elevado em parte aos

fluxos elevados do lençol freático e sua direção, que se volta para as áreas mais baixas da cidade, causando impactos maiores em lugares com menores declividades. De forma a potencializar a contaminação da água, principalmente com o aporte recebido dos igarapés, os quais são afetados por lançamentos de esgotos domésticos.

Situação semelhante foi observada nesta pesquisa, no qual em um ponto coletado na Zona 1, devido as observações sanitárias do local, esperava-se valores muito elevados de coliformes, no entanto, o resultado foi de 40 UFC/100 mL. Essa residência localiza-se em um ponto alto de declividade. Já em um ponto muito próximo, em uma área mais baixa, também foi coletado, apresentando 375 UFC/100 mL, evidenciando a influência do fluxo da água subterrânea.

O outro fator atribuído por Rodrigues (2008) para a contribuição dos níveis de coliformes, está ligado a falta de saneamento na cidade, construção de fossas e poços sem critérios de segurança e lançamentos de resíduos sólidos próximos ou dentro de poços, córregos e igarapés. Exatamente dez anos depois, essas ainda são as mesmas circunstâncias que foram observadas e que podem estar contribuindo para a contaminação das águas subterrâneas na área de estudo.

Em relação aos poços tubulares, dados da CPRM (2015) apresentaram presença de coliformes, mesmo que em menores proporções, em poços tubulares da área urbana de Porto Velho.

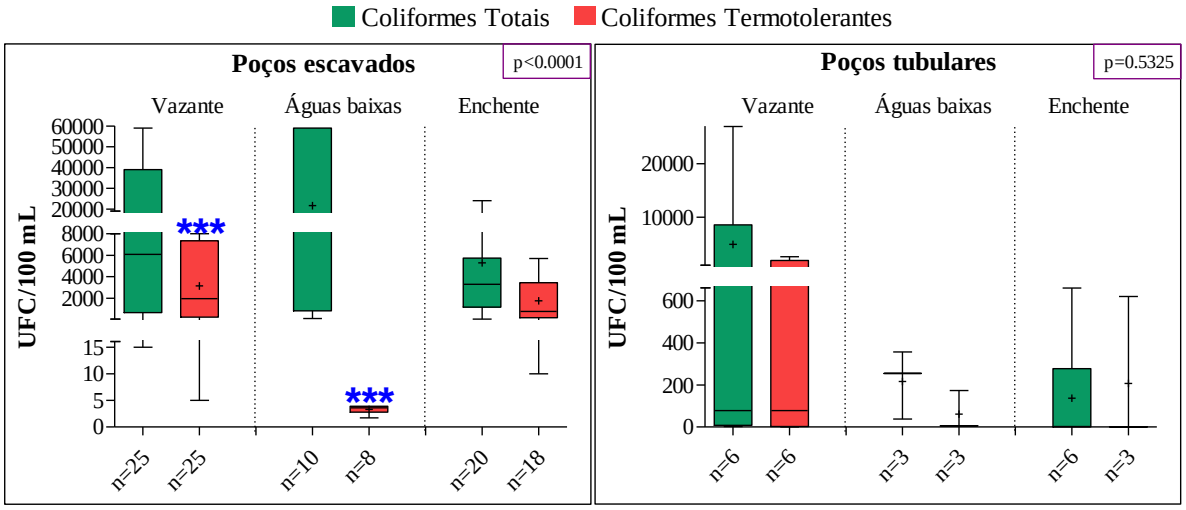
A presença de coliformes nos poços tubulares também foi verificada nesta pesquisa. Isso acontece porque os poços passam a ser desativados e podem ficar abertos, expondo o aquífero ao meio externo. Esta situação piora quando muitos poços, não só tubulares como escavados (Figura 15) além de desativados também são feitos de fossas e lixões, o que atinge diretamente o aquífero, e também vários poços são construídos fora dos padrões e de forma clandestina.

Quanto a comparação sazonal para os coliformes, a figura 16 exibe a distribuição dos valores para cada período e tipo de poço.

Figura 15 – Poço escavado observado em coleta de campo (desativado e com lixos).

Fonte: Autora

Figura 16 - Box plot (mín/máx, inf/sup quartil, mediana, média) dos valores de coliformes dos pontos coletados em poços escavados nos períodos sazonais.



Com relação aos poços escavados, percebe-se que a densidade de coliformes totais não foi influenciada pela sazonalidade, mas a de coliformes termotolerantes apresentou diferença estatística entre os períodos águas baixas e vazante, com maiores concentrações neste último.

Quanto aos poços tubulares, o teste estatístico aplicado não evidenciou diferenças entre os períodos sazonais, certamente tal resultado esteja relacionado ao menor n amostral. Entretanto foi observado para esse tipo de poço, densidades mais elevadas no período de vazante. No período de vazante, as águas dos poços ainda podem estar próximas ou até mesmo próximas com a superfície, contribuindo para que haja o contato das águas subterrâneas com

possíveis fontes poluidoras. Desta forma há introdução de maiores aportes de contaminantes microbiológicos no aquífero livre, o que posteriormente pode atingir o aquífero semiconfinado.

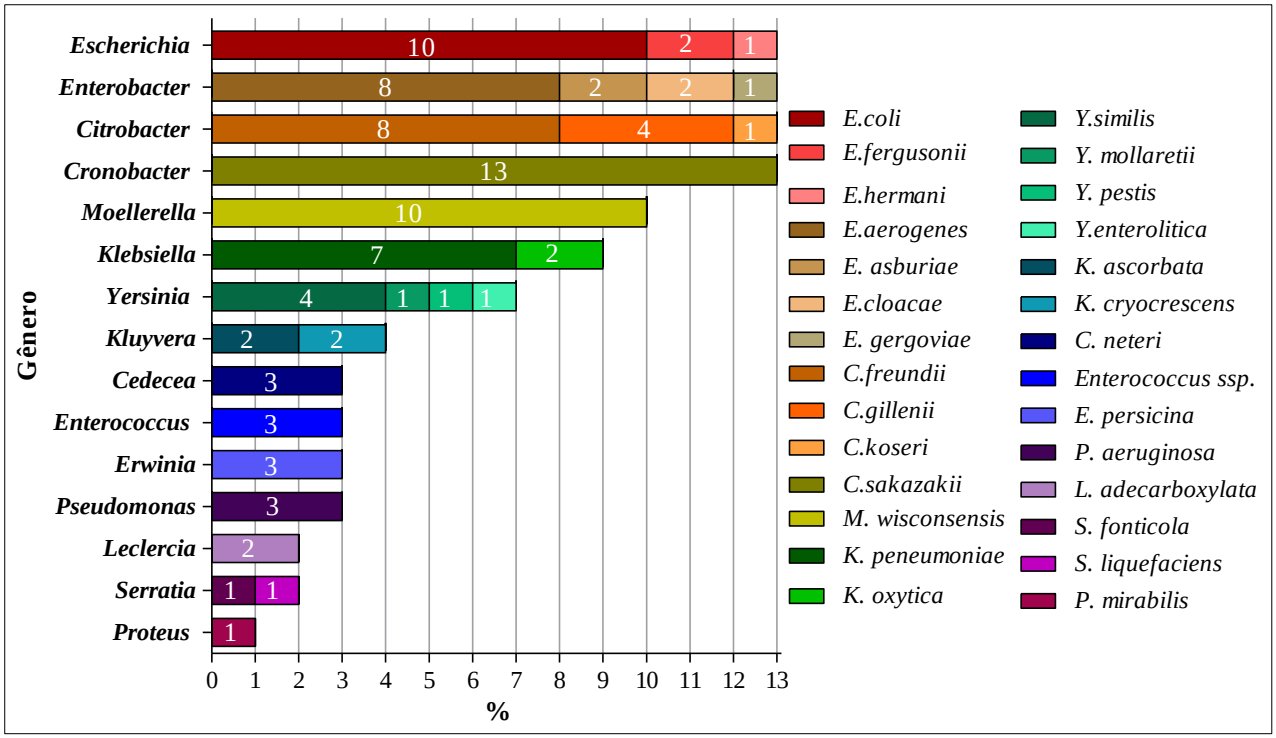
Das pesquisas que quantificaram a densidade de coliformes em água subterrânea no Estado de Rondônia aqui já citadas, Cremonese (2014), Ferreira (2015), Oliveira et al., (2015) e Pavanello (2018), encontraram maiores densidades de coliformes totais e termotolerantes nos períodos chuvosos.

6.4.2 Identificação bioquímica das bactérias

No que concerne a identificação em nível de gênero e espécie das bactérias presentes nas águas coletadas, a figura 17 mostra quais gêneros foram identificados e suas respectivas porcentagens, assim como cada espécie dentro de cada gênero.

Identificou-se 15 gêneros, nos quais quatro tiveram maior predominância: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Cronobacter*, todos com 13%. Em seguida, com 10%, 9% e 7% respectivamente, aparecem os gêneros *Moellerella*, *Klebsiella* e *Yersinia*. Os demais gêneros tiveram frequências abaixo de 4%.

Figura 17 - Distribuição percentual dos gêneros e espécies das bactérias nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho-RO.



Achados semelhantes, bactérias dos gêneros *Escherichia* e *Klebsiella* foram encontradas em águas de poços tubulares na faixa costeira leste da região metropolitana de Fortaleza -CE,

onde as águas subterrâneas estavam sob influências de atividade antrópicas, ocupação irregular da terra e captação desordenada e sem criticidade técnica dos poços (CAVALCANTE et al., 2004). Outro dado que corrobora com os gêneros encontrados neste estudo, é a pesquisa de coliformes em poços rasos no município de Teixeira de Freitas-BA. Os gêneros de maiores frequências encontrados pelos autores foram *Klebsiella* (26,6%) e *Escherichia* (23,3%), também constataram a presença de *Providencia*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* e *Yersinia* (REIS e FORTUNA, 2014). Barcelos et al. (2016), identificaram as seguintes espécies em águas subterrâneas de poços tubulares de duas cidades do estado do Espírito Santo: *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter gergoviae*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia rubideae* e *Enterococcus* sp.

Pesquisas na região norte, e em todo Brasil, sobre a identificação em gênero de enterobactérias são mais comuns em amostras clínicas (fezes, urina, sangue, entre outros) do que em água, devido à necessidade de escolha do tratamento mais adequado. Em amostras de águas, os estudos comumente se resumem na presença ou ausência de coliformes totais, termotolerantes e *E.coli*, pois o tratamento, não dependendo de especificação, seria o mesmo, através da desinfecção, conforme determina a Portaria de Consolidação nº05/2017 do Ministério da Saúde, além de ser mais caro a identificação em gêneros e necessitar de experiência do pesquisador.

A Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), sobre diretrizes ambientais das águas subterrâneas, cita também a verificação de enterococos e, a Resolução 275/2005 da ANVISA (BRASIL, 2005), que dispõem sobre padrões de potabilidade de águas minerais e água naturais, acrescenta os enterococos, *Pseudomonas aeruginosa* e clostrídios. Neste cenário, diagnósticos microbiológicos que se resumem apenas na identificação dos coliformes, subestimam as enterobactérias não consideradas coliformes que podem estar presentes nas águas, como *Salmonella* e *Shigella*, e identificadas neste estudo em menor frequência (*Moellerella*, *Proteus*, *Cedecea*, *Kluyvera*), as quais são patógenos oportunistas, podem representar riscos em pessoas imunodeprimidas, crianças e idosos.

Na figura 17 também podemos observar que das 27 espécies de bactérias identificadas, a de maior predominância foi a *Cronobacter sakazakki* (13%). Esta bactéria é muito associada a contaminação de alimentos infantis. Em relação a outras infecções, há um número relativamente pequeno de casos (SILVA et al., 2017).

A segunda maior ocorrência foi *Escherichia coli* (10%), suas cepas patogênicas causam, sobretudo, gastroenterites (diarreia, vômito, dor abdominal). Um estudo com amostras de água de bebedouro e torneiras (abastecidas por poço tubular) de quatro Unidades Públicas de Saúde de Porto Velho constataram presença de *E. coli* (75%) e também de *Klebsiella* (40%) (BASTOS e GAZOLA, 2017).

Com 10% de ocorrência também, foi a bactéria *Moellerella wisconsensis*. O poder patogênico desta bactéria ainda é pouco conhecido, mas há evidências de sua relação com a diarreia humana, sendo a água uma fonte provável de infecção (HICKMAM-BRENNER et al., 1984; ANASTÁCIO e LEÃO, 2016).

Enterobacter aerogenes teve uma porcentagem de 8%, outras espécies desse gênero foram *E. asburiae* (2%), *E. cloacae*, E. *gergoviae* (1%). As bactérias deste gênero ocasionam quase que unicamente infecções de aquisição nosocomial, como meningite, infecções urinárias, pneumonia, entre outros (SOTO e DIFABIO, 2010). De acordo com o boletim informativo sobre qualidade dos serviços de saúde de 2014 da ANVISA (2014), *Enterobacter* ssp. ficou em 9º em microrganismos notificados como agentes etiológicos de infecção primária de corrente sanguínea confirmada laboratorialmente (IPCSL) em pacientes adultos hospitalizados em UTIs, e em 7ª e 5ª posição em UTI pediátrica e neonatal, respectivamente.

Com porcentagem de também 8 % esteve a bactéria *Citrobacter freundii*. Outras bactérias desse gênero foram *C. gillenii* (4%) e *C. koseri* (1%). Essas bactérias podem ser cultivadas em vias do trato respiratório, sendo frequentemente mais colonização do que infecção sintomática (GARCÍA e RODRÍGUEZ, 2010).

Klebsiella peneumoniae também teve uma porcentagem significativa, com 7%. A outra espécie desse gênero, *K. oxytoca*, teve frequência de apenas 2%. Estas duas espécies oportunistas são as mais isoladas do gênero e são capazes de causar ITU (Infecção do Trato Urinário) e pneumonia em indivíduos saudáveis, apesar de que quase todas as infecções com esses organismos ocorrerem no âmbito hospitalar ou são adquiridas em pacientes enfraquecidos (ASENSIO et al., 2000; BERRAZEG et al., 2013).

As espécies *Yersinia similis* esteve com 4% de frequência, as demais espécies do gênero com 1% cada (*Y. mollaretii*, *Y. pestis*, e *Y. enterolitica*). As espécies deste gênero que são patogênicas ao homem, *Y. pesti* e *Y. enterolitica*, são zoonoses que geralmente afetam suínos, aves e roedores, onde o homem é um hospedeiro acidental da infecção. *Y. pestis* é o agente

etiológico da peste, uma das doenças mais devastadoras da história (GARCÍA e RODRÍGUEZ, 2010; MURRAY et al., 2014).

O gênero *Kluyvera* teve representantes com a *K. ascorbata* (2%) e *K. cryocrescens* (2%), as quais são as mais encontradas em isolados clínicos. Fazem parte da microbiota normal do trato digestivo humano, porém associadas a baixas concentrações bacterianas, dado que são raros o isolamento em infecções clínicas. *K. ascorbata* pode causar um amplo espectro de infecções, além de infecções hospitalares, já foram relatadas infecções no trato gastrointestinal e urinário em pessoas imunodeprimidas (CARTER et al., 2008; BOLAT et al., 2013).

Cedecea neteri teve uma frequência de 2%. Não se conhece o habitat natural das espécies do gênero *Cedecea*, mas a presença no ambiente pode estra refletindo contaminação fecal. É classificado como patógeno oportunista, causando bacteremia e septicemia (DALAMAGA e VRIONI, 2011).

Como para *Enterococcus* foi feita apenas a identificação presuntiva, não houve identificação a nível de espécie, sendo necessário testes adicionais, este gênero teve ocorrência de 3%. Segundo Svec e DeVriese (2009), os enterococos são contaminantes transitórios de plantas possivelmente disseminados por insetos. A sua presença na água é considerada indicador de contaminação fecal, normalmente tratado como indicador de contaminação remota pelo fato de conseguir sobreviver longos períodos. As espécies *E. faecalis* e *E. faecium* estão relacionadas a patologias como infecções urinárias e endocardites (KAYAOGLU e ORSTAVIK, 2004).

A espécie *Erwinia persicina* apresentou frequência de 3%, sendo raro infecção em humanos, no qual já foi registrado dois casos antigos de infecção humana. (O'HARA et. al, 1998). Mohamaden et al. (2019) concluíram que essa espécie não causa bacteremia, mas pode induzir lesões patológicas em diferentes tecidos de mamíferos, indicando a liberação de agentes citotóxicos nos sistemas linfático ou circulatório.

A bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, a qual também apresentou frequência de 3%, é a espécie mais virulenta do gênero (NGWA et al., 2017). É uma espécie invasora e oportunista encontrada em vários ambientes, suas patologias incluem infecções nosocomiais graves e infecções sistêmicas humanas, como pneumonia, osteomielite, endocardite, infecções no trato urinário e gastrointestinal, meningite e septicemia em pessoas imunodeprimidos (crianças, idosos e pessoas internadas) (STOLER et al., 2015; WU, 2016). Em sua maioria, as infeções pelo gênero *Pseudomonas* são resultados do contato ou uso de fluido contaminados, tal como

água, sangue ou desinfetantes no ambiente hospitalar (MENA e GERBA, 2009). Gerba (2015) afirma que infecções por *Pseudomonas aeruginosa*, bem como outros agentes patogênicos, possuem como fonte mais importante a água, desta forma, podendo contribuir para infecções graves principalmente em lugares de cuidado de saúde.

A espécie *Leclercia adecarboxylata* apresentou frequência de 2%. É um microrganismo de distribuição universal e apenas alguns poucos casos de patogenias foram relatados na literatura. Considerado um patógeno oportunista, com relatos em hospedeiros imunodeprimidos e infecções polimicrobianas em hospedeiros imunocompetentes (BALI et al., 2013; THIRUNAVUKKARASU et al., 2014).

O gênero *Serratia* teve frequência de 1% tanto para *S. odorifera* quanto para *S. rubidae*. Para estas espécies raramente foram relatados casos de doenças, sendo mais comum para *S. marcenses*, como bacteremias, infecções do trato urinário e feridas cirúrgicas (GARCÍA; RODRÍGUEZ, 2010).

A espécie *Proteus mirabilis* teve frequência de 1%. Infecção no trato urinário causada por *P. mirabilis*, é a infecção mais frequente do gênero, também pode causar outras infecções, principalmente em pacientes hospitalizados (MURRAY et al., 2014).

Como se sabe, os membros da família *Enterobacteraceae* assim como os gêneros dos enterococos e *Pseudomonas* são ubiquitários, nos quais todos podem ser encontrados na água, porém alguns em menos frequência e quantidade. Conforme citado, todas podem estar relacionadas a patologias. Nesse contexto, surgem as chamadas doenças de veiculação hídrica, que são aquelas que a água age como veículo de agentes infeciosos, sendo o grupo das bactérias um desses agentes, com patologias como diarreias, diarreias aguda e disenterias (SANTOS, 2006b; DUTRA et al., 2016). A Secretária de Vigilância em Saúde afirma que as taxas de urbanização podem indiretamente aumentar as internações e óbitos relacionados ao saneamento ambiental inadequado, como reflexo de um crescimento desordenado que resulta na falta de serviços como saneamento básico, moradia e acesso à saúde. A Secretária também faz uso de um indicador chamado DRSAI (Doenças Relacionadas a um Saneamento Ambiental Inadequado), o qual junta dados do saneamento básico, econômicos e os dados de doenças de veiculação hídrica (BRASIL, 2015). O termo “saneamento ambiental inadequado”, engloba os seguintes fatores de risco: esgotamento sanitário inadequado, abastecimento de água deficiente, contaminação por resíduos sólidos, e condições precárias de moradias (MONTEIRO et al.,

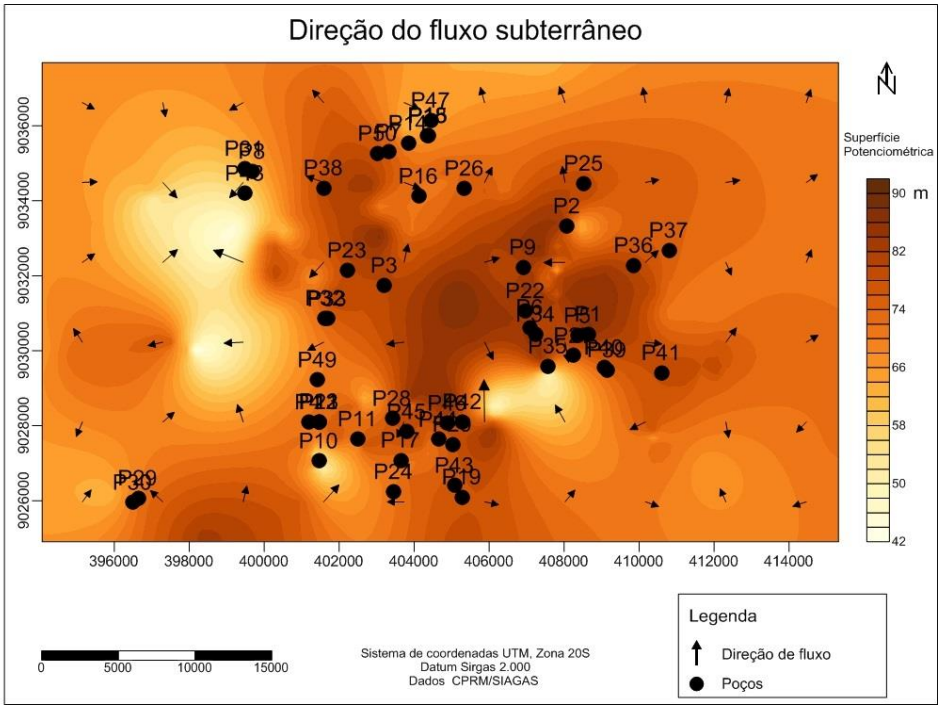
2002). O Estado de Rondônia, no ano de 2013, para esse indicador, esteve com uma taxa de quase 500 internações por 100 mil habitantes (BRASIL, 2015).

Em específico à cidade de Porto Velho, no ano de 2018, foram registradas 334 internações e 9 óbitos por doenças de veiculação hídrica, e 203 internações por diarreias. Para esse mesmo ano, as despesas com as internações para essas doenças passaram de 115 mil reais (BRASIL, 2018). A expansão dos serviços de água tratada e esgoto iria propiciar além da promoção da qualidade de vida, ganhos em outros setores, principalmente econômicos (TARTA BRASIL, 2018b).

6.5 Fluxo da água subterrânea

Na figura 18 é possível observar a direção do fluxo hídrico subterrâneo na área dos pontos coletados. Nota-se regiões de altos potenciométricos nas zonas 2, 3, 4 e 5 (regiões leste e sul), e predominância de vales na zona 1 (região centro sul e norte) e em menor proporção também nas zonas 5 e 3.

Figura 18 – Fluxo subterrâneo do perímetro urbano da cidade de Porto Velho (RO).



Essas regiões com maiores altimetrias conduzem o fluxo da água para diferentes direções por gravidade para locais menos altimétricos. Estando essas áreas poluídas, podem espalhar uma pluma de contaminação para outras zonas (RODRIGUES, 2014). Averiguando as direções do fluxo com os valores dos contaminantes estudados, é possível observar alguns pontos como potenciais contribuintes microbiológicos, nitrato e valores de condutividade

elétrica. Para os coliformes termotolerantes, por exemplo, dois pontos com alta potenciometria e com alta densidade de bactérias (P16 e P22) podem ter influenciado com o fluxo na densidade de pontos próximos (P26, P6 e P34). Seguindo essa mesma dinâmica para o nitrato, na qual dois pontos com altas concentrações (P3 e P38), atuaram como potenciais contaminantes a pontos próximos com menor altimetria (P8, P31, P16). O mesmo comportamento foi observado para estes mesmos pontos para o parâmetro Condutividade Elétrica.

Tal como já citado, a alta densidade dos contaminantes microbiológicos e valores dos íons, principalmente o nitrato, refletem a grande carga poluidora provinda principalmente das fossas construídas sem criticidade e ausência de tratamento de esgoto. Além disso, a área estuda possui em quase 90% de sua área, a ocorrência de aquífero tipo livre (CPRM, 2017), os quais são mais suscetíveis a contaminação por serem permeáveis aos fluxos de vários contaminantes.

7 CONCLUSÃO

Foi possível concluir que as águas subterrâneas da cidade de Porto Velho sofrem altas contaminações microbiológicas. Até mesmo poços mais profundos estão suscetíveis à contaminações. Foram 61% de poços tubulares com presença de coliformes termotolerantes, contaminação provinda principalmente das construções inadequadas de fossas sépticas e negras, e abandono de poços já perfurados. Os poços tubulares apresentaram menores valores de coliformes justamente por serem mais profundos e captarem água do aquífero semiconfinado, que são menos suscetíveis a contaminações. Foi constatado a presença de bactérias do grupo das enterobactérias e dos gêneros *Enterococcus* sp. e *Pseudomonas* sp., no qual do grupo das enterobactérias os principais gêneros foram *Escherichia, Enterobacter, Citrobacter* e *Cronobacter*.

Também foi possível quantificar os teores de cátions e ânions, dentre os quais apenas o nitrato apresentou médias acima do recomendo na legislação, com média para poços escavados de 24 $mg.L^{-1}$ e para poços tubulares de 14,1 $mg.L^{-1}$. Isso é um indicativo do efeito das atividades antrópicas, em especial, do reflexo da falta de saneamento básico na cidade, onde água residuais são lançadas no ambiente sem nenhum tipo de tratamento. Em relação as concentrações dos elementos traço, foram quantificados teores de alumínio, cobre, manganês, estrôncio e zinco. Em 11 pontos foram observadas concentrações acima do recomendado, sendo oito para alumínio, dois para cobre e um para manganês.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, nitrato, sódio, cloreto, amônio e coliformes termotolerantes, foram influenciados pela sazonalidade, no qual em períodos onde água está em movimento (vazante ou enchente) estiveram com valores maiores em relação ao período de águas baixas.

Mapas temáticos foram confeccionados para os principais parâmetros indicativos da contaminação por ação antrópica, condutividade elétrica, nitrato e coliformes termotolerantes, os quais podem contribuir para futuros estudos nas águas subterrâneas da cidade, bem como para gestão desse recurso pelos órgãos competentes.

RECOMENDAÇÕES

É de extrema importância a realização de ações por parte do poder público no que diz respeito a carência de saneamento básico na cidade, um dos principais fatores e o mais importante na contribuição para a degradação dos recursos subterrâneos. Assim como investimentos na orientação da população quanto as soluções alternativas individuais no tratamento de água, principalmente no período chuvoso, com o intuito de preservar a saúde humana. Do mesmo modo, recomenda-se ações para mitigação das fontes poluidoras além da falta de saneamento, como por exemplo, vedação de poços abandonados, orientação para construção de poços e sistemas sépticos seguros.

REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos:** NBR-7229. Rio de Janeiro, 1993.

ADAMY, A. **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. 337 p.

ALVES, J.; JÚNIOR, A. T. A migração do trabalho para o Complexo Hidrelétrico Madeira. In: JORNADA DO TRABALHO, 12, 2012, Presidente Prudente, SP. Anais da XII Jornada do Trabalho, São Paulo. ISSN 978-85-60711-19-2

ALVES, M. H. **Modelo conceitual hidrogeológico do sistema aquífero poroso na área urbana e de expansão de Porto Velho, Rondônia**. 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Cadernos de Recursos Hídricos.Brasília: Ed. ANA, 2005. 134 p.

ANA. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília, 2007. 124 p.

ANA. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH. Célio Augusto Pedrosa e Francisco A. Caetano (el.). Brasília, ago, 2002.

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

ANA. ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores. Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2019.

ANASTÁCIO, S.; LEÃO, H. *Moellerella wisconsensis*: what's its role in cattle disease? **Experimental Pathology and Health Sciences**, v.8, n.1, p. 35-36, 2016.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Boletim Informativo nº 07/2014: Segurança do Paciente e Qualidade em Serviços de Saúde. Rede Nacional de Monitoramento da Resistência Microbiana em Serviços de Saúde - Rede RM: Resistência Microbiana em IPCSL relacionada a CVC em UTI (2012). Março de 2014. Disponível em: <https://www20.anvisa.gov.br/segurancadopaciente/index.php/publicacoes/item/07-rede-nacional-de-monitoramento-da-resistencia-microbiana-em-servicos-de-saude-rede-rm-resistencia-microbiana-em-ipcsl-relacionada-a-cvc-em-uti-2012>. Acesso em 21 mai. 2019.

ANVISA-Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de Microbiologia Clínica para o Controle de Infecção em Serviços de Saúde**. 1. ed. Brasília: Editora Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2004. 95 p.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**., 18th ed. American public health association, Washington D.C, 1992.

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.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. Contaminações em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina-Pe. **Estudos Geológicos**, v. 22, n. 2, p. 149 – 171, 2012.

ASCHNER, M. Manganese: brain transport and emerging research needs. **Environ. Health Perspect**, v. 108, p. 429–432, 2000.

ASENSIO, A.; OLIVER A.; GONZÁLEZ-DIEGO, P.; BAQUERO, F.; PÉREZ-DÍAZ, J.C.; ROS, P.; COBO, J.; PALACIOS, M.; LASHERAS, D.; CANTÓN, R. Outbreak of a multiresistant Klebsiella pneumoniae strain in an intensive care unit: antibiotic use as risk factor for colonization and infection. **Clinical Infection Diseases**, v.30, n.1, p.55-60, 2000.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: Compostagem e Biodigestão Anaeróbia**. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/SP, 2007.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUÍZ, J. G. CaracterizaçãoHidrogeoquímica das Águas Subterrâneas na Área de Abrangência do Reservatório de Abastecimento Público do Utinga – Belém (PA). **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo. v. 25, n. 01, p. 43-46, 2011.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry**. 4ª ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. 776 p.

BALI, R.; SHARMA, P.; GUPTA, K.; NAGRATH, S. Pharyngeal and peri-tonsillar abscess due to *Leclercia adecarboxylata* in an immune-competent patient. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v.7, n.1, p.46-50,2013.

BARCELOS, D. H.; KNIDEL, C.; MATTOS R. O.; CASTRO, A. P. F.; KAISER T. D. L. Pesquisa de enterobactérias resistentes a antimicrobianos isoladas em poços tubulares na região serrana do Espírito Santo (Brasil). **Águas Subterrâneas,** v.30, n.1, p.53-61, 2016.

BARZEGAR, R.; ASGHARI MOGHADDAM, A.; TZIRITIS, E.; FAKHRI, M.; SOLTANI, S. Identification of hydrogeochemical processes and pollution sources of groundwater resources in the Marand plain, northwest of Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 7, Apr. 2017.

BASTOS, J. S. F.; GAZOLA, H. Q. G. B. Qualidade microbiológica da água de consumo em Unidades de Saúde do município de Porto Velho – Rondônia – Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 14, n. 26, p. 1343-1351, 2017.

BERRAZEG, M.; DIENE, S. M.; DRISSI, M.; KEMPF, M.; RICHET, H.; LANDRAUD, L.; ROLAIN, J. M. Biotyping of Multidrug-Resistant Klebsiella pneumoniae Clinical Isolates from France and Algeria Using MALDI-TOF MS. **PLoS One**, v. 8, n. 4, 2013.

BHATTACHARJEE, S.; ZHAO, Y.; HILL, J.; PERCY, M.; LUKIW, W. Aluminum and its potential contribution to Alzheimer's disease (AD). **Frontiers in aging neuroscience**, v 6, n. 62, 2014.

BOLAT, F.; KILIC, S. C.; ABACI, C.; CEVIT, O.; GULTEKIN, A. A neonate with *Kluyvera* sepsis: a case report. Iranian Journal of Pediatrics. v.23, n.3, p.371-372, 2013.

BONOTTO, D.; ELLIOT, T. Trace elements, REEs and stable isotopes (B, Sr) in GAS groundwater, São Paulo State, Brazil. **Environmental Earth Sciences,** v. 76, n. 7, 2017.

BORGES, V. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, PEDRO, A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná – Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v.31, n.4, p.327-337, 2017.

BRASIL. Constituição (1998). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o código de Águas. 113º da Independência e 46º da República. 1934.

BRASIL. Lei no 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. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1981.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília/DF, Set., 2017.

BRASIL. **Manual de fluoretação da água para consumo humano.** Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2012b. 72 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução Nº 466, de 12 de dezembro de 2012a. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014.112 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 275, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico de características microbiológicas para água mineral natural e água natura. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegiN/Anvisa/2005/rdc0275_22_09_2005.html>. Acesso em: 21 mai. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial da Saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília : Ministério da Saúde, 2015. 37 p. : il. Modo de acesso: World Wide Web: . ISBN 978-85-334-2234-6

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei nº 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 20 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO nº 107, de 13 de abril de 2010. Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

BRIMA, E. I. Physicochemical properties and the concentration of anions, major and trace elements in groundwater, treated drinking water and bottled drinking water in Najran area, KSA. **Appl Water Sci**, v. 7, p. 401–410, 2017.

BUNDSCHUH, J.; LITTER, M. I.; PARVEZ, F.; ROMÁN-ROSS, G.; NICOLLI, H. B.; JIIN-SHUH, J.; CHEN-WUING, L.; LÓPEZ, ARMIENTA, M. A.; GUILHERME, L. R. G.; GOMEZ CUEVAS, A.; CORNEJO, L.; CUMBAL, L.; TOUJAGUEZ, R. One century of arsenic exposure in Latin America: a review of history and occurrence from 14 countries. **Sci. Total Environ**, v. 429, p. 2–35, 2012.

CARDOSO, D. M. de O.; BARRETO, R. G.; SILVESTRO, E. M.; FILHO, R. B.; PAULA, R. N. DE. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas oriundas de poços rasos do bairro Habitat Brasil II (Motocross) no município de Cacoal, Rondônia, Brasil. **Revista Multidisciplinar da Saúde**, v. 3, 2010.

CARTER, J. E.; LAURINI, J. A.; MIZELL, K. N. *Kluyvera* infections in the pediatric population. **The Pediatric Infectious Disease Journal**, v. 27, n. 9, 2008.

CASTILHOS, Z. C.; CESAR, R.; SIERPE, R.; FLORENCIO, J.; ARAÚJO, P. C. DE. Avaliação de risco à saúde humana associada ao consumo de águas subterrâneas contaminadas em Capitão Gervásio de Oliveira, Estado do Piauí**. Geochimia Brasiliensis**, v. 116, p.421-426. 2014.

CASTRO, J. S. O.; JÚNIOR, B. T. B. R.; PONTES, A. N.; MORALES, G. P. Potabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano na área do polo industrial de Barcarena-Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p. 2014-2921, 2014.

CAVALCANTE, I. N.; RIBEIRO, J. A. P.; DIAS, F.W. L. C.; SABADIA, J. A. B.; GOMES, S. de A. Qualidade das águas subterrâneas da Faixa Fosteira Leste Da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, MT. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2018. Gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>. Acesso em: 27 abr. 2019.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. 2011.

CHASAPIS, C.; LOUTSIDOU, A.; SPILIOPOULOU, C.; STEFANIDOU, M. Zinc and human health: An update. **Archives of toxicology**, v. 86, p. 521-534, 2012.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F. de; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em Poços do Estado do Ceará, Brasil**. Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33, n. 2, p. 171-180, jul./dez. 2012.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil. 2018. SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil. Projeto Avaliação da qualidade de água subterrânea no município de Porto Velho/RO-Brasil: relatório 01: período referente aos anos de 2011, 2012 e 2013. 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15780>. Acesso em: 24 jan. 2019.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil. Projeto Avaliação da qualidade de água subterrânea no município de Porto Velho/RO-Brasil: relatório 01: período referente aos anos de 2011, 2012 e 2013. 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15780>. Acesso em: 24 jan. 2019.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil – Geologia de Rondônia.2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Estado-de-Rondonia-397.html>. Acesso em: 01 maio. 2019.

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

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega, S.A. 2ª ed. Barcelona, España. 1983.

DALAMAGA, M.; VRIONI, G. 2011. **Molecular detection of human bacterial pathogens.** Edited by Dongyou Liu. CRC Press/Taylor and Francis Group. FL, USA. p. 817-825.

DDTHA. Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar, Centro de Vigilância Epidemiológica (CVE), CCD/SES-SP. Informe técnico. Doenças relacionadas à água ou de transmissão hídrica. 2009. Disponível em: <http://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-transmitidas-por-agua-e-alimentos/doc/2009/2009surto_dta_pergunta_resposta.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2019

DUARTE, M. L.; LOCATELLI, M.; SILVA, T. A.; FILHO, E. P. S. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do sistema de aquífero içá/fraturado norte na área

urbana do município de Porto Velho/Rondônia. **REA – Revista de estudos ambientais**, v.19, n.2, p.40-54, jul./dez. 2017.

DUTRA, M. T. D.; SILVA, J. L. DA.; OLIVEIRA, C. R.; LYRA, M. R. C. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Relações entre condições ambientais e doenças de veiculação hídrica em áreas do assentamento rural Serra Grande, Vitória de Santo Antão, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 9, n. 6, p. 1677-1689, 2016.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 826 p. 2011.

FANTIN, M. G. S. **Avaliação da associação entre a incidência de câncer gástrico e atividade ocupacional agrícola**. 2018. 73f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas), Departamento de Biologia, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, 2018.

FAUSTINO, E.; VANZELLA, M.; MENEGUETTI, D. U. O.; ZAN, R.A. Avaliação da qualidade de água de poços rasos ou comuns da cidade de Ariquemes, Rondônia, Brasil. **Revista Cientifica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 65-78, 2013.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID-UFPE, 2008. 812 p.

FERREIRA, R. F. **Vulnerabilidade do manancial subterrâneo da área de entorno da Reserva Biológica Do Jaru: estudo de caso da comunidade Santa Rosa, Rondônia**. 2015. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura/RO, 2015.

FETTER, C.W. **Contaminant hydrogeology**. New York: McMillan, 1993.

FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS-PAHO/WHO, 1988.

FRAGA, C. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health**.** **Molecular aspects of medicine**, v. 26, p. 235-244, 2005.

FRATUCCI, A.; SILVA, L.; GUEDES, M. C. S. Nitratos, nitritos e n-nitrosaminas: efeitos no organismo. **Revista Eletrônica FACP**, Ano VI, Out. de 2017.

FRAZÃO, P.; PERES, M. A.; CURY, J. A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. **Rev Saúde Pública**. v. 45, n. 5, pp. 964-973, 2011.

FREDDO FILHO, V. M. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides – PA**. 2018. 113f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2018.

GARCÍA, A. P.; RODRÍGUEZ, F. M. Enterobacterias. **Medicine**, v. 10, n, 51, p. 3426-3431, 2010.

GERBA, C. P. Use of an ultraviolet light at point-of-dispense faucet to eliminate *Pseudomonas aeruginosa*. **American Journal of Infection Control**, v. 43, n. 5, p. 528-529, 2015.

GIOVANNINI, M.; VERDUCI, E.; GHISLENI, D.; SALVATICE, I.; RIVA, E.; AGOSTONI, C. *Enterobacter sakazakii*: an emerging problem in paediatric nutrition. **The Journal of International Medical Research**, v. 36, n. 6, p. 394-399, 2008.

GOMES, M. A.; RAMOS, E. V. da S.; SANTOS, L. C. dos; BITU, S. G.; GADELHA, A. J. F. Avaliação Hidroquímica e de Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade das Águas Subterrâneas da Zona Urbana do Município de Sousa-PB. **Revista Águas Subterrâneas**, v.32, n.2, p.162-172, 2018.

GUERRERO, P. P.; SÁNCHEZ, F. G.; SABORIDO, D. G.; LOZANO, I. G. Infecciones por enterobactérias. **Medicine**, v. 11, n. 55, p. 3276-3282, 2014.

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

HICKMAN-BRENNER, F. W.; HUNTLEY-CARTER, G. P.; SAITOH, Y.; STEIGERWALT, A. G.; FARMER, J. J.; BRENNER, D.J.; *Moellerella wisconsensis*, a new Genus and Species of Enterobacteriaceae found in human stool specimens. **Journal Clinical of Microbioly**, v. 19, n. 4, p. 460-463, 1984.

HIRATA, R.; VIVIANI-LIMA, J.B.; HIRATA, H. A água como recurso. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. Cap. 17. p.448-485.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades por Unidades Federativas. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/porto-velho/panorama>. Acesso em: 20 abr. 2019.

KAYAOGLU, G.; ORSTAVIK, D. Virulence factors of *Enterococcus faecalis*: relationship to endodontic disease. **Critical Reviews in Oral Biology & Medicine**, v.15, n.5, p.308-320, 2004.

KHANDARE, A. L.; REDDY, Y. S.; BALAKRISHNA, N.; RAO, G. S.; GANGADHAR. T.; ARLAPPA, N. Role of drinking water with high Silica and Strontium in Chronic Kidney Disease: An Exploratory Community-based Study in an Indian Village. **Indian J Community Health**, v. 27, n. 1, p. 95-102, Mar. 2015.

KO, W.C.; PATERSON, D.L.; SAGNIMENI, A.J.; HANSEN, D.S.; VON GOTTBERG, A.; MOHAPATRA, S.; CASELLAS, J. M.; GOOSSENS, H.; MULAZIMOGLU, L.; TRENHOLME, G.; KLUGMAN, K. P.; McCORMACK, J. G.;TOU, V. L. Community-acquired Klebsiella pneumoniae bacteremia: global differences in clinical patterns. **Emerging Infection Diseases**, v.8, n.2, p.160-166, 2002.

LAGES, A. S.; SANTANA, G. P. Contaminação de aquíferos no mundo por compostos nitrogenados: Nitrato – problema Global. ***Scientia Amazonia,*** v. 6, n. 1, 71-78, 2017**.**

LAGES, A.; SILVA, M.; SANTANA, G. (2019). Seasonal assessment of groundwater quality in the cities of Itacoatiara and Manacapuru (Amazon, Brazil). **Scientia Amazonia**, v. 8, n.1, p. C1-C10, 2019.

LAGES, A. S. **Sistema Aquífero Grande Amazônia: um estudo sobre a composição química das águas das cidades de Itacoatira e Manacapuru-AM.** 2016. 86f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

LANGE, C. N. **Avaliação da contaminação de solos e água subterrânea por elementos potencialmente tóxicos em um pátio de recolhimento de veículos. Estudo de caso: Ribeirão Pires, SP.** 2018. 145 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, University of São Paulo, São Paulo, 2018.

LANGLEY, S.; GAULT, A. G.; IBRAHIM, A.; TAKAHASHI, Y.; RENAUD, R.; FORTIN, D.; CLARK, I. D.; FERRIS, F.G. Sorption of Strontium onto Bacteriogenic Iron Oxides. **Environ. Sci. Technol**, v. 43, n. 4, p.1008–1014, 2009.

LAUREANO, J. J.; RAMOS, C. F.; LOPES, D. S.; SOUSA, L. M.; RECKTENVALD, M. C. N.; COSTA JÚNIOR, W. A.; ROSA, A. L. D.; GOMES, B. M.; MENDONÇA, A. P.; LEITE, N. K.; BASTOS, W. R.; NASCIMENTO, E. L.. Groundwater quality and underground flow in southern Amazon, Brazil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.6, p.206-217, 2019.

LAUTHARTTE, L. C.; HOLANDA, I. B. B.; LUZ, K. C.; MUSSY, M. H.; PANSINI, S.; MANZATTO, A. G.; YAMASHITA, M.; BASTOS, W. R. 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.

LEMES, M. J. L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias-hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo**. 2001. 241f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares, São Paulo/SP, 2001.

LIAO, F.; WANG, G.; SHI, Z.; HUANG, X.; XU, F.; XU, Q.; GUO, L. Distributions, Sources, and Species of Heavy Metals/Trace Elements in Shallow Groundwater Around the Poyang Lake, East China. **Exposure and Health**, 2017.

LIMA, R. B.; OLIVEIRA, D.S.; DI SOUZA, L.; BATISTA, R. O.; ALVES, S. M. C.; SILVA, F. U. Análise físico-química da água de três poços subterrâneos no município de Mossoró-RN. **Revista Química: ciência, tecnologia, e sociedade**, Mossoró, v. 4. n. 2, p. 9-23, 2015.

MAGALHÃES, J. B. L**. Análise físico-química e microbiológica das águas de poços rasos da zona urbana de Ariquemes-RO**. 2016. 40f. Monografia (Graduação em Química, Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes/RO. 2016

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; SUBBIAH, K. K.; PETER, T. Trace element contamination in the nearshore sediments of the Tamiraparani estuary, Southeast coast of India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 116, n. 1, 2017.

MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. 275 p.

MAITY, J. P.; NATH, B.; CHEN, C.-Y.; BHATTACHARYA, P.; SRACEK, O.; BUNDSCHUH, J.; KAR, S., THUNVIK, R.; CHATTERJEE, D.; MUKHERJEE, A. B.; JEAN, J.-S. Arsenic-enriched groundwaters of India, Bangladesh and Taiwan–comparison of

hydrochemical characteristics and mobility constraints. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 46, n.11, p. 1163–1176, 2011.

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.

MAZZINI, F. **Hidrogeoquímica do aquífero Bauru na área urbana do município de Marília (SP**). 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2012.

MENA, K. D.; GERBA, C. P. Risk assessment of *Pseudomonas aeruginosa* in water. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 201, p. 71-115, 2009.

MENDES, A.; GALVÃO, P.; DE SOUSA, J.; DA SILVA, I.; CARNEIRO, R. N. Relations of the groundwater quality and disorderly occupation in an Amazon low-income neighborhood developed over a former dump area, Santarém/PA, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, n. 1, p. 353-368, Feb. 2019.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. **Qualidade da água para consumo humano**. 1. ed. Lisboa : Lidel. 2004. (Edições técnicas).

MESCHEDE, M. S. C.; FIGUEIREDO, B. R.; ALVES, R. I. da S.; SEGURA-MUNOZ, S. I. Drinking water quality in schools of the Santarém region, Amazon, Brazil, and health implications for school children. **Rev. Ambient. Água**, v. 13, n. 6, e2218, 2018.

MESSIAS, T. **G. Influência da toxicidade da água e do sedimento dos rios São Joaquim e Ribeirão Claro na bacia do Corumbataí**. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2008.

METROHM. 882 Compact IC plus Manual. Metrohm AG, 2012. 108 p.

MEYER, C. M. C.; RODRÍGUEZ, J. M.; CARPIO, E. A.; Stengel, C.; Berg, M. Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). **The Science of the Total Environment**, v. 607, n. 608, p.1437-1450, Dec. 2017.

MOHAMADEN, W.; ZHEN-FEN, Z.; HEGAB, I.; SHANG-LI, S. Experimental infection in mice with Erwinia persicina. **Microbial Pathogenesis**, v. 130, Feb. 2019.

MONTE BLANCO, S. P. D.; MÓDENES, A. N.; SCHEUFELE, F. B.; MARIN, P.; SCHNEIDER, K.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; ROBERTO PARAÍSO, P.; BERGAMASCO, R. Groundwater quality monitoring of the Serra Geral aquifer in Toledo, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 53, n. 14, p.1243-1252, 2018.

MONTEIRO, A. et al. Classificação de doenças relacionadas a um saneamento ambiental inadequado (DRSAI) e os sistemas de informações em saúde no Brasil: possibilidades e limitações de análise epidemiológica em saúde ambiental. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. Anais do XXVIII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária E Ambiental, Cancún, 2002.

MORA, A.; MAHLKNECHT, J.; ROSALES LAGARDE, L.; HERNÁNDEZ, A. Assessment of major ions and trace elements in groundwater supplied to the Monterrey metropolitan area, Nuevo León, Mexico. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 8, 2017.

MORADNIA, M.; POURSADEGHIYAN, M.; MAHVI, A. H.; PANAHI FARD, M. The Relation of Cancer Risk with Nitrate Exposure in Drinking Water in Iran. **Iran J Public Health**, v. 48, n. 2, p. 362-364, 2019.

MULLANE, N.; HEALY, B.; MEADE, J.; WHYTE, P.; WALL, P. G.; FANNING, S. Dissemination of *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*) in a powdered milk protein manufacturing facility. **Aplied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 19, p. 5913-59-17, 2008.

MURRAY, P.R.; ROSENTHAL, K.S.; PFALLER, M. A. **Microbiologia médica**. 7ª ed. Barcelona: Elsevier España, S.L; 2014. 966 p.

NIU, B.; LOAICIGA, H.; WANG, Z.; ZHAN, F.; HONG, S. Twenty years of global groundwater research: A Science Citation Index Expanded-based bibliometric survey (1993-2012). **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 966-975, 2014.

NGWA, G. A.; SCHOP, R.; CHOW, J.; LUKIC, L.; MCKAGUE, K. Comparative detection and recovery of *Pseudomonas aeruginosa* by membrane filtration and a Most Probable Number technique. **Journal of Microbiological Methods**, v. 133, p. 76-81, 2017.

O'HARA, C. M.; STEIGERWALT, A. G.; HILL, B. C.; MILLER, J. M.; BRENNER, D. J.; First report of a human isolate of Erwinia persicinus. **J. Clin. Microbiol**. v. 36 n. 1, p. 248–250, 1998.

OLIVEIRA, G. A; NASCIMENTO, E. L.; ROSA, A. L. D.; LAUTHARTTE, L. C.; BASTOS, W. R.; BARROS, C. G. D.; CREMONESE, E. R.; BENT, A. Q.; MALM, O.; GEORGIN, J.; CORTI, A. M. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 2, p. 213-223, 2015.

PACHECO, P. Risco a saúde humana causada pela exposição do sódio. Água destinada a consumo humano. 1. ed, São Paulo: Departamento de saúde pública, 2008. p, 04.

PARAGUASSÚ-CHAVES, C. A.; BARATA, C. DA S.; FILHO, E. P. DA S.; ALMEIDA, F. M. DE.; DANTAS, L. R. M.; CAVALCANTE, F. R. C.; CAVALCANTE, A. M. M. DA F.; CALDERARO, I. F. N.; NETO, L. S. DA L.; XAVIER, D. F. B.; TEIXEIR, M. A. D. Mapping of Nitrate Contamination (NO3-) in an Urban Area on the Brazil/Bolivia Border. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 4, 2019.

PEIXOTO, F. DA S.; PEREIRA, T. C. Abastecimento e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Mel – RN/BRASIL. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 1, p. 54-72, 25 jun. 2019.

PEZARINO, R. da S. **Avaliação da qualidade da água utilizada nos distritos de Campos dos Goytacazes, RJ**. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2010.

PIANETTI, A.; SABATINI, L.; BRUSCOLINI, F.; CHIAVERINI, F.; CECCHETTI, G. Faecal contamination indicators, salmonella, vibrio and aeromonas in water used for the irrigation of agricultural products. **Epidemiology & Infection**, v.132, p.231-238, 2003.

PORTO VELHO. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão. Mapa da área urbana do município de Porto Velho. Disponível em:<https://www.cauro.gov.br/wp-content/uploads/2016/11/Mapa-da-Area-Urbana-do-distrito-sede-do-município-de-Porto-V.pdf>. Acesso em 20 nov. 2018.

QIU, H.; GUI, H.; SONG, Q. Human health risk assessment of trace elements in shallow groundwater of the Linhuan coal-mining district, Northern Anhui Province, China. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal,** v. 24, n.5, p. 1342–1351, 2018.

QUINO-LIMA, I.; RAMOS-RAMOS, OSWALDO.; ORMACHEA-MUÑOZ, M.; QUINTANILLA-AGUIRRE, J.; DUWIG, C.; MAITY, J.; SRACEK, O.; BHATTACHARYA, P. Spatial dependency of arsenic, antimony, boron and other trace elements in the shallow groundwater systems of the Lower Katari Basin, Bolivian Altiplano. **Science of The Total Environment**, v.719, Feb. 2020.

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**). 2017. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2017.

REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.3, p. 353-362, jul./set. 2009.

REIS, S. F.; FORTUNA, J. L. Pesquisa de coliformes em água de poços rasos residenciais no município de Teixeira de Freitas-BA. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 10, n. 2, p. 43-47, 2014.

REZENDE, D.; NISHI, L.; FERRI, P. C.; MANTOVANI, D.; SOARES, P.; JUNIOR, N.; VIEIRA, A.; BERGAMASCO. Evaluation of the groundwater quality and hydrogeochemistry characterization using multivariate statistics methods: case study of a hydrographic basin in Brazil. **Desalination and Water Treatment**, v. 161, p. 203-215, 2019.

RIBEIRO, V. A. **Poluentes orgânicos e inorgânicos nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho – RO**. 2019. 126f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2019.

RODRIGUES, E. D. **Avaliação espacial da qualidade da água subterrânea na área urbana de Porto Velho – Rondônia – Brasil**. 2008. 85f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, 2008.

RODRIGUES, E. D. **Avaliação espacial da qualidade da água subterrânea na área urbana de Porto Velho – Rondônia – Brasil**. 2008. 85f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, 2008.

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

RONDEAU, V.; JACQMIN-GADDA, H.; COMMENGES, D.; HELMER, C.; DARTIGUES, J. F. Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. **Am J Epidemiol**, v. 169, p. 489–496, 2009.

ROSSITER, H. M. A.; OWUSU, P. A.; AWUAH, E.; MACDONALD, A.; SCHÄFER, A.I. Chemical Drinking Water Quality in Ghana: Water Costs and Scope for Advanced Treatment, **The Science of the Total Environment**, v. 408, p. 2378–2386, 2010.

SAHA, N.; RAHMAN, M. S.; AHMED, M. B.; ZHOU, J. L.; NGO, H. H.; GUO, W. Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk. **Journal of Environmental Management**, v. 185, n. 1, p. 70-78, Jan. 2017.

SAMAL, A. C.; KAR, S.; MAITY, J. P.; SANTRA, S. C. Arsenicosis and its relationship with nutritional status in two arsenic affected areas of West Bengal, India. **J. Asian Earth Sci**, v. 77, p. 303–310, 2013.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: **Hidrogeologia:** conceitos e aplicações, 2ª Ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

SANTOS, F. F. S.; FILHO, J. D.; MACHADO, C.T.; VASCONCELOS, J. F.; FEITOSA, F. R. O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1, p. 241-251, 2018.

SANTOS, J. P. DOS; SOUZA, D. DE O.; MIRANDA, M. R.; BASTOS, W.; BRAZ, J. Estudos de elementos-traço na cidade de Porto Velho/Rondônia, Amazônia Ocidental**. Soc. Ecotoxicol**, v. 7, n. 2, p. 1-9, 2012.

SANTOS, L. A. dos. **A falta de saneamento é o principal responsável pelos índices de Doença de Veiculação Hídrica? Um estudo das populações que habitam as margens de igarapés em Manaus, – AM**. 2006. 104f. Dissertação. (Mestrado em Ciências do Ambiente Sustentabilidade na Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. Amazonas, 2006b.

SANTOS, L. V.; POLIVANOV, H.; ALAMINO, R. C. J.; SILVA, V. H. G. Adsorção de cloreto e potássio em solos tropicais. **Anu Inst Geo UFRJ**, v. 29, p. 101–121, 2006a.

SEDAM. SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – Boletim Climatológico de Rondônia - Ano 2010, COGEO - SEDAM / Coordenadoria de Geociências - v12, 2010 – Porto Velho: COGEO - SEDAM, 2012.

SHABIR, G. A. Validation of high-performance liquid chromatography methods for pharmaceutical analysis Understanding the differences and similarities between validation requirements of the US Food and Drug Administration, the US Pharmacopeia and the International Conference on Harmonization. **Journal of Chromatography**, v.1, n.2, p.57-66, 2003.

SHIN, C.; CHOI, H.; KWON, H. M.; JO, H. J.; KIM, H. J.; YOON, H. J.; KIM, D. S.; KANG, G. J. Determination of plutonium isotopes (238,239,240Pu) and strontium (90Sr) in

seafood using alpha spectrometry and liquid scintillation spectrometry. **J. Environ. Radioact,** v. 177, p.151–157, 2017.

SILVA, A. C. R. DA.; CELINO, J. J.; ALVA, J. C. R.; SILVA, M. DE J. Geoestatística e geoquímica dos metais traços na água de fontes naturais no município de Salvador -Bahia, Brasil. **Rev. Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 3, p. 16-26, 2013.

SILVA, C. A. B. **Distribuição de elementos traço na água subterrânea e superficial costeira e fluxos provenientes dos sangradouros no litoral do Rio Grande do Sul**. 2015. 102f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande/RS, 2015.

SILVA, N. da; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M**. Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2017. 560 p.

SILVA, N., 1996. **Testes bioquímicos para identificação de bactérias em alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos.

SIQUEIRA, G. W.; LEITE, A.C. M.; DARWICH, J. A.; APRILE, F. Diagnostic of Groundwater Intended for Human Consumption in the Municipality of Abaetetuba, Pará - Brazil. **Journal of Applied Life Sciences International**, v. 17, n. 3, p.1-12, 2018.

SOTO, M. V.; DIFABIO, M. Tratamiento de las infecciones por enterobactérias. **Medicine**, v. 10, n. 51, p. 3432-3439, 2010.

SOUTO, J. P.; LIRA, A. G. S.; FIGUEIRA, J. da S.; SILVA, A. N. da.; SILVA, E. S. Poluição fecal da água: microrganismos indicadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6., 2015, Porto Alegre, RS. Anais do VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, v. 6.

SOUZA, E. L.; GALVÃO, P. H. F.; PINHEIRO, C. S. S.; BAESSA, M. P. M.; DEMÉTRIO, J. G. A.; BRITO, W. R. R. Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão. **Revista do Instituto de Geociências** – USP. v. 13, n.1, p. 107-117, 2013.

SOUZA, M. DO C. F. B.; OLIVEIRA, S. C.; PAIXÃO, M. M. DE O. M., HAUSSMANN, M. G. Aspectos Hidrodinâmicos e Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Bambuí no Norte de Minas Gerais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.1, p.119-129, Jan/Mar. 2014.

SRINIVASAMOORTHY, K.; GOPINATH, M.; CHIDAMBARAM, S.; VASANTHAVIGAR, M.; SARMA, V. S.; Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, p.37–52, 2014.

STOICA, C.; SORESCU, I. ABIS online-Advanced Bacterial Identification Software, an original tool for phenotypic bacterial identification. Regnum Prokaryotae, 2017. Disponível em:<http://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html>.

STOLER, J.; AHMED, H.; FRIMPONG, L. A.; BELLO, M. Presence of *Pseudomonas aeruginosa* in coliform-free sachet drinking water in Ghana. **Food Control**, v. 55, p. 242-247, 2015.

SVEC, P.; DeVRIESE, L. A. 2009. Genus I. *Enterococcus*. In Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2nd edn, vol. 3, pp. 594–607. Edited by P. De Vos, G. M. Garrity, D. Jones, N. R. Krieg, W. Ludwig, F. A. Rainey, K.-H. Schleifer & W. B. Whitman. New York: Springer.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG-USP. Série Didática nº 5, 1993.

THIRUNAVUKKARASU, S.; RAMASWAMY, V.; RAO, V. *Leclercia adecarboxylata* in paraovarian abscess. **Jornaul of The Academy of Clinical Microbiologists**, v.1, n.1, p.18-19, 2014.

THUYET, D. Q.; SAITO, H.; SAITO, T.; SHIGEOKI, M.; KOHGO, Y.; KOMATSU, T. Multivariate analysis of trace elements in shallow groundwater in Fuchu in western Tokyo Metropolis, Japan**. Environ Earth Sci**, v. 75, n. 7, 2016.

TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. A Revolução das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. 2018a. 19 p. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. Benefícios econômicos da expansão do saneamento no Estado de Rondônia. 2014. 60 p. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/rondonia/beneficios-do-saneamento-RONDONIA.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento Brasileiro. 2018b. 86 p. Disponível em: < http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/Relat%C3%B3rio-Benef%C3%ADcios-do-saneamento-no-Brasil-04-12-2018.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. Ranking do Saneamento das 100 Maiores Cidades – 2020. Disponível em: <http://tratabrasil.com.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2020 >. Acesso em: 11 mar. 2020.

UNICEF and WHO. Progress on sanitation and drinking water - 2015 update and MDG assessment. 2015. Disponível em: <https://files.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_Water_2015_Update_.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2019.

VAITSMAN, D. S.; VAITSMAN, M. S. **Água mineral**. 1. ed, Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 219.p

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

WARD, M. H.; JONES, R. R.; BRENDER, J. D.; DE KOK, T. M.; WEYER, P. J.; NOLAN, B. T.; VILLANUEVA, C. M.; VAN BREDA, S. G. (2018). Drinking Water Nitrate and

Human Health: An Updated Review. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n.7, p. 1-31, 2018.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4th ed. Geneva: WHO Press, 2011. 564 p.

WHO. World Health Organization. **Nitrate and Nitrite in Drinking-water**, Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: WHO Press, 2016. 41 p.

WONGSANIT, J. TEARTISUP, P.; KERDSUEB, P.; THARNPOOPHASIAM, P.; WORAKHUNPISET, S. Contamination of nitrate in groundwater and its potential human health: a case study of lower Mae Klong river basin, Thailand. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1–9, 2015.

WU, Q.; YE, Y.; LI, F.; ZHANG, J.; GUO, W. Prevalence and genetic characterization of *Pseudomonas aeruginosa* in drinking water in Guangdong Province of China. **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 24-31, 2016.

WWDR. United Nations World Water Development Report. Water and Jobs. France: UNESCO. 2016. 148 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243938>. Acesso em: 20 mai. 2019.

ZAN, R. A.; COSTA, A. L.; COSTA, J. B.; MENEGUETTI, D. U. DE O. Análise microbiológica de amostras de água de poços rasos localizados no município de Buritis, Região do Vale do Jamari, Rondônia, Amazônia Ocidental. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n 8, p. 1867-1875, Set/Dez, 2012.

ZHANG, F. X.; MIAO, Y.; RUAN, J. G.; MENG, S. P.; DONG, J. D.; YIN, H.; HUANG, Y.; CHEN, F. R.; WANG, Z. C.; LAI, Y. F. Association Between Nitrite and Nitrate Intake and Risk of Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Med Sci Monit**, v. 9, n. 25, p.1788-1799, Mar. 2019.

APÊNDICE A – Termo De Consentimento Livre e Esclarecido

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

CÂMPUS UNIVERSITÁRIO JOSÉ RIBEIRO FILHO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO

Você está sendo convidado (a) a participar, como voluntário (a), do projeto **Qualidade microbiológica e química das águas subterrânesa da cidade de Porto Velho-RO.** Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento. Em caso de recusa, você não terá nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição que recebe assistência. O objetivo deste estudo é diagnosticar se ocorre a contaminação por coliformes termotolerantes e outras bactérias de importância clínica, assim com contaminação por compostos químicos que estão presentes na água. A sua participação baseia-se em responder as perguntas que a pesquisadora lhe fará, permitir adentrar em sua residência e realizar a coleta de amostras de água do seu poço. A atividade não apresenta nenhum risco aos residentes. O seu benefício em participar, será o de ter o retorno dos resultados das análises de água. O consumo de água contendo algum tipo de contaminação tanto biológica (microorganismos) quanto química (íons) pode influenciar de forma negativa para na sua súde. Neste contexto, este projeto oferecerá dados pertinentes à exposição de contaminantes na água de poços, sendo possível uma posterior discussão com as autoridades de saúde responsáveis. Os dados referentes à pesquisa serão confidenciais e garantimos o sigilo de sua participação, inclusive na divulgação da mesma e os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação. Toda a informação por você transmitir será exclusivamente para fins acadêmicos, não havendo finalidade comercial ou financeira e ao final do projeto os resultados serão devolvidos a você, através de um laudo fornecido pela pesquisadora. Você receberá uma cópia desse termo onde tem o nome, telefone e endereço do pesquisador responsável e também da coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, para que você possa localizá-las a qualquer tempo. O nome da pesquisadora responsável é Célia Ceolin Baía, mestranda do Programa De Pós-Graduação Em Desenvolvimento Regional E Meio Ambiente com orientação do Professor Dr. Wanderley Bastos, telefone de contato (69) 9 9379-2967 (CÉLIA) / (69) 9 9239-4177 (WANDERLEY) / (69) 2181-2120 (institucional), e-mail: celia.ceolin@gmail.com. O nome do Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da Fundação Universidade Federal de Rondônia é Edson Faria.

Considerando os dados acima, CONFIRMO estar sendo informado por escrito e verbalmente dos objetivos desta pesquisa.

Eu.....idade:.....

sexo:.....Naturalidade:.....portador(a) do documento RG Nº:.....declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

APÊNDICE B – Coordenadas Geográficas dos Pontos Amostrados

GPS	Longitude	Latitude	Tipo de poço	GPS	Longitude	Latitude	Tipo de poço
P01	408653	9030442	Escavado	**P26**	405341	9034332	Escavado
P02	408082	9033329	Escavado	**P27**	408257	9029873	Escavado
P03	403209	9031741	Escavado	**P28**	403414	9028193	Escavado
P04	401183	9028099	Tubular	**P29**	396635	9026069	Escavado
P05	408361	9030404	Tubular	**P30**	396492	9025956	Escavado
P06	407087	9030624	Escavado	**P31**	399478	9034861	Escavado
P07	403328	9035308	Tubular	**P32**	401626	9030868	Tubular
P08	399681	9034783	Escavado	**P33**	401687	9030852	Tubular
P09	406904	9032227	Escavado	**P34**	407245	9030439	Escavado
P10	401457	9027063	Tubular	**P35**	407569	9029591	Tubular
P11	402496	9027647	Escavado	**P36**	409861	9032274	Escavado
P12	401460	9028105	Tubular	**P37**	410798	9032681	Escavado
P13	401469	9028104	Escavado	**P38**	401586	9034343	Escavado
P14	403844	9035537	Escavado	**P39**	409148	9029487	Escavado
P15	404377	9035741	Escavado	**P40**	409064	9029558	Escavado
P16	404122	9034123	Tubular	**P41**	410595	9029410	Escavado
P17	403645	9027080	Escavado	**P42**	405295	9028104	Tubular
P18	404363	9035745	Escavado	**P43**	405078	9026408	Escavado
P19	405276	9026098	Escavado	**P44**	404645	9027634	Escavado
P20	405025	9027505	Escavado	**P45**	403809	9027843	Escavado
P21	401472	9028103	Escavado	**P46**	404893	9028066	Tubular
P22	406969	9031067	Escavado	**P47**	404445	9036149	Escavado
P23	402217	9032147	Escavado	**P48**	399491	9034197	Tubular
P24	403453	9026237	Tubular	**P49**	401427	9029223	Tubular
P25	408527	9034463	Escavado	**P50**	403035	9035259	Escavado

APÊNDICE C – Resultado dos testes bioquímicos

NUMERAÇÃO	GLICOSE	LACTOSE/SACAROSE	GÁS	H2S	URÉIA	MANITOL	MOBILIDADE	LISINA	ORNITINA	CITRATO	INDOL
1	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
2	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
3	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
4	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
5	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
6	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-
7	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+
8	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
9	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
10	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
11	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-
12	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+
13	+	-	+	+		+	+	-	+	+	-
14	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
15	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
16	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
17		-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
18	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
19	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
20	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-
21		+	-	-	-	+	+	-	-	+	-
22	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+

23	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-
24	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+
25	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
26	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+
27	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
28	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
29	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
30	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
31	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
32	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
33	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
34	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
35	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+
36	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
37	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
38	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
39	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
40	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
41	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
42	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
43	+	+	-	-	+	+	-	+		+	-
44	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
45	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
47	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+
48	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-

NUMERAÇÃO	GLICOSE	LACTOSE/SACAROSE	GÁS	H2S	URÉIA	MANITOL	MOBILIDADE	LISINA	ORNITINA	CITRATO	INDOL
49	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
50	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
51	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-
52	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
53	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
54	+	+	+	-	-		+	+	-	-	-
55	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-
56	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
57	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-
58	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
59	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
60	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
61	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
62	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-
63	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
64	+	+	-	-	-	-	-		-	-	-
65	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-
66	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
67	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-
68	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
69	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
70	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
71	+	+	+	+		+	+	-	-	-	-
72	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-

NUMERAÇÃO	GLICOSE	LACTOSE/SACAROSE	GÁS	H2S	URÉIA	MANITOL	MOBILIDADE	LISINA	ORNITINA	CITRATO	INDOL
73	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
74	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
75	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-
76	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-
77	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+
78	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
79	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
80	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
81	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
82	+	+	+			+	+	+	+	+	-
83	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
84	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
85	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
87	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
88	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
89	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
90	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
91	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+
92	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
93	+	+	+	+		+	-	-	-	+	-
94	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-
95	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
96	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-

NUMERAÇÃO	GLICOSE	LACTOSE/SACAROSE	GÁS	H2S	URÉIA	MANITOL	MOBILIDADE	LISINA	ORNITINA	CITRATO	INDOL
97	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
98	+	+	+	+		+	+	-	-	+	-
99	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
100	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
101	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
102	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
103	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
104	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
105	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
106	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
107	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
108	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
109	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
111	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
112	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-
113	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
114	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
115	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
116	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-
117	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
118	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
119	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
120	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-

NUMERAÇÃO	GLICOSE	LACTOSE/SACAROSE	GÁS	H2S	URÉIA	MANITOL	MOBILIDADE	LISINA	ORNITINA	CITRATO	INDOL
121	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
122	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
123	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
124	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
125	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
126	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
127	+	+	+	+			+	-	-	+	-
128	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
129	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
130	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-
131	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
132	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+
133	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
134	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
135	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
136	+	+	+	-	-	+	+		+	+	-
137	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
138	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
139	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-
140	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
141	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
142	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
143	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-

ANEXO A – Questionário

QUESTIONÁRIO E CADASTRO DE POÇOS DE PORTO VELHO

Poço nº:_____ Data: _____ Horário da coleta: _____

Chuva (24 h anteriores)? ( ) Sim ( ) Não Presença de vento? ( )Sim ( ) Não

Presença de sol? ( )Sim ( ) Não Presença de nuvens? ( )Sim ( ) Não

Nome do proprietário:_____

Endereço:_____

Quantas pessoas residem no endereço? _____

O poço seca? ( ) Sim ( ) Não Obs.: _____

Você usa água do poço:

( ) Somente para higiene (higiene pessoal, lavar louça, roupa, limpeza, etc)

( ) Com algumas restrições (precisa ferver, comprar água para beber)

( ) Sem problema, inclusive para beber

Aspecto e qualidade da água:_____

Possui fossa negra? ( ) Sim ( ) Não Profundidade (m): _____

Possui fossa séptica (caixa coletora de gordura)? ( ) Sim ( ) Não

Você já enfrentou algum tipo de problema com a fossa?

( ) Não teve problema, ( ) Mau cheiro, ( ) Entupimento, ( ) Vazamento, ( ) Outro

Qual?_____

Alguém da sua família já teve alguma doença de veiculação hídrica? Qual doença:

_____ Quantas vezes: _____

Profundidade do poço (m): _____ Diâmetro do poço (cm): _____

Parâmetros físico-químicos:

pH:____, condutividade elétrica (µS cm-1):_____, temperatura da água:_____

Localização do poço:_____

Localização da fossa negra (distância do poço): _____

Localização da possível fonte poluidora:_____

Observações: _____

_____

_____

Ponto georreferenciado (coordenadas geográficas):_____