



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**SUZIANE MAGALHÃES DO NASCIMENTO**

**INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA**  
**RURAL DA MICROBACIA DO RIO APÉU, PARÁ**

**BELÉM**  
**2021**

**SUZIANE MAGALHÃES DO NASCIMENTO**

**INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA  
RURAL DA MICROBACIA DO RIO APÉU, PARÁ**

Tese apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Agronomia, para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Moreira de Sousa Júnior

**BELÉM**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- N244i Nascimento, Suziane Magalhães do  
Indicadores de qualidade da água em área rural da microbacia do rio Apeú, Pará / Suziane Magalhães do Nascimento. - 2021.  
63 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.  
Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Moreira de Sousa Júnior.
1. Qualidade da água. 2. Superfial e Subterrânea. 3. Agricultura. 4. Irrigação. 5. Castanhal. I. Lima Júnior, Joaquim Alves de , *orient.* II. Título
-

**SUZIANE MAGALHÃES DO NASCIMENTO**

**INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA RURAL  
DA MICROBACIA DO RIO APÉU, PARÁ**

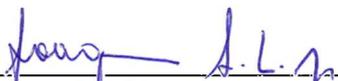
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Moreira de Sousa Júnior

**Aprovado em 24 de Novembro de 2021**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior

Orientador

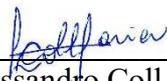
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

 Documento assinado digitalmente  
Diani Fernanda da Silva Less  
Data: 22/12/2021 10:05:52-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dra. Diani Fernanda da Silva Less

Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA



---

Dr. Lessandro Coll Faria

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL



---

Dr. Gledson Luiz Salgado Castro

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA



---

Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

**DEDICO**

*Com muito amor e carinho*

*Aos meus pais Ana Suely e Jorge Andrade*

*A minha irmã Suzane Magalhães*

*Aos meus eternos amores Heitor e Helena Santos.*

*“A água é o veículo da vida” (Leonardo D’Vinci).*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me manter firme em todos os momentos difíceis transcorridos nessa jornada.

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, pela contribuição profissional e pessoal ao realizar o curso de Pós-Graduação

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela experiência incrível em proporcionar a realização do Doutorado e aprimorar o conhecimento técnico e acadêmico.

Ao orientador prof. Dr. Joaquim Jr. e ao co-orientador prof. Dr. Pedro Moreira por acreditar que na realização desse estudo na Amazônia e orientação deste trabalho.

Ao proprietário das fazendas na comunidade de Iracema, Sr. Ika Gomes, por cedê-las para a coleta de dados e contribuir substancialmente para o desenvolvimento desta Tese.

Ao Grupo de Estudos em Engenharia da Água e Solo na Amazônia – GEEASA, pelo apoio incansável.

Ao Instituto Evandro Chagas, por todo apoio necessário, nas análises laboratoriais.

À banca examinadora de defesa pelas contribuições na melhoria deste trabalho.

Aos amigos doutorandos e pessoais Yan Dias, Ítalo, Peola, Adriano Gama, Alex Zissou, Hellen Kempfer e Anderson Braz pela ajuda, amizade, convivência, carinho, descontração, companheirismo nas etapas deste estudo.

A todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta tese.

Muito Obrigada!!

## RESUMO

NASCIMENTO, Suziane Magalhães. **Indicadores de qualidade da água em área rural da microbacia do Rio Apéu, Pará.** 2021. 63f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém-PA, 2021.

Este estudo tem como objetivo avaliar o uso da água superficial e subterrânea na atividade agrícola, além disso, propor um índice de qualidade de água para uso na irrigação (IQAI) em área rural do município de Castanhal, Nordeste do Estado do Pará. A frequência da coleta de amostras de água ocorreu uma vez por mês de setembro/2018 a agosto/2019, georreferenciadas, com determinação *in loco* de parâmetros qualitativos, tais como: pH, OD, CE, STD. Para determinação de metais Al, Fe, Ca, Na, Mg, Zn, as amostras foram preservadas e encaminhadas para análise em laboratório no Instituto Evandro Chagas. A avaliação individual dos resultados obtidos foram comparados com os valores padrões estabelecidos nas resoluções do CONAMA nº 357/2005 e n.º 396/2008, permitindo dizer que os parâmetros estão em conformidade com o que preconiza a legislação vigente. Em função da metodologia de razão de adsorção de sódio aplicada percebeu-se que não houve restrições de uso da água superficial e subterrânea na atividade de irrigação, ao longo do ano. Na elaboração do IQAI, as classes de água apresentaram classificação excelente, para a maioria dos parâmetros qualitativos.

Palavras-chave: Água superficial e subterrânea, agricultura, irrigação, Castanhal-PA

**WATER QUALITY INDICATORS IN RURAL AREA OF THE APÉU RIVER  
MICROBASIN, PARÁ**

**ABSTRACT**

This study aims to evaluate the use of surface and underground water in agricultural activities, in addition to proposing an index of water quality for use in irrigation (IWQI) in a rural area in the municipality of Castanhal, Northeast of Pará State. The frequency of water sample collection occurred once a month from September/2018 to August/2019, georeferenced, with *in situ* determination of qualitative parameters, such as: pH, DO, CE, TDS. For the determination of Al, Fe, Ca, Na, Mg, Zn metals, the samples were preserved and sent for analysis in the laboratory at Instituto Evandro Chagas. The individual evaluation of the results obtained were compared with the standard values established in CONAMA resolutions n° 357/2005 and n° 396/2008, allowing us to say that in the water collected, its parameters are in accordance with what is recommended by the current legislation. Due to the applied sodium adsorption ratio methodology, it was noticed that there were no restrictions on the use of surface and underground water in the irrigation activity throughout the year. In the elaboration of the IQAI, the water classes presented excellent classification for most of the qualitative parameters.

Keywords: Surface water, groundwater, agriculture, irrigation, Castanhal-PA

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise de Componentes Principais  
ANA – Agência Nacional das Águas  
APHA – *American Public Health Association*  
AR – Alta Restrição  
BR – Baixa Restrição  
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COND – Condutividade Elétrica  
CV – Coeficiente de Variância  
DP – Desvio padrão  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FAO – *Food and Agriculture Organization*  
FZ1 – Propriedade agrícola 1  
FZ2 – Propriedade agrícola 2  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICPOES - Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido  
IQA – Índice de Qualidade da Água  
IQAI – Índice de Qualidade da Água para Irrigação  
IQi – índice de qualidade da água para o parâmetro avaliado  
INMET – Instituto Nacional de Metrologia  
MR – Média Restrição  
N – número de características avaliadas.  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
RAS – Razão de Adsorção de Sódio  
RMB – Região Metropolitana de Belém  
SAL - Salinidade  
SR – Sem Restrição  
STD – Sólidos Totais Dissolvidos  
USSL - *United States Salinity Laboratory*  
VMP – Valor Máximo Padrão  
WHO - *World Health Organization*  
mg/L – miligrama por litro  
 $\mu\text{S/cm}$  – Micro Siemens por centímetro

## LISTA DE FIGURAS

### **AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

- Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....21
- Figura 2. Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (INMET) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018. Estação meteorológica automática de Castanhal-PA (lat: 01°18’S; long: 47°55’ W; alt 65m) da rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).....22
- Figura 3 – (A) Gráfico de correlação entre os parâmetros de água superficial da propriedade agrícola da FZ1 e (B) Gráfico de correlação entre os parâmetros de água superficial da propriedade agrícola da FZ2 .....30
- Figura 4 – (A) ACP para as variáveis qualitativas de água superficial da propriedade agrícola 1 e (B) ACP para as variáveis qualitativas de água superficial da propriedade agrícola 2 .....32

### **PROPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE RURAL, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL**

- Figura 1 – Localização da área de estudo e pontos de amostragem .....42
- Figura 2 – Classificação dos índices com base nas características químicas (IQi) e para a irrigação (IQAI), para amostras com  $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$  .....57

## LISTA DE TABELAS

### **AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tabela 1. Descrição dos pontos de coleta de água superficial na comunidade de Iracema.....	21
Tabela 2. Resultados dos parâmetros físico-químicos para amostras de água superficial.....	25
Tabela 3. Parâmetros de qualidade da água para classe 2.....	26
Tabela 4. Classificação das águas utilizadas para irrigação, comunidade de Iracema.....	28

### **PROPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE RURAL, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL**

Tabela 1. Proposta de classificação dos índices de qualidade da água avaliada para atividade de irrigação, Pará, UFRA 2021.....	46
Tabela 2. Médias e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos de água subterrânea durante o período chuvoso e desvio padrão.....	47
Tabela 3. Médias e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos de água subterrânea durante o período menos chuvoso e desvio padrão.....	48
Tabela 4. Valores dos índices de qualidade da água para características químicas (IQi).....	55
Tabela 5. Valores dos índices de qualidade da água para irrigação (IQAI) conforme classificação para água subterrânea (poço) com $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$ .....	55

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Hipótese .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivo geral .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Objetivos específicos.....	14
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPITULO 2 - AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL</b>	<b>17</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Introdução .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Material e métodos .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Caracterização da área de estudo .....	20
2.2.2 Coleta e amostra de campo .....	21
2.2.3 Análise físico-química .....	22
2.2.4 Determinação de metais .....	23
2.2.5 Razão de Adsorção de Sódio – RAS .....	23
2.2.6 Análise Estatística .....	24
<b>2.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Determinação dos parâmetros de qualidade da água .....	24
2.3.2 Avaliação estatística dos parâmetros de qualidade da água .....	29
<b>2.4. Conclusão .....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 3 - PROPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE RURAL, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL .....</b>	<b>38</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>38</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. Introdução .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Material e métodos .....</b>	<b>41</b>
3.2.1 Área de estudo .....	41
3.2.2 Coleta e amostragem .....	42
3.2.3 Determinação analítica das amostras .....	43
3.2.3.1 Análises físico-químicas .....	43
3.2.3.2 Determinação de metais pesados em águas subterrâneas .....	43
3.2.3.3 Tratamento e interpretação dos dados .....	44
3.2.3.4 Razão de Adsorção de Sódio – RAS .....	44
3.2.3.5 Determinação do índice de qualidade de água subterrânea para irrigação (IQAI) .....	44
<b>3.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>46</b>
3.3.1 Parâmetros físico-químicos .....	49
3.3.2 Razão de Adsorção de Sódio .....	50
3.3.3 Teores de metais .....	50
3.3.4 Elaboração de IQAI .....	53
<b>3.4 Conclusão .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>

## CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência de água para as plantas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS [ANA], 2021).

Segundo a ANA (2017), os métodos de irrigação podem ser agrupados de acordo com a forma de aplicação da água, destacando-se: irrigação por superfície, subterrânea, por aspersão e localizada, assim como, existem diferentes sistemas para cada um desses métodos: o sistema por inundação na irrigação superficial; o sistema de pivô central na irrigação por aspersão; e o sistema de gotejamento que ocorre nos métodos subterrâneo e localizado.

A agricultura é um dos principais componentes da economia mundial, e a irrigação cresce em escala proporcional, para atender essa demanda (MARQUES *et al.*, 2007).

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos são ferramentas imprescindíveis para a conservação e a preservação desse recurso, e estão descritas na Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, Lei nº 9.433/97, Resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais, diretrizes ambientais para o seu enquadramento onde estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes; e na Resolução CONAMA 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (BRASIL, 1997; CONAMA, 2005; CONAMA, 2008).

Desse modo, quando os instrumentos dessas leis são efetivamente implementados, assegura a gestão integrada dos aspectos quantitativos e qualitativos da água, de forma a garantir o atendimento às demandas de seus usuários (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Ressalta-se que as atividades que utilizam água podem ser denominadas de usuários consuntivos e não consuntivos, e a alteração da qualidade da água, podem afetar esses usuários das bacias hidrográficas (KANG *et al.*, 2010).

De acordo com Silva (2021), o manejo adequado de bacias hidrográficas, aliado à aplicação de instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e monitoramento limnológico, favorece o enfrentamento do atual cenário de degradação dos recursos hídricos encontrados no Brasil.

Inúmeros problemas relacionados com a qualidade da água são causados pelo mau uso do solo, como urbanização desordenada, atividades industriais e agrícolas (DUPASA *et al.*, 2015). O desenvolvimento agrícola, tem forte influência sobre as concentrações de

nutrientes na água, como o nitrogênio e o fósforo, que se não utilizados de forma racional pode afetar a qualidade desse recurso hídrico (BU *et al.*, 2014).

De modo geral, os padrões qualitativos da água, estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente supracitadas, propõem valores máximos dos elementos físico-químicos e biológicos a serem atendidos, para que a água seja considerada aceitável, conforme as classes de uso definidas, para o abastecimento público, a dessedentação de animais, a recreação, como também na irrigação.

Nesse contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), produzirá estudos para monitorar águas em áreas rurais, relacionando-as com a contaminação pelas atividades agrícolas e de criação animal. Os parâmetros propostos a serem monitorados são a dureza total, a condutividade elétrica, o pH, o nitrato, o sódio, o magnésio e a bactéria *Escherichia coli*. Essas variáveis foram selecionadas para a elaboração de um índice de qualidade para áreas rurais, utilizando métodos estatísticos multivariados (EMBRAPA, 2021).

Sendo assim, estudos ressaltam o surgimento de um Índice de Qualidade da Água (IQA), desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos– NSF), com auxílio de especialistas, abrangendo as interações entre as diversas variáveis mensuradas em amostras de água. Esse índice propõe dar uma ideia da tendência de evolução da qualidade ao longo do tempo, além de permitir uma comparação entre diferentes cursos hídricos ou entre diferentes pontos de um mesmo curso (CETESB, 2008).

Para Dotto *et al.* (1996), a utilização da água para fins de irrigação requer um volume quantitativo muito grande, e com advento das atividades antropogênicas, a necessidade em avaliar a qualidade da água para esta finalidade tem sido uma grande exigência, de maneira a evitar ou minimizar impactos sobre a produção de culturas e a saúde da população. Assim, esses autores, propuseram uma reformulação e adaptaram o IQA, para um índice de qualidade da água para culturas irrigadas (IQAI), a fim de identificar condições relevantes ao planejamento de recursos hídricos para irrigação.

O presente estudo foi realizado em área rural da bacia hidrográfica do rio Apeú, localizada no nordeste do Estado do Pará, entre as coordenadas 1°13'10" e 1°29'37" de latitude Sul e 48°04'42" e 47°53'30" de longitude Oeste. Esta bacia hidrográfica ocupa uma área de aproximadamente 320 Km<sup>2</sup>, com 77% de sua área pertencendo ao município de Castanhal, 16% a Santa Izabel do Pará e 7% ao município de Inhangapi (IBGE, 2019).

Segundo Santos (2006), a nascente do rio Apeú fica na fazenda Buriti, município de Castanhal, e desemboca no rio Inhangapi, município de Inhangapi, todavia, o Rio Apeú tem como principais afluentes os igarapés Macapazinho, Castanhal, Americano, Quatro, Apeteua, Janjão, Fonte Boa, Marapanim, Taiteua, Papuquara, Cpiranga, Itaqui e São João.

A importância em monitorar a microbacia hidrográfica do rio Apéu advém da enorme contribuição que este oferece aos seus usuários (abastecimento público, recreação, irrigação, etc.), a fim de evitar possíveis conflitos. Diante disso, avaliou-se os parâmetros físico-químicos da água para propor a elaboração de um IQAI e atender o uso sustentável do recurso hídrico, assim como, promover o desenvolvimento sustentável da região.

## **1.2 Hipótese geral**

As águas subterrâneas e superficiais localizadas em área rural da microbacia do Rio Apéu, Castanhal-PA estão de acordo com o que preconiza as legislações vigentes e possuem qualidade adequada para o uso na irrigação.

## **1.3 Objetivo geral**

Realizar a análise dos parâmetros qualitativos da água superficial, subterrânea, além de propor a elaboração de um IQA, em especial, no que concerne para fins de irrigação em área rural na microbacia do rio Apéu.

### **1.3.1 Específicos:**

- Analisar os parâmetros físico-químicos das águas superficiais tais como: pH, CE, OD, STD e contrapor com as Leis ambientais vigentes;
- Propor um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) com base na avaliação de parâmetros indicadores de qualidade da água subterrânea de ambiente rural da região.

## REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. 86p

ALMEIDA, M.A.; CURI, W.F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. **Revista Ambiente e Água**, vol.11, n.4 Taubaté – Oct./Dec. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BU, H.; MENG, W.; ZHANG, Y.; WAN, J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecological Indicators*, v.41, p.187-197, 2014.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Série relatórios. Apêndice A. Governo do Estado de São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2008. 40p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2005). 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. Brasília: Diário Oficial da União.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2008). Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.

DOTTO, S.E.; SANTOS, R.F.; SINGER, E.M. Determinação de um índice de qualidade de água para algumas culturas irrigadas em São Paulo. **Bragantia**. Campinas, v.55, n.1, jan. p. 193-200, 1996.

DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J.M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. **Ecological Indicators**, v.48, p. 396-407, 2015.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Pesquisa propõe parâmetros por região para avaliar qualidade da água no Brasil. Disponível em: <http://www.embrapa.br>. Acesso em: 01 junho 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2019. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

KANG, J.H., LEE, S.W., CHO, K.H., KI, S.J., CHA, S.M., KIM, J.H. Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin. **Water Research**, v.44, p.4143-4157, 2010.

MARQUES, M.N.; COTRIM, M.B.; PIRES, M.A.F.; FILHO, O.B. Avaliação do Impacto da Agricultura em áreas de Proteção Ambiental, pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Química Nova**, v.30, n.5, p.1171-1178, 2007.

SANTOS, O. Análise do uso do solo e dos recursos hídricos na microbacia do Igarapé Apeú, nordeste do Estado do Pará. Tese de doutorado em Geografia – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 256p.

SILVA, F.L.; FUSHITA, A.T.; CUNHA-SANTINO, M.B.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J.C.T. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p.1626-1653, 2021.

## 2 - AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

O uso de pesticidas/fertilizantes nas plantações tornou-se um problema para a manutenção da qualidade das águas superficiais. O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade da água para fins de irrigação na microbacia do Rio Apéu - Pará. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH, OD, RAS, STD, EC medidos *in situ* e os metais Al, Fe, Na, Ca, Mg, determinados no laboratório do Instituto Evandro Chagas, segundo método da *American Public Health Association* – APHA (2012). Os níveis médios de pH (5,51), OD (5,04 mg L<sup>-1</sup>) são indicativos das condições normais das águas amazônicas, e os resultados de Al (332 mg L<sup>-1</sup>) e Fe (5,74 mg L<sup>-1</sup>), embora apresentem valores acima do recomendado pelo CONAMA 357/2005, podem ser indicativos da lixiviação de sedimentos da formação geológica da região rica nesses minerais. A metodologia de classificação de Richard utilizada, permitiu definir que as águas da área de estudo possuem baixa salinidade e sodicidade, portanto, não são restritas ao uso na irrigação. Assim, os resultados da análise da qualidade da água na bacia hidrográfica podem concluir que ela não oferece problemas ambientais no uso para a atividade de irrigação.

Palavras-chave: Agricultura, Irrigação, água superficial, Castanhal-PA

## ASSESSMENT PHYSICAL-CHEMICAL OF WATER FOR IRRIGATION IN AGRICULTURAL AREAS OF THE EASTERN AMAZON

### ABSTRACT

The use of pesticides/fertilizers in plantations has become a problem in maintaining the quality of surface water. Thus, evaluated the water quality for irrigation purposes in the Rio Apéu microbasin – Para. The physical-chemical parameters evaluated were: pH, DO, SAR, TDS, EC measured in situ and the metals Al, Fe, Na, Ca, Mg determined in the laboratory Evandro Chagas Institute, according to the method of *American Public Health Association* – APHA (2012). The average levels of pH (5.51), OD (5.04 mg L<sup>-1</sup>) are indicative of normal conditions of Amazonian waters, and the results of Al (332 mg L<sup>-1</sup>) and Fe (5.74 mg L<sup>-1</sup>), even though they present values above what is recommended by the CONAMA 357/2005, can be indicative of the leaching of sediments from the geological formation of the region rich in these minerals. Richard's classification methodology used allowed us to define that the waters in the study area have low salinity and sodicity, therefore they are not restricted to use in irrigation. Thus, the results of the water quality analysis in the watershed can be concluded that it does not offer environmental problems in the use for irrigation activity.

Key-words: Agricultural, Irrigation, Surface Water, Castanhal-PA

## 2.1. Introdução

A agricultura irrigada depende de adequada disponibilidade e de boa qualidade da água condicionada às características físico-químicas e microbiológicas (SOUZA *et al.*, 2020). Como esses parâmetros podem ser afetados, a irrigação também pode ser prejudicada pela ineficiência e poluição resultantes de outros usos da água.

A classificação dos corpos de água, diretrizes ambientais para o seu enquadramento, lançamento de efluentes e os parâmetros qualitativos da água são estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005). No que se refere a irrigação, a classificação das águas doces são: classe 1, a água é destinada à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas, de frutas que desenvolvem-se rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; classe 2, águas destinadas à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; ou classe 3 para qual o sistema de irrigação destina-se à culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras (CONAMA, 2005).

A expansão das áreas de cultivo irrigadas é uma das estratégias do Brasil para aumentar a produção agrícola. No entanto, a expansão é limitada pelas metas da política hídrica para restringir escassez de água, todavia o manejo contribui na expansão da produção agrícola das terras cultivadas por pastagens, além de evitar conflitos de usos entre a utilização da água para diversos fins (MULTSCH, 2020).

A prática agrícola com uso da irrigação é importante para a Região Norte, pois contribui socioeconomicamente e ambiental, porém, é limitada por sua vez, pela falta de informação sobre a eficiência do uso da água e pela poluição hídrica existente (SOUZA *et al.*, 2012), e ainda não apresenta em termos quantitativos situação de escassez hídrica mensurada.

O Estado do Pará possui uma posição de destaque no cenário do agronegócio, o que reflete no crescimento da agricultura irrigada. Porém, este crescimento pode oferecer um risco ao equilíbrio do meio ambiente, pois o consumo de água elevado e o desmatamento das matas ciliares, visando à construção de estruturas para captação de água, são os principais fatores que provocam a degradação dos cursos d'água (SOUZA *et al.*, 2012).

Neste estudo, na comunidade de Iracema pertencente ao município de Castanhal, localizada no nordeste do Estado do Pará, tem a irrigação oriunda de águas superficiais usadas no processo agrícola como instrumento estratégico e importante no desenvolvimento rural. O monitoramento do recurso hídrico é de fundamental importância para o município, pois suas águas são potencialmente utilizadas pela população, dessedentação de animais e na irrigação de áreas como produção de culturas de ciclo curtos e perenes. No mais, as águas superficiais da área de estudo ainda encontram-se bem protegidas por matas ciliares, importantes por representarem uma proteção natural dos cursos d'água. Ainda que, a atividade agrícola seja de maior importância econômica desse município, não existe suspeita de contaminação da água na área estudada.

Contudo, analisou-se a qualidade da água superficial utilizada na atividade de irrigação, e correlacionou-se com o que preconiza a legislação vigente, além disso, avaliou-se o grau de sodicidade e salinidade usando a Relação Adsorção de Sódio (RAS), a fim de descartar possíveis problemas provenientes do uso da atividade agrícola.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo compreende a comunidade de Iracema localizada no nordeste paraense, a 25 Km da sede no Município de Castanhal. A potencialidade agrícola local, oferece destaque às culturas perenes, hortaliças, fruticultura e a avicultura de corte em sistema integrado. Para o desenvolvimento destas atividades, as propriedades rurais contam com boa infraestrutura, 70,95% do sistema do abastecimento de água é provindo de poço artesiano, os demais usuários também utilizam água de igarapés, e cerca de 70 % dos cultivos na comunidade são irrigados (IBGE, 2019).

Os rios, igarapés que cortam a comunidade de Iracema fazem parte da Microbacia hidrográfica do Rio Apeú, que possui 315 Km<sup>2</sup> de área, localizada na região geográfica intermediária de Castanhal, e aproximadamente 77% de sua área encontra-se no município de Castanhal, enquanto que 16% e 7% encontram-se respectivamente nos municípios de Santa Isabel do Pará e Inhangapi (IBGE, 2019).

Pela classificação de Köppen o único tipo climático identificado para a região é o Af, subtipo que pertence ao clima tropical chuvoso (úmido) (VALENTE *et al.*, 2001).

## 2.2.2 Coleta e amostragem de campo

A coleta de água superficial ocorreu em duas propriedades agrícolas, codificadas em FZ1 e FZ2. Estas propriedades compreendem as coordenadas geográficas 01°07'19,4" S e 48°01'48,2" W; 01°06'04,3" S e 48°06'29,6" W, respectivamente (**Figura 1**), e a descrição dos pontos de amostragem estão descritos na tabela 1.

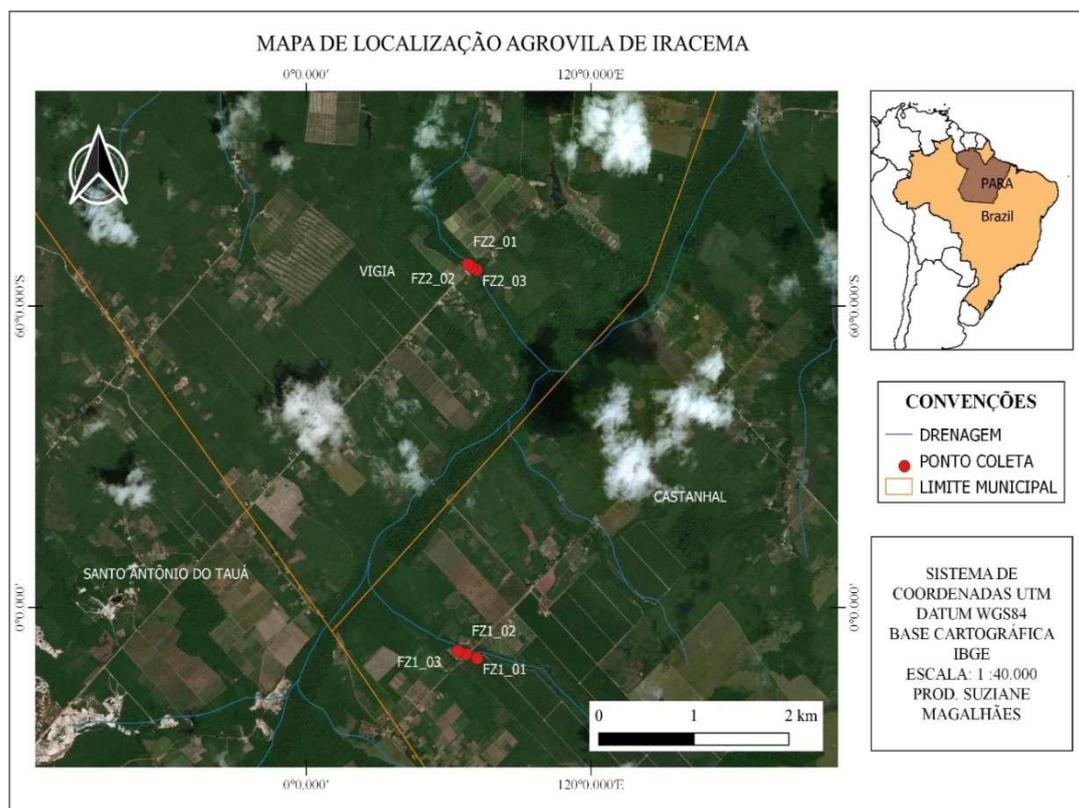


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Adaptado do GoogleEarth, 2020

Tabela 1. Descrição dos pontos de coleta de água superficial na Comunidade de Iracema

Pontos de Coleta	Descrição	Coordenadas Geográficas
FZ1_01*	Coleta a direita da instalação da bomba levando em consideração o sentido da correnteza do rio.	01°08'8,36"S 48°0'30,37"W
FZ1_02*	Próximo a bomba de captação de água utilizada no sistema de irrigação	01°08'2,99"S 48°0'43,56"W
FZ1_03*	Coleta a esquerda da instalação da bomba levando em consideração o sentido da correnteza do rio.	01°08'2,31"S 48°0'44,96"W
FZ2_01*	Coleta a esquerda da instalação da bomba levando em consideração o sentido da correnteza do rio.	01°05'58,83"S 48°0'36,73"W
FZ2_02*	Próximo a bomba de captação de água utilizada no sistema de irrigação	01°06'2,05"S 48°0'33,09"W
FZ2_03*	Coleta a direita da instalação da bomba levando em consideração o sentido da correnteza do rio.	01°06'4,24"S 48°06'29,6"W

Legenda: \*01, 02, 03: Correspondem aos pontos amostrais das coletas no rio

A amostragem mensal de coleta de água foi realizada entre setembro a novembro/2018 o que correspondeu ao período de menor precipitação e a coleta realizada em janeiro/2019, sinalizou o período de maior índice pluviométrico. As coletas realizadas entre os meses de setembro a novembro tiveram média de precipitação em torno de 75 mm (2018) e para o mês de janeiro (2019) de 321 mm (Figura 2, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA [INMET], 2019).

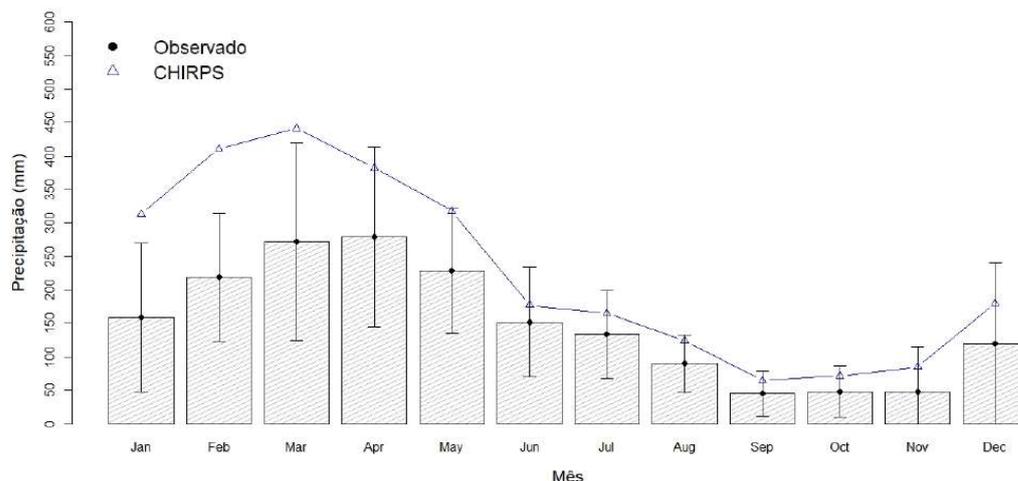


Figura 2. Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (INMET) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018. Estação meteorológica automática de Castanhal-PA (lat: 01°18'S; long: 47°55' W; alt 65m) da rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para coleta de água levou-se em consideração o local de instalação da bomba de captação de água utilizada no sistema de irrigação, aos quais os pontos distam aproximadamente 500 m a montante e a jusante do ponto de captação de água. Destaca-se que a captação da água rio até o sistema de irrigação encontra-se distante aproximadamente 800 m.

O procedimento de coleta e preservação das amostras baseou-se no Guia Nacional de coleta e preservação de amostras água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos, em que realizou-se a imersão de um frasco de 15 mL abaixo de 30 cm da lâmina d'água (CETESB, 2011).

### 2.2.3 Análise físico-química

Os parâmetros analisados foram: pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Salinidade (Sal.), sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE) aferidos *in loco* com

a utilização do medidor portátil de qualidade de água multiparâmetro da marca BANTE Instruments, modelo Bante900P, devidamente calibrado, segundo as normas da *American Public Health Association* - APHA (2012).

#### 2.2.4 Determinação de metais

A determinação da concentração dos metais Alumínio (Al), Ferro (Fe), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) nas amostras procedeu-se com a filtração e acidificação com ácido nítrico de alto grau de pureza (HNO<sub>3</sub>), pH<2. Os metais foram analisados através da técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP-OES), no equipamento modelo Vista-MPX CCD. A solução padrão foi preparada em um tubo falcon de 15 mL e o equipamento faz a leitura em triplicada retirando 1 mL da solução para determinação do elemento. Os limites de detecção do equipamento são: Al (0,0122 mg L<sup>-1</sup>), Fe (0,045 mg L<sup>-1</sup>), Na (0,0242 mg L<sup>-1</sup>), Ca (0,0240 mg L<sup>-1</sup>) e Mg (0,0002 mg L<sup>-1</sup>). Para a certificação dos resultados foi utilizada a amostra de referência para elementos traços em água (SRM 1643e, Trace Elements in Water, NIST, USA) e os valores da recuperação ficaram entre 90 e 105%, validando as análises realizadas no Laboratório de Toxicologia do Instituto Evandro Chagas, determinados conforme *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

#### 2.2.5 Razão de adsorção de sódio – RAS

Dentre os critérios de classificação da água para fins de irrigação, um dos mais aceitos atualmente é a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL). Esta classificação baseia-se na razão de adsorção de sódio e na condutividade elétrica da água.

O RAS é uma razão que indica a porcentagem de sódio contido em uma amostra que pode ser absorvido pelo solo. Segundo Queiroz (2018), calcula-se a RAS através da equação 1, com dados de Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, transformados de mg L<sup>-1</sup> para meq L<sup>-1</sup> sendo numericamente igual a mmolc L<sup>-1</sup>.

$$RAS = \frac{Na}{\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)^{0,5}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Ca: concentração de cálcio, mmolc L<sup>-1</sup>;

Na: concentração de sódio, mmolc L<sup>-1</sup>;

Mg: concentração de magnésio, mmolc L<sup>-1</sup>; e

RAS: Razão de Adsorção de Sódio (mmolc L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup>

### 2.2.6 Análise Estatística

Para a sistematização dos resultados foi utilizada a estatística descritiva, tabulando a média, mínimo, máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação. O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas e pode sofrer variação de -1 a 1 (MONTGOMERY, 2004). E os dados foram submetidos a análise de correlação de Pearson com p\_valor < 0,05. A tabulação dos resultados da estatística descritiva e a confecção dos gráficos de correlação a fim de explicar a interação entre os parâmetros foram elaborados utilizando o software Statistica® versão 3.6

Para interpretação na estatística multivariada montou-se uma matriz 12x10, doze observações e dez parâmetros chaves, utilizando a análise de componentes principais (PCA) exploratória a fim de entender a contribuição de cada parâmetro de qualidade de água em função a variabilidade total (GUMBO *et al.*, 2016). Foi necessário padronizar os dados antes da aplicação da PCA, pelas suas diferenças dimensionais, utilizando a função de padronização pelo z-score, as análises estatísticas foram realizadas com o software Statistica® versão 3.6.

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Determinação dos parâmetros de qualidade de água

Os resultados dos parâmetros físico-químicos, da Razão de Adsorção de Sódio e dos valores obtidos através da estatística descritiva como média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variância, estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros físico-químicos para amostras de água superficial

Período de Coleta	Pontos de amostragem	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS										
		pH	OD*	STD*	Sal.*	CE **	Al*	Fe*	Ca*	Mg*	Na*	RAS
RIO – PROPRIEDADE AGRÍCOLA 1												
SET/18	FZ1_1	5,30	5,21	242	0,24	485	1,261	0,49	8,04	2,02	13,80	6,15
	FZ1_2	4,95	5,74	213	0,21	428	0,730	0,99	7,56	1,89	12,49	5,75
	FZ1_3	5,13	5,32	226	0,08	455	0,744	0,84	6,52	1,72	10,83	5,33
OUT/18	FZ1_1	5,10	5,36	156	0,15	314	5,209	0,43	7,53	1,76	9,76	4,53
	FZ1_2	4,92	6,32	128	0,03	389	4,995	0,65	6,87	1,65	10,48	5,07
	FZ1_3	4,93	5,07	112	0,02	255	6,685	0,39	8,64	2,01	13,41	5,81
NOV/18	FZ1_1	5,20	4,84	394	0,59	419	3,391	0,43	4,88	1,13	8,72	5,03
	FZ1_2	5,15	5,49	335	0,33	671	2,783	0,28	4,46	1,05	8,27	4,98
	FZ1_3	4,81	4,6	266	0,26	535	3,042	0,35	4,62	1,14	8,50	5,01
JAN/19	FZ1_1	5,35	3,65	6,31	0,01	12,61	6,464	0,34	6,59	1,54	12,49	6,19
	FZ1_2	5,01	4,39	6,84	0,01	13,65	5,167	0,39	5,81	1,40	11,57	6,09
	FZ1_3	4,93	4,51	7,60	0,02	15,17	5,083	0,32	7,12	1,72	13,74	6,53
	MÁX	5,35	6,32	394	0,59	671	6,68	0,99	8,64	2,02	13,80	6,53
	MÍN	4,81	3,65	6,31	0,01	12,61	0,73	0,28	4,46	1,05	8,27	4,53
	MÉDIA	5,07	5,04	174,40	0,16	332,70	3,80	0,50	6,56	1,59	11,18	5,54
	DP	0,16	0,70	128,51	0,17	218,40	2,11	0,22	1,36	0,33	2,05	0,62
	CV (%)	3,29	13,91	73,69	108,23	65,64	55,79	44,72	20,78	21,22	18,36	11,36
RIO – PROPRIEDADE AGRÍCOLA 2												
SET/18	FZ2_1	5,99	4,67	247	0,24	496	0,24	0,73	7,16	1,93	10,13	4,75
	FZ2_2	5,73	5,81	233	0,23	467	3,46	0,22	6,34	1,61	7,23	3,63
	FZ2_3	5,80	3,45	208	0,20	416	6,49	0,72	8,74	2,14	10,82	4,64
OUT/18	FZ2_1	5,82	5,65	190	0,18	380	6,16	0,15	7,99	2,14	10,61	4,71
	FZ2_2	5,73	5,81	233	0,23	467	3,46	0,22	6,34	1,61	7,23	3,63
	FZ2_3	5,80	3,45	208	0,20	416	6,49	0,72	8,74	2,14	10,82	4,64
NOV/18	FZ2_1	5,84	5,38	575	0,57	115	3,30	0,21	7,51	1,69	9,96	4,65
	FZ2_2	4,71	3,87	582	0,58	116	3,98	0,35	7,24	1,60	10,55	5,02
	FZ2_3	5,52	5,34	597	0,91	179	3,57	0,23	7,06	1,61	10,31	4,95
JAN/19	FZ2_1	4,69	3,87	204	0,03	406	18,39	0,27	8,28	2,32	14,70	6,39
	FZ2_2	5,20	4,43	143	0,02	227	6,81	0,21	8,13	1,95	15,63	6,96
	FZ2_3	5,27	3,17	137	0,02	226	6,44	0,37	8,10	1,92	15,92	7,11
	MÁX	5,99	5,81	597	0,91	496	18,39	0,73	8,75	2,32	15,93	7,11
	MÍN	4,69	3,17	137	0,02	115	0,24	0,15	6,34	1,60	7,239	3,63
	MÉDIA	5,51	4,58	296	0,28	325,92	5,74	0,37	7,64	1,89	11,17	5,09
	DP	0,44	1,00	176,96	0,27	142,77	4,44	0,22	0,83	0,26	2,86	1,15
	CV (%)	8,06	21,83	59,70	94,78	43,80	77,45	59,85	10,83	13,69	25,64	22,50

Legenda: FZ1 e FZ2 (Fazenda ou propriedade agrícola 1 e 2). Máximo (Máx). Mínimo (Mín). Desvio Padrão (DP). Coeficiente de Variância (CV) e Razão de Adsorção do Sódio (RAS em mmolc L<sup>-1</sup>). (\*) unidade em mg L<sup>-1</sup>. (\*\*) unidade em µS cm<sup>-1</sup>

Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, especificamente no art. 42º, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2. Portanto, para este estudo, utilizou-se como referência para as águas doces superficiais os parâmetros pertencentes à classe 2, destinadas à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas com os quais o público possa vir a ter contato direto. A tabela 3 apresenta parâmetros físico-químicos de qualidade da água e valor de referência estabelecido, classe 2, conforme a Resolução do CONAMA n.º 357/2005.

Tabela 3. Parâmetros de qualidade da água para classe 2.

Parâmetros	Valor Máximo Permitido – VMP
pH	6.0 - 9.0
Oxigênio Dissolvido (OD)	Não inferior a 5 mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	500 mg L <sup>-1</sup>
Ferro dissolvido (Fe)	0,3 mg L <sup>-1</sup>
Alumínio dissolvido (Al)	0,1 mg L <sup>-1</sup>

Fonte: Resolução do CONAMA n.º 357/2005

Os valores médios de pH em FZ1 foi de 5,07 e para FZ2 de 5,51, com pouca variação dos resultados no período amostral, encontrando-se abaixo do permitido pela legislação vigente (Tabela 3). As características ácidas nos rios que perpassam as duas propriedades agrícolas pertencem à bacia hidrográfica do Rio Apeú, no entanto, os pontos amostrados diferem da localização existente entre as fazendas.

O pH das águas possuem essa característica pois sofre influência da lixiviação dos solos ácidos típicos da Região Amazônica e da quantidade de matéria orgânica presente no local, a qual se decompõe formando ácidos orgânicos (SIOLE, 1951).

Em estudos realizados na área portuária da Região Metropolitana de Belém-PA (RMB), Piratoba *et al.* (2017), encontraram valores médios de pH variando 7,01 no período chuvoso a 7,39 no período menos chuvoso. Por sua vez Veronez (2011), em águas na microbacia do Igarapé Praquiquara, afluente do Rio Apeú, encontrou valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA, variando entre 4,2 e 6,8 corroborando com dados deste estudo mesmo em áreas distante da zona urbana.

Fernandes *et al.* (2018), observaram valores que indicam águas ácidas, variando de 5,55 no trecho do balneário do igarapé Apeú a 6,17 no igarapé Macapazinho, ambos rios também pertencem à formação da bacia hidrográfica do Rio Apeú, na cidade de Castanhal (Nordeste do Estado do Pará).

Nas análises de OD constatou-se valores médios em FZ1 foi de 5,04 mg L<sup>-1</sup> e FZ2 foi de 4,58 mg L<sup>-1</sup> com pouca dispersão dos resultados. Esses resultados são próximos ao padrão permitido pela resolução CONAMA 357/2005 (tabela 3). Tais concentrações estão abaixo do nível de saturação (8,32 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>) que corresponde à concentração de equilíbrio de O<sub>2</sub> dissolvido em água em equilíbrio com O<sub>2</sub> atmosférico, que varia com a temperatura da água e altitude do ponto de coleta (Fernandes *et al.*, 2018).

Para determinação de STD houve uma grande dispersão dos resultados. O valor médio de STD em FZ1 foi de 174,50 mg L<sup>-1</sup> e em FZ2 foi de 296 mg L<sup>-1</sup>, esses resultados também apresentam-se em consonância com o que preconiza a Resolução apresentada (Tabela 3). Os STD estão relacionados com a CE que também é usado como medida para identificar a salinidade da água, como também pelo carreamento dos sólidos via carreamento superficial que possa afetar o corpo d'água.

Ainda em estudos de Piratoba *et al.* (2017), os teores médios dos STD na área portuária da RMB, foram de 16,28 mg L<sup>-1</sup> a 27,05 mg L<sup>-1</sup> para o período menos chuvoso e de 10,38 mg L<sup>-1</sup> a 13,35 mg L<sup>-1</sup> no período chuvoso. As águas continentais possuem esta característica para os STD pois seus teores são provenientes da hidrogeoquímica regional e das drenagens de rochas ígneas ou sedimentares.

A condutividade elétrica representa uma medida de quantidade total de sais solúveis em água, os valores médios descritos foram de 332,70 μS cm<sup>-1</sup> (propriedade FZ1) e 325,92 μS cm<sup>-1</sup> (propriedade FZ2).

Ainda Fernandes *et al.* (2018), no período chuvoso para região de Castanhal aferiu a CE em torno de 27,50 μS cm<sup>-1</sup> no igarapé que atravessa o trecho urbano a 49,25 μS cm<sup>-1</sup> no igarapé Macapazinho (Bacia Hidrográfica do Rio Apeú).

Para Esteves (2011), em regiões de clima tropical, a condutividade está relacionada com os aspectos geoquímicos da região e condições climáticas, ou seja, a periodicidade de precipitações.

As concentrações determinadas de Al, Fe, Ca, Mg e Na, em ambas propriedades apresentaram baixa dispersão dos resultados.

O teor médio de Fe encontrado nas águas superficiais das propriedades agrícolas FZ1 e FZ2 foram 0,50 mg L<sup>-1</sup> e 0,37 mg L<sup>-1</sup> respectivamente. A concentração média de Al apresentado neste estudo foi de 3,80 mg L<sup>-1</sup> (propriedade agrícola FZ1) e 5,74 mg L<sup>-1</sup> (propriedade agrícola FZ2). Ambos os resultados dos teores apresentados encontram-se em desacordo com a resolução do CONAMA citada.

No entanto, os aquíferos Barreiras e Pirabas recebem contribuição das rochas constituintes da formação sedimentar siliciclástica, sedimentos inconsolidados argilo-arenosos e areno-argilosos, com níveis descontínuos de um arenito ferruginoso, (OLIVEIRA FILHO, 2018). Assim, é característico da formação geológica da região que os teores de Al e Fe possam advir dos minerais constituintes das rochas formadoras do solo. Os teores de ferro, presentes na água, podem acarretar diversos problemas ambientais, inclusive nas instalações hidráulicas do sistema de irrigação.

Apenas na coleta do mês de janeiro/2019 tiveram influência de precipitação, com a ocorrência de chuva um dia antes da coleta. Os resultados dos parâmetros que tiveram valores elevados no período considerado menos chuvoso, como STD, CE, receberam influência de precipitação, assim como, os elementos Al e Fe são característica da formação geológica local.

A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio e/ou com o decréscimo de sua salinidade. Os parâmetros RAS e Salinidade devem ser analisados conjuntamente para avaliar corretamente os efeitos da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo (ALMEIDA, 2010).

No que concerne sobre a razão de adsorção de sódio que reflete a relação da proporção de  $\text{Na}^+$  em relação aos cátions bivalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , tiveram resultados variando de  $4,53 \text{ mmolc L}^{-1}$  a  $6,53 \text{ mmolc L}^{-1}$  (propriedade agrícola FZ1) e de  $3,63 \text{ mmolc L}^{-1}$  a  $7,11 \text{ mmolc L}^{-1}$  (propriedade agrícola FZ2). Na área em estudo obteve-se resultados de CE variando entre  $15 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $671 \mu\text{S cm}^{-1}$  (FZ1) e  $115 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $496 \mu\text{S cm}^{-1}$  (FZ2).

Nota-se na tabela 4 a descrição da classificação das águas utilizadas na irrigação das propriedades agrícolas estudadas.

Tabela 4. Classificação das águas utilizadas para irrigação, Comunidade de Iracema

Local e Coleta	Classe	Local e Coleta	Classe
Rio_FZ1 (Set/18)	C2S1	Rio_FZ2 (Set/18)	C2S1
Rio_FZ1 (Out/18)	C2S1	Rio_FZ2 (Out/18)	C2S1
Rio_FZ1 (Nov/18)	C2S1	Rio_FZ2 (Nov/18)	C1S1
Rio_FZ1 (Jan/19)	C1S1	Rio_FZ2 (Jan/19)	C2S1

Utilizando a metodologia descrita por Almeida (2010), os resultados da variabilidade média das águas desse estudo permitiram ser enquadrados em classe C1 e C2 entre baixa e média salinidade, e ainda apresentando baixa sodicidade para todos os meses de coleta

(Tabela 4). Desse modo, não há restrição no uso dessa água para irrigação de plantas sensíveis rentes ao solo ou com drenagem deficiente.

Todavia, as altas concentrações de salinidade/sodicidade da água podem causar consequências nas áreas cultivadas, inibindo as características de crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo avaliadas de três maneiras: através do estresse salínico, pela alta toxicidade, através do acúmulo de íons específicos e também, por desordem nutricional (BATISTA, 2016).

### 2.3.2 Relação entre os parâmetros de qualidade de água

A análise de correlação possibilitou a identificação da associação entre as variáveis, e evidenciou a tendência das variáveis de maior significância (95%) para este estudo. Esta interação permitiu identificar a influência dos parâmetros determinantes na qualidade da água na bacia hidrográfica com o uso do solo.

Contudo, adotou-se a classificação de Pearson em que: a correlação é perfeita positiva ou negativa ( $r$  igual a  $\pm 1$ ), forte ( $1 > r \geq 0,75$ ), moderada ( $0,75 > r \geq 0,5$ ), fraca ( $0,5 > r > 0$ ) e inexistente ( $r = 0$ ). Quanto mais próximo de 1 (seja qual for o sinal), consecutivamente maior será o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Nas Figuras 3A e 3B podem ser observadas as correlações de Pearson ( $r$ ) realizadas com os indicadores de qualidade de água. Apesar das amostras terem sido coletadas em diferentes períodos, não foram considerados os diferentes tempos de datas de coleta para a elaboração dos dados de correlação.

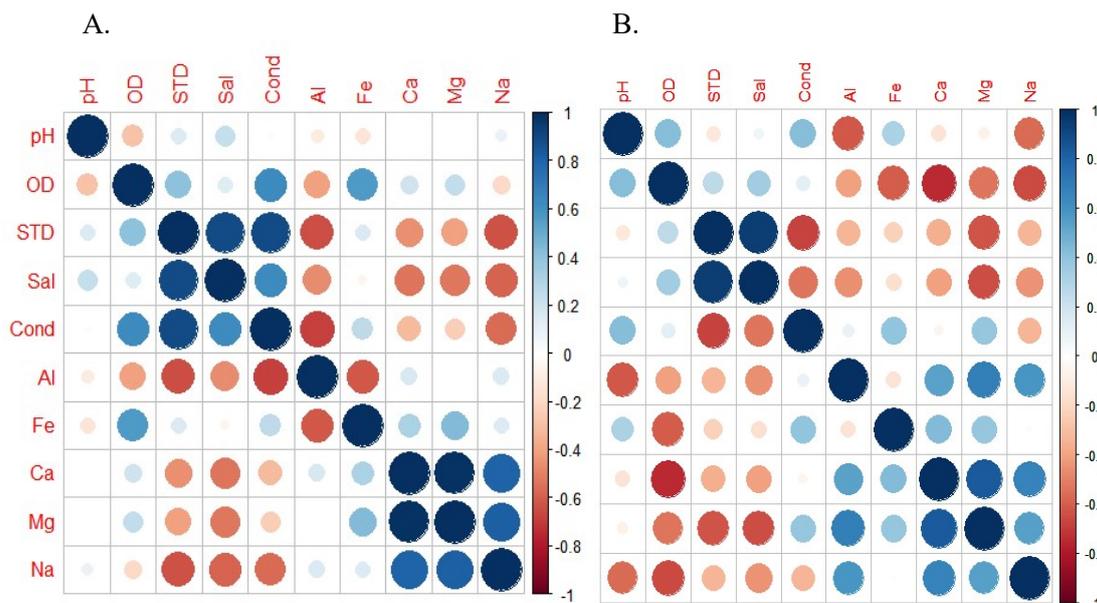


Figura 3 (A). Gráfico de correlação entre os parâmetros de água superficial da propriedade agrícola FZ1 e (B) Gráfico de correlação entre os parâmetros de água superficial da propriedade agrícola FZ2. **Correlação de Pearson significativa,  $p < 0,05$ .**

Na figura 3A pode-se observar uma correlação positiva forte entre as variáveis OD com CE e Fe ( $r = 0,77$ ), STD com Sal. e CE ( $r = 0,89$ ), Ca e Mg ( $r = 0,98$ ), Ca e Na ( $r = 0,82$ ), Mg e Na ( $r = 0,81$ ). Para a figura 3B também observou-se correlação forte e positiva entre as variáveis STD e Sal. ( $r = 0,94$ ), Al e Mg ( $r = 0,75$ ), Al e Na ( $r = 0,77$ ), pH e OD ( $r = 0,75$ ), Mg e Ca ( $r = 0,83$ ), Na e Ca ( $r = 0,75$ ).

Neste estudo são discutidas somente as correlações estatisticamente fortes, pois obtêm mais significância para os dados estudados. Os dados de CE, STD e salinidade apresentaram correlação forte e positiva, que indica o grau de afinidade entre as variáveis, ou seja, quando há um elevado valor da variável CE, os valores de STD e salinidades também serão altas, mesma observação é apresentada na correlação existente entre pH e OD.

As variáveis Ca, Mg e Na, apresentaram correlação forte e positiva, sinalizando características similares existentes entre esses elementos químicos.

A correlação forte e positiva existente entre Al e Mg é devido a sua presença no solo dos minerais constituintes formadores da bacia hidrográfica, sendo transportados aos corpos hídricos pelo processo de lixiviação.

Em estudos de Menezes *et al.* (2016), o uso/ocupação do solo e a qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana por meio do teste de correlação de Pearson, mostraram as proporções das áreas agrícolas correlacionando-as positivamente com as

concentrações de OD e negativamente com as concentrações do índice de qualidade ambiental, de modo que a influência existente das atividades humanas na bacia hidrográfica é refletida nos parâmetros físico-químicos e biológicos na água. Nas áreas de mata, demonstraram forte relação com as concentrações de sólidos, turbidez, refletindo a decomposição do material autóctone e ao processo de lixiviação.

Cabe ressaltar que os parâmetros que apresentam correlação são semelhantes aos abordados por Lobato *et al.* (2015), pois esses autores apontaram um novo indicador de qualidade da água (IQA) de um reservatório de usina hidrelétrica na região amazônica, considerando as características hidrográficas específicas da região estudada.

Bacias hidrográficas altamente urbanizadas e com áreas agrícolas têm de forma geral, degradado os mananciais hídricos em razão da alteração das condições dos diversos tipos de uso e ocupação do solo, incrementando as concentrações de parâmetros de qualidade das águas, como os nutrientes (FIA *et al.*, 2015).

De acordo com Pereira *et al.* (2016), o mapeamento do uso e ocupação do solo propicia na tomada de decisão para a manutenção das bacias hidrográficas, como no planejamento territorial e no monitoramento do uso sustentável dos recursos naturais.

Diante disso, em se tratando da correlação de Pearson, observou-se que a maioria dos resultados dos parâmetros abordados são congruentes apresentando correlação forte e positiva.

A Análise de Componentes Principais - ACP é usada extensivamente para identificar os fatores que afetam a qualidade da água, uma vez que reduz a dimensionalidade dos conjuntos de dados sem perda de informações, explicando a variação entre um grande conjunto de variáveis correlacionadas em termos de um pequeno número de componentes principais (GRADILLA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020).

A aplicação da ACP para os indicadores de qualidade da água estão apresentadas nas figuras 4A e 4B para análises das águas superficiais das propriedades agrícolas 1 e 2 respectivamente.

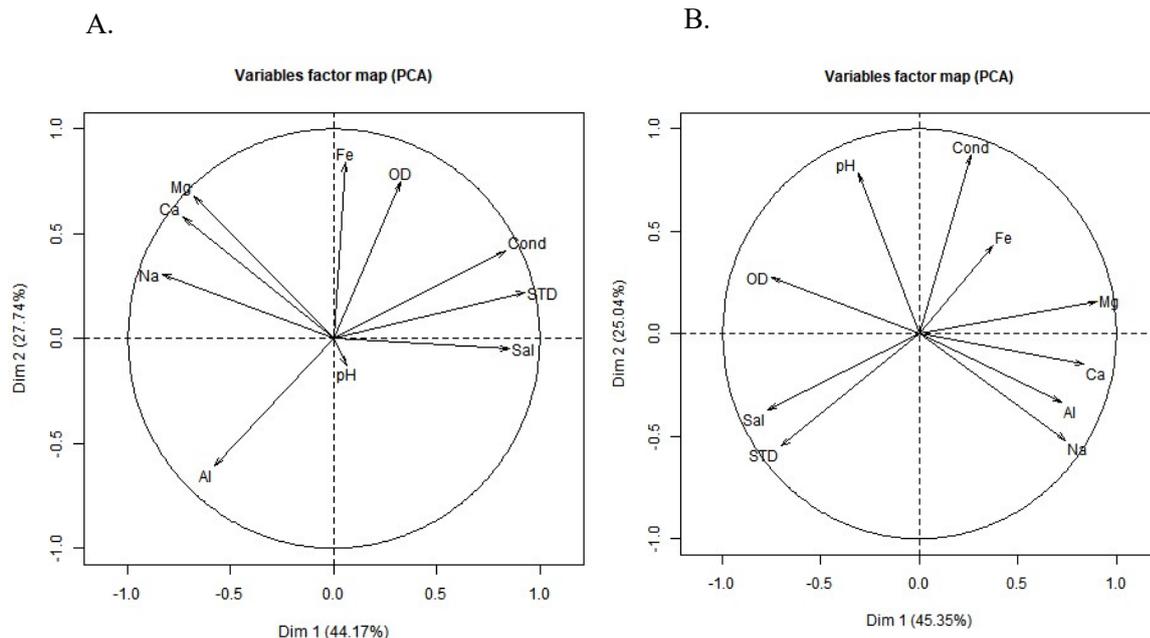


Figura 4. (A) ACP para as variáveis qualitativas de água superficial da propriedade agrícola 1, e (B) ACP para as variáveis qualitativas de água superficial da propriedade agrícola 2

A figura 4A apresentou a ACP e revelou dois componentes que explicaram 71,91% da variabilidade total dos dados, sendo 44,17% para o componente principal 1 (CP1) e 27,74% para o componente principal 2 (CP2). Na figura 4B, a ACP também revelou dois componentes principais que explicaram 70,39% da variabilidade total dos dados, sendo 45,35% para o componente principal 1 (CP1) e 25,04% para o componente principal 2 (CP2).

A primeira componente formada na figura 4A explicou 44,17% (sendo eles: Fe, OD, COND., STD, Sal) da variabilidade dos dados associados com as variáveis indicadoras da ação geológica. Todavia, a Comunidade de Iracema possui cerca de 44 anos, com produção agrícola bem acentuada, porém ainda recente. A área rural onde ocorre a atividade agrícola dista 25 Km da área urbana da cidade, sem interferência antropogênica do desenvolvimento urbano, mantendo a qualidade das águas superficiais. O fato que melhor responde aos resultados dos parâmetros analisados é a contribuição ser de origem geogênica, visto que a área de captação ainda encontra-se protegida com a mata ciliar.

Para Medeiros *et al.* (2017), uma variável é fortemente associada a um componente quando tem carga maior que 0,7 e razoavelmente associada com carga maior ou igual a 0,5. Sendo assim é possível verificar que os dois componentes gerados presentes nas figuras 4A e 4B possuem associações com carga maior que 0,7.

A CP1 que corresponde a 44,17% da variação total foi fortemente associado ao Fe e OD, assim como, COND. STD e Sal. indicando que essas variáveis são mais significativas na definição da qualidade da água (figura 4A). No caso para figura 4B a CP1 que corresponde a 45,35% da variação total, formou dois grupos, sendo um fator correspondendo às variáveis COND. e Fe, bem como, outro fator formado por Na, Ca, Mg e Al.

As variáveis agrupadas no primeiro fator são formadas por parâmetros que correspondem ao RAS como cátions Na, Ca e Mg (CP1, figura 4B), e o segundo fator corresponde aos STD, Sal e COND (CP1, figura 4A), sendo os principais parâmetros com autovalores relevantes a cima de 0,7. É possível identificar que os parâmetros com maior importância são os que apresentam a relação à salinização do solo o que é essencial para o controle e desenvolvimento de diversas culturas.

Esta ferramenta de análise da estatística multivariada descrita pela ACP explica que a RAS e salinidade são importantes ferramentas para descrição da qualidade da água, associando os resultados positivos das componentes para avaliar a utilização da água para fins de irrigação.

Diante disso, conclui-se conforme Silva e Gouveia (2019), que a utilização de análises estatísticas multivariadas como a ACP permite a verificação de correlações úteis para detecção de problemas-chave para gestão de recursos hídricos integrados, evidenciando as fontes de poluição dos recursos hídricos.

## **2.4 Conclusão**

Os resultados inferiores de pH com características ácidas, acarretam corrosividade nas tubulações de captação da água. Os valores aferidos OD e CE encontram-se em de acordo com os VMP descritos na resolução CONAMA 357/2005.

A presença de Al e Fe encontrados nos pontos de coleta em quantidade acima do recomendado pela CONAMA 357/2005 são associados à formação geológica local e pelo processo de lixiviação que carregam as partículas do solo para água superficial.

Segundo a RAS, não apresentou restrição ao uso da água para atividade de irrigação, visto que na área estudada da bacia ainda não ocorre interferências de origem antropogênica.

### **Agradecimentos**

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UFRA), ao Instituto Evandro Chagas (IEC) pela disponibilidade do Laboratório de Toxicologia, e aos proprietários das Fazendas Gomes pela valiosa colaboração a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

APHA, American Public Health Association. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed. Washington DC.

ALMEIDA, O.A. Qualidade da água de irrigação. Dados Eletrônicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2010, 234 p.

BATISTA, P.H.D.; FEITOSA, A.K.; LEITE, F.E.; SALES, M.M.; SILVA, K.B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v.12, n.1, p.48-54. 2016.

CETESB, COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2011). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Brasília: ANA. 2011.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2005). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário oficial da União n.º 357, 17 de março de 2005.

ESTEVES, F. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011, 826p.

FERNANDES, F.P.S.; GONÇALVES, J.D.; BRÍGIDA, F.V.S.; OLIVEIRA, L.S.; PEDROSO, A.J.S. Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais de três corpos hídricos situados na cidade de Castanhal-PA. **Anais do III Congresso Internacional das Ciências Agrárias. COINTER. Castanhal-PA, 2018.**

FIA, R.; TADEU, H.C.; MENEZES, J.P.C.; FIA, F.R.L.; OLIVEIRA, L.F.C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.1, p.267-275, 2015.

GRADILLA-HERNÁNDEZ, M.S.; DE ANDA, J.; GARCÍA-GONZÁLEZ, A.; MEZA-RODRÍGUEZ, D.; MONTES, C.Y.; PREFECTO-ÁVALOS, Y. Multivariate water quality analysis of Lake Cajititlán, Mexico. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.192, n.1, p.5, 2020.

GUMBO, J.R.; DZAGA, R.A.; NETHENGWE, N.S. Impact on water quality of Nandoni water reservoir downstream of municipal sewage plants in Vhembe District, South Africa. **Sustainability**, v.8, n.7, p.597, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2019. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Monitoramento Automático das Estações. Brasília. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

LOBATO, T.C.; HAUSER-DAVIS, R.A.; OLIVEIRA T.F.; SILVEIRA, A.M.; SILVA, H.A.N.; TAVARES, M.R.M., Saraiva, A.C.F. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. **Journal of Hydrology**, v.522, p.674–683, 2015.

MEDEIROS, G.A.; TRESMONDI, A.C.C.L.; QUEIROZ, B.P.V.; FENGLER, F.H.; ROSA, A.H.; FIALHO, J.M.; LOPES, R.S.; NEGRO, C.V.; SANTOS, L.F.; RIBEIRO, A.I. Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. **Energy: Ecology and Environment**, v.2, n.4, p.259-76, 2017.

MENEZES, J.P.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIAS, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.3, p.519-534, 2016.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C.; HUBELE, N.F. Estatística Aplicada à Engenharia, 2a. ed., LTC: Rio de Janeiro. 2004, 354p.

MULTSCH, S.; KROL, M.S.; PAHLOW, M.; ASSUNÇÃO, A.L.C.; BARRETTO, A.G.O.P.; LIER, Q.J.V.; BREUER, L. Assessment of potential implications of agricultural irrigation policy on surface water scarcity in Brazil. **Hidrology Earth System Sciences**, 24, p.307–324, 2020.

OLIVEIRA FILHO, O.B.Q.; GALARZA TORO, M.A.; SILVA, W.C.M. Caracterização hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos barreiras e Pirabas da região metropolitana de Belém (RMB) e investigação de Possíveis misturas entre as águas. **Cadernos de Geociências**, v.14, n.1-2, p.8-23, 2018.

PEREIRA, B.W.F.; MACIEL, M.N.M.; OLIVEIRA, F.A.; ALVES, M.A.M.S.; RIBEIRO, A.M.; FERREIRA, B.M.; RIBEIRO, E.G.P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.2, p.472-485, 2016.

PIRATOBA, A.R.A.; RIBEIRO, H.M.C.; MORALES, G.P.; GONÇALVES, W.G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.12, n.3, p.435-456, 2017.

QUEIROZ, T.M.; MELO, M.T.; FERREIRA, F.S. Qualidade da água para irrigação na comunidade quilombola Vão Grande, município de Barra do Bugres/MT. **Revista Brasileira de Agricultura**, v.12, n.3, p.2613-2620, 2018.

SILVA, C.O. F.; GOUVEIA, D. Avaliação da qualidade ambiental de corpos hídricos urbanos utilizando análise multivariada. **Revista Interações**, v.20, n.3, p.947-958, 2019.

SIOLE, H. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, 24, 1951.

SOUZA C.A.; QUEIROZ T.M. Qualidade água na bacia hidrográfica do Rio das GARÇAS/MT para fins de irrigação. **Rev. Iberoamericana de Ciênc. Ambiental**, v.11, n.1, p.157-164, 2020.

SOUZA, R.O.R.M.; PANTOJA, A.V.; AMARAL, M.A.C.M.; NETO, J.A.P. Cenário da agricultura irrigada no estado do Pará. **Revista Irriga**, v.17, n.2, p.177-188, 2012.

VALENTE, M.V. *et. al.* Zoneamento agroecológico das terras do município de Castanhal, Estado do Pará. Belém, EMBRAPA. *In*: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, documento 119, 2001, 27 p.

VERONEZ, B.P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacia hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia Oriental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. 2011, 172p.

### **3. PROPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE RURAL, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL**

#### **RESUMO**

Nessa perspectiva a pesquisa propõe à implementação do Índice de Qualidade da Água para Irrigação (IQAI) a partir de uma fonte subterrânea, a fim de avaliar a qualidade da microbacia do Rio Apéu em área rural. Coletou-se 88 amostras de água de Set/2018 a Agost/2019 em área rural do município de Castanhal-PA. Para avaliar a qualidade da água utilizou-se a RAS e a CE com valor de referência correspondente a 0,7 dS m<sup>-1</sup>. As variáveis físico-químicas analisadas foram: pH, OD, STD, CE, SAL, e metais Al, Fe, Ba, K, Ca, Mg, Na, Zn. No mais, determinou-se o IQA para irrigação por meio de uma equação que relaciona o valor padronizado da variável analisada com o número de características avaliadas, onde o método proposto de IQAI permitiu classificar satisfatoriamente a qualidade da água para irrigação. Apesar de terem sido observadas águas de diferentes qualidades, a predominância foi de excelente qualidade.

Palavras-chave: Agricultura, RAS, Salinidade, Metais Pesados

**PROPOSAL GROUNDWATER QUALITY INDEX FOR IRRIGATION IN  
RURAL LAND, EASTERN AMAZON, BRAZIL**

**ABSTRACT**

In this perspective, the research proposes the implementation of the Water Quality Index for Irrigation (IWQI) from an underground source, in order to assess the quality of the Apéu River microbasin in rural areas. 88 water samples were collected from September 2018 to August 2019 in a rural area of the municipality of Castanhal-PA. To assess water quality, SAR and EC were used with a reference value corresponding to  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ . The physicochemical variables evaluated were: pH, DO, TDS, EC, SAL, and the metals Al, Fe, Ba, K, Ca, Mg, Na, Zn. Furthermore, the WQI for irrigation was determined through an equation that relates the standardized value of the variable analyzed with the number of characteristics assessed, where the proposed method of IWQI allowed to satisfactorily classify the quality of water for irrigation. Although waters of different qualities were observed, the predominance was of excellent quality.

Keywords: Agriculture, SAR, Salinity, Heavy Metals

### 3.1 Introdução

A importância em estudar a qualidade das águas subterrâneas para todos os biomas do Brasil, contribui em solucionar problemas que envolvam a alteração da qualidade por ações antrópicas, em condições a serem utilizadas na irrigação. Sendo assim, propor monitoramento de suas variáveis qualitativas, como por exemplo, a concentração de sal, torna-se uma ferramenta necessária ao planejamento e manejo do recurso hídrico para essa atividade de uso consuntivo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA [EMBRAPA], 2021).

A utilização da água na irrigação, é a prática de uso consuntivo que mais utiliza-se água no mundo (ANA, 2019). Em se tratando da região norte do Brasil, os problemas direcionados de ordem quantitativa são bem menores, no entanto, em termos qualitativos já se apresentam constantes problemas por ação antropogênica, visto que as bacias hidrográficas perpassam as áreas rurais e urbanas.

Para Singh *et al.* (2018), as águas de irrigação com alta qualidade produzem boas safras, visto que se correlacionam diretamente com o solo e o ecossistema vegetal. Diante desse contexto, se faz necessário avaliar as possíveis mudanças na composição da água (ABDEL MEGUID, 2019).

Segundo Ayers e Westcot (1985), a água utilizada na irrigação, mesmo que com baixos níveis de salinidade, pode acarretar um processo de salinização, caso não seja manejada corretamente. Bortolini *et al.* (2018), descrevem problemas de irrigação de água devido o perigo de salinidade, pois altas taxas de sais reduzem a disponibilidade de água, afetam o rendimento da colheita, a infiltração e a permeabilidade do solo com alto teor de sódio ou baixo cálcio reduzem a quantidade de água que entra no solo para alcançar a zona da raiz da planta.

Atualmente existem diretrizes internacionais de qualidade da água relacionadas com a agricultura irrigada, e, diversos países adotam as orientações proposta pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (AYERS; WESTCOST, 1999). Essas diretrizes da FAO, surgiram para subsidiar a gestão dos recursos hídricos e não definem valores máximos permitidos para cada um dos usos previstos (VALENTE-CAMPOS *et al.*, 2008).

No Brasil, para avaliar os parâmetros de qualidade da água subterrânea para agricultura irrigada, toma-se como referência as Resoluções do CONAMA 396/2008 que

dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e usos preponderantes na irrigação (BRASIL, 2008).

Nesse contexto, a ferramenta comumente utilizada para o controle qualitativo da água são os Índices de Qualidade das Águas-IQAs, que surgiram com o objetivo de apresentar um valor único para a qualidade de água por determinada fonte captada, onde traduz as concentrações dos parâmetros presentes em cada amostra. Essa ferramenta vem sendo muito utilizada pela National Sanitation Foundation - NSF, EUA (ABBASI; ABBASI, 2012).

Para Tripathi e Singal (2019), a avaliação da qualidade da água pode ser mais viável e econômica devido às reduções drásticas de tempo, esforço e custo necessários para monitorar amostras para um grande número de parâmetros. Para Noori *et al.* (2019), o tempo, o custo de coleta e a análise de água associados ao número de parâmetros são inerentes aos custos operacionais e de logística, contudo, reduzir a quantidade de parâmetros analisados é uma grande preocupação.

A aplicação de um índice para o bioma amazônico possibilita apresentar parâmetros regionais para avaliar a qualidade da água conforme características ambientais de acordo com as condições de cada local, pois, pela dimensão do país há uma diferenciação muito grande para cada corpo hídrico. Em certos recursos hídricos amazônicos, as águas superficiais e subterrâneas apresentam alta dureza, o que torna o tratamento difícil, deixando a água apropriada para consumo humano, dessedentação de animais, no entanto, menos favorável para a agricultura, como já ocorre no bioma cerrado (EMBRAPA, 2021). O IQA rural, considera uma classificação mais real, conforme a finalidade a qual a água se destina, pois a maioria dos índices propostos são destinados apenas para atividade de abastecimento público.

Sendo assim, este estudo tem como objetivo implementar um Índice de Qualidade da Água para Irrigação (IQAI) a partir de uma fonte subterrânea, em área rural da microbacia do Rio Apéu.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Área de estudo**

Este estudo foi desenvolvido em água de captação subterrânea da microbacia hidrográfica do Rio Apéu, especificamente na comunidade de Iracema (zona rural),

situada a 25 Km da sede do município de Castanhal-PA. Esta bacia hidrográfica localiza-se no nordeste do Estado do Pará, entre as coordenadas  $1^{\circ}13'10''$  e  $1^{\circ}29'37''$  de latitude Sul e  $48^{\circ}04'42''$  e  $47^{\circ}53'30''$  de longitude Oeste (IBGE, 2020).

De acordo com Souza (2010), a bacia do Rio Apéu ocupa uma área de aproximadamente 320 Km<sup>2</sup>, sendo 77% de sua área pertencendo ao município de Castanhal, 16% a Santa Izabel do Pará e 7% ao município de Inhangapi.

A área de estudo compreendem as coordenadas geográficas  $01^{\circ}07'19,4''$  S e  $48^{\circ}01'48,2''$  W;  $01^{\circ}06'04,3''$  S e  $48^{\circ}06'29,6''$  W, (Fig. 1)

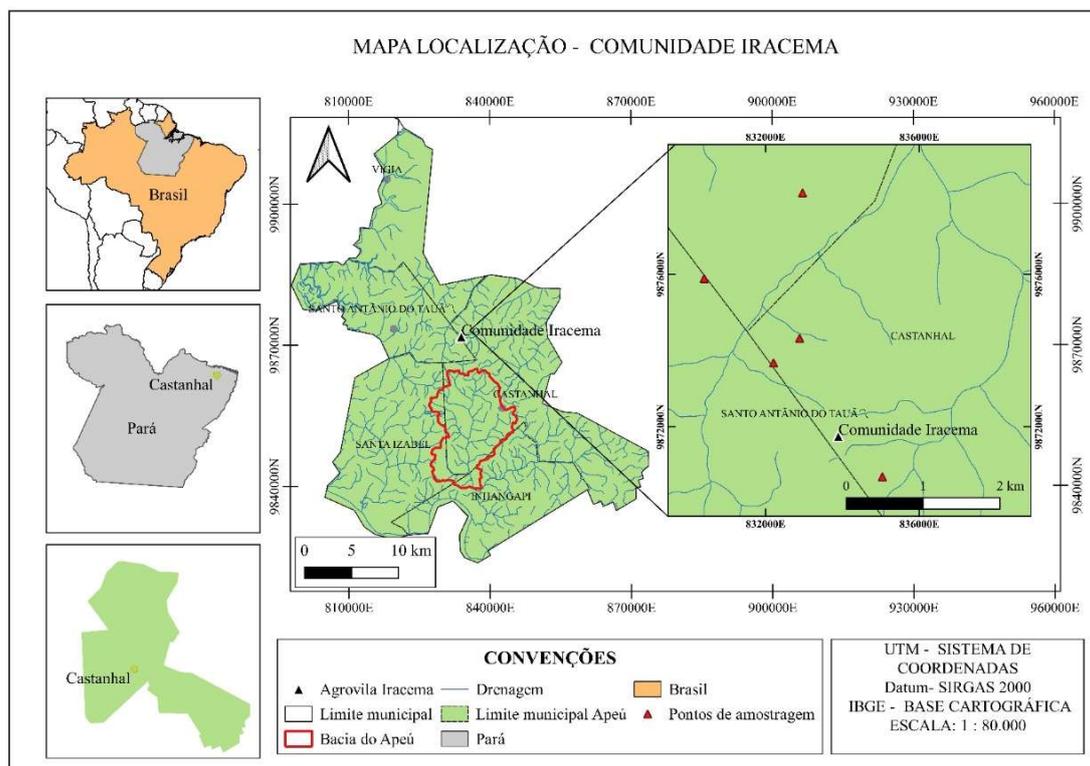


Figura 1 Localização da área de estudo e dos pontos de coleta. Fonte: Google Earth adaptado (2020)

### 3.2.2 Coleta e amostragem

O nordeste do estado do Pará é a mesorregião com o maior índice pluviométrico ao longo do ano, com precipitação pluviométrica média anual de 2000 a 2500mm (SILVA *et al.* 2020). De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima do tipo Af – Clima Tropical Úmido, com ocorrência de precipitação todos os meses do ano e sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2013). Possui dois períodos pluviométricos: um

mais chuvoso (dezembro a maio) e um menos chuvoso (junho a novembro) (CORDEIRO *et al.*, 2017).

Foram realizadas 11 campanhas de coleta das águas subterrâneas (poço), da microbacia do Rio Apeú em 8 pontos de amostragem. Foram 6 campanhas entre setembro a novembro/2018 e junho a agosto/2019 (período menos chuvoso) e 5 campanhas durante o período chuvoso de janeiro a maio/2019.

As coletadas foram em recipientes de polipropileno de 0,5 L lavados com 50% de HNO<sub>3</sub> e água duplamente desionizada, e acidificados com 5 mL de HNO<sub>3</sub>. As amostras coletadas foram transportadas em caixas de gelo até o laboratório para análise em até 24 horas após a coleta e mantidas em geladeira a 4°C até a análise (BRANDÃO *et al.*, 2011).

### 3.2.3 Determinação analítica das amostras

#### 3.2.3.1 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos considerados nesta pesquisa foram: pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Salinidade (Sal), Condutividade Elétrica (CE), Sódio (Na<sup>+</sup>), Potássio (K<sup>+</sup>), Cálcio (Ca<sup>+2</sup>), Magnésio (Mg<sup>+2</sup>), Ferro total (Fe), Alumínio (Al), Bário (Ba), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).

Para determinação dos parâmetros físico-químicos tais como: pH, OD, CE, STD e Sal., utilizou-se o equipamento multiparâmetro da marca Bante 900p Instruments, com solução de calibração automática e aferidos *in situ*, conforme metodologia descrita pela American Public Health Association - APHA (2012).

#### 3.2.3.2 Determinação de metais em águas subterrâneas

As análises de determinações de elementos traços foram realizadas em laboratório do Instituto Evandro Chagas, sendo as amostras filtradas usando filtro Whatman 42 (tamanho de poro 2,5 µm) e acidificadas com NHO<sub>3</sub> a um pH < 2. As leituras dos metais foram em replicatas para avaliar a incerteza da análise, através da técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 5300), e o controle das condições operacionais do ICP OES foi realizado com o software ICPExpert Vista, determinados conforme Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (APHA 2012).

### 3.2.3.3 Tratamento e interpretação dos dados

Os dados utilizados para a pesquisa foram de fonte de captação de água subterrânea (profundidade do poço aproximadamente 30 m) em ambiente rural, levando em consideração o grau de salinidade. Em destaque concentrações de sais dissolvidos, condutividade elétrica e a razão de adsorção de sódio. Contudo, utilizou-se a estatística descritiva para propor a elaboração de um índice de classificação, utilizando os parâmetros qualitativos da água, incluindo os físico-químicos e metais pesados.

### 3.2.3.4 Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

De acordo com Queiroz (2018), a determinação da razão de adsorção de sódio está expressa na equação (1):

$$RAS = \frac{Na}{\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)^{0,5}}$$

Onde: RAS indica a razão de adsorção de sódio, em que o Na, Ca e Mg são concentrações de sódio, cálcio e magnésio contidos na água de irrigação, em mg L<sup>-1</sup>.

Sendo assim, Ayres e Westcott (1994), propuseram uma classificação em função da Razão de Adsorção de Sódio, onde: baixa sodicidade, S1 (RAS < 10); médio sodicidade, S2 (RAS 10–18); alto sodicidade, S3 (RAS 18–26); e muito alta sodicidade, S4 (RAS > 26).

### 3.2.3.5 Determinação do índice de qualidade de água subterrânea para irrigação (IQAI)

Com base na estatística descritiva o cálculo do desvio padrão de cada parâmetro analisado em relação ao valor de referência, considerando a equação de distribuição normal dos dados, foram padronizados conforme equação (2):

$$Zi = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (2)$$

Em que:

$Z_i$  = valor padronizado da característica analisada;

$x$  = valor da característica avaliada na fonte da água (valor médio observado na análise laboratorial para cada parâmetro);

$\bar{x}$  = valor médio da característica avaliada na população de referência (Limite estabelecido pela classe de referência padrão);

$\sigma$  = desvio padrão da característica avaliada na população de referência.

Conforme trabalho realizado por Maia e Rodrigues (2012), a proposta de classificação levou-se em consideração calcular o índice de qualidade da água de cada característica avaliada da amostra ( $IQ_i$ ), ou seja, para os parâmetros analisados, bem como, para as amostras como um todo, ao qual denominou-se índice de qualidade da água para irrigação (IQAI).

O  $IQ_i$  e o IQAI foram calculados com base nas equações (3) e (4) respectivamente:

$$IQ_i = \sqrt{Z_i^2} \quad (3) \quad IQAI = \frac{\sum_{i=1}^n IQ_i}{N} \quad (4)$$

Assim:

$IQ_i$  = índice de qualidade da água para o parâmetro avaliado

IQAI = índice de qualidade da água para irrigação

$Z_i$  = valor padronizado da característica avaliada

$N$  = número de características avaliadas.

Destaca-se que para a equação (3) que determina o  $IQ_i$ , este também corresponde ao módulo do valor padronizado da característica analisada ( $Z_i$ ), em que corresponde o erro padronizado (em quanto o valor determinado se distancia em função da média). Conforme a determinação dos parâmetros qualitativos da água, utilizou-se os índices em dois períodos do ano considerados com maior intensidade de chuva e outro em menor índice pluviométrico. O IQAI é um número adimensional que varia entre 0 a 100, correspondendo a função de sua importância.

A determinação dos valores de classe de água proposta para este estudo, levou em consideração os valores interquartílicos, com probabilidade de 95% dos valores da referida área. Na classificação proposta para classe I, no intervalo -30 a 30 estes não apresentam nenhuma restrição de uso da água no que concerne a salinidade, e aos demais parâmetros investigados.

Como base na metodologia de Maia e Rodrigues (2012), utilizou-se a amplitude interquartil para dividir o conjunto de dados em grupos formando: o primeiro quartil (25% dos resultados das variáveis) que correspondem ao intervalo de valores de Qi menores de que 30; o segundo quartil (50% dos resultados das variáveis) o intervalo de valores de Qi entre 31 – 60, e o terceiro quartil (75% dos resultados das variáveis) com intervalo de valores de Qi entre 61 – 90. Segue Tabela 1 com classificação proposta:

Tabela 1. Proposta de classificação do índice de qualidade da água avaliada para atividade de irrigação (IQAI). Pará, UFRA, 2021

CLASSES	CONDIÇÕES
I (Excelente)	$IQAI \leq 30$
II (Boa)	$31 < IQAI \leq 60$
III (Regular)	$61 < IQAI \leq 90$
IV (Indesejável)	$IQAI > 91$

### 3.3 Resultados e discussão

Os resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos, teores de metais, valor médio e desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água estão resumidos na Tabela 2 e 3.

Tabela 2. Médias e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos de água subterrânea durante o período chuvoso e desvio padrão.

Unidade	Parâmetros																
	pH	CE	OD	STD	SAL	Al	Fe	Ba	Zn	Cu	Cr	Mn	K	Mg	Ca	Na	RAS
	-	dS m <sup>-1</sup>	----- mg L <sup>-1</sup> -----														
<b>Coleta 1 (Setembro/2018)</b>																	
Média	4,89	0,35	5,20	210,03	0,17	0,69	0,23	0,03	0,19	0,01	0,02	0,04	4,65	2,49	8,34	12,56	5,40
DP	0,28	0,17	0,50	69,95	0,10	0,43	0,20	0,004	0,03	0,002	0,01	0,01	2,76	0,73	1,18	1,70	0,44
<b>Coleta 2 (Outubro/2018)</b>																	
Média	4,81	0,33	4,90	225,00	0,14	5,25	0,16	0,03	0,19	0,01	0,05	0,08	2,43	1,94	7,36	10,80	4,96
DP	0,48	0,15	0,66	220,95	0,10	0,59	1,16	0,004	0,03	0,001	0,02	0,01	1,92	0,79	1,18	1,84	0,45
<b>Coleta 3 (Novembro/2018)</b>																	
Média	5,39	0,61	5,48	382,29	0,31	3,33	0,27	0,03	0,16	0,01	0,02	0,05	1,96	1,73	6,21	10,31	5,20
DP	0,42	0,31	1,01	130,96	0,15	0,45	0,26	0,003	0,01	0,003	0,003	0,006	1,18	0,69	1,14	1,69	0,63
<b>Coleta 9 (Junho/2019)</b>																	
Média	4,78	0,43	5,27	383,00	0,24	8,96	0,38	0,03	0,27	0,01	0,04	0,07	2,49	2,19	8,59	13,19	5,69
DP	0,11	0,27	0,61	130,81	0,14	1,30	0,18	0,003	0,07	0,001	0,08	0,01	1,20	0,69	2,00	2,66	0,7
<b>Coleta 10 (Julho/2019)</b>																	
Média	4,56	0,48	5,11	280,14	0,16	10,19	0,32	0,03	0,27	0,01	0,02	0,07	3,08	2,35	7,90	12,01	5,28
DP	0,39	0,27	0,35	148,60	0,17	2,55	0,18	0,01	0,07	0,001	0,01	0,01	1,63	1,14	1,84	3,47	0,79
<b>Coleta 11 (Agosto/2019)</b>																	
Média	4,66	0,04	4,31	261,00	0,02	7,35	0,26	0,03	0,19	0,01	0,02	0,06	2,06	1,89	7,33	11,11	5,16
DP	0,66	0,02	0,54	171,96	0,02	1,41	0,20	0,003	0,03	0,001	0,001	0,01	1,15	0,53	1,10	2,04	0,50

Legenda: DP: Desvio Padrão

Tabela 3. Médias e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos de água subterrânea durante o período menos chuvoso e desvio padrão.

Unidade	Parâmetros																
	pH	CE	OD	STD	SAL	Al	Fe	Ba	Zn	Cu	Cr	Mn	K	Mg	Ca	Na	RAS
	-	dS m <sup>-1</sup>	----- mg L <sup>-1</sup> -----														
<b>Coleta 4 (Janeiro/2019)</b>																	
Média	4,49	0,04	4,86	21,05	0,03	7,78	0,39	0,04	0,19	0,01	0,03	0,09	2,25	2,25	8,18	14,68	6,41
DP	0,44	0,02	0,42	11,45	0,01	4,09	0,29	0,005	0,02	0,001	0,01	0,01	1,19	0,54	0,99	2,82	0,90
<b>Coleta 5 (Fevereiro/2019)</b>																	
Média	4,43	0,05	5,65	26,01	0,03	5,35	0,22	0,08	0,17	0,01	0,03	0,08	2,42	2,08	7,82	13,55	6,10
DP	0,74	0,03	0,35	14,33	0,01	0,36	0,15	0,13	0,01	0,00	0,01	0,01	1,02	0,54	1,18	1,44	0,22
<b>Coleta 6 (Março/2019)</b>																	
Média	5,57	0,42	4,80	306,96	0,19	6,44	0,27	0,03	0,19	0,02	0,03	0,08	5,06	2,25	7,65	13,73	6,20
DP	0,12	0,16	0,98	163,90	0,11	0,60	0,20	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	5,94	0,84	1,22	1,48	0,43
<b>Coleta 7 (Abril/2019)</b>																	
Média	4,89	0,05	5,14	22,43	0,09	7,55	0,27	0,04	0,18	0,01	0,02	0,08	2,40	2,22	8,11	14,50	6,39
DP	0,72	0,02	0,52	11,52	0,12	1,00	0,21	0,004	0,03	0,001	0,01	0,01	0,79	0,48	0,74	1,67	0,69
<b>Coleta 8 (Maio/2019)</b>																	
Média	5,47	0,31	4,96	382,93	0,30	9,03	0,32	0,03	0,20	0,01	0,01	0,07	2,20	2,05	7,94	12,62	5,64
DP	0,13	0,24	0,49	216,72	0,22	2,16	0,16	0,003	0,03	0,001	0,01	0,01	0,77	0,56	1,22	2,09	0,59

Legenda: DP: Desvio Padrão

### 3.3.1 Parâmetros físico-químicos

A análise de água subterrânea da área de estudo revelou que no período menos chuvoso o valor médio de pH foi de 4,43, enquanto no período mais chuvoso o valor foi de 4,37. Esses resultados estão abaixo do que estabelece a FAO para o uso na irrigação, que devem ser alcalinas e compreendida entre os valores 6,5 – 8,4 (AYERS; WESTCOT, 1985). Os valores de pH baixo das águas amazônicas refletem as características comuns da decomposição da matéria orgânica, associada a outros fatores climáticos e geológicos/mineralógico, que provocam a diminuição do pH nas águas (MATTA, 2010).

A concentração de OD observado tanto no período chuvoso (5,48 mg L<sup>-1</sup>), e no período de estiagem (5,65 mg L<sup>-1</sup>), estão de acordo ao que estabelece a legislação vigente que apresenta o valor máximo permitido (VMP), apenas para abastecimento, não podendo ser inferior a 5 mg L<sup>-1</sup> (CONAMA 357/2005), e não possui VMP para uso na irrigação. No entanto, segundo WHO (2012), níveis elevados de OD podem agravar a corrosão de tubos e metais, e assim danificar o sistema de captação de água subterrânea e de irrigação.

A CE é um parâmetro diretamente relacionado com a Sal, STD e a temperatura, pois quanto maior a concentração dos íons na amostra, tanto maior será a capacidade de conduzir corrente elétrica (CETESB, 2016). Os valores médios de CE mensurados na água subterrânea estiveram entre 0,61 dS m<sup>-1</sup> e 0,42 dS m<sup>-1</sup> nos períodos de seca e de chuva, respectivamente. Segundo Ayers e Westcot (1994), águas para irrigação devem possuir teor de até 3,0 dS m<sup>-1</sup> podendo ser utilizadas sem nenhum grau de restrição quanto a salinidade.

Para Parron *et al.* (2011), a CE é a variável mais empregada para avaliar a qualidade da água de irrigação quanto à salinidade. Diante disso, diversos estudos foram apontados para classificar a água com a finalidade de medir a concentração de sais em função da CE. Assim, Rhoades *et al.* (2000), para identificar os níveis de salinidade da água para fins de irrigação propôs: água não salina – Classe 1 (CE < 0,7 dS m<sup>-1</sup>); ligeiramente salina – Classe 2 (CE entre 0,7–2,0 dS m<sup>-1</sup>); moderadamente salina – Classe 3 (CE entre 2,0–10 dS m<sup>-1</sup>), altamente salina – Classe 4 (CE entre 10-25 dS m<sup>-1</sup>) e excessivamente salina – Classe 5 (CE entre 25-45 dS m<sup>-1</sup>).

Contudo, pode-se afirmar que a água captada para irrigação na área de estudo, possui baixa concentração de sais dissolvidos (salinidade) para ambos os período amostrais, classificado como C1, e que não apresenta restrição para o uso da água na irrigação.

O maior valor médio de STD encontrado em ambos os períodos amostrais foi aproximadamente de 383 mg L<sup>-1</sup>. O limite aceitável de uso da água para atividade de irrigação conforme a FAO é de até 2000 mg L<sup>-1</sup>. No Município de Salinópolis, região Nordeste do Estado do Pará, Silva *et al.* (2018), encontraram concentrações de até 120 mg L<sup>-1</sup> valores próximos aos dados do presente estudo.

Uma elevada salinidade da água de irrigação ou do solo pode provocar problemas de fitotoxicidade e redução da absorção de alguns nutrientes. O maior teor médio de Sal encontrado na pesquisa foi de 0,30 mg L<sup>-1</sup> (período de chuva e estiagem). Este parâmetro não possui um VMP estabelecido pela FAO e pela Resolução do CONAMA nº 396/2008. A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois apresentam atividade osmótica retendo a água (AYRES; WESTCOT, 1999). A salinidade elevada causa a lise (quebra da membrana) da célula vegetal e, por fim, a morte das células (SRIVASTAVA, 2019).

### 3.3.2 Razão de Adsorção de Sódio

Para Kiremit e Arslan (2016), a RAS é a concentração relativa de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Na<sup>+</sup> indicando o efeito das concentrações de dois cátions sobre acúmulo de sódio no solo. Assim, alto teor de Na<sup>+</sup> ou baixo teor de Ca<sup>+2</sup> reduzem a quantidade de água na zona radicular.

Os resultados apresentados na tabela 2 e 3, mostraram valores de RAS < 10, podendo ser classificado como baixa relação entre Ca/Mg, ou seja, com baixa sodicidade, classificando-o como S1 em que não há restrição deste uso da água para atividade de irrigação.

### 3.3.3 Teores de Metais

O teor de Fe encontrado nas águas coletadas no período sazonal apresentou a maior média de 0,39 mg L<sup>-1</sup>, e para o Al no período chuvoso teve uma concentração média de até 10 mg L<sup>-1</sup> e no período menos chuvoso de 9,0 mg L<sup>-1</sup>. Destaca-se que os teores de Fe e Al em águas de captação subterrânea potencialmente utilizáveis para fins de irrigação apresentam nível de referência de até 5,0 mg L<sup>-1</sup>, conforme estabelecido pela FAO (AYRES; WESTCOT, 1999) e pela Resolução do CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008).

O ferro é um elemento comum nas águas subterrâneas, sua origem é através da lixiviação dos solos, contaminantes industriais e ao contato da água com tubulações metálicas. Em ambientes oxidantes o  $\text{Fe}^{+2}$  passa a  $\text{Fe}^{+3}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, alterando fortemente a coloração da água (PARRON *et al.* 2011). É possível que a água subterrânea, após o bombeamento através do poço, seja oxidada junto com o  $\text{O}_2$  disponível na atmosfera e precipitada como hidróxido férrico (APPELO; POSTMA, 2005).

O Al é o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no solo, na água e no ar, sendo redistribuído ou movido, através de atividades naturais ou humanas. As concentrações deste elemento variam bastante nas águas subterrâneas, dependendo diretamente de fatores geológicos e físico-químicos (PARRON *et al.*, 2011).

Conforme Rodrigues (2016), os elementos Fe e Al presentes no estudo mesmo quando o nível da água dos poços estavam baixos, retratam facilmente a relação da formação regional de sistema aquífero Barreiras, que apresentam contribuição mineralógicas de argilo-minerais, silicatos, entre outros.

O bário é um elemento que ocorre em pequenas concentrações nas águas naturais sob a forma de barita ( $\text{BaSO}_4$ ), liberado para as águas subterrâneas através da solubilização deste mineral. As principais fontes naturais são o intemperismo, erosão de depósitos naturais. E nas atividades antropogênicas o bário é introduzido no meio ambiente, através de perfuração de poços e defensivos agrícolas (PARRON *et al.*, 2011). O nível de tolerância de Ba na água para consumo segundo WHO (2012), é de  $0,7 \text{ mg L}^{-1}$  e não apresenta VMP para uso na irrigação.

Neste estudo o maior teor médio de Ba encontrado no período chuvoso foi de aproximadamente  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  e no período menos chuvoso foi de  $0,08 \text{ mg L}^{-1}$  bem abaixo do que estabelece o padrão de consumo acima citado. Segundo Abreu *et al.* (2012), apontaram a ausência de efeitos tóxicos em plantas cultivadas em solos contaminados por bário. No entanto, Melo *et al.* (2011), afirmaram que o Ba interfere negativamente no crescimento de plantas e na absorção de nutrientes como Ca, Mg, K e S.

O cromo ocorre em pequenas concentrações nas águas naturais e encontra-se amplamente distribuído no ambiente. O Cr (VI) é altamente móvel e possui elevada toxicidade. A presença de cromo em águas subterrâneas está associada à contaminação de origem antrópica, porém, o cromo também pode ser gerado através de processos

naturais, estando associado aos minerais da rocha matriz do aquífero (FREDDO FILHO, 2018).

A concentração de Cr em água subterrânea a ser preponderadamente utilizada no sistema de irrigação tanto para Resolução CONAMA 396/2008 quanto para FAO são de  $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ . Nas águas da região em estudo, os valores médios de Cr variaram de  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$  no período chuvoso, e de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  no período menos chuvoso, percebendo que estes encontram-se bem abaixo do valor estabelecido pelas recomendações citadas.

O cobre ocorre em águas naturais em pequenas concentrações sob a forma de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), podendo ser liberado para as águas subterrâneas através da solubilização destes minerais, que é diretamente influenciada pelo pH da água, sendo que a respectiva acidez vai determinar uma maior ou menor solubilização/precipitação deste metal (FREDDO FILHO, 2018).

As recomendações da FAO e a Resolução CONAMA 396/2008 estabelecem que o nível de Cu aceitável em águas subterrâneas para fins de irrigação é de  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ . O teor médio de Cu das águas coletadas durante os dois períodos sazonais foram de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ , valor este bem abaixo em relação ao nível aceitável a ser utilizado no sistema de irrigação.

A presença de manganês na água potável é similar ao ferro, ocorre quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida na presença do ar, dando origem a precipitados negros, podendo levar ao acúmulo de depósito no sistema de distribuição da água captada (WHO, 2012).

O maior teor médio de Mn no período chuvoso foi  $0,08 \text{ mg L}^{-1}$ , enquanto que no período menos chuvoso foi de  $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ , podendo ser considerado aceitável se comparados a FAO (AYRES; WESTCOT, 1999) e a Resolução do CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008) em que o limite aceitável de uso da água a ser usada na irrigação é de aproximadamente  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ .

O zinco é um elemento facilmente solúvel, em condições ácidas e oxidantes sua mobilidade é mais elevada, enquanto que em condições redutores e alcalinos sua mobilidade é muito baixa. Este elemento pode estar presente na água através da lixiviação de rochas, da corrosão de canalizações de ferro galvanizado, além da contaminação por efluentes industriais (PARRON *et al.*, 2011). A presença de zinco na água em níveis elevados confere sabor adstringente indesejáveis (WHO, 2012).

Neste estudo, a concentração média de Zn variou de 0,16 mg L<sup>-1</sup> a 0,27 mg L<sup>-1</sup> no período chuvoso, enquanto que no período seco a variação ocorreu de 0,17 mg L<sup>-1</sup> a 0,20 mg L<sup>-1</sup>. O VMP de Zn em águas subterrâneas a ser utilizada na irrigação é de 2,0 mg L<sup>-1</sup> conforme estabelece a Resolução do CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008) e a FAO (AYRES, WESTCOST, 1994).

O potássio ocorre em pequenas quantidades em águas subterrâneas, devido a sua participação intensa em processos de troca iônica. É facilmente absorvido pelos minerais de argila, e também ocorre a partir do escoamento agrícola. Os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg L<sup>-1</sup>, sendo mais frequentes valores encontrados entre 1,0 e 5,0 mg L<sup>-1</sup> (PARRON *et al.*, 2011).

Em se tratando do Potássio, valores médios encontrados nas águas subterrâneas nesse estudo, corresponderam a 4,65 mg L<sup>-1</sup> no período chuvoso e 5,06 mg L<sup>-1</sup> no período menos chuvoso. Trata-se de valores bem inferiores ao limite recomendado pela FAO de 78 mg L<sup>-1</sup> para uso na irrigação (AYRES; WESTCOST, 1994).

### 3.3.4 Elaboração de IQAI

No estudo da concentração dos parâmetros físico-químicos e teores de metais em águas subterrâneas os resultados dos parâmetros avaliados apresentaram pouca influência conforme variabilidade temporal, por ser tratar de captação de água subterrânea. Sendo assim, o índice proposto é o início para tomada de decisão e planejamento, uma vez que a utilização desse recurso hídrico é utilizada por diversos usuários (consumo humano, irrigação, entre outros).

A proposta deste estudo apresentou as classes para água subterrânea definidas a seguir:

$IQAI \leq 30$  (classe I) indica sem restrição (SR) para o uso, ao qual a água apresenta excelente qualidade; O intervalo apresentado entre  $31 < IQAI \leq 60$  (classe II) classifica a água em boa, com baixa restrição (BR); o intervalo de valores entre  $61 < IQAI \leq 90$  (classe III) em que classifica a água em regular, com média restrição de uso (MR); os valores de  $IQAI \geq 91$  (Classe IV) classifica a água em indesejável, com alta restrição (AR) para o uso.

As recomendações para as classes de água, conforme restrição para uso, foram sugeridas de acordo com Meireles (2010), sendo elas:

SR: pode ser usado para maioria do solo com baixa probabilidade de causar salinidade e problemas de sodicidade; na planta pode ser usada sem risco de toxicidade e de contaminação por *Escherichia coli*.

BR: recomendados para uso em solos irrigados com textura leve ou moderada permeabilidade; evitar em plantas sensíveis à salinidade, assim como, em hortaliças consumidas cruas, de frutas que se desenvolvem rente ao solo e que sejam ingeridas cruas.

MR: pode ser usado em solos com valores de moderados a altos de permeabilidade, com moderada lixiviação de sais; em plantas com tolerância moderada a sais podem ser cultivadas, imprópria para hortaliças consumidas cruas, de frutas que se desenvolvem rente ao solo e ingeridas cruas sem remoção de película, assim como, para hortaliças em geral e plantas frutíferas.

AR: podem ser usados em solos com alta permeabilidade, sem camadas compactas, no entanto, deve-se adotar um cronograma de irrigação para CE acima de 2000 mg L<sup>-1</sup> e RAS acima de 7,0. A irrigação em plantas pode ser usada de moderada a alta tolerância de sais. Não recomenda-se a irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas, plantas frutíferas, culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.

Os valores adaptados de diretrizes de qualidade de água para irrigação estão descritos na Tabela 4. A divisão do IAQI em classes, levando em consideração o risco de problemas de salinidade e a avaliação dos parâmetros quanto ao risco de contaminação da água estão evidenciados na Tabela 5.

Diante disso, foi possível comparar as classes propostas e constatar que as águas de modo geral na área em estudo não apresentam restrições para fins de irrigação (SR), durante o período de estudo.

Tabela 4. Valores dos índices de qualidade da água para as características químicas (IQi)

EPOCA	CLASSIFICAÇÃO (IQi)												
	pH	STD	CE	Ca	Cu	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	RAS
Set/18	2,8	11,2	10,6	289,3	34,6	2,7	11,4	31,2	82,7	9,0	249,6	35,4	12,2
Out/18	3,1	11,4	10,8	289,6	35,0	1,8	9,7	32,1	82,9	6,8	250,1	35,3	12,7
Nov/18	1,9	10,8	9,5	290,9	35,2	3,0	11,3	32,4	83,8	8,7	250,5	36,1	12,4
Jan/19	3,5	12,3	11,8	289,4	35,4	2,4	11,0	32,3	83,1	6,3	248,7	35,5	10,9
Fev/19	3,6	12,3	11,8	289,7	35,4	2,4	11,4	32,2	83,3	6,7	249,2	35,9	11,3
Mar/19	1,6	11,1	10,3	289,8	34,0	2,4	11,3	31,1	83,1	6,8	249,1	35,5	11,1
Abr/19	2,8	12,3	11,8	289,5	35,2	2,8	11,3	32,2	83,1	6,7	248,8	35,7	10,9
Mai/19	1,8	10,1	11,1	289,6	35,3	3,1	11,2	32,3	83,4	7,3	249,6	35,2	11,8
Jun/19	3,0	11,2	10,3	289,1	35,1	2,0	11,0	32,2	83,1	7,2	249,4	33,8	11,8
Jul/19	3,3	11,4	11,0	289,6	35,3	2,9	11,1	31,9	82,9	7,4	249,8	33,8	12,3
Ago/19	3,2	12,3	11,8	290,0	35,3	2,8	11,3	32,3	83,6	7,6	250,2	35,5	12,5

Tabela 5. Valores dos Índices de Qualidade da água para Irrigação (IQAI), conforme classificação para água subterrânea (poço) com  $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$ .

EPOCA	CLASSIFICAÇÃO (IQAI)													IQAI (Geral)
	pH	STD	CE	Ca	Cu	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	SAR	
Set18	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Out/18	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Nov/18	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Jan/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Fev/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Mai/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Abr/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Mai/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Jun/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Jul/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I
Ago/19	I	I	I	IV	II	I	I	II	III	I	IV	II	I	I

Na tabela 4, encontra-se os resultados de IQi, e na tabela 5 as classificações das amostras de água subterrânea (poço). Observou-se que para IQAI 6 variáveis foram classificadas com índice I, 3 variáveis com índice II, apenas uma variável com índice III

e duas variáveis com índice IV, contudo, ocorreu o predomínio de excelente qualidade da água (classe I). Diante disso, permite-se concluir que para a mesma fonte de água (poço), existem diferentes qualidades, conforme parâmetros apresentados e que mesmo assim deve-se existir um planejamento para auxiliar no melhor uso dessas águas.

Mesmo que a maioria das amostras sejam de excelente qualidade, ainda apresentam isoladamente águas em classes indesejáveis, que ainda sim, podem ser utilizadas no sistema de irrigação, tanto de forma isolada, misturada ou alternada. Para Oliveira e Maia (1998), em casos assim o uso da água salobra fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade, bem como, ao manejo de irrigação.

Considerando as amostras analisadas em que ocorreu um certo grau de restrição para os elementos Ca e Mg (índice IV), com valores respectivamente de 290 e 250 para o IQi. No entanto, se comparar os valores médios analisados para esses parâmetros descritos nas Tabelas 2 e 3 aos valores de referência desses elementos  $\text{Ca}^{+2}$  ( $400 \text{ mg L}^{-1}$ ) e do  $\text{Na}^+$  ( $620 \text{ mg L}^{-1}$ ), ainda encontram-se dentro do limite estabelecido pela FAO (AYERS; WESTCOT, 1991).

Para amostras de água de poço, a RAS apresentou IQi igual a I. Essa característica possui relevância, pois funciona como indicadora do perigo de sodicidade na água. O valor da RAS é bem mais relevante quando a proporção  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  é menor que a unidade, pois quanto mais baixa for essa proporção, maior será o perigo de sodicidade. Oliveira e Maia (1998), citam que a relação de adsorção de sódio, assume papel importante, pois a combinação CE e RAS servem para avaliar os perigos que a água oferece em termos de indicação de salinidade e aumento dos teores de sódio na solução do solo, e, conseqüentemente, problemas de infiltração.

Águas com alto teor de Na podem ser utilizadas com restrição ao uso na irrigação localizada, pois pode apresentar risco de precipitação de carbonato. Segundo Ayers e Westcot (1994), para algumas culturas, solos com alto teor de Mg apresentam baixa produtividade, ou também quando são irrigadas com águas que apresentam altos níveis desse elemento. Em estudo realizado por Maia (1998), afirma que isso ocorre devido a deficiência de  $\text{Ca}^{+2}$  induzida pelo excesso do  $\text{Mg}^{+2}$  trocável no solo.

Todavia Boas *et al.* (1994), evidenciaram águas com níveis de danos altos de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  aumentando a precipitação de fósforo adicionado a água de irrigação, visto que cálcio e o magnésio são parâmetros indicadores de dureza nas águas. No entanto, águas com baixa CE ( $<0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) são satisfatórias em águas com concentração de cálcio

suficiente, pois baixos teores de cálcio aumentam o problema de infiltração em alguns solos.

A figura 2 a seguir mostra o índice IV, na amostras de Ca e Na respectivamente e índice III para Mg, classes divergentes da maioria dos parâmetros que apresentaram entre o índice I e II.

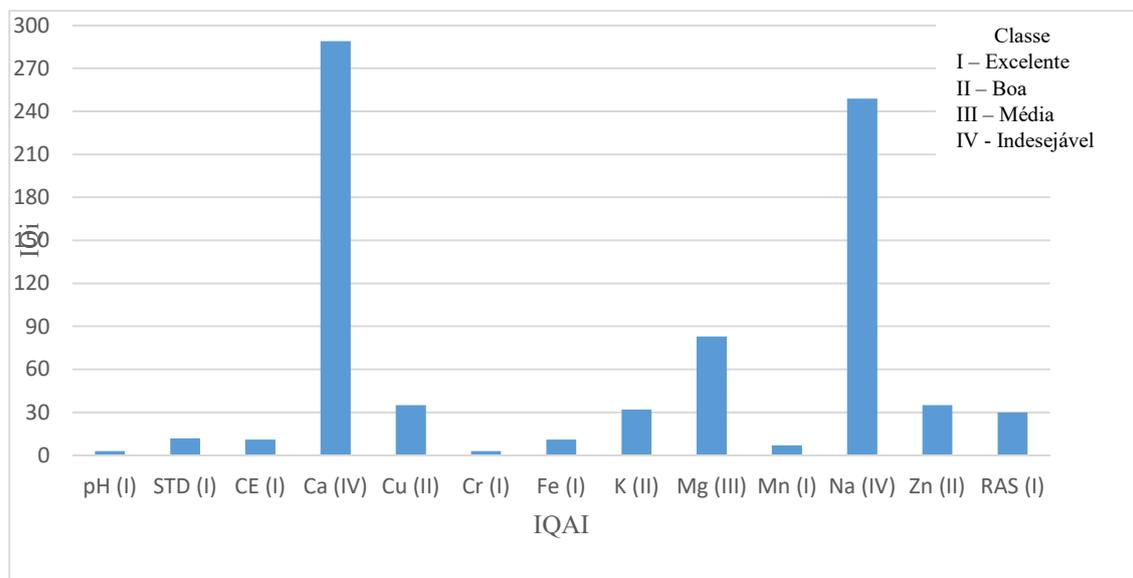


Figura 2. Classificação dos índices com base nas características químicas (IQi) e para a água de irrigação (IQAI).

Conforme Mendlinger e Pasternak (1992), o teor de sódio na água é um fator limitante para utilização na agricultura. Um solo saturado pôr Na, devido à valência e ao raio hidratado deste elemento, sofre dispersão, dificultando a infiltração da água no solo, afetando a absorção de nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo.

Todavia, o Na em altas concentrações no solo inibe a absorção de outros elementos como Ca, Mg e K, sendo agravados por águas com baixas concentrações de Ca e Mg (MENDLINGER; PASTERNAK, 1992)

Contudo, o IQAI, demonstra eficiência em função de determinados parâmetros para algumas modalidades de irrigação, que possuem relevância muito maior, desta forma, identificar e determinar tratamentos específicos para cada qualidade da água a ser utilizados em sistemas de microirrigação, onde a suscetibilidade a problemas, principalmente de obstrução de emissões é grande (ZAMBERLAN *et al.*, 2013).

Para Lopes *et al.* (2008), as variações nos índices de qualidade da água podem possuir diferentes origens, estudando a mesma bacia hidrográfica do Rio Acaraú. Haase

e Possoli (1993) elaboraram um índice de qualidade de dois corpos hídricos, em que o IQA diferem, devido às ações antrópicas distintas.

Essa diferenciação na elaboração dos índices de qualidade da água só reforçam à importância de estudos localizados, visto que as águas podem sofrer influências geogênicas e antropogênicas distintas, e assim, o controle/monitoramento podem subsidiar e facilitar na gestão integrada desse recurso hídrico.

### **3.4 Conclusão**

A avaliação da qualidade da água subterrânea explorada, apresentou resultados em conformidade se contrapor com resultados estabelecidos pela Resolução do CONAMA 396/2008, e pela recomendação da FAO, permitindo concluir que a água encontra-se em boa qualidade. Ao que concerne na classificação da água em função do controle salino e da sodicidade, não há restrições de uso da água para a irrigação ao longo do ano. E para a classificação do IQAI, apesar de terem sido observados águas de diferentes qualidades, predominou-se águas de excelente qualidade, com índice I.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi apoiado pelo “Programa de Pós-Graduação em Agronomia – UFRA, pelo Campus da UFRA-Capanema e pelo Instituto Evandro Chagas. Agradecimentos especiais ao proprietário das áreas agrícolas (Fazendas Gomes) do município de Castanhal pela compartilhamento de dados.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Water quality indices. **Elsevier**, UK, v.1, n.3, p.34-38, 2012.
- ABDEL MEGUID, M. Key features of the Egypt's water and agricultural resources. In: Negm, A.M. (Ed.), *Conventional Water Resources and Agriculture in Egypt*. **Springer International Publishing AG**, Cham, Switzerland, p.39-99, 2019.
- ABREU, C.A., CANTONI, M.; COSCIONE, A.R.; PAZ-FERREIRO, J. Organic matter and barium absorption by plant species grown in an area polluted with scrap metal residue. **Applied and Environmental Soil Science**, p.1-7, 2012.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, Informe 2019, Brasília, 2019, 88p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Ed. Washington DC.
- APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. *Geochemistry, Groundwater, and Pollution*. 2nd ed. AA Balkema Publishers, Amsterdam, Netherland, p.1-634, 2005.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura, Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, UFPB, Campina Grande, p.153, 1999.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na Agricultura. Trad. de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, p.218, 1994.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev 1. FAO, UN, Rome, p.174, 1985.
- BOAS, R.L.V *et al.* Aspectos da fertirrigação. In: Vitti, G.C., Boaretto, A.E. Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafos. p.343, 1994.
- BORTOLINI, L.; MAUCIERI, C.; BORIN, M. A tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and Semi-Arid regions. **Agronomy**, v.8, n.2, p.23, 2018.
- BRANDÃO, C.J. *et al.* (Org.), 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, Brasília: ANA. 326p.
- BRASIL, 2008. Resolução CONAMA nº 396 de 03 de Abril de 2008. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: Diário oficial da União.

BRASIL, 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário oficial da União.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016). Qualidade das águas doces no Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade. Disponível em: <https://www.aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br>. Acesso: 02 Setembro 2021.

CORDEIRO, I.M.C.C.; RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; SCHWARTZ, G; OLIVEIRA, F.A. (Organizadores). Nordeste Paraense: Panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. Belém: EDUFRA, 2017, p.328.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2021. Brasília. Disponível em: <http://www.embrapa.br>. Acesso em: 01 junho 2021.

FREDDO FILHO, V.J. Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: Estudo de caso em Benevides-PA. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Pará, Belém/PA. 2018, p.113.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020. Base de informações municipais. Estado do Pará. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: 02 Setembro 2020.

HAASE, J.; POSSOLI, S. Estudo da utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade da água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes, RS. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.6, n.1, p.245-255, 1993.

KIREMIT, M.S.; ARSLAN, H. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity evapotranspiration and another leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. **Sci. Horticulturae**, v.201, p.211–217, 2016.

LOPES, F.B. *et al.* Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, n.3, p.392-402, 2008.

MAIA, C.E.; RODRIGUES, K.K.R.P. Proposal for an Index to Classify Irrigation Water Quality: A Case Study in Northeastern Brazil. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.36, p.823-830, 2012.

MAIA, C.E.; MORAIS, E.R.C. de; OLIVEIRA, M. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio – II. Região do Baixo Açu, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Mossoró-RN, v.11, n.1/2, p.47-52, 1998.

MATTA M.A.S.; SENA G.L.S.; CAVALCANTE I.N.; CRISTO L.C.F.; MARTINS J.A.C.; VASCONCELOS Y.B.; CARMONA K.M.; VANZIN M.M. As águas subterrâneas do município de Curuçá-PA: qualidade e uso alternativo para o abastecimento público. **In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (16ABAS)**. São Luís. Maranhão, 12, 2010.

MEIRELES, A.C.M., *et al.* Uma nova proposta de classificação da água para fins de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.349-357, 2010.

MELO, L.C.A.; ALLEONI, L.R.R.; CARVALHO, G.; AZEVEDO, R.A. Cadmium and barium toxicity effects on growth and antioxidant capacity of soybean (*Glycine max* L.) plants, grown in two soil types with different physicochemical properties. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.00, p.1-13, 2011.

MENDLINGER, S.; PASTERNAK, D. Screening for salt tolerance in melos. **HortScience**. v.27, p.905-907, 1992.

NOORI, R.; BERNDTSSON, R.; HOSSEINZADEH, M.; ADAMOWSKI, J.F.; ABYANEH, M.R. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. **Environ. Pollution**, v.244, p.575–587, 2019.

OLIVEIRA, M.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, v.2, p.17-21, 1998.

PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F.; PEREIRA, M.C. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Documentos n° 232, Embrapa Florestas, Colombo, 69, 2011.

QUEIROZ, T.M.; MELO, M.T.; FERREIRA, F.S. Qualidade da água para irrigação na comunidade quilombola Vão Grande, município de Barra do Bugres/MT. **Revista Brasileira de Agricultura**, v.12, n.3, p.2613-2620, 2018.

SILVA, E.R.M.; BARBOSA, I.C.C.; SILVA, H.J.F.; COSTA, L.G.S.; ROCHA, E.J.P. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.30, p.1094-1105, 2020.

SILVA, R.S.B.; SOUSA, A.M.L.; SODRÉ, S.S.V.; VITORINO, M.I. Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas na Área de Influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.2, 2018.

SINGH, S.; GHOSH, N.C.; GURJAR, S.; KRISHAN, G.; KUMAR, S.; BERWAL, P. Index-based assessment of suitability of water quality for irrigation purpose under Indian conditions. **Environmental Monitoring Assessment**, 190 (29), 2018.

SOUZA, S.R. Dinâmica da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA. 2010, 88 p.

SRIVASTAVA, S.K. Assessment of groundwater quality for the suitability of irrigation and its impacts on crop yields in the Guna district, India. **Agricultural Water Management**, v.216, n.2019, p.224–241, 2019.

ROADS, J.O.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Trad. de Gueyi, H.R., Sousa, J.R., Queiros, J.E. Campina Grande, UFPB, 2000, 117p.

RODRIGUES E.S.F. Caracterização hidroquímica dos aquíferos freáticos costeiros na cidade de Salinópolis-PA. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 2016, 75p.

TRIPATHI, M.; SINGAL, S.K. Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India. **Ecological Indicators**, v.96, p.430–436, 2019.

VALENTE-CAMPOS, S.; UMBUZEIRO, G.A., Nascimento, E.S. Subsídios e desafios para a definição de critérios de qualidade de água referente às substâncias químicas para água de irrigação, **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.3, n.1, p.71-75, 2008.

WHO, World Health Organization, 2012. Guidelines for Drinking Water Quality, 4th ed., Geneva.

ZAMBERLAN, J. F.; ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X.; FERRAZ, R.C.; PINTO, L.M. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise Multivariada na região central do rio grande do sul. **Revista Irriga**, v.18, n.3, p.376-386, 2013.

## **CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O instrumento deliberado pela Política Nacional de Recursos Hídricos e Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente, como o controle qualitativo da água visa sua utilização racional pelos usuários consuntivos e não consuntivos, a fim de evitar possíveis danos ambientais, visto que a atividade de irrigação é o usuário com maior consumo de água do mundo.

Na área em estudo, os parâmetros qualitativos das água de modo geral, tanto para água subterrânea quanto para água superficial, apresentam qualidades em conformidade com o que preconiza as legislações vigentes, fato observado devido a preservação da mata ciliar existente, pela distância da zona urbana, em que os efeitos das ações antropogênicas podem causar, advindo do desenvolvimento local.

A proposição do IQAI para águas subterrâneas permitiu classificar a qualidade da água, e que mesmo apresentando água de diferentes qualidades, predominaram classes de água com excelente qualidade, com índice I.

O presente estudo possibilitou elaborar um diagnóstico acerca da qualidade da água superficial e subterrânea em área rural da microbacia do rio Apéu, disponibilizando uma ferramentas de proteção/gestão das águas, com o uso racional e o controle/monitoramento do aquífero local, para que todos os usuários (irrigação, abastecimento público, recreação etc.), sejam satisfatoriamente atendidos.