



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



JORGE ANGELO SIMÕES MALCHER

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS
COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA**

MACAPÁ-AP

2020

JORGE ANGELO SIMÕES MALCHER

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS
COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Gestão, Tecnologia e Inovação Ambiental.

Orientador: Dr. Daímio Chaves Brito

Coorientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MACAPÁ-AP

2020

JORGE ANGELO SIMÕES MALCHER

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS
COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Daímio Chaves Brito – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

Coorientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

Dra. Marcela Nunes Videira - Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

Dr. Joel Estevão de Melo Diniz - Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

Dr. Francisco Diniz da Silva - Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e sabedoria para seguir sempre em frente. Obrigado por ser a minha força e o meu guia em todos os momentos.

A minha família, em especial meus pais, Maria do Rosário e Aristóteles, por todo amor, apoio e incentivo, a minha irmã Ariane Malcher e meu cunhado José Edilson, pelo carinho e amizade.

A minha namorada e futura esposa, Thaís Pantoja de Carvalho, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada.

Aos meus amigos pela compreensão e paciência, em especial a Rafaela Bonfim Salgado e seu esposo Reginaldo Gomes, pelo carinho que sempre demonstraram por mim.

Ao orientador dessa dissertação Dr. Daímio Chaves Brito, pela oportunidade de fazer ciência, por partilhar seus conhecimentos, muito mais que um orientador, um amigo que espero levar pelo resto de minha vida. Ao coorientador da dissertação Dr. Alan Cavalcanti da Cunha pelas importantes contribuições e pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Aos coordenadores do projeto TEDPLAN, Alan Cavalcanti da Cunha e Alaan Ubaíara Brito pela oportunidade de participar e colaborar com esse grandioso trabalho em benefício da população amapaense, assim como, o auxílio financeiro disponibilizado pelo projeto para execução desta pesquisa.

A equipe do Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental da UNIFAP, aos técnicos Geison Xisto, Paulo Gibson e as companheiras de campo, Jéssica Santos, Elaine Penha e Jimaine Guedes, pelo suporte na coleta e análise das amostras.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais pelo aprendizado e aos companheiros de turma pela amizade e momentos inesquecíveis, em especial aos meus amigos Roger Ferreira, Liana Belucio, Daniel Alves e Alcides Fróes.

Aos professores Dra. Marcela Nunes Videira, Dr. Joel Estevão de Melo Diniz e Dr. Francisco Diniz da Silva membros da Banca Examinadora, por terem atendido ao convite para desempenhar este papel, dispondo de seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho.

RESUMO

MALCHER, J. A. S. Qualidade da água para abastecimento público em municípios com menos de 50 mil habitantes na Amazônia. 34 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.

O abastecimento de água é um serviço essencial e imprescindível para diversas atividades humanas. Com este propósito é preciso manter a quantidade e qualidade em níveis sanitários aceitáveis. O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta para avaliar suas características físicas, químicas e microbiológicas de eminente relevância para a saúde pública. O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade da água de abastecimento nos municípios de Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari, todos pertencentes ao estado do Amapá. Foram coletadas 94 amostras e analisados os seguintes parâmetros: cor, turbidez, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, cloretos, fluoretos, nitrato, amônia, fósforo total, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Os resultados obtidos indicam frequente contaminação da água por coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* nos sistemas de abastecimentos daquelas localidades onde há limitado nível de tratamento, com destaque aos poços rasos. Alta frequência das amostras (69,15%) apresentou não conformidade de parâmetros microbiológicos quando comparados com os padrões estabelecidos pela portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. O estudo mostra a relevância do monitoramento da qualidade da água como indicador de contaminação dos mananciais utilizados para o consumo humano, ressaltando a importância de manter o funcionamento em sistemas de abastecimento e distribuição para o controle da qualidade da água.

Palavras-Chave: Abastecimento de Água, Potabilidade, Saúde Pública.

ABSTRACT

MALCHER, J. A. S. Water quality for public supply in municipalities with less than 50,000 inhabitants in the Amazon. 34 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2020.

The water supply is an essential and indispensable service for various human activities. With that purpose it is necessary to maintain quantity and quality at acceptable sanitary levels. Water quality monitoring is an important tool to evaluate its physical, chemical and microbiological characteristics of eminent relevance to public health. The objective of this study was to evaluate the quality of the water supply in the municipalities of Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão and Vitória do Jari, all belonging to the state of Amapá. We collected 94 samples and analyzed the parameters: color, turbidity, electrical conductivity, total suspended solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, pH, chlorides, fluorides, nitrate, ammonia, total phosphorus, thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*. The results obtained indicate frequent contamination of water by thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* in the supply systems of those locations where there is a limited level of treatment, with emphasis on shallow wells. High frequency of samples (69.15%) showed non-compliance of microbiological parameters when compared to the standards established by Consolidation Ordinance No. 5, of September 28, 2017, from the Ministry of Health. The study shows the relevance of monitoring water quality as an indicator of contamination of water sources used for human consumption, emphasizing the importance of maintaining functioning in supply and distribution systems for the control of water quality.

Keywords: Water Supply, Potability, Public Health.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
	REFÉRENCIAS	11
	QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA	12
	INTRODUÇÃO	14
	MATERIAIS E MÉTODOS	15
	Área de estudo.....	15
	Delineamento experimental	16
	Coleta e análise laboratorial	17
	Análises estatísticas.....	18
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
	Qualidade da Água Bruta – Captação Superficial (CaS)	19
	Qualidade da Água Bruta – Captação Tubular (CaT)	20
	Qualidade da Água – Distribuição Superficial Tratada (DST).....	22
	Qualidade da Água – Distribuição Tubular Tratada (DTT)	23
	Qualidade da Água – Distribuição Tubular Não Tratada (DTNT)	24
	Qualidade da Água de Poços Rasos (PR)	25
	Similaridade Estatística da Qualidade da Água	27
	CONCLUSÕES.....	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO GERAL

A política pública de saneamento no Brasil vem experimentando nas últimas décadas, um novo ciclo marcado pelo marco legal e regulatório, reestruturação institucional e retomada dos investimentos, a Lei n. 11.445/2007 fechou um longo período de indefinição do marco legal, inaugurando uma nova fase na gestão dos serviços públicos de saneamento básico, tendo o planejamento assumido posição central na condução e orientação da ação pública, apontando para novas estratégias de enfrentamento dos déficits dos serviços (BORJA, 2014).

O panorama na região amazônica é especialmente alarmante, a região apresenta os piores de índices de cobertura dos serviços sanitários, com os consequentes problemas atrelados à ausência ou precariedade de tais serviços (SNIS, 2019). Dentre os serviços, o abastecimento público de água apresenta falhas na distribuição, ausência do serviço em diversas localidades e ineficiência no tratamento, condicionando a população aos problemas decorrentes do consumo da água de má qualidade (IMADA *et al.*, 2016).

Nesse contexto de abandono e desprezo com a questão do saneamento básico, o Estado do Amapá, um dos mais pobres e deficientes do Brasil, ainda não conseguiu universalizar esse serviço público fundamental à população (COSTA; BRONDIZIO, 2009; SILVA; ALVES; PORTILHO, 2016). Portanto, existe a necessidade de ações que visem a melhoria dos serviços sanitários no estado, assim como, informações, dados e estudos que subsidiem planejamento na área (CUNHA, 2018).

O presente estudo faz parte do Termo de Execução Descentralizado – TEDPLAN, parceria técnica entre a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA e a Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, cujo objetivo principal é capacitar e orientar os gestores dos municípios de Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari para a elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico – PMSB e fortalecimento das políticas públicas do setor.

Não existem dados, informações ou ferramentas que possam avaliar as reais condições da qualidade da água de abastecimento nos municípios em estudo, portanto, não existem evidências de que a população é atendida com água potável dentro dos padrões requeridos pela legislação vigente. Esse cenário nos leva a questionar se o sistema de abastecimento dos municípios em estudo fornece água potável dentro dos padrões de qualidade exigidos?

A falta de informações sobre a cobertura dos serviços sanitários é a principal demanda do projeto, em especial dados sobre qualidade da água ofertada a população. Com o intuito de preencher essa lacuna nos municípios citados foram coletadas 94 amostras de água e analisados 14 parâmetros físicos, químicos e microbiológicos em 12 localidades situadas no estado do Amapá, um esforço logístico hercúleo de locomoção até as localidades, transporte e conservação das amostras em tempo adequado para não comprometê-las, assegurando a confiabilidade dos resultados.

A principal hipótese da pesquisa sugere que os baixos índices de serviços de saneamento básico ofertados a população amapaense apontem para um cenário preocupante, já que ações antropogênicas associadas a questões sanitárias podem estar exercendo forte influência negativa sobre a qualidade da água de abastecimento nos municípios estudados. Desta forma, entende-se que a água consumida está fora de conformidade em comparação com os padrões de qualidade e potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, considerando que a qualidade pode estar diretamente condicionada ao tipo de abastecimento utilizado. A qualidade da água está estritamente ligada a condições hidrossanitárias dos locais analisados, esperando-se encontrar melhores resultados onde existam infraestruturas de tratamento e distribuição.

Portanto, esta pesquisa representa um esforço técnico-científico de alta relevância para a população amapaense considerando o objetivo de tentar responder ou discutir as condições da água disponibilizada nas localidades estudadas, salientando ainda, o grande esforço logístico para realização deste estudo em regiões longínquas e de difícil acesso nunca antes contempladas com a avaliação da água consumida por sua população.

A presente pesquisa apresenta novas e inéditas informações científicas a respeito da água oferecida no abastecimento público nas localidades estudadas, mas que de forma geral, é a realidade da população do estado, os resultados apresentados nesta pesquisa podem servir de ponto de partida para discussão e análises subsequentes, bem como suporte às tomadas de decisões necessárias à gestão dos serviços de abastecimento no estado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água de abastecimento público de seis (06) municípios do Estado do Amapá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água e dos corpos hídricos superficiais utilizados para a captação nos municípios com a legislação ambiental específica (Resolução CONAMA nº357 de 2005), e com os padrões de potabilidade estabelecidos na legislação (Portaria de consolidação nº 5 de 28 de Setembro de 2017).
- Verificar a variabilidade espacial dos dados da qualidade da água dentro do município e entre municípios.
- Gerar dados e parâmetros técnicos para subsídio de monitoramento, gestão e direcionamento de políticas públicas de qualidade da água.

REFÉRENCIAS

- BORJA, P.C. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e sociedade.** 23 (2) abr-jun, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>
- COSTA, S.; BRONDIZIO, E. Dependência Interurbana entre as Cidades Amazônicas: Crescimento Urbano, Deficiências em Infra-estrutura e Redes Sociais. **REDES, Revista de Desenvolvimento Regional**, Santa Cruz do Sul. v. 14, n. 3, p. 211 – 234, set./dez. 2009.
- CUNHA, A. C. Termo de Execução Descentralizada. Projeto Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) do Estado do Amapá - Amapá, Cutias, Itaubal, Mazagão, Laranjal do Jari e Vitória do Jari). Processo Universidade Federal do Amapá - UNIFAP No. 23125.012850/2018-87. 52 p. 2018.
- SILVA, E.B.; ALVES, C.S.; PORTILHO, J.C.S. Diagnóstico Participativo de Saneamento Básico na comunidade rural do Baixo Rio Araguari, Município de Ferreira Gomes-Amapá, Brasil. **Revista Biota Amazônia**, Macapá, v.6, n.2, p.17-23, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n2p17-23>
- IMADA, K.S. *et al.* Fatores socioeconômicos, higiênicos e de saneamento na redução de diarreia na Amazônia. **Rev. Saúde Pública**, 50, 22 Dez, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006505>
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - (Brasil). Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2017. Brasília; MDR, 2019.

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS
COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA**

*Artigo aceito para publicação em “Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais”
Periódico B1 para Ciências Ambientais*

QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM MUNICÍPIOS COM MENOS DE 50 MIL HABITANTES NA AMAZÔNIA

Jorge Angelo Simões Malcher¹, Daímio Chaves Brito², Alan Cavalcanti da Cunha³

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, AP – Brasil.
E-mail: jorgeangelo89@hotmail.com

² Universidade do Estado do Amapá (UEAP), Macapá, AP – Brasil. E-mail: daimiobrito@ueap.edu.br

³ Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais – Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Macapá – AP, Brasil. E-mail: alancunha12@gmail.com

RESUMO

O abastecimento de água é um serviço essencial e imprescindível para diversas atividades humanas. Com este propósito é preciso manter a quantidade e qualidade em níveis sanitários aceitáveis. O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta para avaliar suas características físicas, químicas e microbiológicas de eminentre relevância para a saúde pública. O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade da água de abastecimento nos municípios de Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari, todos pertencentes ao estado do Amapá. Foram realizadas a coleta de 94 amostras e a análise dos parâmetros cor, turbidez, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, cloretos, fluoretos, nitrato, amônia, fósforo total, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Os resultados obtidos indicam frequente contaminação da água por coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* nos sistemas de abastecimentos daquelas localidades onde há limitado nível de tratamento, com destaque aos poços rasos. Alta frequência das amostras (69,15%) apresentou não conformidade de parâmetros microbiológicos quando comparados com os padrões estabelecidos pela portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. O estudo mostra a relevância do monitoramento da qualidade da água como indicador de contaminação dos mananciais utilizados para o consumo humano, ressaltando a importância de manter o funcionamento em sistemas de abastecimento e distribuição para o controle da qualidade da água.

Palavras-Chave: Abastecimento de Água, Potabilidade, Saúde Pública.

ABSTRACT

WATER QUALITY FOR PUBLIC SUPPLY IN MUNICIPALITIES WITH LESS THAN 50,000 INHABITANTS IN THE AMAZON

The water supply is an essential and indispensable service for various human activities. With that purpose it is necessary to maintain quantity and quality at acceptable sanitary levels. Water quality monitoring is an important tool to evaluate its physical, chemical and microbiological characteristics of eminent relevance to public health. The objective of this study was to evaluate the quality of the water supply in the municipalities of Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão and Vitória do Jari, all belonging to the state of Amapá. We collected 94 samples and analyzed the parameter: color, turbidity, electrical conductivity, total suspended solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, pH, chlorides, fluorides, nitrate, ammonia, total phosphorus, thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*. The results obtained indicate frequent contamination of water by thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* in the supply systems of those locations where there is a limited level of treatment, with emphasis on shallow wells. High frequency of samples (69.15%) showed non-compliance of microbiological parameters when compared to the standards established by Consolidation Ordinance No. 5, of September 28, 2017, from the Ministry of Health. The study shows the relevance of monitoring water quality as an indicator of contamination of water sources used for human consumption, emphasizing the importance of maintaining functioning in supply and distribution systems for the control of water quality.

Keywords: Water Supply, Potability, Public Health.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Saneamento, representada pela Lei nº 11.445/2007 define o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007). Apesar do saneamento básico representar um conjunto de medidas que visa preservar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças, promover saúde e qualidade de vida à população, o Brasil, historicamente, vem enfrentando problemas sérios relacionados à falta destes serviços oferecido à população, principalmente na região amazônica (SNIS, 2019). Entre os serviços de saneamento básico mais relevantes destaca-se o abastecimento de água que deveria ser capaz de fornecer água em quantidade e qualidade adequadas e suficientes (FERREIRA et al., 2014).

Contudo, mesmo na Amazônia, o crescimento urbano-demográfico e o desenvolvimento socioeconômico estão atrelados ao aumento da demanda por água que, por sua vez, nem sempre é acompanhado por serviços e equipamentos de saneamento satisfatórios e com a devida qualidade exigida por força de lei (CUNHA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014). Assim, estudos que visem avaliar aspectos sanitários podem contribuir com a gestão de recursos hídricos e consequentemente com a manutenção do ambiente, sendo possível verificar sua condição e como as ações humanas o afeta (ANDRADE et al., 2007; BRAUD et al., 2013).

Na Amazônia os índices dos serviços de saneamento básico estão ainda significativamente abaixo da média nacional (IBGE, 2010; IBGE, 2016; SNIS, 2019), onde fração representativa da população vive de forma precária devido à falta de serviços sanitários. Neste contexto, a pressão antropogênica exercida sobre os recursos hídricos também resulta em uma variedade de efeitos danosos ao ambiente e à saúde humana (BRAGATTO et al., 2012), principalmente em municípios brasileiros com menos de 50 mil habitantes, como é o caso da maioria dos municípios do Estado do Amapá investigados neste estudo (CUNHA, 2018).

A presente investigação está inserida no Termo de Execução Descentralizada (TEDPLAN), resultado de uma cooperação técnica entre a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), cujo objetivo principal é capacitar os municípios de Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari para a elaboração de seus Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) e fortalecimento das políticas públicas do setor.

O projeto TEDPLAN visa garantir aos municípios com menos de 50.000 habitantes o domínio de ferramentas de planejamento, no âmbito do novo arcabouço legal existente no país, potencializando o processo de gestão, melhorando a qualidade dos serviços ofertados, bem como a promoção da saúde e sustentabilidade com estímulo da participação e controle social (CUNHA, 2018).

A análise da qualidade da água é uma importante etapa do Diagnóstico Técnico-Participativo (DTP) dentro do projeto TEDPLAN, cujos resultados servem para embasar ações de melhoria do serviço de abastecimento nos municípios. Os dados coletados servem também como subsídios aos programas e

políticas públicas relacionadas à qualidade de água desses municípios, os quais não dispõem dessas informações no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), fundamentais para o planejamento e tomada de decisões deste setor. A escassez dessas informações no SNIS e a falta de controle e monitoramento da qualidade da água de abastecimento em fontes oficiais ou estudos científicos nos municípios em estudo é uma das principais lacunas de conhecimento do estado, o que reflete uma problemática acintosa para o setor na região amazônica (GIATTI et al., 2012).

Este cenário demonstra uma carência relevante de dados, informações ou ferramentas com que se possam avaliar as reais condições da qualidade da água de abastecimento em tais municípios. As evidências de que a população tem sido atendida com água potável dentro dos padrões requeridos pelas legislações vigentes não são claras (CUNHA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014; GROTT et al., 2018). Portanto, gerar novas informações resultantes do monitoramento da qualidade da água nos diversos municípios do Estado do Amapá é uma questão norteadora para a melhoria dos sistemas de abastecimento públicos destes municípios. Esse estudo apresenta a seguinte problemática: a concessionária estadual (Companhia de Água e Esgoto do Amapá – CAESA) fornece água de qualidade adequada ao consumo humano dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente?

Para responder a esta pergunta apresentamos a seguinte hipótese: há elevada frequência de não conformidade da qualidade da água nos municípios, explicados pelos baixos índices de serviços de saneamento no Estado do Amapá, influenciada por parâmetros sanitários e ambientais sobre a qualidade da água de abastecimento desses municípios.

Esta pesquisa, portanto, foca apenas em análises das características da água e tem como objetivo principal verificar se os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação vigente. Como objetivo específico, avaliar a sua variação espacial com base em amostragem de sistemas de abastecimento público de seis municípios do Estado do Amapá (Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão, Vitória do Jari).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

As campanhas de campo para coleta de amostras de água para consumo humano foram realizadas em seis municípios: Amapá, Cutias, Itaubal, Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari no Estado do Amapá contemplados no Termo de Execução Descentralizada TEDPLAN (CUNHA, 2018).

A área de estudo está dentro dos domínios típicos de municípios amazônicos brasileiros (Figura 1). Observa-se que há dois sítios amostrais por município pesquisado, sendo as sedes municipais representantes da zona urbana e em uma comunidade, vila ou distrito municipal representando a zona rural.

Em cada município a Companhia de Água e Esgoto do Amapá – CAESA é a responsável pelos serviços de esgotamento e abastecimento de água e tem por finalidade coordenar o planejamento e

executar, operar e explorar os serviços públicos de saneamento básico de esgoto e abastecimento de água potável, bem como realizar obras de saneamento básico no Estado do Amapá.

O estado do Amapá pertence à região Norte do Brasil, situado na região conhecida como Escudo das Guianas, possuindo uma área de 142.814,585 km², inserida no bioma amazônico. É uma região grande e diversificada de ecossistemas e formas de relevo, por se situar em uma região tropical, em torno da Linha do Equador, o estado do Amapá recebe durante todo o ano uma grande quantidade de energia solar, que vai propiciar um clima quente e úmido, que se caracteriza principalmente pelo regime de precipitação, sujeito a grandes variações sazonais (MELO et al., 2009; TAVARES, 2014).

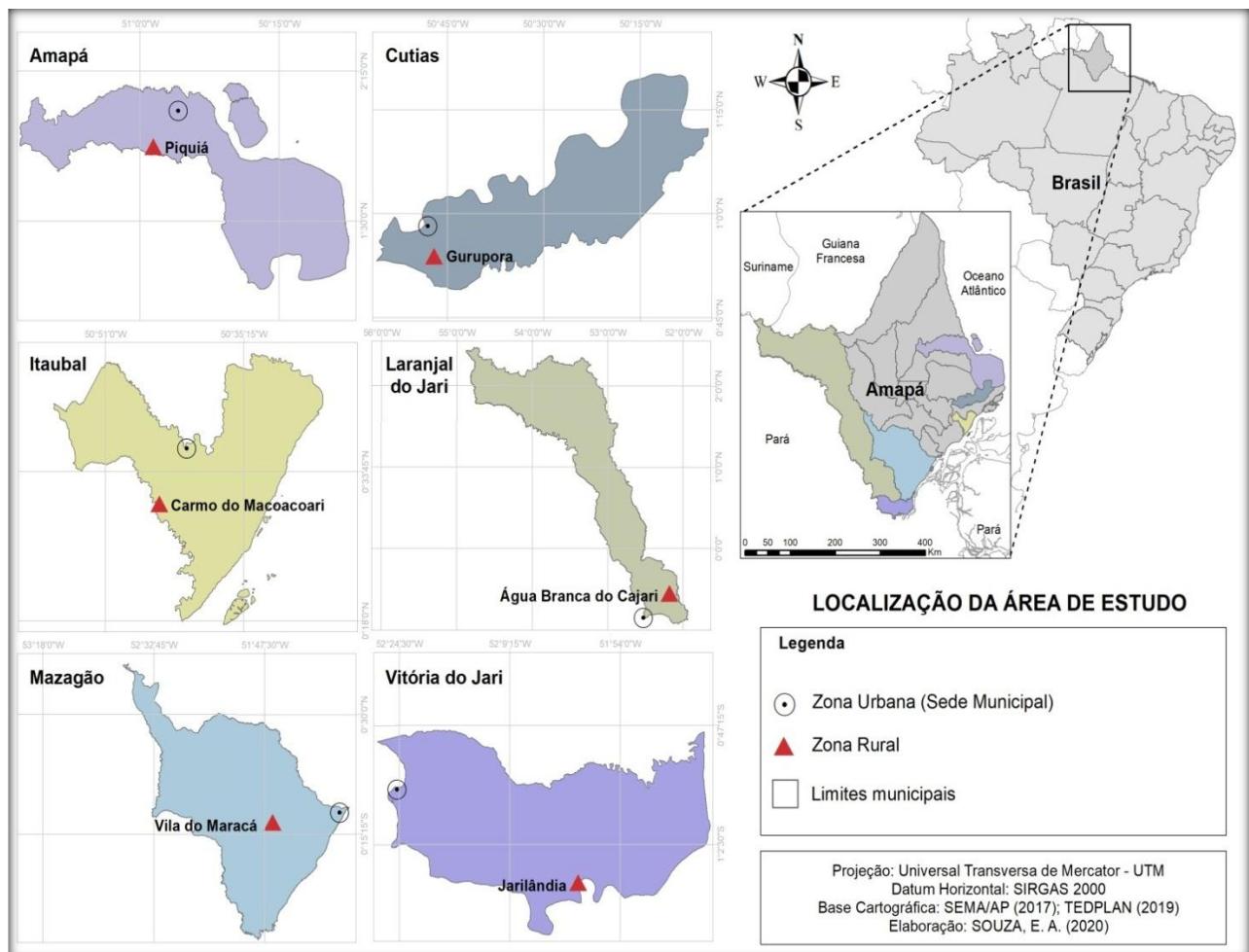


Figura 1: Mapa de localização dos municípios que compõem a área de estudo.

Delineamento experimental

Foram coletadas e analisadas, no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental (LQSMa) do curso de ciências ambientais da Universidade Federal do Amapá, 94 amostras, das quais foram medidos 14 parâmetros de qualidade de água (Tabela 2). As amostras foram obtidas tanto da água bruta de captação quanto de água tratada. Dentre as amostras da captação superficial, 14 parâmetros foram utilizados e 12 parâmetros utilizados nas amostras da água bruta da captação subterrânea e da água distribuída para o consumo da população nos seis municípios.

Os parâmetros oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foram analisados apenas onde a captação ocorre em águas superficiais. Como estes parâmetros não possuem Valores

Máximos Permitidos (VMP) na portaria de potabilidade, sua análise serve apenas para avaliar as condições autodepurativas dos corpos hídricos utilizados para a captação superficial. E, nesses casos, foram usados os padrões contidos na Resolução CONAMA nº357/2005. Por questões de limitação logística do projeto TEDPLAN, as campanhas de campo foram realizadas apenas no período sazonal de transição (entre o período seco e o chuvoso), entre os meses de dezembro de 2019 e janeiro de 2020.

O processo de amostragem em cada município, zona urbana e rural, seguiu o seguinte planejamento: a) uma amostra coletada na captação; b) uma amostra coletada no pós-tratamento; c) duas amostras coletadas em serviços públicos essenciais (uma escola e uma unidade básica de saúde); d) quatro amostras nos pontos extremos da rede de distribuição. Porém, não foi possível aplicar rigorosamente esse planejamento em todos os sítios amostrais, devido às particularidades logísticas locais, havendo variações do número amostral dos pontos de coleta, dependentes do tamanho da população, tamanho geográfico e do tipo de captação, distribuição e consumo (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição do número de amostras por localidade.

Localidade	Pontos	Captação/Tratamento	Captação	Abastecimento	Total
Sede de Amapá	P1 a P6	Superficial-Lago/Tratada	1	5	6
Piquiá	P7 a P14	Subterrânea-Poço Raso/Não Tratada	-	8	8
Sede de Cutias	P15 a P22	Subterrânea-Tubular/Tratada	1	7	8
Gurupora	P23 a P29	Subterrânea-Tubular/Não tratada	1	6	7
Sede de Itaubal	P30 a P38	Subterrânea-Tubular/Não tratada	3	6	9
Carmo do Macacoari	P39 a P46	Subterrânea-Tubular/Não tratada	2	6	8
Sede de Laranjal do Jari	P47 a P56	Superficial-Rio/Tratada	1	5	6
		Subterrânea-Tubular/Não tratada	1	3	4
Água Branca do Cajari	P57 a P62	Subterrânea-Poço Raso/Não Tratada	-	6	6
Sede de Mazagão	P63 a P71	Superficial-Rio /Tratada	1	8	8
Vila do Maracá	P72 a P79	Superficial-Rio /Tratada	1	7	8
Sede de Vitória do Jari	P80 a P87	Superficial-Rio /Tratada	1	7	8
Distrito de Jarilândia	P88 a P94	Subterrânea-Tubular/Não tratada	2	5	7
TOTAL			14	80	94

Coleta e análise laboratorial

Foram coletados e analisados os parâmetros físicos: cor, turbidez, sólidos suspensos totais, condutividade elétrica; os parâmetros químicos: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, cloreto, fluoreto, nitrato, amônia, fósforo Total; e os parâmetros microbiológicos: coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros, métodos e equipamentos de análise.

Sigla	Parâmetros	Unidade	Métodos/Equipamentos
Cor	Cor	uH	Platina-Cobalto Padrão/DR 3900 HACH
Tur	Turbidez	UNT	Nefelométrico/HACH 2100P
SST	Sólidos Suspensos Totais	mg.L ⁻¹	Fotométrico/DR 3900 HACH
CE	Condutividade elétrica	µS.cm ⁻¹	Condutivimétrico /Sonda YSI 556 MPS
DBO	Demanda Bíoquímica de Oxigênio	mg.L ⁻¹	Incubação DBO ₅ 20°

OD	Oxigênio Dissolvido	mg.L^{-1}	Winkler
pH	Potencial Hidrogeniônico	-	Potenciométrico/ pHmetro Orion/3 Star
Cl^-	Cloreto	mg.L^{-1}	Calmagita Colorimétrico/DR 3900 HACH
F^-	Fluoreto	mg.L^{-1}	SPADNS/DR 3900 HACH
NO_3^-	Nitrato	mg.L^{-1}	Nitraver/DR 3900 HACH
NH_3	Amônia	mg.L^{-1}	Nessler/DR 3900 HACH
PT	Fósforo Total	mg.L^{-1}	Phosver3/DR 3900 HACH
CT	Coliformes Termotolerantes	NMP.100 mL^{-1}	Colilert/Substrato cromogênico
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	NMP.100 mL^{-1}	Colilert/Substrato cromogênico

Para medir os parâmetros selecionados da qualidade da água, seguiu-se a metodologia de escolha de reagente, equipamentos, transporte, conservação, esterilização, cuidados laboratoriais, calibração dos equipamentos e coleta amostral do Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater da American Public Heath Association (APHA, 2005) e do Manual do Espectrofômetro (DR/3900, 2011).

Foram coletadas amostras de água em frascos de polietileno de 500 mL, armazenadas e analisadas em laboratório conforme a literatura citada, exceto turbidez, condutividade elétrica e pH que foram medidos em campo.

Análises estatísticas

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados foram utilizados os seguintes testes estatísticos: Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados ($p<0,05$). Como os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se por usar testes não paramétricos sem transformação dos dados. Todas as análises foram conduzidas no sistema computacional R-project (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008) sendo adotado um coeficiente de confiança de 95% ou, quando conveniente, 99%.

Para testar a hipótese de variação espacial das variáveis monitoradas nas diferentes localidades, utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Os testes foram considerados significantes quando $p<0,05$ ou, quando necessário, $p<0,01$. Análises de correlações foram realizadas utilizando o coeficiente de correlação de Spearman (não-paramétrica) com significância de $p < 0,05$ ou $p < 0,01$.

Para testar alguns aspectos relevantes de similaridade estatística (variação espacial integrada) foi realizada uma análise de agrupamento (AA). O objetivo é visualizar grupos similares de amostras do conjunto total de parâmetros variantes espacialmente. Utilizou-se uma matriz com o conjunto de dados divididos por localidade e categorias, considerando o método Ward de aglomeração hierárquica (Weighted Pair Group Method Average Arithmetics) (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido aos diferentes tipos de captação, tratamento e distribuição encontrados nas localidades estudadas (fatores estatísticos), os resultados das amostragens foram agrupados em seis categorias para a discussão: Captação Superficial (CaS), Captação Tubular (CaT), Distribuição Superficial Tratada (DST), Distribuição Tubular Tratada (DTT), Distribuição Tubular Não Tratada (DTNT) e Poços Rasos (PR).

A categoria Captação Superficial (CaS) agrupa todas as amostras coletadas em mananciais superficiais utilizados para a captação de água pela CAESA; a Captação Tubular (CaT) agrupa as amostras coletadas na captação subterrânea realizada por meio de poços tubulares do tipo artesiano cuja pressão da água é suficiente para a sua subida à superfície de grandes profundidades (aquéfero confinado), em geral, suas águas têm qualidade microbiológica apropriada e grandes quantidades de íons dissolvidos (VASCONCELOS, 2017; GROTT et al., 2018); Distribuição Superficial Tratada (DST) agrupa as amostras coletadas na rede de distribuição de localidades onde há captação superficial e tratamento; Distribuição Tubular Tratada (DTT) agrupa as amostras coletadas na rede de distribuição de localidades onde há captação tubular e tratamento; Distribuição Tubular Não Tratada (DTNT) agrupa todas as amostras coletadas na rede de distribuição de localidades onde há captação tubular, porém, sem tratamento; Poços Rasos (PR) são poços do tipo amazonas, com diâmetros de 1 metro ou mais, escavados manualmente que podem ser revestidos ou não com tijolos ou anéis de concreto e possuem geralmente profundidades na ordem de até 20 metros (CRISPIM et al., 2017), esta categoria agrupa as amostras coletadas em residências que utilizam tais poços para consumo direto, sem tratamento.

Qualidade da Água Bruta – Captação Superficial (CaS)

Os resultados das análises realizadas nos mananciais superficiais estão dispostos na tabela 3 e são comparados com os VMP na resolução CONAMA nº 357/2005, esta resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Como os corpos hídricos estudados não estão classificados pela agência reguladora, serão enquadrados neste estudo como classe II (BRASIL, 2005).

Os mananciais estudados foram o Igarapé do Campo (P1) na sede municipal de Amapá, Rio Macacoari (P40) na vila do Carmo do Macacoari, Rio Beija-Flor (P63) na sede municipal de Mazagão, Rio Maracá (P72) na Vila do Maracá e o Rio Jari em dois pontos (P48 e P80) na sede dos municípios de Laranjal e Vitória do Jari, respectivamente.

Tabela 3: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da água bruta superficial.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE µS.cm ⁻¹	OD mg.L ⁻¹	DBO mg.L ⁻¹	pH	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤ 75	≤ 100	-	-	≥ 5,00	≤ 5,00	6-9	250,0	≤ 1,40	≤ 10,0	≤ 3,70	≤ 0,05	≤ 1000,0	-
P1	90	2,15	4	121,8	8,72	1,32	4,35	28,5	0,00	0,3	0,12	0,08	920,8	8,5
P40	47	3,13	6	11,0	7,49	2,36	4,3	1,7	0,00	0,3	0,09	0,11	1119,9	65,1
P48	97	8,09	3	30,4	6,01	2,73	5,75	2,0	0,02	2,4	0,25	0,10	686,7	33,6
P63	472	65,20	73	27,0	6,88	3,70	5,98	3,1	0,00	1,1	0,73	0,11	>2419,6	410,6
P72	90	7,77	3	29,3	6,41	2,64	5,77	3,5	0,10	0,5	0,40	0,06	>2419,6	228,2
P80	90	6,72	6	29,1	5,97	2,79	5,72	2,5	0,03	0,3	0,11	0,15	1203,3	183,5
Conformidade	16,7%	100%	-	-	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	33,3%	-

¹Valor Máximo Permitido segundo a resolução CONAMA nº357/2005.

Todos os valores de pH encontrados estão em não conformidade em relação a resolução CONAMA nº357/2005, indicando águas ácidas, contudo, dentro da normalidade em relação ao contexto amazônico para águas superficiais (PASCOALATO et al., 2010; ANDRIETTI et al., 2016; ALMADA et al., 2019).

A não conformidade de CT em 66,6% das amostras e a presença de *E. coli* em 100% delas indicam contaminação de origem fecal, pois a *E. coli* é uma bactéria encontrada em grande quantidade no trato gastrointestinal de humanos e animais endotérmicos (KOCH et al., 2017; CUNHA et al., 2012). O local de captação da água para consumo nestas localidades fica próximo ou dos centros urbanos ou de áreas de manejo de animais da pecuária. Nas cidades, fatores como a ausência de tratamento do esgotamento sanitário, despejo indevido de resíduos sólidos nas margens ou diretamente no corpo hídrico são causas comuns para o elevado número de microrganismos, já na atividade pecuarista a contaminação acontece por dejetos dos animais (ZERWES et al., 2015). Desta forma, o controle das questões sanitárias além de benefícios para a população contribui também para manutenção dos ecossistemas aquáticos (OLIVEIRA et al., 2018).

Os valores obtidos para cor estão acima do padrão recomendado pela resolução citada (com exceção do ponto P40). Este fato pode estar associado ao aumento da descarga hídrica devida ao início das chuvas na região ou por despejo de material orgânico decorrentes da ocupação das margens dos corpos hídricos estudados (OLIVEIRA et al., 2014), tal como também observado nos estudos de Piratoba et al. (2017) e Ríos-Villamizar et al. (2011), onde com o aumento do volume pluviométrico ocorreu também o aumento dos valores do parâmetro cor encontrados.

As medidas de fósforo total estão fora dos padrões estabelecidos. Este fósforo pode ter diferentes fontes, tais como, a lixiviação de rochas, a atividade agropecuária e usos domésticos. A literatura descreve que o excesso de fósforo pode causar a acidificação e a degradação dos corpos de água superficial, pois é um dos principais motivos para a eutrofização (GEBLER et al., 2012; KLEIN et al., 2012; ABREU et al., 2017).

Dos resultados obtidos para CaS, destaca-se negativamente o ponto P63, na sede municipal de Mazagão. O ponto P63 apresenta valores elevados dos parâmetros cor, turbidez, SST, CT e *E. coli* em relação aos demais pontos amostrados, evidenciando que o corpo hídrico é afetado mais severamente pelas ações antropogênicas, já que o despejo de esgoto sanitário e outras ações humanas são causas comuns para o aumento dos parâmetros citados (PINTO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

Os valores de turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, cloreto, fluoreto, nitrato e amônia obtidos nos mananciais analisados assemelham-se aos encontrados em Souza et al. (2015) no que diz respeito a conformidade, onde os parâmetros mencionados estiveram dentro do padrão da resolução CONAMA nº 357/2005.

Qualidade da Água Bruta – Captação Tubular (CaT)

A captação subterrânea é bastante utilizada para abastecimento de água em zonas urbanas e rurais no Estado do Amapá (GROTT, et al., 2018), tanto para uso individual ou coletivo, o uso da captação subterrânea é devido à insustentabilidade da utilização dos mananciais superficiais, considerando os aspectos de quantidade e qualidade da água. Dessa forma, é cada vez mais comum a utilização da água subterrânea para abastecimento público pelo menor custo operacional (GOMES et al., 2018).

A captação feita por poços tubulares do tipo artesiano ocorre na sede municipal de Cutias (P15), comunidade de Gurupora (P23), sede municipal de Itaubal (P30, P31, P32), vila do Carmo do Macacoari (P39), Sede do município de Laranjal do Jari (P47) e distrito de Jarilândia (P88,P89). Os resultados estão dispostos na Tabela 4 e foram comparados com os VMP do anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2017, que dispõe sobre padrões de qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2017).

Tabela 4: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da água bruta subterrânea.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE µS.cm ⁻¹	pH -	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤15	≤5,00	-	-	6-9	≤250,0	≤1,50	≤10,0	≤1,50	-	Ausente	Ausente
P15	1	0,46	0	44,3	4,00	1,60	0,2	0,8	0,04	0,15	686,7	0,0
P23	1	0,27	1	32,9	4,21	0,01	0,22	0,5	0,03	0,21	>2419,6	3,1
P30	2	0,20	1	27,9	3,65	0,90	0,0	1,4	0,01	0,04	79,4	0,0
P31	14	0,13	3	96,2	3,39	7,60	0,1	1,5	0,03	0,03	0,0	0,0
P32	25	1,00	7	20,9	4,42	0,70	0,0	0,7	0,02	0,03	109,5	0,0
P39	11	0,19	0	17,9	3,85	1,50	0,0	0,3	0,01	0,11	0,0	0,0
P47	3	0,19	2	209	3,90	14,30	0,01	4,2	0,04	0,08	42,0	8,5
P88	1	0,25	1	61,9	5,55	10,20	0,09	1,9	0,01	0,11	8,3	0,0
P89	2	0,32	2	99,6	4,65	16,50	0,01	1,8	0,11	0,11	90,9	41,7
Conformidade	88,9%	100%	-	-	0%	100%	100%	100%	100%	-	22,3%	66,7%

¹Valor Máximo Permitido segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Novamente os valores de pH estão em não conformidade com a legislação em todas as amostragens realizadas, resultado semelhante ao encontrado por Grott et al. (2018), onde o pH esteve em não conformidade em todas as amostras no período seco e 98,08% no período chuvoso. Nos estudos de Cecconello et al. (2020) em média 80% das amostras também estavam em não conformidade, com pH < 6. Valores semelhantes foram observados nos estudos de Silva et al. (2014) e Laureano et al. (2019).

Os resultados das análises apresentaram presença de CT em 77,7% e de *E. coli* em 33,3% das amostras, evidenciando a provável contaminação por esgotamento doméstico que segundo a literatura é a causa mais comum para contaminação em águas subterrâneas (CARLSON et al., 2011; MACEDO et al., 2018). Destacando-se os pontos P15 e P23 (Município de Cutias), cujos valores são superiores aos outros pontos, sugerindo que a contaminação ocorre de forma pontual, sendo então necessária a verificação de outras prováveis variáveis hidrossanitárias interferindo neste parâmetro.

A CE não possui valor padrão determinado para o consumo humano. Porém, pode ser notado que em todos os pontos amostrados na CaT os valores de CE encontrados são superiores aos observados na CaS. Segundo Pereira et al (2010), as águas subterrâneas tendem a apresentar sais dissolvidos em maior quantidade que as águas superficiais.

Os parâmetros cor, turbidez, sólidos suspensos totais, cloreto, fluoreto, nitrato, amônia e fósforo total apresentaram valores dentro do estabelecido pela legislação e constantes da literatura, com exceção do parâmetro cor no ponto P32. Todavia, a cor está mais ligada a aspectos estéticos do que sanitários que comprometa a saúde humana (NÉRI et al., 2015; LAUTHARTTE et al., 2016; CELLIGOI et al., 2019). Os resultados obtidos se assemelham aos de Azevedo (2006) em seu estudo sobre água subterrânea na região amazônica.

Qualidade da Água – Distribuição Superficial Tratada (DST)

Este tipo de distribuição de água para o consumo da população (Tabela 5) ocorre na sede municipal de Amapá (P2 a P6), sede municipal de Laranjal do Jari (P49, P50, P51, P53, P56), sede municipal de Mazagão (P64 a P71), Vila do Maracá (P73 a P79, área rural de Mazagão) e sede municipal de Vitória do Jari (P81 a P87). Nestes locais a água distribuída é proveniente de mananciais superficiais e passam por tratamento convencional da água, cujas etapas são a coagulação/flocação, decantação, filtração e desinfecção. Porém, não é realizada a etapa de fluoretação.

Tabela 5: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da Água Superficial Tratada.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	pH -	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤15	≤5,00	-	-	6-9	≤250,0	≤1,50	≤10,0	≤1,50	-	Ausente	Ausente
P2	14	0,84	1	119,5	4,14	25,3	0,00	1,4	0,07	0,12	14,8	0,0
P3	18	1,22	1	141,4	4,16	40,9	0,18	1,0	0,01	0,09	6,3	0,0
P4	30	0,66	4	142,1	4,12	29,0	0,14	0,7	0,00	0,12	3,1	0,0
P5	43	0,92	0	119,9	4,27	22,4	0,10	0,8	0,30	0,09	0,0	0,0
P6	6	0,61	0	124,4	4,23	24,9	0,00	0,8	0,30	0,04	0,0	0,0
P49	2	1,75	1	40,6	5,04	2,3	0,19	0,4	0,01	0,09	8,6	0,0
P50	14	0,41	1	47,3	4,84	2,9	0,01	0,2	0,08	0,12	91,3	0,0
P51	12	1,72	1	45,5	4,90	3,3	0,01	0,6	0,04	0,13	218,7	0,0
P53	2	0,41	1	80,0	4,57	5,5	0,02	1,3	0,01	0,10	6,3	0,0
P56	5	0,21	2	44,6	4,29	2,4	0,02	1,4	0,08	0,09	0,0	0,0
P64	21	1,63	1	66,1	4,16	0,7	0,20	1,0	0,14	0,08	0,0	0,0
P65	46	2,77	4	67,8	4,21	1,0	0,10	0,6	0,14	0,05	0,0	0,0
P66	12	1,11	1	69,8	4,62	0,7	0,20	0,5	0,15	0,04	0,0	0,0
P67	20	1,95	1	58,0	4,93	0,5	0,20	0,8	0,15	0,06	0,0	0,0
P68	1	0,59	1	62,5	4,36	0,7	0,00	0,8	0,09	0,12	0,0	0,0
P69	14	2,52	3	65,6	4,30	0,7	0,10	0,3	0,11	0,10	0,0	0,0
P70	11	2,15	1	63,4	4,39	0,5	0,10	0,9	0,13	0,09	0,0	0,0
P71	1	4,11	1	60,7	4,24	0,3	0,00	0,7	0,09	0,07	0,0	0,0
P73	1	1,90	1	93,5	4,38	3,8	0,00	0,4	0,13	0,07	0,0	0,0
P74	6	0,39	1	75,0	4,17	4,4	0,00	1,6	0,15	0,02	172,5	5,2
P75	1	0,26	1	64,5	4,51	4,2	0,00	0,5	0,37	0,12	15,8	0,0
P76	4	1,24	1	101,8	4,21	3,5	0,00	0,9	0,18	0,12	5,2	0,0
P77	3	0,96	1	99,4	4,09	4,2	0,10	0,8	0,30	0,11	0,0	0,0
P78	6	1,10	1	102,3	4,06	4,3	0,20	0,4	0,27	0,08	39,5	0,0
P79	1	0,33	1	94,3	4,05	3,4	0,00	0,2	0,15	0,10	0,0	0,0
P81	11	2,94	1	45,2	4,84	1,2	0,08	0,2	0,04	0,11	15,8	0,0
P82	2	0,27	1	50,6	4,73	2,2	0,19	0,3	0,02	0,09	0,0	0,0
P83	1	2,60	1	46,8	5,01	1,5	0,37	1,8	0,02	0,07	613,1	0,0
P84	1	0,49	1	52,3	4,69	2,5	0,01	0,4	0,08	0,13	29,4	0,0
P85	1	0,58	1	51,3	4,82	2,2	0,13	0,3	0,06	0,15	83,6	0,0
P86	1	0,40	1	52,0	4,73	2,0	0,02	0,3	0,01	0,12	44,3	0,0
P87	1	1,26	1	52,0	7,84	2,0	0,40	0,5	0,07	0,08	34,5	10,9
Conformidade	81,2%	100%	-	-	3,1%	100%	100%	100%	100%	-	46,9%	93,7%

¹Valor Máximo Permitido segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Das trinta e duas amostras analisadas, somente o ponto P87 apresentou conformidade para o parâmetro pH, coletada na sede municipal de Vitória do Jari. As demais amostras estão com valores abaixo do recomendado pela legislação. Todavia, não chega a causar problemas de saúde (PRADO et al., 2010). Mas a água no sistema de abastecimento não pode ser ácida, por ser corrosiva e afetar as tubulações de ferro, nem pode ser básica, pois gera gosto na água (MAIA et al., 2015; QUADROS, 2016). Percebe-se que o

tratamento não realiza correção do pH. Pelo contrário, observou-se que o pH na captação é mais próximo ao estabelecido na legislação do que na água tratada. Isso pode estar associado com a má aplicação e quantidade de produtos adicionados no tratamento (SILES et al., 2011).

O parâmetro CT está em não conformidade em 53,1% das amostras analisadas. Destaca-se a sede municipal de Mazagão, sem nenhuma não conformidade. Todavia, as demais localidades atendidas pela CAESA com tratamento de água acusaram contaminação por CT. A exemplo da sede municipal de Vitória do Jari, onde todas as amostras se mostraram em não conformidade (exceto P82), apresentando os piores resultados sanitários em comparação com todas as localidades estudadas nesta categoria.

Para o parâmetro *E. coli* houve significativa diminuição nos valores em relação à água bruta, havendo conformidade em 93,7% das amostras. Desta forma, é possível afirmar que o tratamento é uma importante ferramenta de controle dos microrganismos patogênicos veiculados hidricamente, demonstrando a eficácia da etapa de desinfecção. Estes resultados se assemelham aos obtidos em Silva et al. (2016a), onde houve significativa diminuição de *E. coli* nas amostras coletadas na água tratada em relação a água bruta.

No parâmetro cor observou-se que não houve conformidade em 18,8% das amostras, demonstrando que o tratamento para esse parâmetro foi ineficiente nas sedes dos municípios de Amapá e de Mazagão. Portanto, é preciso reavaliar os procedimentos técnicos adotados e tornar o processo de tratamento mais efetivo para a estética da água. Também, para CE os valores são superiores aos encontrados na captação superficial, indicando que esse aumento pode ser devido ao uso inadequado de produtos químicos adicionados à água na fase de coagulação do tratamento (íons alumínio e sulfato residual) (LEVLIN, 2010).

A fluoretação é uma importante etapa no processo de tratamento, porém não é realizada nos municípios citados. Apesar das concentrações de fluoreto se apresentarem dentro dos padrões em 100% das amostras, os valores ideais recomendados na água para consumo humano indicados nos estudos de Scorsafava et al. (2011) e Frazão et al. (2011) estão entre 0,6 - 0,9 mg.L⁻¹, possibilitando a prevenção da cárie dentária, quando presente em níveis adequados. Porém, se aplicado equivocadamente, é potencialmente prejudicial em níveis elevados. Estabelecer níveis de segurança para o fluoreto em águas de consumo é uma medida imprescindível de proteção à saúde humana (FRAZÃO et al., 2013; FRAZÃO et al., 2018).

Qualidade da Água – Distribuição Tubular Tratada (DTT)

A sede municipal de Cutias (P16 a P22, Tabela 6) é a única localidade que utiliza a captação tubular por poço artesiano e realiza tratamento para distribuição, porém, a única etapa de tratamento feita é a desinfecção através de adição de cloro.

Tabela 6: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da Água Tubular Tratada.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE μS.cm ⁻¹	pH	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤15	≤5,00	-	-	6-9	≤250,0	≤1,50	≤10,0	≤1,50	-	Ausente	Ausente
P16	1	0,47	2	40,7	4,23	1,1	0,06	1,2	0,02	0,13	0,0	0,0
P17	1	0,20	3	39,7	4,49	1,6	0,29	1,1	0,02	0,17	0,0	0,0
P18	1	0,30	2	45,5	3,40	1,9	0,23	1,4	0,02	0,11	5,2	0,0
P19	1	0,25	3	47,1	3,35	1,5	0,06	1,7	0,01	0,11	3,0	0,0
P20	1	0,34	1	42,3	4,12	1,3	0,01	0,7	0,02	0,11	0,0	0,0
P21	4	0,23	5	41,1	3,95	1,6	0,09	1,2	0,01	0,08	4,1	0,0
P22	1	0,31	0	43,6	4,05	1,4	0,05	2,1	0,01	0,03	0,0	0,0
Conformidade	100%	100%	-	-	0%	100%	100%	100%	100%	-	57,1%	100%

¹ Valor Máximo Permitido segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Novamente os valores de pH estiveram em não conformidade com o que estabelece a legislação em todas as amostras, ficando abaixo do valor mínimo permitido, mantendo os valores próximos ao da captação, mostrando a relevância de ser realizada a correção nos níveis de pH no tratamento.

A desinfecção realizada na água para distribuição na sede municipal de Cutias reduziu os valores de CT em relação à captação (P15). Mas sua presença foi detectada em 42,9% das amostras. Contudo, segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017, não pode haver presença de coliformes na água potável. A presença nas amostras revela a necessidade de ampliação nos procedimentos realizados no tratamento, pois apenas a adição de cloro não garante a eficácia necessária na eliminação de todos os microrganismos presentes na água, consequentemente colocando em risco a saúde da população.

Por outro lado, na captação, a presença de *E. coli* não foi detectada em nenhuma amostra. A presença de CT e a ausência de *E. coli* sugere que a contaminação aconteça por bactérias que naturalmente habitam o solo. Segundo Silva et al. (2003) as bactérias do grupo coliformes podem habitar o solo e ocasionalmente contaminar amostras de águas subterrâneas.

Os resultados das análises de cor, turbidez, SST, CE, cloreto, fluoreto, nitrato, amônia e fósforo total estiveram de acordo com que se estabelece a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Qualidade da Água – Distribuição Tubular Não Tratada (DTNT)

Este tipo de distribuição ocorre na comunidade de Gurupora (P24 a P29), sede municipal de Itaubal (P33 a P38), Vila do Carmo do Macacoari (P41 a P46), sede municipal de Laranjal do Jari (P52, P54 e P55) e distrito de Jarilândia (P90 a P94), as amostras são provenientes de mananciais subterrâneos que utilizam poços artesianos para captação e não recebem nenhum tipo de tratamento, sendo distribuída diretamente para população pela CAESA.

Tabela 7: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da Água Tubular Não Tratada.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE μS.cm ⁻¹	pH	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤15	≤5,00	-	-	6-9	≤250,0	≤1,50	≤10,0	≤1,50	-	Ausente	Ausente
P24	1	0,32	2	31,5	4,34	0,1	0,17	0,5	0,01	0,14	11,0	0,0
P25	2	0,17	2	30,5	4,11	0,1	0,01	0,5	0,02	0,17	45,5	0,0
P26	2	0,20	2	30,7	4,22	0,01	0,44	0,6	0,03	0,11	11,0	0,0
P27	1	0,19	1	30,1	3,89	0,02	0,37	0,5	0,01	0,12	11,0	0,0
P28	1	0,33	1	35,6	4,16	0,1	0,19	0,5	0,02	0,16	35,0	0,0
P29	1	0,30	2	32,3	4,09	0,1	0,14	0,8	0,02	0,13	5,2	0,0

P33	2	0,23	0	96,9	3,70	3,2	0,10	1,2	0,03	0,04	13,2	0,0
P34	2	0,14	1	12,5	4,57	1,2	0,10	0,1	0,01	0,03	4,1	0,0
P35	5	0,19	2	98,9	3,83	6,1	0,10	1,3	0,04	0,03	0,0	0,0
P36	1	0,32	1	18,7	4,14	1,1	0,00	1,0	0,02	0,08	3,1	0,0
P37	4	0,16	2	26,6	3,58	1,3	0,00	0,9	0,01	0,03	105,4	0,0
P38	4	0,25	0	25,9	4,39	0,5	0,10	1,0	0,01	0,05	0,0	0,0
P41	1	0,27	2	22,0	3,95	1,3	0,00	0,2	0,01	0,08	0,0	0,0
P42	6	0,37	0	15,4	4,51	1,5	0,00	0,9	0,02	0,04	29,2	7,3
P43	19	0,19	2	22,8	4,01	1,7	0,00	0,3	0,07	0,08	0,0	0,0
P44	2	0,23	2	19,1	3,99	1,2	0,00	0,7	0,05	0,13	0,0	0,0
P45	8	0,17	0	20,0	3,80	1,1	0,00	0,4	0,01	0,12	0,0	0,0
P46	2	0,18	2	26,2	5,21	1,6	0,10	0,6	0,05	0,07	48,7	0,0
P52	4	0,52	1	45,5	5,13	3,0	0,01	0,3	0,01	0,08	15,8	8,5
P54	2	0,27	1	54,0	4,75	2,8	0,02	0,2	0,07	0,07	214,3	25,3
P55	3	0,22	1	52,6	4,73	2,5	0,27	0,6	0,02	0,10	160,7	7,5
P90	1	0,24	2	106,5	4,44	17,0	0,01	1,0	0,01	0,04	27,2	21,3
P91	1	0,47	3	67,3	5,55	9,5	0,01	1,0	0,01	0,06	8,5	4,1
P92	1	0,42	2	78,5	4,94	10,7	0,01	4,7	0,02	0,10	74,7	17,2
P93	1	0,43	2	67,8	5,36	9,9	0,19	1,5	0,02	0,07	13,4	7,4
P94	1	2,94	2	80,2	5,42	8,4	0,01	0,5	0,03	0,10	241,1	127,4
Conformidade	96,2%	100%	-	-	0%	100%	100%	100%	100%	-	23,1%	65,4%

¹Valor Máximo Permitido segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Novamente os valores de pH de todas as amostras analisadas estão em não conformidade legal, com resultados similares aos encontrados na captação. Portanto, salienta-se a necessidade de tratamento para correção do parâmetro em não conformidade.

As análises microbiológicas indicaram a não conformidade de CT e *E. coli* em 76,9% e 34,6% das amostras, respectivamente. A presença de bactérias do grupo coliformes pode ser indício de contaminação por esgoto doméstico, principalmente na sede municipal de Laranjal do Jari (P52, P54, P55) e no distrito de Jarilândia (P90 a P94), onde foi detectado maior quantidade de amostras contaminadas. Segundo Martins et al. (2017), a presença de microrganismos patogênicos na água é decorrente da poluição por fezes humanas e de animais, provenientes de águas residuárias urbanas e rurais, que podem gerar agravos à saúde dos consumidores.

Os valores de cor, turbidez, SST, CE, cloreto, nitrato, amônia e fósforo total estão em conformidade com a legislação e a literatura (CRISPIM et al., 2017; SILVA et al., 2018a), com exceção do ponto P43 situado na Vila do Carmo do Macacoari, que apresentou o parâmetro cor fora do padrão. As águas subterrâneas, em especial as mais profundas, normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de cor, turbidez e SST. E somente em casos onde algum fator cause perturbações em sua qualidade ou contaminações pontuais, o cenário comum é os parâmetros atenderem aos padrões de potabilidade (CÓRCOVIA et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2014; SOUZA et al., 2018).

Qualidade da Água de Poços Rasos (PR)

O acesso à água com a utilização de poços rasos do tipo amazonas ocorre nas comunidades do Piquiá no município de Amapá (P7 a P14) e na comunidade Água Branca do Cajari (P57 a P62) em Laranjal do Jari, sem tratamento e normalmente são consumidas diretamente da fonte.

A utilização de poços amazonas é comum na região amazônica, pelo fácil acesso aos mananciais subterrâneos e ao baixo custo de investimento, utilizados principalmente em zonas rurais sem nenhuma infraestrutura de abastecimento público (SILVA et al. 2014).

Tabela 8: Resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas da Água de Poços Rasos.

Ponto	Cor uH	Tur UNT	SST mg.L ⁻¹	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	pH -	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	F ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT mg.L ⁻¹	CT NMP.100 mL ⁻¹	E. coli NMP.100 mL ⁻¹
VMP ¹	≤15	≤5,00	-	-	6-9	≤250,0	≤1,50	≤10,0	≤1,50	-	Ausente	Ausente
P7	13	1,59	2	13,8	4,87	1,0	0,06	0,5	0,02	0,04	>2419,6	1986,3
P8	7	0,78	1	20,9	4,54	2,1	0,07	0,3	0,02	0,03	435,2	37,3
P9	63	4,46	4	16,5	3,96	3,0	0,09	0,7	0,18	0,08	517,2	11,9
P10	10	0,95	1	43,9	5,17	4,5	0,09	0,8	0,02	0,09	11,0	0,0
P11	3	0,71	1	20,4	4,65	1,7	0,10	0,7	0,04	0,08	0,0	0,0
P12	14	4,03	1	59,8	5,11	5,2	0,11	0,5	0,05	0,11	547,5	45,7
P13	36	5,05	6	56,9	4,72	7,3	0,04	0,5	0,09	0,09	>2419,6	648,8
P14	14	0,75	1	12,9	3,85	1,4	0,08	0,3	0,07	0,06	648,8	19,2
P57	1	1,05	1	38,8	5,97	2,3	0,02	0,7	0,02	0,08	0,0	0,0
P58	1	2,61	1	109	5,86	7,9	0,02	0,5	0,01	0,16	151,0	0,0
P59	1	1,70	1	75,3	5,97	3,4	0,11	0,6	0,09	0,23	>2419,6	156,5
P60	2	0,39	1	91,7	4,50	3,1	0,12	1,1	0,14	0,10	20,3	6,3
P61	6	0,45	1	45,3	5,91	3,9	0,07	0,4	0,10	0,09	>2419,6	33,1
P62	4	1,12	1	50,5	5,91	1,9	0,29	0,2	0,01	0,11	>2419,6	41,7
Conformidade	85,7%	92,9%	-	-	0%	100%	100%	100%	100%	-	14,3%	28,6%

¹Valor Máximo Permitido segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017.

Os resultados obtidos para o parâmetro pH, como em todas as categorias estudadas, ficaram abaixo do padrão. Neste caso, em todas as amostras analisadas. Os valores ácidos de pH podem estar relacionados com fatores ambientais como concentrações de CO₂, oxidação de matéria orgânica, temperatura e características do solo da região, sendo variáveis que influenciam na qualidade da água dos poços amazonas (CAPPI et al., 2012; ROLIM et al., 2013; WARD et al. 2013).

Os resultados obtidos em poços rasos, como esperado, são os mais preocupantes em termos sanitários. Assim, em relação aos parâmetros microbiológicos, por exemplo, CT mostrou não conformidade em 85,7% das amostras e o parâmetro *E. coli* em 71,4%. Em comparação aos resultados da CaT, DTT, DTNT, apresentou maior quantidade de amostras fora do padrão, principalmente em relação ao parâmetro *E. coli*. Neste último caso, o percentual de não conformidade mais que dobrou. Provavelmente, pelo fato dos poços artesianos acessarem águas mais profundas (protegidas) do que os poços amazonas (mais rasos e desprotegidos) seja a principal causa de redução da contaminação por material fecal em parte significativa (ECKHARDT et al., 2009). Segundo Grott et al. (2018) uma série de parâmetros sanitários e ambientais podem influenciar a qualidade da água subterrânea, sendo a variação sazonal das chuvas um dos principais, além da distância dos poços em relação às fossas sépticas/negras em relação ao poço.

Além disso, a qualidade microbiológica da água encontrada no presente estudo também evidencia a fragilidade dos poços amazonas em relação às questões hidrossanitárias e pluviométricas. Diversos estudos apresentam resultados com elevados índices de contaminação fecal nas amostras coletadas em PR, principalmente no período chuvoso (SILVA et al., 2018b; CUNHA et al., 2020). Os resultados de Burgos et al. (2014) e Bortoli et al. (2017) corroboram com os encontrados no presente estudo, demonstrando que a

contaminação de águas subterrâneas é um problema disseminado e amplo de saúde no Brasil, e sobretudo, na Amazônia.

Há também a hipótese de influência da matéria orgânica além de microrganismos presentes em fossas, não construídas adequadamente, contaminarem a água dos poços próximos nas comunidades estudadas. Isso combinado com os baixos índices de serviços sanitários resultam em influência sobre o elevado número de amostras contaminadas (DA SILVA et al., 2018). Por exemplo, a qualidade microbiológica da água nos PR analisados neste estudo se mostrou em condições genericamente insatisfatórias em relação à Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, onde os poços analisados estão impróprios para uso, devido ao potencial risco à saúde da população.

As amostras de cor coletadas em PR também apresentaram não conformidade nos pontos P9 e P13, ambas na comunidade do Piquiá (Amapá). O ponto P13 também se apresentou fora do padrão para o parâmetro turbidez. A comunidade rural do Piquiá apresentou os pontos com valores mais elevados de turbidez e SST. É possível associar uma perturbação hidrológica causada pela água de escoamento superficial durante o período de chuva, devido ao carreamento e lixiviação das paredes dos poços que não possuem proteção adequada, esse processo faz com que aumente a concentração de partículas em suspensão e a turvação da água (BRUM et al., 2016).

Os parâmetros cloreto, fluoreto, nitrato, amônia e fósforo total estiveram dentro do que a legislação e literatura consideram como padrão.

Similaridade Estatística da Qualidade da Água

Para verificar a variabilidade espacial dos dados, classificados por fatores de captação e distribuição de água, foi realizada uma análise de agrupamento avaliando-se a variação espacial. Por estes motivos, os pontos locais foram subdivididos por sítios amostrais categorizados (agrupados) por município (Tabela 1).

Como resultado somente o parâmetro SST ($p = 0,71$) não apresentou variabilidade espacial por localidade de coleta. Todavia, os outros onze parâmetros apresentaram variabilidade significativa ($p < 0,01$). Também, foi avaliado a variabilidade por categoria. Assim, os parâmetros cloreto ($p = 0,16$), fluoreto ($p=0,12$) e fósforo total ($p = 0,78$) não apresentam variabilidade por categorias analisadas, já o restante dos parâmetros apresentaram variabilidade significativa com $p < 0,01$.

Os resultados mostraram que apenas quatro parâmetros apresentaram correlação entre si. Coliformes termotolerantes e *E. coli*, positiva e fortemente correlacionadas ($r = 0,71$, $p < 0,01$) indicando predomínio de contaminação fecal quando encontradas as bactérias do grupo coliformes na água analisada, típicas de esgotos sanitário. Além deles, o cloreto teve correlação positiva com a condutividade elétrica ($r = 0,65$, $p < 0,01$) indicando que no tratamento a adição de cloro aumenta a condutividade elétrica da água para consumo.

Para avaliar a homogeneidade entre os sítios amostrais, ao longo do espaço, uma análise de agrupamentos (AA) forneceu as informações necessárias para quantificar as potenciais similaridades ou

dissimilaridades entre os sítios amostrais. É possível observar que há diferenças significativas do conjunto das variáveis entre dois grupos de dados bastante característicos que surgem da análise, de forma bem distintos, a partir da observação dos dendogramas (Figura 2).

O grupo 4 da Figura 2a reúne os dados das comunidades do Piquiá e Água Branca do Cajari. Ambas localidades consomem água de poços rasos (PR) sem tratamento, indicando que a qualidade da água consumida nestas localidades está em condições muito distintas daquelas consumidas nas outras localidades estudadas. Este resultado corrobora com a hipótese de que a água consumida de poços rasos é a que se encontra em piores condições de qualidade para consumo. Observando que as duas localidades se encontram bem distantes territorialmente (Figura 1), podemos inferir que o que reúne os dados num mesmo grupo é a característica da categoria poço raso (PR).

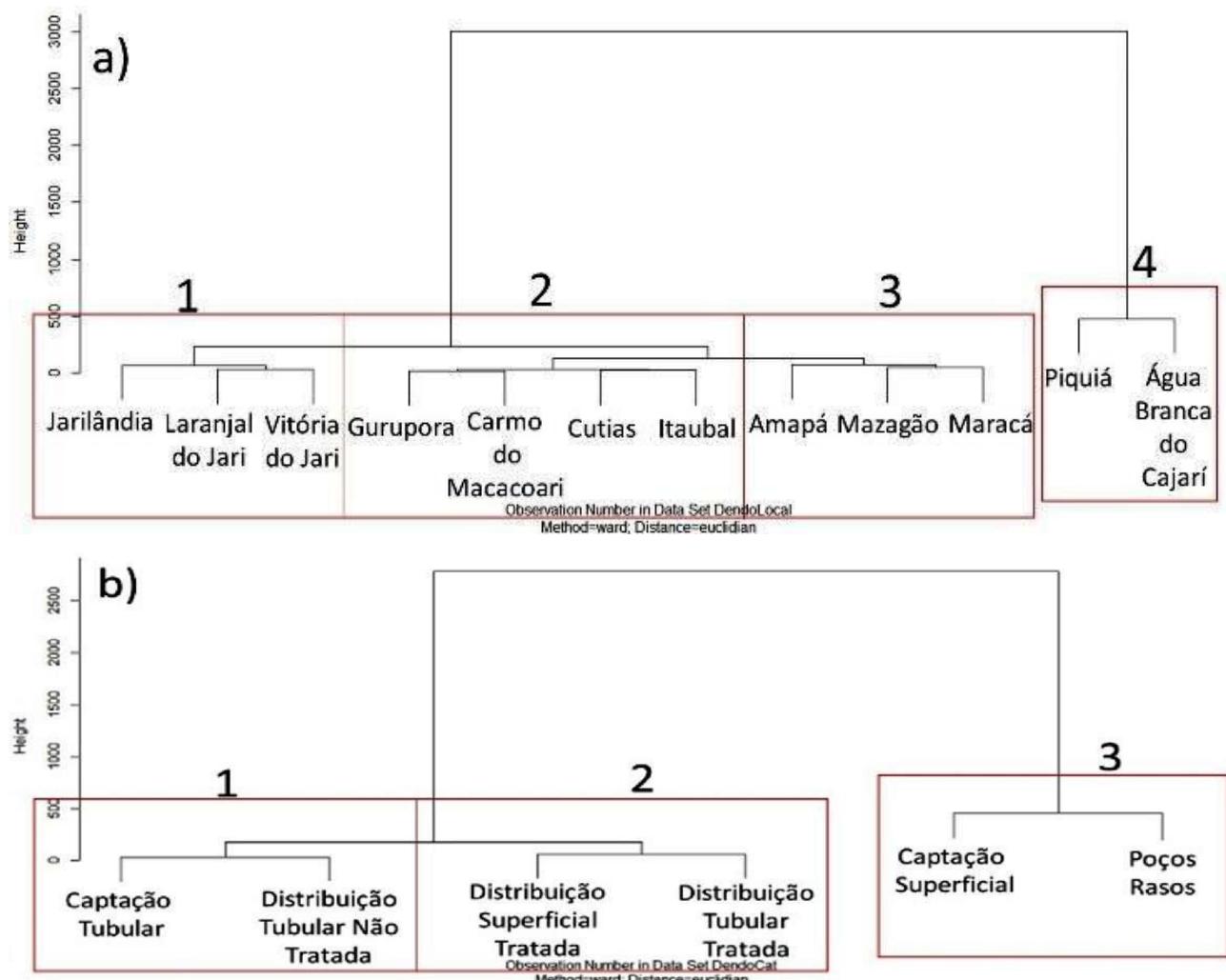


Figura 2: Dendogramas das análises de conjuntos dos parâmetros medidos para a água de consumo. a) por sítios amostrais; b) por categorias.

O grupo maior da Figura 2a está subdividido em dois subgrupos, o subgrupo 1 da Figura 2a reúne o distrito de Jarilândia, a sede municipal de Laranjal do Jari e a sede municipal de Vitória do Jari, indicando que a similaridade dos dados destas localidades ocorre por estarem na mesma região (Figura 1). Além disso, as populações da sede de Laranjal do Jari e da Sede de Vitória do Jari consomem água captada no mesmo rio Jari com a realização de tratamento (OLIVEIRA et al., 2014; ABREU et al., 2017). O distrito de

Jarilândia se localiza às margens do mesmo rio e sua população consome água de dois poços artesianos muito próximos ao rio, indicando influência das águas superficiais na captação dos poços.

Os subgrupos 2 e 3 da figura 2a têm seus dados divididos com quatro e três localidades praticamente no mesmo nível no dendograma, demonstrando similaridades entre os subgrupos citados. O subgrupo 2 da figura 2a apresentam os dados das localidades de Gurupora, Carmo do Macacoari, sede municipal de Cutias e sede municipal de Itaubal e estão em uma mesma região do Estado do Amapá (Figura 1), a água para consumo de suas populações é captada em poços artesianos profundos sem tratamento adequado, indicando que a água utilizada esteja em um mesmo aquífero na região, por conta das similaridades dos dados obtidos.

O subgrupo 3, engloba a sede municipal de Amapá, a sede municipal de Mazagão e a vila do Maracá, as duas últimas pertencentes ao mesmo município, apresentam a água para consumo de suas populações captadas em corpos d'água superficiais (Tabela 1) com tratamento adequado, ficando com os melhores índices de qualidade da água distribuída observadas neste estudo.

Também foi realizada uma avaliação da homogeneidade entre as categorias apresentadas neste estudo. A análise de agrupamentos (AA) (Figura 2b) mostrou dois grupos de dados bem característicos. O grupo 3 da Figura 2b do dendrograma corrobora com as informações da Figura 2a sobre poços rasos (PR) estarem em condições muito diferentes das outras categorias estudadas. Todavia, mostra similaridades destes com os da captação superficial, indicando as piores condições da qualidade da água nestas duas categorias em relação às outras, principalmente em relação aos dados microbiológicos na captação superficial, onde 100% das amostragens indicaram presença significativa de CT e *E. coli*. Esse cenário mostra a necessidade de tratamento adequado da água destes mananciais para a distribuição e o consumo.

O subgrupo de dados 1 e 2 da figura 2b são bem característicos, um com dados de qualidade da água não tratada (subgrupo 1) e outro com dados de qualidade da água tratada (subgrupo 2). Observamos que dentro dos subgrupos ocorreu significativa similaridade. O subgrupo 1 reúne os dados obtidos das amostras provenientes de poços artesianos sem nenhum tratamento, verificou-se que o conjunto destes dados apresentam maiores similaridades com o conjunto de dados das águas tratadas do que das águas coletadas nos rios, lagos e poços rasos sem tratamento, apresentando melhores condições de qualidade, visto que, dos nove poços artesianos amostrados, dois não indicaram a presença de CT e seis não indicaram a presença de *E. coli*, porém, mesmo apresentando índices relativamente bons suas águas precisam de tratamento adequado para sua distribuição e consumo.

O subgrupo 2 da Figura 2b apresenta o conjunto de dados medidos de amostras provenientes de águas superficiais e subterrâneas com tratamento para a distribuição, indicando que o tratamento das águas para consumo humano melhora significativamente a qualidade da água distribuída em relação à água bruta captada. Como exemplo, para os parâmetros microbiológicos, o tratamento da água para distribuição e consumo na vila do Maracá (Mazagão) reduziu a presença de CT em 98,6% em média e 99,7% em média a presença de *E. coli* na rede de distribuição da água. Na sede do município de Amapá há redução de CT em

99,5% em média e reduziu a zero as amostras contaminadas por *E. coli* na rede de distribuição da água. Porém, o caso mais emblemático em relação à eficiência de tratamento da água ocorreu na sede municipal de Mazagão. Os elevados índices de Coliformes Termotolerantes ($> 2419,6 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) e de *E. coli* (410,6 NMP.100 mL $^{-1}$) na captação foram reduzidos a zero na rede de distribuição de água. Isto significa que, nesta localidade pode ser considerada como a que apresenta os melhores índices de qualidade da água para consumo humano dentre todos os demais sítios amostrais estudados.

Assim, a suposição de que a qualidade da água está diretamente ligada ao tipo de abastecimento oferecido a população, principalmente em zonas rurais onde não há tratamento, foi confirmada. Assim, nestas localidades a água se mostra frequentemente imprópria para consumo humano, quando se leva em consideração os padrões de potabilidade, sobretudo relacionado às variáveis microbiológicas.

O pH foi o único parâmetro em não conformidade com a legislação, tanto nas amostras de água superficial quanto de água subterrânea, estando sempre abaixo do limite mínimo, apresentando características de acidez. Mas esta característica é comumente encontrada nos corpos d'água amazônicos. Sendo assim, urge que a legislação nacional considere tais características físico-químicas, principalmente a resolução CONAMA nº357/2005. Isto é, seja readequada à região, levando em consideração o contexto amazônico. Por outro lado, este contexto sugere que também que os corpos superficiais de água apresentam significativo aporte de matéria orgânica, pois os rios e solos são geralmente ricos em compostos de carbono, dentre eles o gás carbônico dissolvido em meio aquoso (WARD et al., 2013). Este ajuste nos valores padrões do CONAMA se faz necessário para que alguns parâmetros como o pH tornem-se mais condizentes com as reais características da água amazônica, visando melhor gestão dos recursos hídricos na região (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2016b).

Portanto, o monitoramento da qualidade da água é um dos principais pilares das políticas de saúde pública (GIATTI et al., 2012; NEVES-SILVA et al., 2016), e pode ser uma importante ferramenta para avaliar respostas das ações humanas e ambientais sobre as alterações de suas características físicas, químicas e microbiológicas (TORRES et al., 2017).

CONCLUSÕES

O estudo mostra que as localidades atendidas por um sistema de tratamento de água são as que apresentaram melhores resultados para potabilidade dentro dos parâmetros analisados, portanto, a qualidade da água está estritamente atrelada ao nível dos serviços sanitários oferecidos.

Nas localidades onde não se realiza tratamento, os resultados desta pesquisa apontam que a qualidade microbiológica da água distribuída está em não conformidade com o que determina as legislações de potabilidade. Em especial, onde se utiliza poços rasos, a população está potencialmente vulnerável, devido a inadequadas ou inexistentes estruturas de esgotamento sanitário. É preciso frisar que a qualidade da água subterrânea está diretamente relacionada ao índice de esgotamento local.

Mas, dada a carência generalizada do setor de saneamento no Estado do Amapá, este trabalho é uma contribuição relevante para a literatura do saneamento básico da Amazônia. E pode dar suporte a políticas públicas do setor, além de facilitar a criação de planos, programas e ações que promovam a melhoria dos hábitos higiênicos nas populações beneficiadas, ressaltando a importância do monitoramento e do controle da qualidade da água nesta dimensão para o saneamento básico e os responsáveis por este serviço essencial, o abastecimento de água.

Finalizando, contudo, a principal limitação da pesquisa é que as análises foram realizadas apenas em um único período sazonal (transição entre o período seco e chuvoso). Deste modo, propõe-se para futuras investigações, que sejam também contempladas as variações da qualidade da água tanto no período chuvoso quanto no seco e, eventualmente, em período de transição. Deste modo é possível verificar não somente as variações espaciais da qualidade da água, mas também suas variações sazonais, sabidamente relevantes para estudos desta natureza na região amazônica.

AGRADECIMENTOS: a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), processo no. 309684/2018-8 pela bolsa de pesquisa à ACC.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Eng Sanit Ambient* | v.22 n.1 | 45-56, jan/fev 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>
- ALMADA, H. K. S; SILVÉRIO, D.V.; MACEDO, M. N.; SANTOS, L. M.; ZARATIM, E. C. P.; ZARATIM, K. P. Effects of geomorphology and land use on stream water quality in southeastern Amazonia. *Hydrological Sciences Journal*, 64(5), 620–632, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1587563>
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007. DOI: <http://doi.org/10.1590/s0100-69162007000400011>
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.; ALMEIDA, F.; BONGIOVANI, M.; SCHNEIDER, R. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 1, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination Water and Wastewater**. 21st ed. Washington: APHA. p.1083, 2005.
- AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 36, n. 3, p. 313-320, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300004>
- BORTOLI, J.; TONETO, J.F.; TOLDI, M.; ZERWES, C.M.; SECCHI, M.I.; CALDERAN, T.B.; OLIVEIRA, E.C.; SANTANA, E.R.R. Qualidade da água de poços particulares do município de encantado, Vale do Taquari-RS. *Revista Caderno Holos*, v. 2, p. 179-188, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.2714>
- Pedagógico, Lajeado, v. 14, n. 1, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1448>
- BRAGATTO, R. D.; MARTINI, C.A.; STEFFANI, M.A.; ZOREL JÚNIOR, H.E.; BARRETO-RODRIGUES, M. Indicadores ambientais de sustentabilidade sistematizados pelo modelo pressão-estado-resposta (PER): análise de águas superficiais na microrregião hidrográfica Passo da Pedra, em Pato Branco – PR. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Paraná, v.7, n. 2, p. 87-103. 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº5/2017, anexo XX. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2017.
- BRASIL. Lei de Diretrizes Nacionais do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007). BRASILIA: DOU, 2007.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília: DOU, 2005.
- BRAUD, I.; BREIL, P.; THOLLET, F.; LAGOUY, M.; BRANGER, F.; JACQUEMINET, C.; SAIDA, K.; MICHEL, K. Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. *Journal of Hydrology*. Vol 485. P. 5-23. 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.049>
- BRUM, B. R.; OLIVEIRA, N. R.; REIS, H. C. O.; LIMA, Z. M.; MORAIS, E. B. Qualidade das águas de poços rasos em área com déficit de saneamento básico em Cuiabá, MT: Avaliação microbiológica, físicoquímica e fatores de risco à saúde. *Holos*, v. 2, p. 179-188, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.2714>
- BURGOS, T. N.; SCHUROFF, P. A.; LOPES, A. M.; LIMA, N. R.; JACINTA, S. P. Água de consumo humano proveniente de

poços rasos como fator de risco de doenças de veiculação hídrica. **Revista Ciências Saúde**, São Luís, v. 16, n. 1, p.34-38, 2014.

CAPPI, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S.T.L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Cascavel, v. 16, n. 3, p.77-92, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5902/223649947581>

CARLSON, M.A.; LOHSE, K.A.; MCINTOSH, J.C.; McLAIN, J.E.T. Impacts of urbanization on groundwater quality and recharge in a semi-arid alluvial basin. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1-2, p. 196-211, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.020>

CECCONELLO, S.T.; CENTENO, L.N.; LEANDRO, D. Avaliação da qualidade da água subterrânea na zona rural do município de Pelotas, RS. **Revista Thema**. v.17, n.1, p.57-73, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15536/thema.V17.2020.57-73.1558>

CELLIGOI, M. A.; CORCÓVIA, J.; PINSE, J. ANÁLISE HIDROQUÍMICA DOS AQUIFÉROS GUARANI E SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE IBIPORÃ-PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 20, n. 72 Dez/2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207242096>

CONCEIÇÃO, F. T.; MAZZINI, F.; MORUZZI, R.; NAVARRO, G.R. Influências Naturais e Antrópicas na Qualidade da Água Subterrânea de Poços de Abastecimento Público na Área Urbana de Marília (SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 227-238, 2014. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p227-238>

CORCÓVIA, J. A.; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã - PR. **Revista de estudos ambientais (REA)**, v. 14, n. 2, p. 39-48, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2012v14n2p39-48>

CRISPIM, D. L.; OLIVEIRA, A.M.B.M.; CHAVES, A.; COELHO, L.F.O.; ANDRADE, S.O. Análise Físico-Química das Águas de Três Poços Amazonas no Centro da Cidade de Pombal-PB. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, 21(2), 155-163, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499422445>

CUNHA, A. C. **Termo de Execução Descentralizada**. Projeto Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) do Estado do Amapá - Amapá, Cutias, Itaubal, Mazagão, Laranjal do Jari e Vitória do Jari). Processo Universidade Federal do Amapá - UNIFAP No. 23125.012850/2018-87. 52 p. 2018.

CUNHA, G.D.; CASTRO, D.B.; SANTOS, A.V.; CARAMELLO, N.D.A.; STACHIW, R.; TRONCO, K.M. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, 9 (2): 001–009 maio, 2020.

CUNHA, H. F. A.; LIMA, D. I. C.; BRITO, P. N. F.; CUNHA, A. C.; SILVEIRA JUNIOR, A. M.; BRITO, D. C. Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 155-165, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>

DA SILVA, R. S. B.; SOUZA, A.M.L.; SODRÉ, S.S.; VITORINO, M.I. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 13, n. 2, e2072, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2072>.

DR/3900 ESPECTROFOTOMETER. **Procedures Manual**. Hach Company. 1º Ed. Germany. 2011.

ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L.; FERREIRA, E.R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.74>

FERREIRA, E.P.; FERREIRA, J.T.P.; PANTALEÃO, F.S.; FERREIRA, Y.P.; ALBUQUERQUE, K.N.A.; FERREIRA, T.C. Abastecimento de água para consumo humano em comunidades quilombolas no município de Santana do Mundaú - AL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1119-1125, 2014. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.6.p1119-1125>

FRAZÃO, P.; ELY, H.C.; NORO, L.R.A.; PINHEIRO, H.H.C.; CURY, J.A. O modelo de vigilância da água e a divulgação de indicadores de concentração de fluoreto. **ENSAIO - Saúde debate** 42 (116) Jan-Mar 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811622>

FRAZAO, P.; PEREZ, M.A.; CURY, J. A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 964-973, Out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102011005000046>

FRAZÃO, P.; SOARES, C.C.S.; FERNANDES, G.F.; MARQUES, R.A.A.; NARVAL, P.C. Fluoretação da água e insuficiências no sistema de informação da política de vigilância à saúde. **Revista da Associação Paulista de Cirurgiões-Dentistas**, São Paulo, v. 67, n. 2, p. 94-100, 2013.

GEBLER, L.; LOUZADA, J.A.S.; BERTOL, I.; RAMOS, R.R.; MIQUELLUTI, D.J.; SCHRAMMEL, B.M. Adaptação metodológica no cálculo de cargas contaminantes de fósforo em bacias hidrográficas gaúchas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 769-776, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700010>

GIATTI, L.L.; CUTOLO, S.A. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia Legal. **Ambient. soc. [online]**, vol.15, n.1, pp.93-109, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000100007>.

GOMES, M. A.; RAMOS, E. V. S.; SANTOS, L.C.; 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. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 162-172, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i2.29115>

GROTT, S. L.; FAÇANHA, E.B.; FURTADO, R.N.; CUNHA, H.F.A.; CUNHA, A.C.. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 645-654, Ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018162018>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Pesquisa Nacional por amostra de domicílios,2016**. Relatório comentários. Rio de Janeiro: IBGE,2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, PNSB -2008**. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. FÓSFORO: DE NUTRIENTE À POLUENTE! **Revista Gestão, Educação e Tecnologia**

- Ambiental.** v(8), nº 8, p. 1713-1721, SET-DEZ, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5902/223611706430>
- KOCH, F. F.; KAUFFMANN, C.; BICA, J.B.; ADAMI, F.S.; STEVENS, J.F.; ECKHARD, C.L.; MARMITT, L.G.; OLIVEIRA, E. C. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Revista Caderno Pedagógico**, [S. I.], v. 14, n. 1, p 36-50,2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.19830882.v14i1a2017.1398>
- 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.. Qualidade das águas subterrâneas e fluxo subterrâneo no sul da Amazônia, Brasil. v. 10 n. 6 (2019): **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - Out, Nov 2019**. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0018>
- LAUTHARTTE L. C.; HOLANDA, I. B. B.; LUZ, C. 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**. 2016;30(2):246-260, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i2.28547>
- LEVLIN, E. Conductivity measurements for controlling municipal waste-water treatment. **Proc., Polish-Swedish-Ukrainian Seminar**, Ustron, Poland, p.51-62, 2010.
- MACEDO, T. L.; REMPEL, C.; MACIEL, M.J. Análise físico-química e microbiológica de água de poços artesianos em um município do vale do Taquari-RS. **Revista TECNOLÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, jan./jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v22i1.10447>
- MAIA, D. J.; SEGRE, N.; SCATIGNO, A.C.; STELLA, M.B. Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro. **Química nova na escola.** – São Paulo-SP, Vol. 37, Nº 1, p. 71-75, FEVEREIRO 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150010>
- MARTINS, I. P.; PICOLLI, R.H.; VILELA, N.M.S.; THEBALDI, M.S. Qualidade de água de fonte subterrânea utilizada em instituições localizadas na zona urbana de Lavras/MG. **Conexão Ciência**, v. 12, n. 1, p. 84 – 88, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24862/cco.v12i1.486>
- MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I.F.A.; SOUZA, P. F. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. p.25-42, 2009.
- NÉRI, A.M.; DA CUNHA-SANTINO, M.B. Diagnóstico da qualidade da água para o abastecimento público em dois pontos de captação na bacia do monjolinho (São Carlos/SP). **Revista de Ciências Ambientais**, v.9, n.2, p.107-123,2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/1981-8858.14>
- NEVES-SILVA, P.; HELLER, L. O direito humano à água e ao esgotamento sanitário como instrumento para promoção da saúde de populações vulneráveis. **Ciênc. saúde coletiva [online]**, vol.21, n.6, pp.1861-1870, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015216.03422016>.
- OLIVEIRA, B. S. S. CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Rev. Ambient. Água [online]**, vol.9, n.2, pp.261-275, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>.

- OLIVEIRA, E. C.; COSTA, K.U.D.; REIS, W.D.; SANTOS, A.A.; SILVA, W.T.P. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade da água superficial em uma microbacia urbana. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.8, p.57-69, 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0006>
- PASCOALOTO, D.; BRINGEL, S.R.B. Macroalgas e qualidade da água na bacia do alto Rio Negro - município de São Gabriel da Cachoeira (AM). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 11, n. 36 dez/2010.
- PEREIRA, S. F. P.; COSTA, A.C.; CARDOSO, E.S.C.; CORRÊA, M.S.S.; ALVES, D.T.V.; MIRANDA, R.G.; OLIVEIRA, G.R.F. Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba-Pará. **REA – Revista de estudos ambientais (Online)** v.12, n. 1, p. 50-62, jan./jun. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2010v12n1p50-62>
- PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C.. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 495-505, Set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000300018>.
- PIRATOBIA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Characterization of Water Quality Parameters in the Port Area of Barcarena, PA, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, 12, 435-456, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>.
- PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 486 p. 2010.
- QUADROS, G.M.; WELTER, M.; CEZAROTTO, E.P.; BALESTRIN, J.; WAGNER, L.I.; STULP, L.; HENNECKA, M.A.; SANTOS, M.C.; HECK, T.; WENZEL, T.C. Águas superficiais: como trabalhar o abastecimento de água em pequenas propriedades. **Revista Interativa**, ISSN 2525-2712 / Nº 2 / Ano 2016.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2008.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; MARTINS JUNIOR, A. F.; WAICHMAN, A. V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia Brasileira Ocidental. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 5, n. 2, 2011.
- ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS P. R.; SILVA, E. F. F.; PEDROSA, E. M. R. Influência de uma Lagoa de Distribuição de Vinhaça da Qualidade da Água Freática. **Revista Ambiente & Água**, v. 08, n. 01, 2013. p. 155-171, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1014>.
- SCORSAFAVA, M.A. SOUZA A., SAKUMA H., STOFER M., NUNES C.A., MILANEZ T.V.. Avaliação da qualidade da água de abastecimento no período 2007- 2009. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, 2011;70(3):395-403, 2011.
- SILES, J. A.; GUTIERREZ, M.C.; MARTIN, M.A.; MARTIN, A.. Physical-chemical and biomethanization treatments of wastewater from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology** 102, 6348-6351, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.106>
- SILVA, A. B.; BRITO, J.M.; DUARTE, J.S.; BRAZ, A.S.; SILVA, R.A.; FILHO, E.D.S. Análise físico-química da água utilizada para consumo nas escolas municipais da zona urbana de

Esperança/PB. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 8, n. 3, p. 49-52, 2018a. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n3p49-52>

SILVA, D.D.; MIGLIORINI, R.B.; CASTRO-SILVA, E.; LIMA, Z.M.; MOURA, I.B. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19 n.1, jan/mar 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100005>.

SILVA, L. J. ; LOPES, L. G.; AMARAL, L. A. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Eng Sanit Ambient.**, 21(3):615-622, 2016a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016121151>

SILVA, L. P.; BARBOSA, J. P.; SILVA, G. A. Análise exploratória de dados da qualidade da água de poços amazonas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 43-51, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28941>

SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S; DOMINGOS, R.; .A.F.;SILVA, S.; SANTANA, G.P. Classificação dos Rios da Amazônia: Uma estratégia para preservação desses recursos. **HOLOS Environment**, v. 13, n. 2, p. 163–174, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v13i2.7344>

SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S.; SANTANA, G. P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versos Resolução N° 357/CONAMA/20051. **Scientia Amazonia**, v. 6, n.2, p. 83-90, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v13i2.7344>

SILVA, R.C.A.; ARAÚJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v.8, n.4, p.1019-1028, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232003000400023>

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - (Brasil). **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**, 2017. Brasília; MDR, 2019.

SOUZA, N.S.; SÁ-OLIVEIRA, J.C.; SILVA, E.S. Avaliação da qualidade da água do Alto Rio Pedreira, Macapá, Amapá. **Biota Amazônica**, Macapá, v.5, n.2, p.107-118, jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p107-118>

SOUZA, O.T.; FRADE, P.R.; SOARES, C. A. Qualidade da água de poços tubulares em Iguatama, Minas Gerais. **Revista Verde**, Pombal – PB, v. 13, n.5, p.637-643, Edição Especial, 2018.

TAVARES, J. P. N. Características da climatologia de Macapá-AP. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 15, n. 50, p. 138-151, 2014.

TORRES, I. A.; SILVA, T.M.F ; RODRIGUES, L.S.; SILVA, I.J.; COSTA, T.A.; SOTO-BLANCO, B.; MELO, M.M. Avaliação físico-química de amostras de água, sedimento e mata ciliar de uma piscicultura localizada em área agroindustrial à margem do Ribeirão da Mata (MG). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 773–780, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017110861>.

VASCONCELOS, M. B. O que são poços? um panorama das terminologias utilizadas para captações de águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, 31(2):44-57, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v31i2.28666>

WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 6, p. 1–4, 19 maio 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1817>

ZERWES, C. M.; SECCHI, M.I.; CALDERAN, T.B.; BORTOLI, J.; TONETO, J.F.; TOLDI, M.; OLIVEIRA, E.C.; SANTANA, E. R. Análise da qualidade da água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Revista Ciência e Natura**, Universidade Federal de Santa Maria, Vol. 37, n. 4, p. 651-663, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X17385>