



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

IGOR FELLIPE BATISTA VIEIRA

QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA RURAL SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA
ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO

RECIFE, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

IGOR FELLIPE BATISTA VIEIRA

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO CARTAXO ROLIM NETO

Co-orientadora: Prof^a Dr^a MARILDA NASCIMENTO CARVALHO

Co-orientador: Dr. ANILDO MONTEIRO CALDAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

RECIFE, 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

V658q Vieira, Igor Fellipe Batista
 Qualidade da água em área rural sob influência antrópica na
 zona da mata de Pernambuco / Igor Fellipe Batista Vieira. – 2019.
 68 f. : il.

 Orientador: Fernando Cartaxo Rolim Neto.

 Coorientador: Marilda Nascimento Carvalho e Anildo
Monteiro Caldas

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, BR-PE, 2019.

 Inclui referências e anexo(s).

 1. Água - Qualidade 2. Monitorização ambiental 3. Águas
subterrâneas - Pernambuco I. Rolim Neto, Fernando Cartaxo,
orient. II. Carvalho, Marilda Nascimento, coorient. III. Caldas,
Anildo Monteiro, coorient. IV. Título

CDD 628

IGOR FELLIPE BATISTA VIEIRA

QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA RURAL SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA ZONA DA
MATA DE PERNAMBUCO

Aprovada em 28/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto
(Orientador)

Dra. Luiza Feitosa Cordeiro de Souza

Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa

DEDICATÓRIA

À minha irmã, Larissa Vieira pelo maior exemplo de força, resistência diária e amor recíproco que pude vivenciar.

AGRADECIMENTOS

Voinha e Painho por acreditarem e me apoiarem nessa jornada mesmo nas nossas divergências, mesmo quando o que eu faço não está claro. Sem vocês eu não seria o que e quem sou e não teria alcançado o que alcancei.

Mainha e Tia Iva, obrigado por serem um teto, um abraço e um lugar de carinho, mesmo quando ríspido.

Professora Thereza Cristina e Renata Costa, sua dedicação à pesquisa, seu apoio, determinação e boa vontade me foram fundamentais para a execução deste trabalho. Espero continuar aprendendo com vocês, obrigado pelos exemplos de grandes cientistas que são, que nos encontremos pela jornada acadêmica.

Professor Anildo Monteiro, obrigado pela maratona de dedicação e paciência no processo de finalização deste trabalho.

Luiza Souza, obrigado por ter ajudado a construir o pesquisador que quero ser e por nunca deixar de me apoiar e acreditar em mim com o passar dos anos.

Miguel Kelm e Mário Júnior, obrigado por dividirem casa, perrengues e histórias comigo. Vocês são família e eu não poderia estar mais agradecido e orgulhoso de tudo que vocês tem feito e vão fazer nessa vida.

Walquiria Brito, sua paciência, determinação, verdade e amizade fizeram dessa jornada neste curto tempo de mestrado mais fácil e bonita.

Adalberto Filho, Carolina Silva e Zabelle Lyra, sua amizade, incentivo, troca e afeto fizeram parte de todo o processo e levarei comigo pela vida. Obrigado pelos exemplos, momentos, almoços, risadas e torcida.

Neura Mendes e Ana Verena, difícil encontrar palavras para agradecer tamanho amor. Me identificar com vocês foi uma das coisas mais fáceis e orgânicas nesse processo. Obrigado por todo conselho, ajuda, discussão e construção daquilo tudo que acreditamos que seremos daqui pra frente.

João Henrique e Paloma Costa, a distância geográfica nunca nos impediu de estar próximos, de nos aconselharmos, cuidarmos e levantarmos. Seu apoio, dedicação e, sobretudo, crença em mim foram combustíveis para terminar esse ciclo com foco e sabedoria. Que continuemos nossa jornada acreditando no mundo e na natureza mudando as pessoas juntos, seja em Recife, em Brasília ou em Curitiba. Onde um de nós estiver todos os outros estarão.

Ao Engajamundo que me acompanhou nessa jornada, me colocou nas maiores experiências da vida e me faz todo dia lembrar de meu lugar no mundo junto a pessoas que acreditam nos mesmos ideais e torcem uns pelos outros de forma incondicional. Obrigado pela campanha da água. Mathaus Raine, Pedro Lacerda, Iago Hairon, Raquel Rosenberg, Nayara Castiglioni, Amanda Segnini, Flavia Martinelli, Paulo Ricarno, Bruno Berili, Yago Ferreira, Ana Carolina

Abreu, Brenda Izidio, vocês são só alguns dos nomes que carrego na cabeça e no coração com lembranças de força e cuidado. Obrigado por serem incríveis.

Kevin Hacling e o Infi, vocês seguraram barras da ansiedade, torceram, reclamaram e viveram muito dessa experiência como se fosse com vocês. Obrigado pelo teto antes das aulas de Seminários pela manhã.

Mariana Monteiro, você sabe exatamente os motivos pelos quais está aqui. Por isso e por tanto mais te agradeço, pelo cuidado, pelo lugar de reconhecimento, pelo colo e por tudo que você me inspira a continuar fazendo.

Karolyne Santos, me encontrar em você como ser humano, pesquisador e amigo foi um presente nessa vida. Que sigamos o caminho ao lado de gente que faz a pesquisa ser uma jornada mais leve e para todos. Obrigado por estar sempre presente e por toda vidraria lavada.

Igor Ruann, obrigado por todos empurrões, crença em mim e todas as preocupações compartilhadas nessa jornada. A compreensão de que alguém como você acredita que podemos fazer coisas boas me motiva a seguir lutando e estudando pelo que acredito.

Antônio Campos e Cássio Andrade, sua amizade, apoio e torcida durante esse processo me fizeram seguir com confiança e determinação. Obrigado por todo dia.

Bruno Alves, Renata Torres, Geórgia Silva, ter amigos como vocês é sorte grande. Obrigado por sempre me acolherem, aconselharem e lembrarem que é tudo possível quando se faz com amor. Vocês me acompanham desde o começo dessa empreitada e eu não poderia estar mais feliz em termina-la com vocês por perto.

Tarcisio Acioli, toda preocupação, apoio, cuidado e afeto nesse processo me foram fundamentais para lidar com os momentos de turbulência. Obrigado por estar sempre presente.

Diego Máximo, a distância física não foi nada perto de todo apoio que ganho de você. Obrigado por me empurrar nos momentos de dúvidas, por acreditar em mim e por incentivar os meus sonhos.

Jailson Júnior, todos os “sóchis”, cervejas, risadas, conselhos e irmandade estão comigo por onde quer que eu vá. A vida não poderia ter sido mais gentil comigo te colocando no meu caminho. Obrigado por me ouvir, ajudar, aconselhar e viver comigo essa jornada antes mesmo dela começar.

A toda equipe do LAMSA – Laboratório de Análise de Minerais Solo e Água da Universidade Federal de Pernambuco, por terem aberto as portas, me recebido e se disponibilizado a colaborar com essa pesquisa.

Professora Marilda Carvalho, seu apoio, boa vontade e acompanhamento nessa jornada me fizeram acreditar ainda mais no pesquisador que quero me tornar. Obrigado por toda gentileza e apoio.

Professor Cartaxo, nem todas as pessoas conseguem dizer que encontram em seus orientadores um amigo. Eu consigo dizer isso com veemência. Obrigado por tudo, por todo ensino além da academia, aprendi com você grandes lições de humanidade. Obrigado por abrir as portas de sua casa e me acolher como família para executar esse projeto. Obrigado por confiar em mim e ter topado estudar juntos sobre essa pesquisa.

A todos da UFRPE que direta ou indiretamente passaram em meu caminho e colaboraram para meu desenvolvimento acadêmico, muito obrigado.

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida para a minha permanência em um programa de pós graduação.

Nem sempre nomes e palavras são suficientes para agradecer, muitas são as pessoas e situações para lembrar. Sou grato ao universo por tanta sorte nessa jornada e espero que todos e todas que tenham cruzado meu caminho tenham aprendido comigo o tanto que aprendi e me inspirei em vocês.

A água me contou muitos segredos
Guardou os meus segredos
Refez os meus desenhos
Trouxe e levou meus medos

Eu e Água – Caetano Veloso

RESUMO

Com o crescimento das populações ao redor do planeta, a exploração dos recursos naturais tem crescido exponencialmente, sendo a água um dos recursos naturais mais necessários. O município de Igarassu no estado de Pernambuco lida com diferentes estressores ambientais relacionados às atividades humanas. Um dos impactos ambientais relacionados à influência antropogênica é a alteração da qualidade de água superficial e subterrânea por meio das dinâmicas exploradoras que as diversas atividades socioambientais produzem, uma vez que em muitas regiões do município o sistema de abastecimento urbano e saneamento não abrange toda população. Desta forma, a população na região de Igarassu busca meios alternativos de abastecimento, perfurando poços, cacimbas e coletando água superficial para uso doméstico. Este trabalho avaliou a qualidade da água em uma área sob influência antropogênica no município de Igarassu - PE, com metodologia baseada no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater e referência na Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde do Brasil, que determina padrões de potabilidade da água de forma a mensurar como a qualidade da água consumida por estas comunidades foi afetada durante dois períodos climáticos do ano, chuvoso e de estiagem, em 16 pontos de coleta distintos. Observou-se que alguns dos pontos analisados apresentaram discordâncias com os parâmetros físico-químicos estabelecidos pelo Ministério da Saúde, enquanto todos os parâmetros microbiológicos analisados qualificam a água como imprópria para o consumo sem tratamento prévio. Desta forma, é necessário desenvolver medidas que ajustem a qualidade da água desta região que é de extrema importância social para o município, através de políticas públicas ambientais de acesso à água ou implantação de projetos de engenharia que garantam um tratamento prévio da água.

Palavras chave: Monitoramento ambiental, Qualidade da água, água superficial, água subterrânea.

ABSTRACT

With the growth of populations around the planet, the exploitation of natural resources has grown exponentially, with water being one of the most needed natural resources. The municipality of Igarassu in the state of Pernambuco deals with different environmental stressors related to human activities. One of the environmental impacts related to the anthropogenic influence is the alteration of the quality of surface water and groundwater through the exploratory dynamics that the diverse socioenvironmental activities produce, since in many regions of the municipality the system of urban supply and sanitation does not cover all the population. In this way, the population in the region of Igarassu seeks alternative means of supply, drilling wells, “cacimbas” and collecting surface water for domestic use. This work evaluated the water quality in an area under anthropogenic influence in the municipality of Igarassu - PE using a methodology based on the Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, and reference in Consolidation Ordination No. 5 of 2017 of the Ministry of Health of Brazil, that determines standards of water potability in order to measure how the quality of water consumed by these communities was affected during two climatic periods of the year, rainy season and drought, in 16 different collection points. It was observed that some of the analyzed points presented disagreements with the physicochemical parameters established by the Ministry of Health, while all microbiological parameters analyzed qualify water as unfit for consumption without previous treatment. In this way, it is necessary to develop measures that adjust the water quality of this region that is of extreme social importance to the municipality, through public environmental policies of access to water or implementation of engineering projects that guarantee a prior treatment of water.

Key words: Environmental monitoring, Water quality, Surface water, Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grau de pressão sobre os recursos hídricos no estado de Pernambuco	34
Figura 2 - Área de estudo no município de Igarassu	38
Figura 3 - Ponto de coleta 3.....	43
Figura 4 - Ponto de coleta 11.....	44
Figura 5 - Ponto de coleta 13.....	44
Figura 6 - Geodistribuição do pH nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.	47
Figura 7 - Geodistribuição da Turbidez nos períodos de Estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.....	49
Figura 8 - Geodistribuição da cor nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.	50
Figura 9 - Geodistribuição do ferro nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.....	51
Figura 10 - Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 1.....	52
Figura 11 - Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 2.....	53
Figura 12 - Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 3.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos poços da bacia Pernambuco-Paraíba.....	35
Quadro 2 - Características e coordenadas dos Pontos de Coleta.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros medidos pela sonda Horiba U-50 series e sua precisão.....	39
Tabela 2 - Variação dos parâmetros analisados no período de chuvas nos pontos de estudo com base nos limites máximos permitidos na portaria de consolidação N° 5 do ano de 2017 do Ministério da Saúde.	41
Tabela 3 - Variação dos parâmetros analisados no período de estiagem nos pontos de estudo com base nos limites máximos permitidos na portaria de consolidação N° 5 do ano de 2017 do Ministério da Saúde.	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. PROBLEMÁTICA DE PESQUISA E HIPÓTESE	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo Geral:	21
3.2 Objetivos Específicos	21
4. Revisão de Literatura	22
4.1 Os recursos naturais e recursos hídricos	22
4.1.1 Bacias hidrográficas	22
4.1.2 Águas subterrâneas	23
4.2 Gestão dos Recursos Hídricos	24
4.2.1 Água potável para o consumo humano e saneamento	24
4.3 Qualidade da água e Monitoramento	25
4.3.1 Características químicas, físicas e biológicas da água	27
4.4 Impactos Ambientais	30
4.5 Legislação	31
4.6 Um breve histórico do panorama hídrico do Nordeste e o estado de Pernambuco	33
5. METODOLOGIA	36
5.1 Área de estudo	36
5.2 Clima e vegetação	36
5.3 Meio físico	36
5.4 Estações de coleta e período amostrado	37
5.5 Análises de Laboratório	39
5.6 Tratamento Geoestatístico	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Análises Físico-Químicas	41
6.1.1 pH	42
6.1.2 Cor	43
6.1.3 Turbidez	44
6.1.4 Ferro	45
6.2 Análises Microbiológicas	45
6.2.1 Coliformes	45
6.2.2 Contagem de bactérias heterotróficas	46
6.3 Metais Pesados	46

6.4	Distribuição geoespacial dos parâmetros não conformes com a legislação de potabilidade	46
6.5	Análises de correlação	52
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
8	ANEXOS	57
9	REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

As interações que compõem o meio ambiente são relações de características físicas e geográficas variadas, envolvendo os meios social e natural. Embora a natureza seja capaz de integrar o homem em todos os fatores e elementos que a compõem, o desenvolvimento da humanidade, através de atividades socioeconômicas, tem impactado os recursos naturais (BRAGA, 2005).

Dos recursos naturais a água é um dos mais abundantes, entretanto, há limitações, pois a maior parte deste recurso não pode ser utilizada pela humanidade. Estima-se que aproximadamente 0,5% de água doce está disponível no planeta e ainda assim, grande parte desta água é encontrada em aquíferos subterrâneos. Além disso, a água está distribuída de maneira desigual pelo planeta. Com este cenário, a Organização das Nações Unidas (ONU) estima que aproximadamente 10% das pessoas no planeta não possuem acesso a uma quantidade mínima de água potável ou de qualidade (UN WATER, 2006).

A maior parte da água no mundo é direcionada para irrigação e setores da agricultura, estimada em 70%, enquanto a indústria utiliza 22%, e, para uso doméstico, 8% da água é utilizada. No Brasil, o panorama é um pouco diferente da logística mundial. A Agência Nacional das Águas através da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil estima que 72% da água no país é destinada para a agricultura, 9% para a dessedentação animal, 6% na indústria e, finalmente, 10% para uso doméstico (ANA, 2016)

A qualidade da água é influenciada pelas atividades agrícolas, uso e ocupação do solo e lançamentos de esgotos sanitários e industriais. Atividades como a extração de areia e perfuração de poços clandestinos apresentam um grande potencial modificador e impactante, mostrando-se necessária a compreensão em base científica dos impactos reais destas atividades na qualidade das águas. A integridade de ecossistemas se mostra vulnerável a distúrbios físico-químicos, erosivos, sólidos em suspensão, dentre outros (TORRES, 2017).

O gerenciamento da qualidade das águas é uma excelente alternativa para compreender e desenvolver formas de preservar a pequena parcela disponível deste recurso no ambiente, bem como buscar formas sustentáveis de explorar o recurso de modo a garantir o desenvolvimento humano. Desta forma, leis e diretrizes ambientais são responsáveis por assegurar o padrão de qualidade das águas, seja no meio ambiente

ou para o consumo humano. Ferramentas como a portaria de consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde, através do anexo XX, apresentam os parâmetros que devem atender a certo padrão de potabilidade direcionados ao consumo humano (BRASIL, 2017).

O Nordeste brasileiro possui uma relação peculiar com os recursos hídricos. Os períodos extensos de seca podem levar a impactos socioambientais irreversíveis, alguns relacionados à infiltração da água no solo, aumento do escoamento superficial, intensificação da erosão, dentre outros.

No estado de Pernambuco nota-se a Bacia Pernambuco-Paraíba como uma das maiores reservas de água subterrânea. O aquífero Beberibe é um dos mais importantes e abastece a companhia de saneamento do estado de Pernambuco para abastecimento público. A bacia Pernambuco-Paraíba se distribui entre os municípios de Recife e Igarassu, fazendo com que muitas atividades socioeconômicas explorem recursos hídricos na região além de grande parte da população e de conjuntos residenciais explorarem a água subterrânea (PERNAMBUCO, 1997).

Igarassu é um município do estado de Pernambuco com 305,560 km², localizado a aproximadamente 28 km da capital Recife. A região apresenta clima tropical AS', com períodos de seca e chuva bem definidos e uma vegetação de Mata Atlântica (IBGE, 2017). Uma das atividades econômicas expressivas na região é a extração de areia através de dragagens, principalmente destinada ao setor da construção civil. A extração de areia pode ser vista como um estressor ambiental relacionado com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, uma vez que no município de Igarassu há uma quantidade significativa de poços abastecendo as comunidades locais.

Em um município em desenvolvimento, como Igarassu, existem áreas urbanas densamente povoadas com precárias condições de abastecimento de água, saneamento básico e planejamento ambiental. Nestas condições, a água sendo um bem universal necessário para a existência da vida, pode transmitir doenças de veiculação hídrica, bem como alterar a qualidade ambiental. Por isso, se faz importante analisar e identificar a qualidade da água, os fatores que levam a essa qualidade e identificar soluções prováveis para assegurar o caminho do desenvolvimento sustentável.

Diante do exposto, se avaliou com este trabalho, por meio de visitas ao campo e análises laboratoriais, a qualidade da água em áreas sob influência antrópica no município de Igarassu – PE, visando identificar problemas ambientais que interferem na

qualidade dessa água consumida por comunidades rurais, bem como, apontar possíveis soluções para prováveis impactos provocados pela ação humana.

2. HIPÓTESE

A ação antrópica oriunda das diversas atividades na região rural no município de Igarassu - PE na Zona da Mata afeta a dinâmica da qualidade da água utilizada pelas comunidades da região, reduzindo a qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral:

Identificar a variação da qualidade da água na região rural do município de Igarassu - PE e os prováveis impactos ambientais em períodos climáticos, de chuva e de estiagem.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a qualidade da água em área rural no município de Igarassu, tomando como referência os parâmetros da portaria de consolidação nº5 de 2017 do Ministério da Saúde.
- Fazer um levantamento de dados para identificar mudanças sazonais de qualidade das águas em dois períodos climáticos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Os recursos naturais e recursos hídricos

O meio ambiente é uma associação de relações muito diversificadas envolvendo aspectos físicos, químicos, biológicos e geográficos que colocam sociedade e natureza em sintonia. O meio natural consegue integrar os seres humanos com todos os elementos que o compõem. A humanidade desenvolve suas atividades socioeconômicas necessárias à sua sobrevivência e evolução de forma a modificar direta ou indiretamente os recursos naturais. A água, como elemento fundamental para existência da vida, necessária na maioria das atividades socioeconômicas, é um recurso natural que está ameaçado no planeta, devido ao crescimento e desenvolvimento desenfreado das sociedades. Na terra, a água encontra-se distribuída nas mais diversas formas e estados físicos dentro do ciclo hidrológico (BRAGA, 2005).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície e atmosfera, impulsionado essencialmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. Desta forma, a água é transportada pelas mais diversas camadas no globo, penetrando o solo, rochas, sendo retida na atmosfera e participando ativamente do ciclo de outros elementos. Portanto, o ciclo hidrológico alimenta as bacias hidrográficas, através da precipitação, e assim, os reservatórios são abastecidos em um ciclo natural (SILVEIRA, 2013).

4.1.1 Bacias hidrográficas

O ciclo hidrológico é usualmente estudado em sua fase terrestre, assim, o elemento fundamental para sua compreensão é a bacia hidrográfica, identificada como uma área de captação natural da água que precipita e escoar até um ponto único de saída, o exutório. Uma bacia hidrográfica é composta por um conjunto de superfícies vertentes e pela rede de drenagem, cursos de água que se unem e formam um único leito. Bacias são caracterizadas mediante sua importância, podendo ser uma bacia principal, que abriga os rios de maior porte, secundárias e terciárias, levando-se em consideração sua localização, como por exemplo, litorâneas e de interiores (TUCCI, 2013).

Uma bacia hidrográfica, portanto, é composta pela rede hidrográfica e pelo relevo. O sistema hidrográfico é integrado, e a parcela de chuva que escoar sobre a área da bacia se transforma em escoamento superficial. Esse escoamento acontece a partir das maiores elevações do relevo, formando enxurradas direcionadas aos vales, que é responsável por concentrar essa água em córregos, riachos e ribeirões. Uma rede hidrográfica abrange um conjunto de cursos de água dispostos em hierarquias. Rios de primeira ordem são chamados de nascentes, ou seja, o local onde o rio inicia seu percurso; uma nascente é o ponto em que o aquífero emerge na superfície, apresentando um baixo volume de água; os de segunda ordem configuram-se pela junção de dois rios de primeira ordem e os rios de terceira ordem, a junção de dois rios de segunda ordem, caracterizando uma relação hierárquica. Compreende-se então que quanto maior for a ordem do rio principal, maior será a quantidade de rios na bacia e conseqüentemente, maior sua extensão (VON SPERLING, 2007).

4.1.2 Águas subterrâneas

Rebouças (1996) enfatiza que mananciais subterrâneos estão relativamente mais seguros de agentes de contaminação que podem afetar a qualidade das águas, uma vez que ocorre sob zona não saturada, denominada aquífero livre ou então, protegido por camada pouco permeável, denominada aquífero confinado. Entretanto, não se exclui a possibilidade de contaminação, que pode ocorrer pela ocupação inadequada de áreas e uso/manejo equivocado do solo.

Na Hidrologia existe uma subdivisão que trata especificamente da disponibilidade, ocorrência e movimentação da água subterrânea na terra. A água subterrânea é oriunda pelo excesso das águas da chuva que percorre camada abaixo da superfície do solo, preenchendo vazios por entre as rochas. Estas formações geológicas são chamadas de aquíferos, são permeáveis e possuem classificações específicas. Os aquíferos são, portanto, uma reserva de água embaixo do solo, abastecidos pelos regimes de chuva, responsáveis por alimentar os rios. A ANA, Agência Nacional das Águas, elabora estudos e estimula a gestão dos recursos subterrâneos.

A maior parcela da água doce disponível no planeta é encontrada submersa. É necessário compreender as águas subterrâneas como parcela fundamental dentro do

ciclo hidrológico, de forma a garantir que sua exploração não modifique o fluxo de águas superficiais. Com a grande demanda por recursos hídricos, a exploração das águas subterrâneas é uma forma convidativa para sistemas de abastecimento levando em consideração fatores como abundância, qualidade, facilidade de captação e relação custo/benefício. A resolução nº 22 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece métodos para promoção da caracterização de aquíferos e quais as relações dos mesmos com os corpos hídricos de superfície através dos planos de Recursos Hídricos que devem garantir uma gestão sistêmica e integrada das águas.

4.2 Gestão dos Recursos Hídricos

No Brasil existe o SNRH, Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que desfoca a exclusividade do estado na tomada de decisões no que diz respeito a recursos hídricos, e abrange a participação social direta em organismos regionais, nos chamados Comitês de Bacias Hidrográficas (MAGALHÃES JÚNIOR, 2011). De acordo com o autor, “Os comitês dependem da disponibilidade, da qualidade e da forma de tratamento em utilização de dados em escalas adequadas [...] a existência de dados é fundamental.” Estes dados, os mais diversificados possíveis, mostram, em linguagem científica as condições de uma bacia hidrográfica, e, ainda de um rio específico. A CONDEPE/FIDEM (2005) estabelece “No Estado de Pernambuco, o marco legal para a gestão dos recursos hídricos, a Lei Estadual nº 11.426/97, que institui a Política, o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos”. Legislação baseada na Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433/97.

4.3 Água potável para o consumo humano e saneamento

A água para o consumo humano, dentre as ferramentas constitucionais brasileiras pode ser agrupada em água para consumo e saneamento básico, desenvolvimento urbano e saúde. A água potável faz parte do serviço de saneamento. De forma conjunta, União, estados e municípios devem melhorar as condições de saneamento. Aos estados, cabem aquelas responsabilidades referidas às regiões metropolitanas. Aos municípios, sendo eles titulares do serviço de saneamento, as

atividades associadas à oferta de água para consumo estão passíveis de enquadramento na categoria de interesse local (BRASIL, 1988).

Para o desenvolvimento urbano o uso da água vem atrelado às configurações de uso e ocupação do solo, particularmente o solo urbano e cabe aos municípios a responsabilidade de “gerir” o solo de forma a promover, quando couber, um ordenamento territorial mediante o controle e uso do solo, do parcelamento e da ocupação. Também deve desenvolver funções sociais que garantam o bem-estar dos habitantes através do Plano Diretor, uma vez que para garantir a habitabilidade, os alojamentos urbanos dependem de abastecimento de água potável. O ordenamento urbano, de competência municipal, tem impacto direto sobre a demanda de água para consumo e, conseqüentemente, esgotamento sanitário (MELO, 2012).

No âmbito da saúde, o direito à saúde é constitucionalmente um direito de todos e dever do Estado. Cabe ao poder público, dentro da lei, regulamentar, fiscalizar e controlar as ações e serviços de saúde. As três esferas de poder têm responsabilidades, entretanto, a competência de municípios está relacionada à prestação de serviços, cooperação técnica e financeira da União e do Estado em serviços de atendimento à saúde da população. Como a água para consumo humano é tida como uma disposição constitucional sobre saneamento e potabilidade dentro dos parâmetros de serviço de saúde, cabe ao Sistema Único de Saúde (SUS) participar da formação de política e execução de ações de saneamento básico, bem como fiscalizar e inspecionar alimentos, bem como bebidas e águas para o consumo humano (BRASIL, 1988).

4.4 Qualidade da água e monitoramento ambiental

A qualidade ambiental da água mostra condições e variáveis básicas que um ambiente específico ou ecossistema possui, seja ela física, química, biológica. Neste contexto, ambientes distintos apresentarão diferentes qualidades. Ao se definir qualidade da água, deve-se levar em consideração limites que sejam aceitáveis em relação à presença de elementos nela, baseados no uso que se pretende atribuir. Não há como se definir uma qualidade única da água, apontando um padrão específico, entretanto, é necessário se basear em limites aceitáveis e específicos de contaminantes para as diferentes utilizações deste recurso (BORTOLI, 2016).

Os reflexos das atividades antrópicas na qualidade das águas são apresentados sempre com adições de carga em um determinado tempo e espaço. Estas atividades são as principais fontes poluentes, introduzindo substâncias naturais e artificiais no meio ambiente, e, em sua maioria nos ambientes aquáticos. O lançamento ininterrupto de efluentes domésticos ou industriais nos rios e lagos bem como infiltrações oriundas de fossas sépticas e aterros sanitários são exemplos comuns de fontes permanentes de poluição. A influência das atividades humanas, seja de forma concentrada ou dispersa, através da geração de poluentes, seja no formato de efluentes domésticos, industriais ou defensivos agrícolas no solo, contribuem consideravelmente para a introdução de compostos na água, afetando dessa maneira sua qualidade. Portanto, todas as ações estão interligadas, sendo o mau uso do solo também uma das formas de se alterar a qualidade da água (VON SPERLING, 2011).

A qualidade das águas é um reflexo das interações naturais e antrópicas em um determinado meio (SOUZA, 2014). O clima, topografia, vegetação, uso, tipo e manejo do solo da bacia hidrográfica podem influenciar diretamente a qualidade da água de uma microbacia (CARVALHO et al., 2009).

Com o desenvolvimento não planejado, os rios, elementos principais no processo de preservação e conservação da vida, sofrem alterações diretas devido ao mau uso dos recursos naturais, e, conseqüentemente, das águas. A qualidade da água pode ser determinada através dos mais distintos parâmetros, que traduzem as características químicas (compostos inorgânicos e orgânicos), físicas (sólidos e gases) e biológicas (biodiversidade, número de cada espécie) de um corpo hídrico, de um manancial, de um represamento, entre outros (MEDEIROS, 2014).

Von Sperling (2007) identifica a diversidade de componentes que alteram a qualidade da água ou seu grau de pureza, sendo estes componentes retratados através de suas características químicas, físicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. A qualidade e quantidade das águas subterrâneas são alteradas de forma lenta e gradual e é o monitoramento de sua qualidade que as identifica de modo a fornecer informações para gerenciar e controlar impactos causados principalmente pela exploração desta água (TUINHOF et al., 2004).

O monitoramento da qualidade e quantidade da água é fundamental para o gerenciamento deste recurso, fornecendo informações que levem à compreensão das

características ou comportamentos de uma variável ambiental. O monitoramento pode vir a indicar ferramentas que ajudem na tomada de decisões e avalie a eficácia de programas de proteção e manutenção dos recursos hídricos (UNEP/WHO 1996; e (SWRCB, 2003).

4.5 Características químicas, físicas e biológicas da água

Neste tópico segue uma breve descrição dos parâmetros de qualidade avaliados neste trabalho, de acordo com metodologia e informações do Standart Methods for Examination of Water and Wastewater (2012).

Os parâmetros químicos são indicativos da qualidade da água, associados a consequências diretas sobre a forma de uso e consumo da água. Estes estão ligados a toda e qualquer substância que esteja dissolvida, podendo causar alterações nos valores de parâmetros como pH, alcalinidade, ferro, dureza, manganês, cloretos, fósforo, nitrogênio, metais, oxigênio dissolvido, entre outros (BIRKHEUER et al., 2017).

Alcalinidade é causada por sais alcalinos, de sódio, cálcio, bicarbonatos dentre outros, medindo a capacidade da água em neutralizar ácidos. Em altas concentrações, confere sabor à água.

O pH ou potencial hidrogeniônico é o equilíbrio entre íons de H^+ e íons OH^- , podendo apresentar variação de 0 a 14, indicando se uma água é ácida quando inferior a 7, neutra se igual a 7 ou alcalina, se maior que 7. Este parâmetro depende diretamente da origem e características naturais do ambiente, podendo ser facilmente modificado com o contato de resíduos, efluentes, etc. (SPERLING, 2007).

Dureza é produto da presença de sais alcalinos terrosos, cálcio e magnésio, ou alguns metais bivalentes. Em grandes concentrações causa sabor desagradável e efeito laxativo, incrustações em tubulações e caldeiras de indústrias. Se classificam as águas em $CaCO_3$ da seguinte maneira: se menor que 50mg/L de $CaCO_3$, se classifica a água como mole; entre 50 e 150mg/L de $CaCO_3$, se classifica a água com dureza moderada; entre 150 e 300 mg/L de $CaCO_3$, se classifica a água como dura; e concentrações maiores que 300 mg/L de $CaCO_3$, se classifica a água como muito dura.

O Sulfato é um ânion comum no meio ambiente, podendo ter concentrações variáveis nas águas naturais. Em água potável sua presença é oriunda da adição de algicidas, que em sua maioria são sulfatos.

Amônia em águas é consequência do processo de degradação de matéria orgânica. Efluentes domésticos e industriais também apresentam altas concentrações deste parâmetro.

Nitrato é a forma mais oxidada do nitrogênio, gerado no final da degradação de matéria orgânica no ciclo do nitrogênio. É comum ser encontrada em águas armazenadas em comunidades rurais, bem como em fertilizantes. Concentrações altas deste parâmetro podem gerar sérios problemas na saúde das crianças.

O Nitrito é uma das fases mais intermediárias do ciclo do nitrogênio, é a parcela de matéria orgânica rapidamente decomposta. Através do consumo de oxigênio dissolvido, indica decomposição parcial da matéria orgânica, na natureza pode indicar presença de bactérias redutoras de nitrato em condições de anaerobiose.

O oxigênio dissolvido é indicativo de qualidade da água. Sua concentração pode variar em função da temperatura. Boa parte das fontes de oxigênio na água é resultado da troca com a atmosfera através da aeração e produção através dos produtores primários como resultado da fotossíntese. É um dos principais indicativos monitorados porque possui papel fundamental para a sobrevivência de seres aquáticos aeróbios, sejam microrganismos ou peixes (COSTA FILHO, 2006).

Cloretos são oriundos da dissolução de minerais ou da intrusão de água do mar através de cunhas salinas, mas, podem também indicar contaminação por efluentes domésticos ou industriais, em altas concentrações conferem sabor salgado à água.

O Ferro pode surgir na água através da dissolução de compostos do solo ou lançamento de efluentes, este parâmetro causa coloração na água, em um tom avermelhado. Este parâmetro confere sabor metálico à água, favorecendo o crescimento de bactérias que conferem odor e coloração.

Alguns dos componentes inorgânicos que são parâmetros de qualidade são os metais pesados como Manganês, Cobre, Cádmio, Chumbo, Cromo e Zinco, estes são

extremamente nocivos à saúde humana e são geralmente introduzidos na água por meio de efluentes industriais ou a partir das atividades de agricultura, garimpo e mineração.

Condutividade elétrica é o parâmetro que indica a medida de todos os íons que conduzem eletricidade na água. Quanto mais íons dissolvidos na água, mais energia elétrica pode ser conduzida entre eles, e conseqüentemente, maior será a condutividade.

A salinidade é a medida da concentração de sais na água, sua medida é feita de forma indireta pela condutividade e afeta o sabor da água. As águas são consideradas doces com salinidade inferior a 0,5%.

Os parâmetros físicos apresentam uma maior facilidade na sua identificação e medição de concentrações. No meio ambiente, a água naturalmente possui cor, cheiro e em alguns casos, gosto. (MAGALHÃES et al., 2014). Neste pressuposto é importante manter uma atenção em relação a aparência da água, que pode parecer límpida e apresentar uma má qualidade. Parâmetros como temperatura, turbidez, cor e odor são atribuições físicas da qualidade das águas.

A temperatura é um parâmetro importantíssimo. Este sofre influências de fatores ambientais externos que levam a uma variação constante. Ela influi de forma a acelerar ou retardar a atividade biológica na água, por exemplo.

A cor é um importante parâmetro na avaliação da qualidade de água porque pode indicar presença de ferro e metais, matéria orgânica ou até plâncton. A cor pode ser identificada como aparente, que se refere às amostras com material coloidal ou em suspensão, ou cor verdadeira, que se refere à determinação da cor em amostras livres de material em suspensão e coloidal. É determinada usualmente a partir de técnicas de espectrofotometria.

A Turbidez é uma medida relacionada em quanto a luz pode ser produzida pela presença de coloidais ou matéria em suspensão, sendo expressa em unidade de turbidez NTU (Nephelometric Turbidity Unity). É um parâmetro que indica presença de substâncias orgânicas, silte, argilas, substâncias inorgânicas e algas.

Sólidos Totais Dissolvidos são impurezas presentes na água que contribuem para o acréscimo de sólidos presentes no meio. As fontes de sólidos dissolvidos são

usualmente erosão do solo, lançamento de efluentes, assoreamento etc. Eles podem provocar a elevação da cor e turbidez, diminuindo a transparência da água.

Biologicamente, os parâmetros de qualidade de água são sempre associados a potenciais patógenos que possam vir a contaminar um corpo hídrico tal como coliformes e bactérias heterotróficas (SCURACCHIO, 2010).

Os Coliformes termotolerantes, quando em grandes quantidades, indicam presença de patógenos na água. Estes patógenos são responsáveis por doenças de veiculação hídrica, como: cólera, diarreia, febre tifoide, entre outras. Coliformes fecais estão presentes no intestino de animais de sangue quente, e são contaminantes oriundos de lançamento de efluentes domésticos.

4.4 Impactos Ambientais

Os reflexos das atividades antrópicas na qualidade das águas são apresentados sempre com adições de carga em um determinado tempo e espaço. As atividades antrópicas, isto é, o acréscimo de substâncias que não são naturais de um sistema específico pelo homem, são as principais fontes poluentes, introduzindo substâncias naturais e artificiais no meio aquático. Segundo von Sperling (1996), a poluição trata-se da adição, tanto de substâncias como de energia, de forma a alterar as condições naturais do corpo hídrico. Independente da forma de lançamento, direta ou indireta, a poluição prejudica outros usos possíveis deste recurso.

O lançamento ininterrupto de efluentes domésticos ou industriais nos rios e lagos bem como infiltrações oriundas de fossas sépticas e aterros sanitários são exemplos comuns de fontes permanentes de poluição. A interferência antrópica, seja de forma aglutinada ou esparsa, contribui diretamente na introdução de compostos na água, modificando sua qualidade. A forma que o homem ocupa o solo influencia de forma direta a qualidade da água. (VON SPERLING, 2011). Os principais problemas de poluição nos corpos hídricos a serem solucionados, no Brasil, são os de consumo de oxigênio dissolvido nos corpos d'água, descarte exagerado de nutrientes e liberação de patogênicos no meio. Por isso, se estabelecem em legislação os padrões de qualidade da água (VESILIND e MORGAN, 2011).

Libânio (2005) enfatiza que os poluidores cruciais da qualidade das águas são a matéria orgânica biodegradável, oriunda de esgotos domésticos, que possuem decomposição realizada por bactérias aeróbias, consumindo assim o oxigênio dissolvido das águas; compostos orgânicos sintéticos não biodegradáveis, oriundos de pesticidas e alguns detergentes; metais pesados que dão toxicidade ao meio aquático. Todos estes poluentes podem ser infiltrados pelo solo. A qualidade das águas é um reflexo das interações naturais e antrópicas em um determinado meio. Com o desenvolvimento não planejado, as águas subterrâneas e rios, elementos principais no processo de desenvolvimento, conservação da vida e abastecimento humano, sofrem alterações diretas devido ao mau uso das águas e do solo.

4.5 Legislação

A legislação sobre águas no país é composta por um conjunto de leis e decretos federais e estaduais que atribuem desde domínio até o disciplinamento do uso das águas, levando em consideração a diversidade do uso. Desta forma, é possível estabelecer uma linha cronológica de leis e decretos que regulamentam a situação da água no Brasil e no estado de Pernambuco:

1. A constituição brasileira define o domínio das águas
2. A lei Federal N°9.433 de 08/01/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH)
3. Resolução CONAMA 396 de 03/04/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais par enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências
4. A constituição estadual define bases para promover o aproveitamento consciente e racional das águas através de legislação
5. Lei N°11.427 de 17/01/1997 dispõe sobre conservação e proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco
6. Lei N°12.984 de 30/12/2005 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, instituindo o SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Como forma de regulamentar e assegurar um padrão de qualidade, a resolução CONAMA N° 357/05 (BRASIL, 2005) classifica os recursos hídricos de acordo com a qualidade de suas águas e, com isso, define possíveis usos a estas, bem como o limite de poluentes que podem ser lançados sem causar danos significativos. A qualidade da água pode ser determinada através de inúmeros parâmetros que traduzem as características químicas (compostos inorgânicos e orgânicos), físicas (sólidos e gases) e biológicas (biodiversidade, número de espécies) de uma amostra (VON SPERLING, 2007).

A portaria de consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde através do anexo XX determina parâmetros que atendam ao padrão de potabilidade das águas para consumo humano, devendo apresentar valores de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dentro dos limites máximos permitidos. É necessário que a água esteja livre de alterações, microrganismos patogênicos e bactérias indicadoras e contaminação fecal, como preconiza a portaria supracitada. O documento prevê ainda o monitoramento sistemático da qualidade da água para sistemas públicos e soluções alternativas coletivas de abastecimento, assegurando a vigilância da qualidade da água (BRASIL, 2017).

A Política Nacional de Recursos Hídricos assegura a importância do monitoramento das águas subterrâneas dentro de seus objetivos quando determina que é necessário “Assegurar à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (ART. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei n°9433). Essa é a política que estabelece a importância da avaliação integrada de quantidade e qualidade da água, quando determina através de diretrizes que devem ser implementadas através do SNGRH a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociar aspectos de quantidade, qualidade e a gestão integrada de recursos hídricos associadas a gestão ambiental (ART 3º, Cap. III, Tit. I, Lei n 9433).

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH n°15 de 11 de Janeiro de 2001 através da implementação dos instrumentos da PNRH estabelece que devem ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada de águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

A Resolução Conama 396 de 03/04/2008, em seu art. 3º classifica as águas subterrâneas, esta é uma ferramenta que favorece a gestão da qualidade das águas,

enquadrando-as através de usos preponderantes. Desta forma, as águas subterrâneas são classificadas em:

Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo

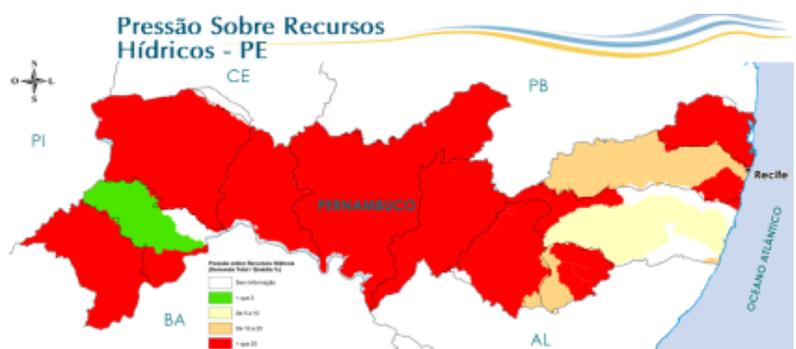
Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

4.6 Um breve histórico do panorama hídrico do Nordeste e o estado de Pernambuco

Estudos da CPRM apontam que existem reservas exploráveis de água no subsolo nordestino. A junção de ferramentas associada a uma discussão participativa com a sociedade civil poderia indicar soluções para o uso e gestão dessas águas (CPRM 1998).

A Bacia Pernambuco/Paraíba apresenta uma baixa favorabilidade hidrogeológica, esta bacia compõe a formação Cabo que apresenta conglomerados polimíticos, arenitos médios e finos, siltitos e argilosos, alguns silicificados. Apesar da baixa favorabilidade hidrogeológica do conjunto, a área do litoral norte do estado de Pernambuco onde está localizado o município de Igarassu apresenta áreas de alta a média favorabilidade hidrogeológica. Nesta área, se identificam arenitos médios a finos, siltitos e alguns níveis de argilitos, fazendo parte das formações Beberibe e Algodois (CPRM, 2011). De acordo com o Atlas Nordeste – Abastecimento urbano de água, fica evidente a relação da baixa potencialidade hídrica de Pernambuco e a concentração de atividades produtivas e concentração populacional no litoral, pressionando os recursos hídricos no estado. A figura 1 ilustra o desequilíbrio entre disponibilidade de água e demanda nas bacias do estado (ANA, 2006).

Figura 1 Grau de pressão sobre os recursos hídricos no estado de Pernambuco (ANA, 2016)



CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DO GRAU DE PRESSÃO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	
Demanda Total "D" / Q média por UP (%)	Situação
$D/Q < 5\%$	Água considerada um bem livre, com pouca atividade de gerenciamento sendo praticada
$5\% \leq D/Q \leq 10\%$	Situação ainda confortável, com necessidade de gerenciamento para solução de abastecimentos locais
$10\% < D/Q \leq 20\%$	Atividade de gerenciamento indispensável, com investimentos médios
$D/Q > 20\%$	Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos
Q: Descarga média do rio principal da Unidade de Planejamento, em m ³ /s; D: Demanda Total = Somatória das demandas para abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação e dessedentação animal, em cada Unidade de Planejamento, em m ³ /s.	

O litoral norte do estado de Pernambuco abrange oito municípios, sendo Igarassu um dos mais extensos. Esta dimensão configura a região com uma grande densidade populacional. As características da região sejam geológicas, morfológicas e demográficas, associadas com fatores como pluviosidade, altitude, relevo e extensão da rede hidrográfica fazem com que a área seja sensível a ações antrópicas oriundas do desenvolvimento (CPRH, 2003).

O estado de Pernambuco não apresenta uma morfologia propícia para construção de grandes reservatórios, fazendo com que o nível de aproveitamento do potencial hídrico na região semiárida do estado seja crítico. Dos 185 municípios, 122 estão situados na região semiárida nordestina. Quase todo o potencial de volume aproveitável no estado está situado em bacias dispostas no litoral e Zona da Mata, podendo alcançar 80% de sua potencialidade. Em contrapartida, Agreste e Sertão que configuram 90% da área do estado apresentam aproximadamente 20% de potencialidade hídrica.

No estado, o sistema aquífero cristalino é de baixa vocação hidrogeológica. No que se refere às águas subterrâneas, 80% do domínio hidrogeológico fraturado preenche quase toda área do estado, estando os aquíferos de grande potencial no domínio poroso, situados nas bacias sedimentares costeiras de Pernambuco-Paraíba e Cabo-Ipojuca, além de Jatobá e Araripe. No quadro abaixo é possível identificar as características dos poços situados na bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba (PERNAMBUCO, 2008).

Quadro 1 Características dos poços da bacia Pernambuco-Paraíba

Bacia Sedimentar	Vazão Média	Profundidade Média	Número de Poços
Pernambuco-Paraíba	19,7	71,2	214

Fonte: Plano estratégico dos Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, 2003. Adaptado.

O projeto de sustentabilidade hídrica do estado de Pernambuco, elaborado pela Companhia pernambucana de saneamento reconhece que a insuficiência do serviço de abastecimento de água resultou num aumento da exploração de águas subterrâneas no litoral (PERNAMBUCO, 2010).

5. METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Igarassu no estado de Pernambuco, na Zona da Mata, cuja sede tem seu centro sob as coordenadas geográficas 7°51'09.5"S e 34°53'05.4"W, distando aproximadamente 28 km da cidade do Recife. Possui um período chuvoso entre março e julho e de estiagem entre agosto e fevereiro. A área específica do estudo está distribuída em zona rural, inserida nas circunvizinhanças de talwegues, formando compartimentos hidrológicos.

5.2 Clima e vegetação

A classificação climática de Köppen define a área como “Am”, identificando como pseudo-tropical, oscilando temperaturas médias anuais de 24°C sendo os meses de junho a agosto os mais frios do ano, enquanto dezembro a fevereiro os mais quentes. A precipitação pluviométrica anual é de pouco mais que 2000 mm. A cobertura vegetal da área em sua formação original é de Mata Atlântica. No município de Igarassu há um dos exemplares mais visíveis de remanescentes de mata (CPRH, 2003)

5.3 Meio físico

No litoral norte do estado de Pernambuco, onde o município de Igarassu está inserido, há predominância de depósitos terciários e quaternários. Nos municípios de Goiana e Igarassu é onde aflora a formação Beberibe. Esta formação possui relevo variando entre plano e suave ondulado, apresentando características de aquífero, sendo uma importante reserva de água subterrânea na região metropolitana no Recife. Essa formação apresenta em sua superfície grandes camadas de areia, o que leva a uma exploração em larga escala pela construção civil, sendo possível encontrar grandes areeiros nos municípios do litoral norte (CPRH, 2003; LGGM, 1992).

5.4 Estações de coleta e período amostrado

As campanhas para a coleta de dados e de amostras de água na área de estudo, foram realizadas em fevereiro de 2018 e concluídas em julho do mesmo ano. As amostragens ocorreram nos períodos de estiagem (fevereiro) e de chuvas (junho) para uma caracterização sazonal do ambiente.

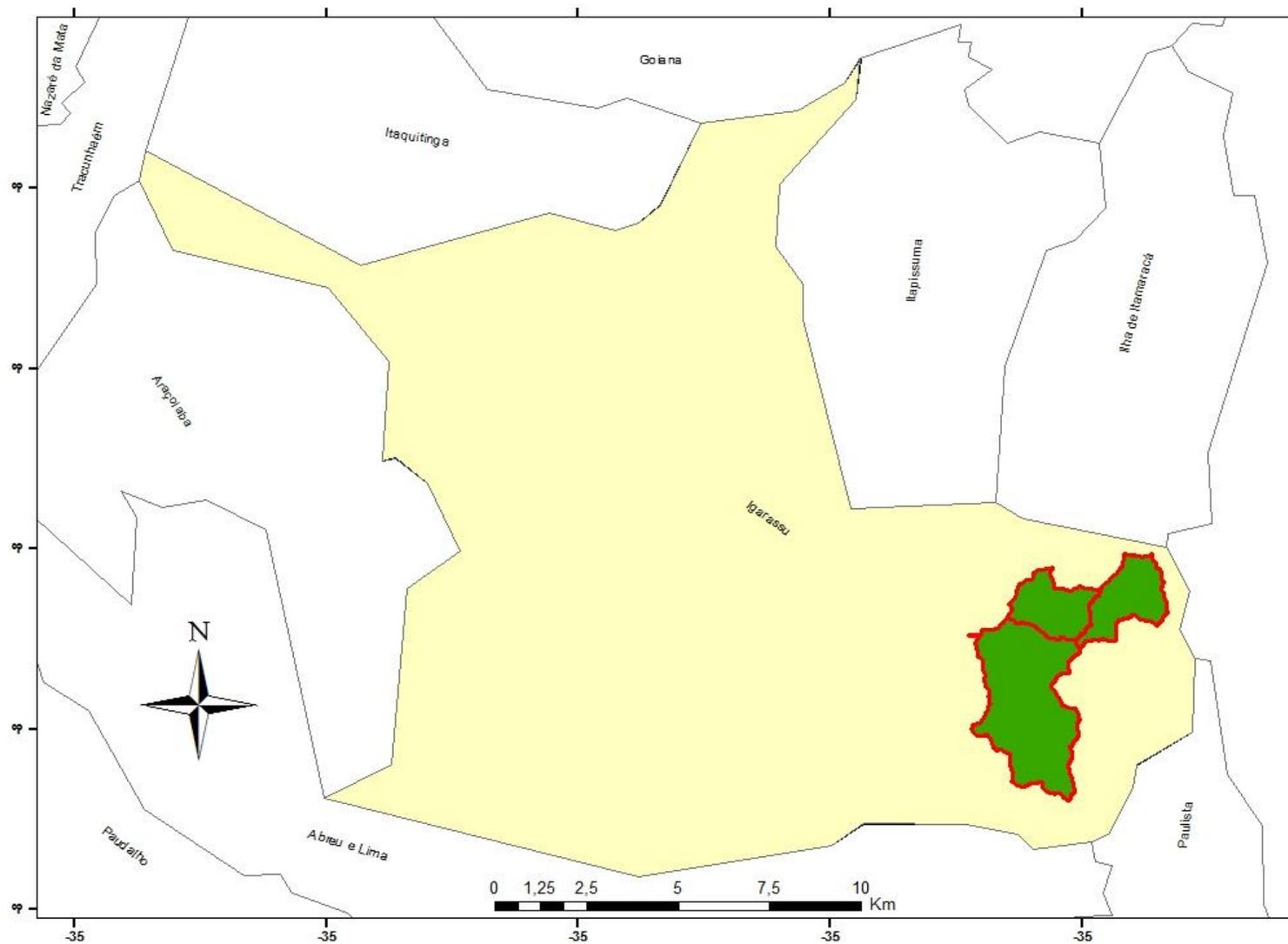
As amostras foram obtidas com garrafas de coleta de 2L de acordo com a metodologia específica para cada parâmetro de análise, fixadas e/ou preservadas no local e levadas sob refrigeração ao Laboratório de Análise de Minerais, Solos e Água (LAMSA) do Departamento de Engenharia Química da UFPE, para processamento e análises físico-químicas e microbiológicas.

As amostragens de águas subterrâneas foram realizadas em poços e cacimbas em comunidades que habitam áreas dos compartimentos hidrológicos, enquanto as águas superficiais foram coletadas em lagoas artificiais resultantes do processo de dragagem da areia e riachos. Os pontos de amostragem foram georreferenciados para levantamento dos dados.

Quadro 2 Características e coordenadas dos Pontos de Coleta

Pontos	Tipos (Profundidade)	Coordenadas UTM WGS 84
1	Poço 117m	25M 294802 9134568
2	Poço 15m	25M 295100 9134730
3	Riacho	25M 295165 9134121
4	Cacimba 8m	25M 293980 9134207
5	Poço 128m	25M 294066 9134254
6	Cacimba 2m	25M 294675 9133656
7	Cacimba 4m	25M 294901 9133979
8	Cacimba 4m	25M 295126 9133906
9	Cacimba 8m	25M 293308 9133622
10	Cacimba 8m	25M 292323 9131314
11	Poço 30m	25M 292171 9131516
12	Lagoa de dragagem areeiro	25M 292313 9131739
13	Poço 15m	25M 291853 9131820
14	Cacimba 1,5m	25M 291847 9131823
15	Poço 80m	25M 294024 9133740
16	Cacimba 8m	25M 293919 9133606

Figura 2 Área de estudo no município de Igarassu



Paralelamente às coletas de amostras para análises de laboratório, uma sonda multiparâmetros foi levada a campo realizando-se medições da água em condições locais. A sonda, denominada HORIBA, foi capaz de medir temperatura, pH, Potencial de oxirredução - ORP, condutividade, turbidez, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e salinidade. A sua utilização alimentou um banco de dados de uma semana de análises nos dois períodos climáticos. O Modelo U-50 series da sonda, usado neste trabalho, possui 6 (seis) sensores de medição, de fácil operação, possibilitando monitoramento imediato para coleta e armazenamento de dados. Na tabela 1 é possível observar a precisão e as unidades de medição dos sensores Horiba utilizados.

Tabela 1 Parâmetros medidos pela sonda Horiba U-50 series e sua precisão

PARÂMETRO	MEDIÇÃO	PRECISÃO
Temperatura	- 5 a 55	±0.3 +0.005
Turbidez	0 a 800 UNT	±1 UNT
pH	0 a 14	±0.1pH
Sólidos totais dissolvidos	0 a 100 g/L	±5 g/L
Oxigênio dissolvido	0 a 50 mg/L	0 a 20 mg/L: ±0.2 mg/L, 20 a 50 mg/L: ±0.5 mg/L
Potencial de oxi-redução	- 2000 mV a + 2000 mV	±15 mV
Condutividade elétrica	0,0 µS/cm a 99,9 µS/m	±1%
Salinidade	0 a 70 ppt	±3 ppt

5.5 Análises de Laboratório

As amostras de água coletadas nos dois períodos climáticos estudados foram submetidas a análises físico-químicas, as quais seguiram os protocolos para cada parâmetro atribuídos pela PRC nº5 – Anexo XX, Capítulo III, seção V, Art. 22 do Ministério da Saúde (Brasil, 2017).

Foram realizadas análises de pH, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, amônia, cloro residual livre; dureza total, alcalinidade, sulfato, cloreto, carbonato, bicarbonato, cálcio, magnésio, manganês, ferro total, sódio,

potássio, alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo total e zinco. Os resultados foram analisados e comparados com a legislação supracitada.

As análises de metais pesados foram realizadas através de espectrofotometria de absorção atômica; sulfatos, nitrato e nitrito foram determinados através de espectrometria UV-VIS. A fotometria de chama foi usada para determinação do sódio e potássio. Análises de dureza total, alcalinidade e cloretos (método de Mohr) foram realizadas por volumetria. Ferro total, alumínio, cloro residual, amônia e cor foram determinados utilizando-se kits de análises espectrofotométricas da Merck Millipore, baseados nas diretivas 98/83/CE e (EU) 2015/1787, que são métodos aceitos pela PRC nº5 – Anexo XX Capítulo III, seção V, Art. 22.

Utilizaram-se espectrofotômetros PHARO 100 (VIS) e 300 (UV-VIS) da Merck Millipore, espectrofotômetro de absorção atômica da Shimadzu, modelo AA-7000, fotômetro de chama DM63 (Digimed), turbidímetro (Digimed), condutivímetro Mettler Toledo, modelo MC226 e pHmetro Inolab.

5.6 Tratamento Geoestatístico

Foram gerados mapas com distribuição geoespacial para os parâmetros de pH, cor, turbidez e ferro total na área de estudo. Para isso, utilizou-se o método de interpolação Topo to Raster de Hutchinson (1989) que surgiu através do programa ANUDEM criado por ele. Este método permitiu que se usassem curvas de nível, delimitações de bacias e georreferenciamento para interpolar dados mostrando a qualidade das águas não conformes com a legislação comparativa. (HUTCHINSON, 1989).

A interpolação foi feita utilizando-se a soma ponderada dos quadrados nos resíduos pelos dados de elevação da superfície (HUTCHINSON, 2009). Desta forma, através deste modelo de interpolação, foram convertidos dados vetoriais em modelos hidrológicos de terrenos (Nogueira e Amaral, 2009).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análises Físico-Químicas

De acordo com os valores da Portaria de Consolidação N° 5 do ano de 2017 do Ministério da Saúde através do seu anexo XX foi possível se observar um comportamento anômalo da qualidade da água na região rural de Igarassu nos dois períodos climáticos estudados para alguns parâmetros. Nos períodos climáticos de chuva e estiagem os parâmetros de pH, cor aparente, turbidez e ferro total se mostraram com concentrações que enquadram as águas como inaptas para o consumo humano.

As análises de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, amônia, cloro residual livre; dureza total, alcalinidade, sulfato, cloreto, carbonato, bicarbonato, cálcio, magnésio, manganês, sódio, potássio, alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo total e zinco evidenciam que os valores estão dentro dos limites máximos permitidos, de acordo com a legislação.

Dos dezesseis pontos estudados, sete apresentaram alterações físico-químicas no período de chuvas, sendo estes os pontos 3, 6, 7, 8, 10, 11 e 13 os quais representam um riacho, uma cacimba de 2m, uma cacimba de 4m, uma cacimba de 4m, um poço de 30 metros, uma cacimba aberta de 3m e uma cacimba de 8 m, respectivamente. Na tabela 2 é possível se observar os valores encontrados e o limite máximo permitido preconizado por legislação.

Tabela 2 Variação dos parâmetros analisados no período de chuvas nos pontos de estudo com base nos limites máximos permitidos na portaria de consolidação N° 5 do ano de 2017 do Ministério da Saúde.

Parâmetro	Pontos de Coleta							PRC n°5
	3	6	7	8	10	11	13	
pH	6,07	5,49	5,79	5,54	7,49	7,13	8,31	6,0 a 9,5
Cor	>100	0	0	0	0,53	>100	0,6	15 UH
Turbidez	16,32	1,25	0,73	0,32	1,84	524	0,25	5 UT
Ferro Total	0,6	0	0	0,02	0,53	0,02	0	0,3 mg/L

Foi possível se observar através dos valores estabelecidos em legislação que no período de estiagem os parâmetros de pH, cor aparente, turbidez e ferro total permaneceram fora dos padrões máximos permitidos. Neste período os pontos 1, 3, 6, 7, 8 e 11 apresentaram

padrões de qualidade de águas que as tornam impróprias para o consumo humano. Estes pontos são um poço com profundidade de 117m, um riacho, uma cacimba de 2m, uma cacimba de 4 m, uma cacimba de 4m e a lagoa de drenagem do areeiro. A tabela 3 ilustra a relação dos parâmetros de pH, cor, turbidez e ferro total alterados com o limite máximo permitido preconizado em legislação.

Tabela 3 Variação dos parâmetros analisados no período de estiagem nos pontos de estudo com base nos limites máximos permitidos na portaria de consolidação N° 5 do ano de 2017 do Ministério da Saúde.

Parâmetro	Pontos de Coleta						PCR N°5
	1	3	6	7	8	11	
pH	7,57	5,91	5,64	5,68	5,32	7,51	6,0 a 9,5
Cor	10,16	67	0,07	1,12	0	80,9	15 UH
Turbidez	5,3	100	2,5	5	1,7	85,7	5 UT
Ferro Total	0,44	4,5	0,07	0,2	0,005	0,61	0,3 mg/L

6.1.1 pH

As amostras de água analisadas apresentaram variação de pH de 5,49 a 8,48. A PRC n°5 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água destinada ao abastecimento humano esteja entre 6,0 e 9,0. Em ambientes naturais, a água tem sua concentração de pH influenciada por sais, ácidos e bases presentes no meio ambiente. O pH aqui pode indicar prováveis contaminações da água pelo tipo de solo por onde ela escoou, seja de ordem química, pela da qualidade do ambiente: origem da água, degradação da área, desmatamento dentre outros fatores que ocorrem na região.

O pH baixo nos pontos mostrados na tabela podem ser um indício da ausência de substâncias tamponadoras, como os bicarbonatos e carbonatos. Uma das prováveis razões pelos valores de pH estarem fora dos padrões estabelecidos pela norma pode ser a dissolução de minerais no solo, conforme Gomes, Cavalcante e Silva (2016).

6.1.2 Cor

A Cor foi um parâmetro que se mostrou fora dos valores máximos permitidos nos pontos 3, 11, 13 sendo 3 e 11 no período de estiagem enquanto o 3, 11 e 13 apresentaram alterações no período de chuva. Estudos como o de ODA (2010) destacam que a presença de matéria orgânica, metais, dentre outros componentes químicos e biológicos podem conferir alterações dos valores de cor nas águas superficiais e subterrâneas. Para compreender a cor é importante se destacar a caracterização dos pontos onde houve alterações.

A área de coleta da amostra no ponto 3 (figura 3), fica a céu aberto, numa passagem molhada. Nota-se vegetação nas margens e muita matéria orgânica em decomposição e suspensão na água além de ser um local onde animais são dessedentados, percebendo-se peixes, com água rasa e corrente. O ponto 11 (figura 4) é uma lagoa onde ocorreu a exploração massiva de areia, com coloração forte e uma turbidez elevada. O ponto 13 (figura 5) é uma cacimba rasa sem qualquer vedação e está situada em área passível de contaminação numa comunidade sem saneamento, cercada por vegetação. A água é usada para múltiplos usos e há um banheiro improvisado e uma lavanderia instalados a poucos metros de proximidade.

Figura 3 Ponto de coleta 3, Riacho



Figura 4 Ponto de coleta 11, Lagoa de drenagem de um areeiro desativado



Figura 5 Ponto de coleta 13, Cacimba aberta



6.1.3 Turbidez

Nos mesmos pontos que apresentaram alterações de coloração, a turbidez foi um parâmetro que esteve fora dos padrões. As amostras marcadas nas tabelas supracitadas ficaram fora dos padrões estabelecidos para o consumo humano.

Nota-se uma turbidez elevada no ponto onde ocorreu por anos a extração de areia (ponto 11). Assabonga (2016) e Tanno et al. (2003) discutem sobre estressores ambientais relacionados com a exploração de areia, sendo um deles a alteração do padrão de qualidade das águas superficiais e subterrâneas uma vez que esta atividade é capaz de dissolver,

suspender e transportar substâncias orgânicas e inorgânicas alterando diversos parâmetros de qualidade das águas, sendo a turbidez um dos parâmetros mais afetados.

6.1.4 Ferro

O ferro foi um parâmetro que esteve fora dos padrões em quatro pontos estudados. No período de estiagem houve valores alterados de ferro nos pontos 1, 3 e 11 enquanto no período de chuvas os pontos 3 e 10 apresentaram alterações deste elemento.

O ponto 1 apresentou valores relativamente altos de ferro, onde o solo pode ser um dos fatores que conferem esta alteração devido à profundidade do poço existente. No período de estiagem o ponto 3 apresentou valores de ferro em 4,5 mg/L e um pH na ordem de 5,41. Picanço (2002) demonstra que é comum em águas que apresentem valores de pH nesta ordem, ocorra ferro no formato de Fe^{2+} , sendo um indicativo que água com certa acidez apresente concentrações elevadas de ferro.

6.2 Análises Microbiológicas

6.2.1 Coliformes

Foram realizados testes de presença/ausência para coliformes totais e termotolerantes (fecais) nas 16 amostras estudadas nos períodos climáticos estabelecidos. A portaria de consolidação n° 5 do Ministério da Saúde estabelece a água como imprópria para o consumo humano caso haja a presença de coliformes, exigindo um número máximo permitido (NMP)/100mL de coliformes termotolerantes (Brasil, 2015). Todos os 16 pontos estudados apresentaram coliformes fecais em suas águas, o que as configuram impróprias para o consumo humano direto. As águas estudadas nesta região somente devem ser utilizadas para o consumo humano após um tratamento prévio de desinfecção.

Valias (2002) enfatiza que embora a água não forneça naturalmente condições propícias à proliferação de organismos patogênicos, estes sobrevivem tempo suficiente no meio para ocorrer a chamada transmissão hídrica. Como consequência, a presença de microrganismos patogênicos na água é oriunda da contaminação recente por fezes de animais ou humanas, decorrentes de infiltração e águas residuais, entre outros.

A região estudada não apresenta estruturas de saneamento básico na área de influência deste estudo. A região recebe impactos com exploração de areia, a população se utiliza de

fossas sépticas como sistema de esgotamento sanitário pela forma que os terrenos foram sendo habitados, muitos sem adotar as distâncias seguras para a instalação de tais sistemas. Enfatiza-se também que nas áreas próximas aos pontos de coleta há criação de animais e, em muitos dos casos, não há uma vedação apropriada dos poços.

Souza (2015) destaca ainda que a contaminação de águas em propriedades cujas características ambientais não são favoráveis, como na área estudada, podem ocorrer riscos de contaminação desde a fonte de captação nos reservatórios ou até mesmo nas redes de distribuição criadas pelos moradores, uma vez que em sua maioria, o sistema de abastecimento urbano não chega nessas áreas. Desta forma, é comum que ocorram focos distintos de contaminação.

6.2.2 Contagem de bactérias heterotróficas

Os testes de contagem de bactérias foram executados nas 16 amostras estudadas. A portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde estabelece um número máximo permitido menor que 500 UFC/mL (Brasil, 2017). Dos 16 pontos, seis apresentaram valores adequados dentro dos padrões de potabilidade. São eles os pontos 1, 6, 7, 8, 10 e 15.

Todos os outros pontos apresentaram valores inadequados para o consumo humano. Este é um resultado importante, pois Da Silva (2013) aponta que contaminantes como estes indicam uma alta probabilidade da ocorrência de microrganismos patogênicos na água. Podem ocorrer microrganismos responsáveis por gastroenterites, que são aquelas infecções que possuem a diarreia como sintoma principal.

6.3 Metais Pesados

Com base nos valores dos metais analisados (chumbo, cromo, zinco, manganês, cobre e cádmio), nenhum dos pontos de amostragem apresentou valores de concentração significativa de metais pesados.

6.4 Distribuição geoespacial dos parâmetros não conformes com a legislação de potabilidade

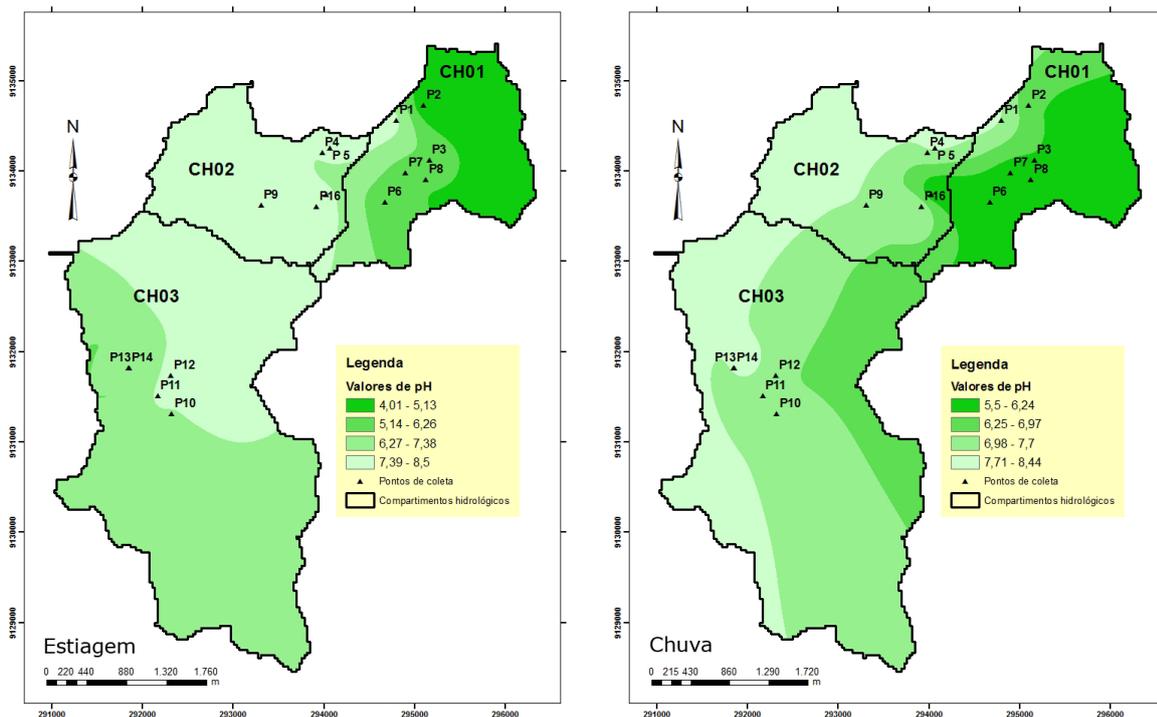
Para uma melhor compreensão do comportamento da qualidade da água na região, a área de estudo foi dividida em três compartimentos hidrológicos. Estes representam

características diferentes e usos do solo específicos, bem como relevos distintos. Destaca-se os compartimentos hidrológicos 1 e 2 como áreas de maior ocupação de comunidades, pequenas áreas de plantio, criação de animais e uso domiciliar da água. O compartimento hidrológico 3, por sua vez, representa uma região onde há áreas de extração de areia, um pequeno aeródromo e indústrias de processamento de coco para produção de óleo.

Com os resultados obtidos, realizou-se a distribuição geoespacial dos parâmetros físico-químicos que não estão em consonância com a Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde. Nas figuras 6, 7, 8 e 9 é possível se observar o comportamento da cor, pH, turbidez e ferro total, respectivamente.

Com essa distribuição, percebe-se que há uma maior concentração de pH ácido no compartimento hidrológico 1 (CH 1). Este mesmo compartimento apresentou elevados teores de cor, turbidez e ferro total. Este é um comportamento similar ao compartimento 3. Percebe-se também que estes compartimentos apresentam as maiores alterações de qualidade das águas.

Figura 6 Geodistribuição do pH nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.

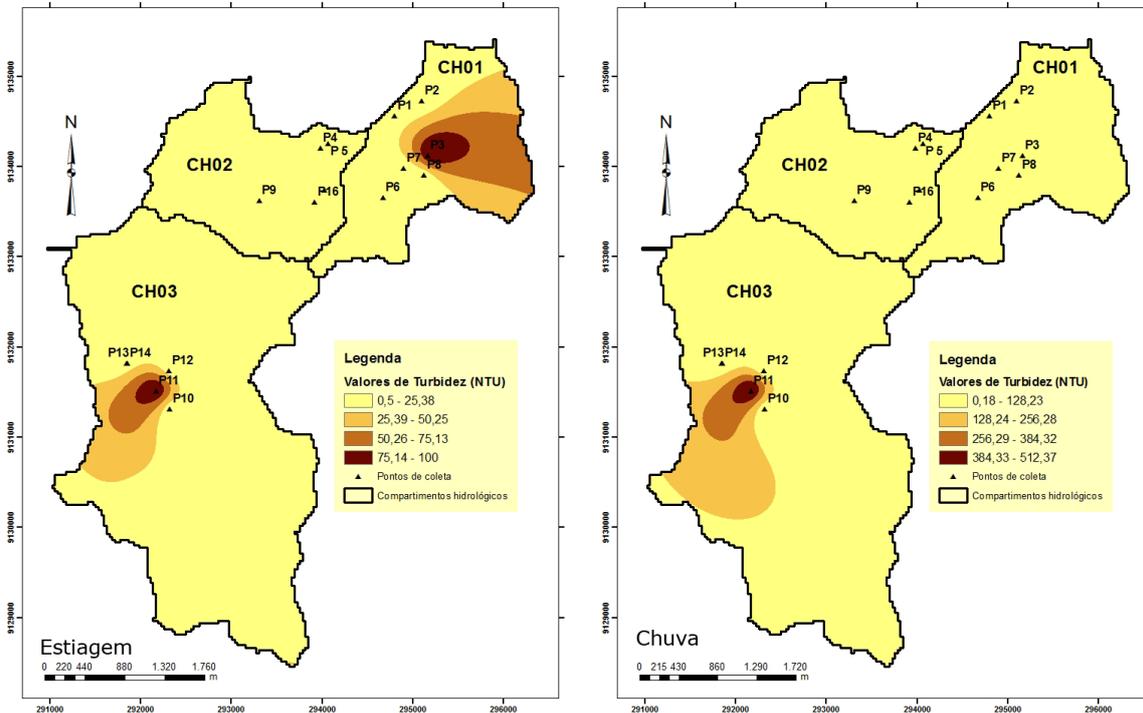


O pH representa uma unidade relacionada às atividades de íons H^+ , indicando em suas expressões índices de neutralidade, acidez ou alcalinidade. Ao se comparar o comportamento deste parâmetro nos três compartimentos hidrológicos, nos dois períodos climáticos, nota-se uma predominância de pH tendencioso ao ácido no compartimento hidrológico 1 (CH 01), enquanto o compartimento hidrológico 2 (CH 02) apresentou um maior índice de alcalinidade no período estudado.

Este parâmetro influencia diretamente na distribuição de elementos e compostos químicos em suas formas livres e ionizadas. Conferindo à água uma capacidade de aumentar ou reduzir seu potencial de solubilidade relativo a substâncias, inclusive as que apresentam grau de toxicidade. Libânio (2005) enfatiza que o pH é um componente de muita sensibilidade às mudanças e variações nos recursos hídricos, podendo oscilar conforme a dissolução de sais, matéria orgânica decomposta, processos de lixiviação, tipos litológicos de solos, e, sobretudo, em função da temperatura.

No meio ambiente, sistemas aquáticos que mostrem valores baixos de pH podem estar relacionados a processos de intemperização. Algumas estruturas litológicas, quando intemperizadas, contribuem liberando elementos por vezes formadores de ácidos. Um dos fatores que contribuem também para índices de pH ácido em águas é a concentração de ácidos orgânicos, oriundos de dissolução decorrente da decomposição de matéria orgânica vegetal, o que pode estar acontecendo no compartimento hidrológico 1 (CH 01), que possui um riacho com visível contribuição de matéria orgânica vegetal, como visto na figura 3.

Figura 7 Geodistribuição da Turbidez nos períodos de Estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.



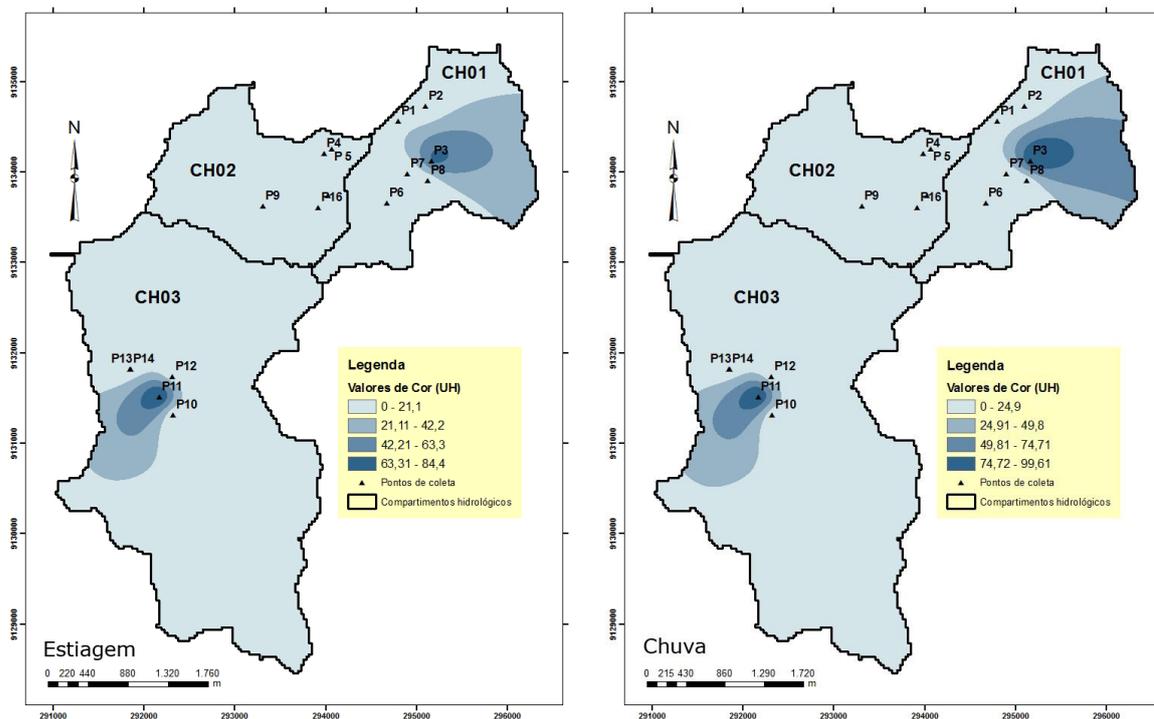
Observando-se o comportamento da turbidez nos dois períodos climáticos nota-se uma turbidez elevada no compartimento hidrológico 3 (CH 03) para ambos períodos climáticos, característicos nesta área pelos pontos de coleta 11 e 13. Durante a estiagem, é possível se identificar uma elevada turbidez no compartimento hidrológico 1, vindo do ponto de coleta 3. Este é um comportamento esperado, uma vez que ambos os pontos são de água superficial, sendo o 3 um riacho raso (figura 3) e o 11 (figura 4) uma lagoa de extração de areia com uma visível parcela de materiais em suspensão.

A turbidez alta no compartimento hidrológico 1 (CH 01) durante o período de estiagem. Neste compartimento os valores atingem 100 NTU no ponto 3. Percebe-se que no ponto 11 houve um aumento significativo de turbidez no período chuvoso, ultrapassando valores de 500 NTU.

O comportamento deste parâmetro no período de estiagem pode estar relacionado à permanência do material em suspensão que confere turbidez à água através do menor volume pluviométrico da estação seca. Usualmente sedimentos clásticos em suspensão, como areias e

silte, conferem elevada turbidez nas águas, que são características da região onde a área de estudo está inserida, como descrita pela CPRH (2003). Ações antrópicas tem uma relação direta sob índices elevados de turbidez. A lixiviação e carreamento de partículas oriundas de solo exposto por atividades de mineração, como extração de areia, provocam revolvimento, aumentando a disponibilidade de partículas em suspensão. Ambientes onde os valores de turbidez são elevados dificultam a penetração de luz na água, desfavorecendo a ação de organismos fotossintetizantes. Estudos como o de Figur e Reis (2017) apontam também que alguns microrganismos são protegidos fisicamente pelas partículas causadoras de turbidez, diminuindo a eficiência de tratamento das águas.

Figura 8 Geodistribuição da cor nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.

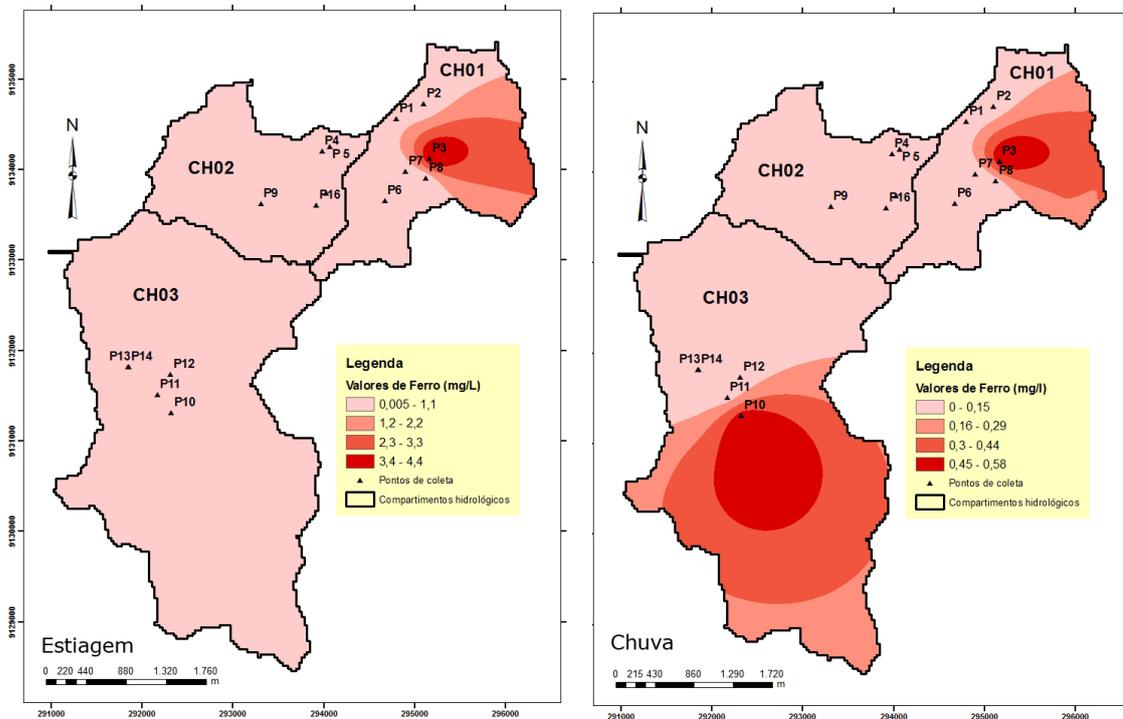


A cor assim como a turbidez é um parâmetro influenciado por fatores naturais como matéria orgânica de origem em decomposição e substâncias dissolvidas na água. Ao analisar a distribuição geoespacial deste parâmetro nos três compartimentos hidrológicos, percebe-se um perfil semelhante nos dois períodos climáticos analisados.

Conforme a Figura 8 é possível observar que os compartimentos hidrológicos 1 (CH 01) e 3 (CH 03) apresentaram os maiores índices de cor, estando acima do permitido pela

normativa de comparação. Os resultados indicam que uma provável fonte de coloração nestes compartimentos é, assim como na turbidez, responsável pela dissolução de substâncias orgânicas que conferem cor e pigmentação natural.

Figura 9 Geodistribuição do ferro nos períodos de estiagem e chuva nos três compartimentos hidrológicos estudados.



Observando-se o comportamento do ferro em ambos períodos, é notável um aumento da concentração no período chuvoso, principalmente no compartimento hidrológico 3 (CH 03). Neste compartimento, o ponto 10 apresentou valores não conformes com a normativa comparada. O compartimento hidrológico 1 (CH 01) não mostrou uma alteração significativa nas concentrações de ferro nos dois períodos climáticos, embora este elemento esteja com valores não conformes com a portaria do Ministério da Saúde.

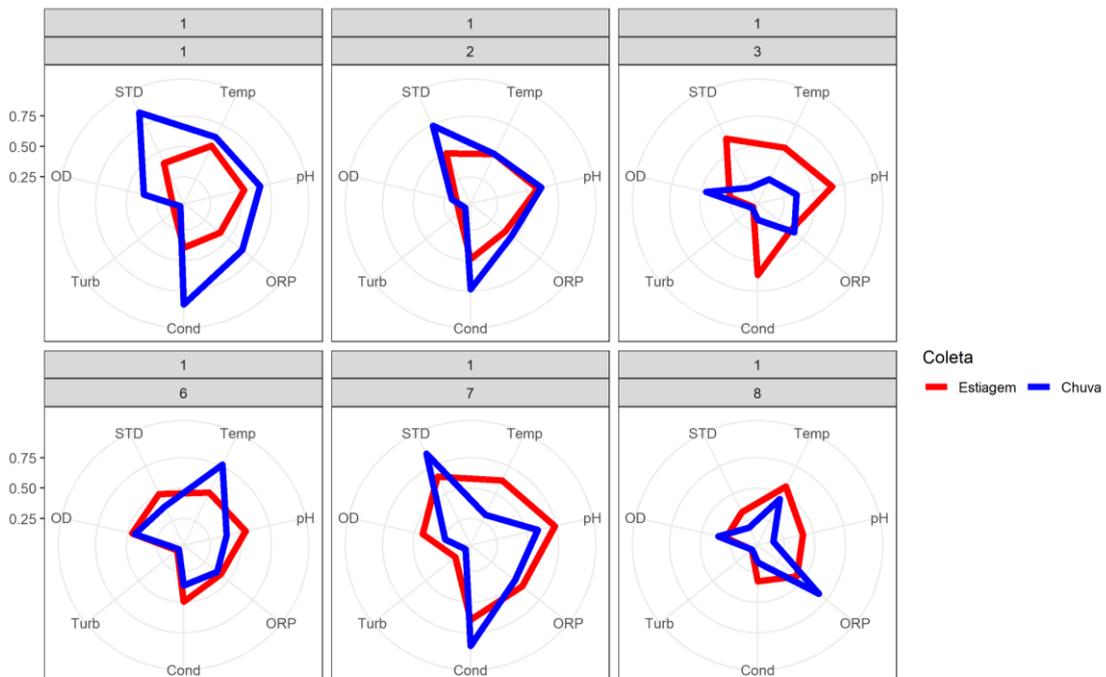
De uma forma geral, em águas subterrâneas os teores de ferro aumentam através da dissolução do minério na água. Em águas superficiais os níveis de ferro aumentam na estação chuvosa como consequência de carreamento de solos e erosão.

O ferro dissolvido na água configura cor, odor e sabor. Os pontos dos compartimentos 1 e 3 onde ocorreram índices elevados de ferro também apresentaram altas concentrações de cor, um comportamento comum destacado por Libânio (2008). Moruzzi e Reali (2012) destacam que usualmente é possível se encontrarem teores elevados de ferro em águas subterrâneas cujo pH apresente acidez, e em águas superficiais que apresentem matéria orgânica. Os compartimentos que apresentaram concentrações de ferro discordantes com a legislação são os que apresentam os menores valores de pH e, nas águas superficiais, apresentam condições para decomposição de matéria orgânica.

6.5 Análises de correlação

O comportamento da qualidade da água nos compartimentos hidrológicos também foi analisado através da varredura realizada com a sonda Horiba, que mensurou dados de qualidade nos períodos climáticos estudados e estão descritos nos gráficos de correlação abaixo:

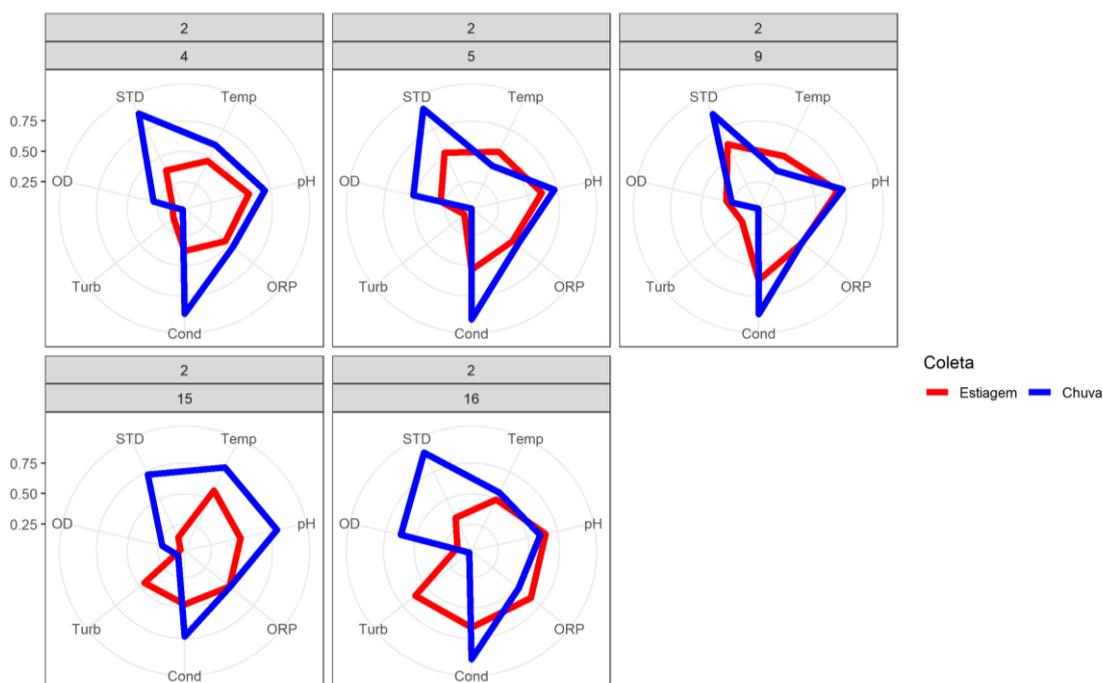
Figura 10 Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 1.



O único ponto de água superficial neste compartimento é o 3, percebe-se que há um aumento significativo de oxigênio dissolvido no período de chuva neste ponto. Isso pode ser enxergado como uma provável consequência de trocas gasosas com a atmosfera, agitação, recarga de água da chuva, bem como aumento da movimentação da corrente de água, melhorando a capacidade de aeração deste riacho. Von Sperling (2007) evidencia a importância da concentração de oxigênio dissolvido como um dos fatores mais importantes para a manutenção da biodiversidade em águas superficiais, como rios e riachos.

Uma relação constante neste compartimento independente do período climático é a de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) com Condutividade Elétrica (Cond). Há uma resposta semelhante ao comportamento de ambos os parâmetros, e, quando isto não ocorre, nota-se uma redução significativa de turbidez. Isso pode ser explicado como APHA (2012) e CETESB (2017) descrevem em seus manuais de qualidade de água que a dissolução de sais em água pode resultar em eletrólitos capazes de conduzir certa corrente elétrica. CETESB (2017) enfatiza ainda que o aumento de temperatura corresponde a um aumento gradual de condutividade, havendo uma relação de proporcionalidade. Nota-se esse comportamento em todos os pontos, principalmente no período de estiagem. No período chuvoso ficou mais evidente a relação entre sólidos dissolvidos e condutividade.

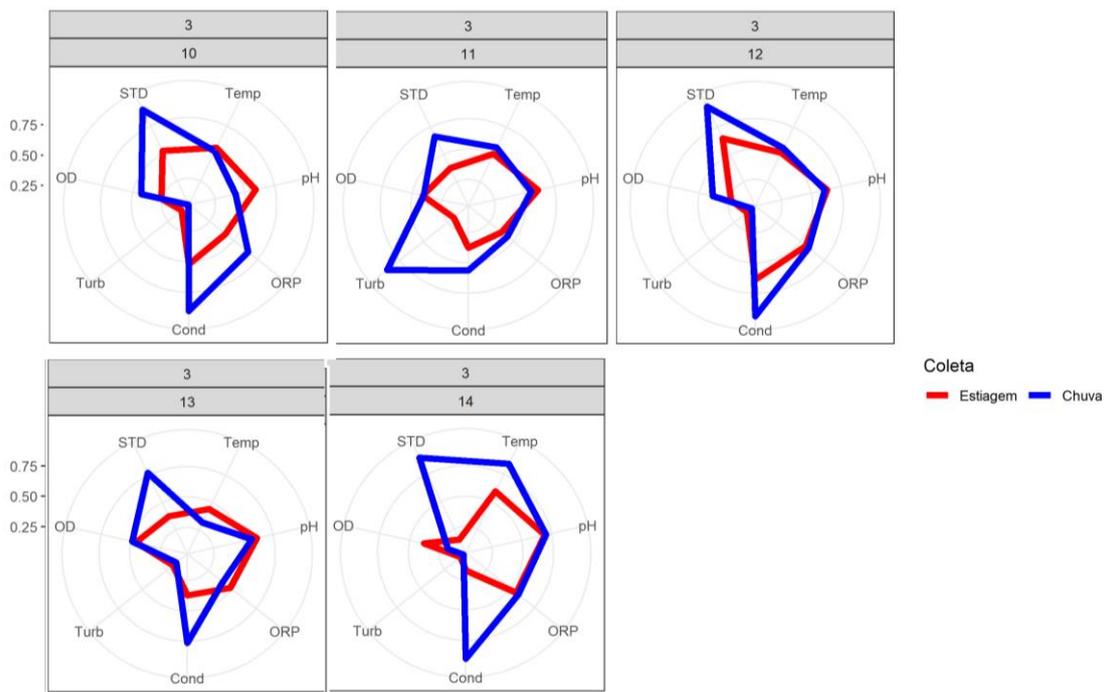
Figura 11 Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 2



De uma forma geral, o comportamento correlato entre Sólidos dissolvidos e condutividade se repetiu neste compartimento para ambos os períodos climáticos como mostra os gráficos de correlação acima. Este comportamento está bem evidenciado principalmente no período de chuvas, repetindo o perfil do compartimento hidrológico anterior.

O pH em todos os pontos do compartimento hidrológico manteve-se nas mesmas faixas. Um parâmetro a ser observado neste compartimento é o Potencial de Oxirredução da água (ORP). Jardim (2014) avalia o potencial de oxirredução com a tendência de substâncias em receber elétrons, sendo possível se determinar o potencial de oxirredução pela possibilidade do desenvolvimento de microrganismos no meio. O comportamento de ORP neste compartimento esteve semelhante aos padrões estudados por Jardim (2014), podendo ser caracterizado como estável para ambos os períodos climáticos. APHA (2012) ressalta que onde há uma maior disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD), há um aumento de ORP, sendo uma relação evidente em ambos os períodos climáticos neste compartimento.

Figura 12 Correlação dos parâmetros de qualidade da água em dois períodos climáticos no compartimento hidrológico 3



No compartimento hidrológico 3, nota-se uma repetição das correlações nos dois compartimentos anteriores. Entretanto, uma característica específica precisa ser observada. Todos os pontos apresentam uma turbidez baixa, exceto o Ponto 11, o qual constitui-se numa lagoa de onde foi extraída areia por anos. Neste ponto é possível se notar um comportamento que o difere, com alta turbidez (Turb) e baixa concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e, conseqüentemente, baixos valores de condutividade (Cond). Tundisi e Matsumura Tundisi (2008) destacam que uma das razões que podem levar a este comportamento é a questão do material que compõe a turbidez na água e sua origem, que não deve ser iônica, o que justifica a não correlação dos sólidos totais dissolvidos com a condutividade.

Em todos os três compartimentos hidrológicos notou-se uma correlação entre pH e condutividade, principalmente nos períodos de chuva. Essa correlação é um forte indicativo de que o pH e a condutividade elétrica estão, nos três compartimentos estudados, sendo influenciado pela alcalinidade, através de carbonatos e bicarbonatos. Este comportamento foi confirmado por análises das amostras coletadas em laboratório expressas em mg/L em CaCO_3 e mg/L em HCO_3 , conforme apresentado nos anexos 8 e 9. Conceição et al. (2014) identificou comportamento semelhante a esse em águas de poços subterrâneos no estado de São Paulo.

Observa-se em todos os pontos estudados um aumento das concentrações dos parâmetros avaliados principalmente no período de chuvas. Milani et al. (2008) discute que no verão há um menor tempo de permanência da água no lençol freático, isso é explicado pela menor percolação da água da chuva. Sendo assim, é compreensível a elevação dos valores dos parâmetros físico-químicos avaliados no período chuvoso.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água em todos os pontos estudados apresentou-se imprópria para o consumo humano de acordo com os parâmetros estabelecidos pela PRC nº5 sem um tratamento prévio.

A presença coliformes fecais constitui-se na mais grave alteração de qualidade destas águas uma vez que configura contaminação por agentes patogênicos que podem levar a doenças do trato gastrointestinal.

Os parâmetros de Cor, pH, Turbidez e Ferro total são os parâmetros físico-químicos que classificam, junto com os microbiológicos, as águas estudadas como impróprias para o consumo humano.

Nenhum dos pontos de coleta apresentou alterações para os Metais Pesados.

Não houve uma alteração significativa da qualidade das águas nos dois períodos climáticos estudados, permanecendo com um padrão de qualidade semelhante em todo o ano, embora tenha sido constatado um aumento dos valores de alguns dos parâmetros físico-químicos pontuais no período de chuva, podendo ser relacionados com o tempo de percolação da água no solo.

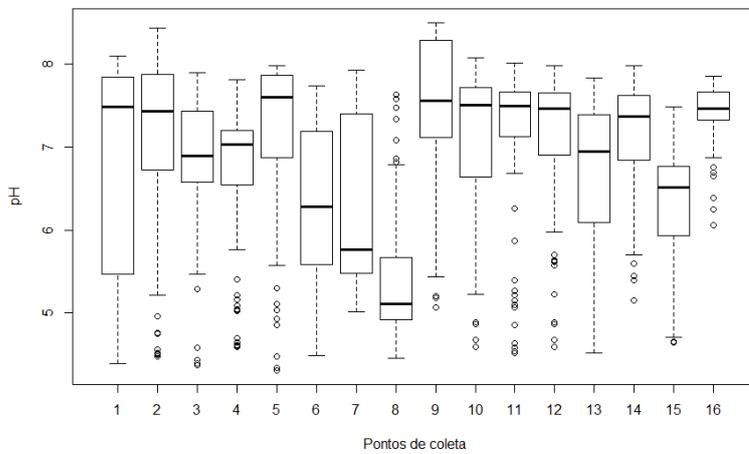
A implementação de um sistema regional de tratamento prévio simplificado de água, para que a população da área em questão tenha acesso a uma água de melhor qualidade, resolveria muitos das alterações de qualidade das águas avaliadas neste trabalho.

Medidas práticas podem ser tomadas para a melhoria efetiva da qualidade das águas avaliadas nessa pesquisa, seja o desenvolvimento de políticas públicas ambientais que monitorem a qualidade das águas utilizadas pela população na região ou o aumento da rede de distribuição de água e saneamento. Educação ambiental e a regulação dos poços e cacimbas utilizados pelas comunidades na área também são medidas fundamentais para assegurar uma qualidade de água dentro dos parâmetros.

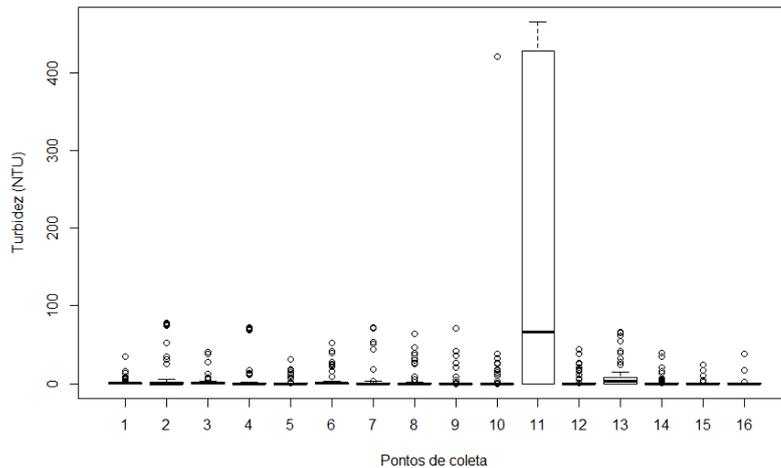
8 ANEXOS

Segue o comportamento em bloxplot dos parâmetros medidos com a sonda Horiba U-50 series conforme coletas de dados na sonda multiparâmetros para os dois períodos climáticos estudados, a partir das médias e medianas que geraram os gráficos de correlação dos resultados. Em anexo encontra-se também os resultados das análises físico-químicas para todos os parâmetros estabelecidos pela legislação comparativa deste trabalho.

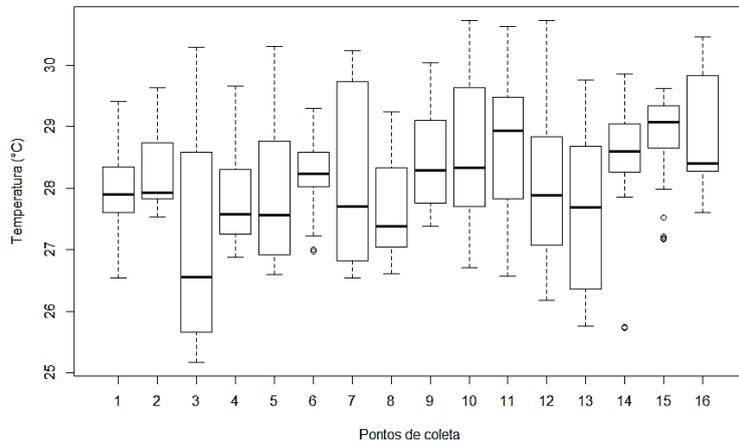
Anexo 1 – Medianas e médias do pH nos 16 pontos de coleta



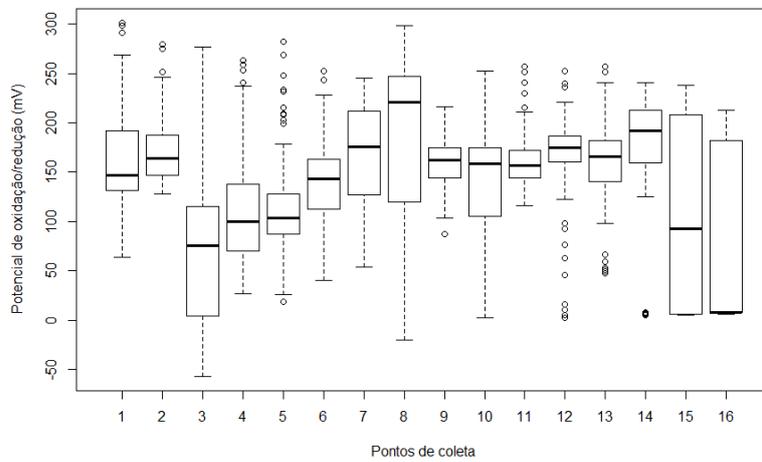
Anexo 2 – Medianas e médias de turbidez nos 16 pontos de coleta



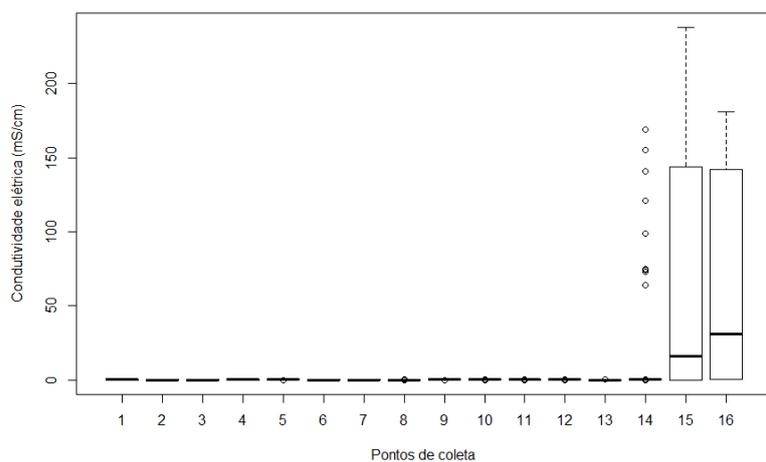
Anexo 3 – Medianas e médias de temperatura nos 16 pontos de coleta



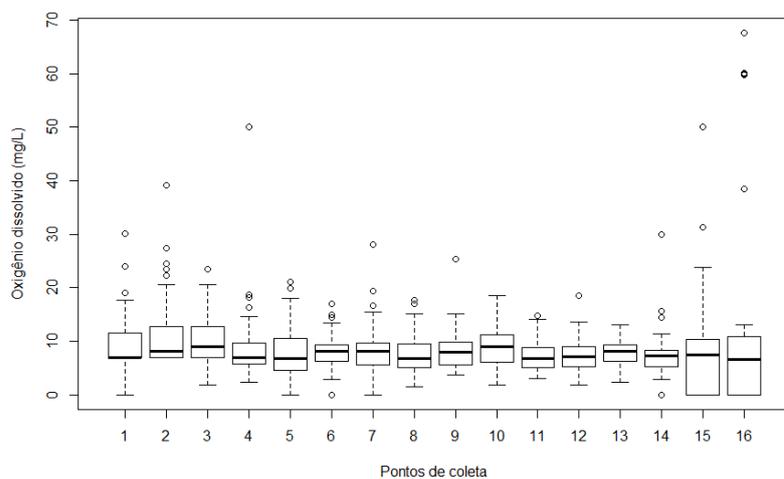
Anexo 4 – Medianas e médias do potencial de oxidação/redução nos 16 pontos de coleta



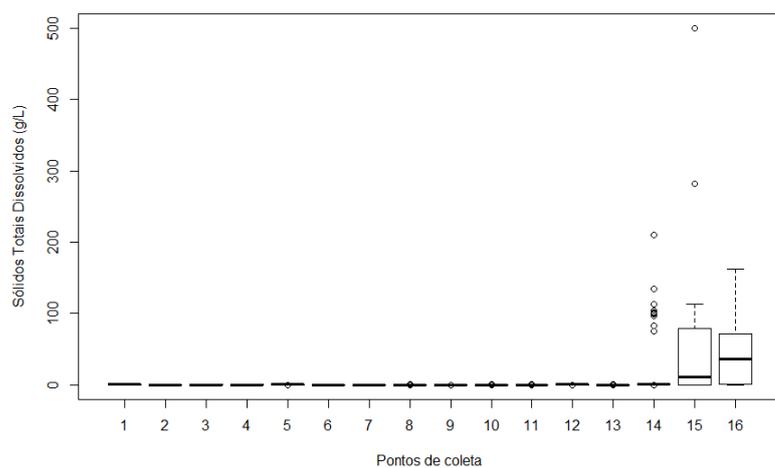
Anexo 5 – Medianas e médias da condutividade elétrica nos 16 pontos de coleta



Anexo 6 – Medianas e médias do oxigênio dissolvido nos 16 pontos de coleta



Anexo 7 – Medianas e médias dos sólidos totais dissolvidos nos 16 pontos de coleta



Anexo 8 – Análises físico-químicas no período de estiagem dos parâmetros da legislação comparada

Fev. 2018	pH	Cor (UH)	Turbidez	Sólidos Totais Dissolvidos	Condutividade Elétrica	Amônia	Alcalinidade de Carbonatos	Alcalinidade de Bicarbonatos	Alcalinidade de Hidróxidos	Dureza Total	Cálcio
VMP	6 a 9	15 UH	5 NTU	1000 mg/L		1,5 mg/L				500 mg/L	
Prata 1	7,6	5,3	10,16	261	252	0,11	207,66	253,2	0	202	52,1
Prata 2	4,3	1,8	0,34	41,1	81,9	0,12	0	0	0	9	0,81
Prata 3	5,9	>100	67	55	110,3	0,13	8,31	10,13	0	16,5	13,9
Prata 4	7,6	4,9	0,31	227	456	0,42	107,98	131,66	0	140	52,1
Prata 5	8	1,3	0	231	465	<0,006	207,66	253,2	0	212	38,5
Prata 6	5,6	2,5	0,43	29,4	58,8	0,07	4,15	5,06	0	10	2,85
Prata 7	5,7	5,9	1,12	47	93,8	0,07	10,4	12,68	0	11	2,03
Prata 8	5,3	1,7	0	36,6	73,1	<0,006	2,08	2,53	0	13	2,03
Prata 9	8,5	1,5	0	211	423	0,1	126,67	154,45	0	142,13	26
Prata 10	7,3	4,9	0,57	139	280	0,1	116,29	141,79	0	114	32,6
Prata 11	7,5	>100	85,7	69,7	138,8	0,13	33,23	40,51	0	42	13
Prata 12	7,6	7,1	0,76	233	466	<0,006	176,51	215,22	0	216	73,2
Prata 13	5,3	12,1	2,28	34,4	68,9	<0,006	1,04	1,27	0	10,5	3,47
Prata 14	7,7	0,6	0	236	473	<0,006	195,2	238,01	0	224	45,3
Prata 15	7,7	2,9	0,13	212	423	0,11	191,05	232,95	0	196	61,9
Prata 16	8	3,7	0,05	245	490	0,07	191,05	247,02	0	230	52,9

Continuação do Anexo 8

Fev. 2018	Magnésio	Sódio	Potássio	Cloretos	Sulfatos	Nitrito	Nitrato	Ferro Total	Manganês	Cobre	Cádmio	Chumbo	Cromo Total	Zinco
VMP		200 mg/L		250 mg/L	250 mg/L	1 mg/L	10 mg/L	0,3 mg/L	0,1 mg/L	2 mg/L em Cu	0,005 mg/L em Cd	0,01 mg/L em Pb	0,05 mg/L em Cr	5 mg/L em Zn
Prata 1	17,78	24	5,6	39,6	11,03	0	0,0046	0,44	0,01	0	0	0	0	0
Prata 2	1,73	6,5	0,3	14,85	1,35	0	0,41	<0,05	0,01	0	0	0	0	0,02
Prata 3	1,6	15,1	1,4	32,67	7,51	0	0,86	4,5	0,01	0	0	0	0	0
Prata 4	2,96	27,6	3,2	44,55	25,9	0,03	1,2	0,006	0	0	0	0	0	0
Prata 5	28,64	17,8	6,2	24,75	9,47	0	0	<0,006	0	0	0	0	0	0
Prata 6	0,74	6,3	0,1	12,87	1,2	0	0,01	0,07	0	0	0	0	0	0
Prata 7	1,48	12,9	0,2	18,81	2,2	0	0,12	0,2	0	0	0	0	0	0
Prata 8	1,98	6,9	0,3	16,83	3,36	0	0,61	<0,005	0	0	0	0	0	0
Prata 9	18,76	27,2	4,4	39,6	15,01	0,01	0,03	<0,005	0	0	0	0	0	0
Prata 10	8,39	7,3	6,3	17,33	4,49	0	0,1	0,18	0	0	0	0	0	0
Prata 11	2,47	10	3	16,83	6	0	1,007	0,61	0	0	0	0	0	0
Prata 12	8,29	7,8	0,3	9,9	21,02	0	0,046	0,16	0	0	0	0	0	0
Prata 13	0,49	7,2	0,2	10,89	10,44	0	0,028	0,13	0	0	0	0	0	0
Prata 14	27,51	8	4	20,79	11,39	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0
Prata 15	10,86	9,1	1,2	11,88	12,5	0	0,014	0,05	0	0	0	0	0	0
Prata 16	24,56	19,2	6,8	14,85	39	0	0,083	<0,05	0	0	0	0	0	0

Anexo 9 – Análises físico-químicas no período de chuva dos parâmetros da legislação comparada

Jun. 2018	pH	Cor (UH)	Turbidez	Sólidos Totais Dissolvidos	Condutividade Elétrica	Amônia	Alcalinidade de Carbonatos	Alcalinidade de Bicarbonatos	Alcalinidade de Hidróxidos	Dureza Toral	Cálcio
VMP	6 a 9	15 UH	5 NTU	1000 mg/L		1,5 mg/L				500 mg/L	
Prata 1	7,69	2,7	0,8	265	536	0,2	206,14	251,35	0	224	54,51
Prata 2	6,5	0	0,18	42,5	85,5	0,17	14,15	17,25	0	32	6,41
Prata 3	6,07	>100	16,32	51,5	104	<0,06	14,15	17,25	0	28	5,61
Prata 4	7,55	1,5	0,2	228	458	0,34	99,03	120,75	0	164	41,68
Prata 5	7,8	0,4	0,26	232	466	<0,06	171,79	209,46	0	236	25,65
Prata 6	5,49	2,4	1,25	35,8	71,6	0,14	5,05	6,16	0	18	3,61
Prata 7	5,79	4,8	0,73	72	144,7	0,12	11,12	13,55	0	66	10,42
Prata 8	5,54	2,1	0,32	35,8	71,9	<0,06	3,03	3,7	0	36	6,41
Prata 9	7,56	0	0,33	238	477	0,26	212,21	258,74	0	320	65,73
Prata 10	7,49	3,4	1,84	77,5	155,3	<0,06	58,61	71,46	0	102	24,05
Prata 11	7,13	>100	524	85,7	172	0,93	30,32	36,96	0	100	27,25
Prata 12	7,23	0,9	0,45	169	341	0,21	141,47	172,49	0	206	51,3
Prata 13	8,31	0,6	0,25	215	431	0,13	139,45	170,03	0	244	25,65
Prata 14	7,31	3,9	0,27	246	496	<0,06	202,1	246,42	0	288	48,1
Prata 15	5,64	8,6	2,83	40,4	80,8	<0,06	5,05	6,16	0	37	6,41
Prata 16	7,51	2,9	0,54	303	650	0,08	268,79	327,64	0	292	76,95

Continuação do Anexo 9

Jun. 2018	Magnésio	Sódio	Potássio	Cloretos	Sulfatos	Nitrito	Nitrato	Ferro Total	Manganês	Cobre	Cádmio	Chumbo	Cromo Total	Zinco
VMP		200 mg/L		250 mg/L	250 mg/L	1 mg/L	10 mg/L	0,3 mg/L	0,1 mg/L	2 mg/L em Cu	0,005 mg/L em Cd	0,01 mg/L em Pb	0,05 mg/L em Cr	5 mg/L em Zn
Prata 1	21,4	23	5,8	48	13,18	0	0,01	<0,05	0	0,06	0	0	0	0,01
Prata 2	3,89	6,4	1,6	14,21	4,41	0	0,26	<0,05	0	0,06	0	0	0	0,05
Prata 3	3,4	14,4	3	28	7,09	0,006	0,12	0,6	0	0,07	0	0	0	0,02
Prata 4	14,59	39,2	2,9	90	20,66	0,003	0,37	<0,05	0	0,06	0	0	0	0,02
Prata 5	41,83	17,3	7,3	45	11,98	0	0	0	0	0,06	0	0	0,02	0,02
Prata 6	2,19	7,9	1,5	18,28	3,53	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,01
Prata 7	9,73	22,4	1,5	36,55	10,12	0,006	0,057	0	0	0,06	0	0	0	0,02
Prata 8	4,86	7,1	1,7	14,21	4,06	0	0,53	<0,05	0	0,06	0	0	0	0,02
Prata 9	37,94	8,1	5,3	30,46	17,22	0	0,17	0	0	0,06	0	0	0	0,03
Prata 10	10,21	4	2,2	12,18	14,93	0	0,18	0,53	0	0,06	0	0	0	0,03
Prata 11	7,78	13,1	4,7	30,46	60,72	0,036	0,34	<0,05	0	0,06	0	0	0,01	0,01
Prata 12	17,51	7,9	3,8	30,46	11,64	0	0,02	0	0	0,06	0	0	0,01	0,03
Prata 13	43,108	20,8	6,8	40,61	15,46	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,02
Prata 14	40,86	8,7	1,7	30,46	22,34	0	0,19	0	0	0,06	0	0	0,02	0,01
Prata 15	5,11	8,9	1,8	16,24	14,08	0	0,01	0,03	0	0,06	0	0	0,04	0
Prata 16	24,32	16,6	5,2	50,77	33,09	0	0,046	0,07	0	0,06	0	0	0,01	0

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016**. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for examination of Water and Wastewater**. 22. ed., Washington: APHA, 2012. 1496 p.

ASABONGA, Mngeni et al. The physical and environmental impacts of sand mining. **Transactions of The Royal Society of South Africa**, [s.l.], v. 72, n. 1, p.1-5, 10 ago. 2016. Informa UK Limited. <<http://dx.doi.org/10.1080/0035919x.2016.1209701>>.

BIRKHEUER, Cynthia de Freitas et al. **Qualidade físico-química e microbiológica da água de consumo humano e animal do brasil: análise sistemática**. **Revista Caderno Pedagógico**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.1-12, 8 jun. 2017. Editora Univates. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1423>

BORTOLI, Jaqueline De. **"Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada para consumo humano e dessedentação animal em propriedades rurais produtoras de leite na região do Vale do Taquari/RS"**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 22 fev. 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1068>>.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2º Edição, 318 páginas. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial da União (DOU), Brasília, 5 out. 1988, p. 1. Disponível em

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução no 357, de 17 de março de 2005. 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**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: out 2017.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação N°5. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. 28 de Setembro de 2017. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em: out. 2018

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo. Apêndice E, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>> Acesso em jan. 2019**

CONCEIÇÃO, Fabiano et al. 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**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.227-238, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p227-238>.

CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. Recife, 2003. 214p.

CPRM. **Seca no Nordeste: yes, temos alternativas**. A Água em Revista, CPRM/Belo Horizonte (MG), v. 6, n. 10, p. 82 – 87, 1998.

CPRM. **Regionalização da Q95% nas bacias litorâneas de Pernambuco e Alagoas – sub-bacia 39**. Projeto estudos de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras. CPRM/Rio de Janeiro (RJ). v. 1, 97p. 2011.

DA SILVA, Cesar Aparecido et al. **Diagnóstico da potabilidade da água de poços rasos de uma comunidade tradicional, Curitiba-PR**. Revista Biociências, v. 19, n. 2, 2013

FIGUR, Cassia; REIS, Janete Teresinha. **A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, rs**. **Ciência e Natura**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.352-365, 23 maio 2017. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x24335>.

GOMES, M.c.r.; CAVALCANTE, I.n.; SILVA, M.p.. **Análise Qualitativa das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará**. Estudos Geológicos, [s.l.], v. 26, n. 2, p.62-76, 30 dez. 2016. Estudos Geologicos. <http://dx.doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p62-76>

Hutchinson, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. Journal of Hydrology, 106, 1989.

Hutchinson, M. F. **Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data**. XVIII Congresso Mundial IMACS e MODSIM09 Congresso Internacional sobre Modelagem e Simulação. Cairns, Austrália, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Igarassu. 2017**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/igarassu/panorama>> Acesso em: out. 2017.

JARDIM, W. F. **Medição e interpretação de valores do potencial redox (EH) em matrizes ambientais**, Química Nova, vol. 37, n. 7, p. 1233-1235, 2014.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamento de Qualidade e Tratamento de Água**. 2. ed. Campinas, SP: Átomo, 2008.

MAGALHÃES, Y. A., et al. **Qualidade microbiológica e físico-química da água dos açudes urbanos utilizados na dessedentação animal em Sobral, Ceará.** Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 12, n. 2, p. 141-148, 2014. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1417/pdf_195

MELO, Álisson José Maia. **O direito humano à água e ao saneamento básico e sua aplicação prática na América Latina: considerações a partir do pensamento complexo. As águas da Unasul na Rio+20.** Curitiba: CRV, 2012. p. 25-39.

MILANI, Idel Cristiana Bigliardi et al. **Fluxos subterrâneos de nutrientes e metais traço para a Lagoa Mangueira (RS).** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, n. 15, e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, n. 16, 2008, Natal. Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. V 1. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23719>

MORUZZI, R. B; REALI, M. A. P.. **Oxidação e Remoção de Ferro e Manganês em Águas Para Fins de Abastecimento Público ou Industrial – Uma Abordagem Geral.** Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 4, No . 1, Abr/2012

Nogueira, J. D. L. de; Amaral, R. F. do. **Comparação entre os métodos de interpolação (krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros-RN.** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.

ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; SILVA, C.V.; EZAKI, S.; STRADIOTO, M.R.; FERRONI, F.R. (2010) **Caracterização da Qualidade das Águas Subterrâneas da Região Entre Indaiatuba e Capivari (SP), Porção Sul da UGRHI 5 – Resultados Preliminares** In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, São Luis, Anais, CD-ROM 16p.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos e Saneamento.** Recife, 2008. 112 p.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. **Projeto de sustentabilidade hídrica – PSHPE, manual de operações do projeto.** Vol.1. Recife, 2010.

PERNAMBUCO. **Lei nº 11.426 de 17 de janeiro de 1997.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, instituindo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=36>> Acesso em out. 2018

PICANÇO, F. E.; LOPES, E. C. & SOUZA, E. L. **Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém/PA.** São Paulo: ABAS, 2002

REBOUÇAS, A.C. Diagnóstico do setor de hidrogeologia. **Caderno técnico da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS.** 46 p. São Paulo-SP. 1996

SOUZA, Tháíse Fernandes de. **Avaliação da qualidade higiênico-sanitária da água de poços rasos utilizada para consumo humano no município de sete lagoas-mg.** Sete Lagoas: Universidade Federal de São João del Rei, 2015. 26 p.

SCURACCHIO, Paola Andressa. **Qualidade da água utilizada para consumo em escolas no município de são carlos - sp.** 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós graduação em Alimentos e Nutrição, Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

State Water Resource Control Board – SWRCB. **Report to the Governor and Legislature: A comprehensive groundwater quality monitoring program for California.** United States, State of California, California Environmental Protection Agency, State Water Resources Control Board, 2003.

TANNO, L. C. et al. **Recursos Minerais: Conceitos e Panorama de Produção e Consumo.** In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Coord.). **Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. P. 9-14. (Publicações IPT, 2850).

TORRES, Aurora et al. **A looming tragedy of the sand commons: Increasing sand extraction, trade, and consumption pose global sustainability challenges.** *Science*, New York, v. 357, n. 6355, p.970-971, 7 set. 2017. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/357/6355/970>>. Acesso em: out. 2017.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. *Limnologia.* São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p

TUINHOF, A.; Foster S; Kemper K; Garduno H; Nanni M. **Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. Groundwater Monitoring: Requirements for managing aquifer response and quality threats.** *GWMate. Briefing Note Series Briefing Note 9.* World Bank. Global Water Partnership Associate Program. 10p. 2004

UNEP/WHO. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.** Organização Mundial da Saúde. Genebra. 1996.

VALIAS, A.P.G.S. et al. **Avaliação da qualidade microbiológica de águas de poços rasos e de nascentes de propriedades rurais do município de São João da Boa Vista**, São Paulo, Arq. Ciên.Vet. Zool. Umuarama, v. 5, n.1, p. 21-28, 2002.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 1ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 588p, 2007.

WATER a shared responsibility. **World Water Development Report 2006**, Geneva: United Nations Water - UN-Water, Mar. 2006. Disponível em: <http://www.unwater.org/publications/water-shared-responsibility/>