



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS – PPGCN  
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS – MCN



**SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREAS COSTEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE GROSSOS-RN**

Mossoró-RN

2017

MÔNICA LIBÂNIA MENDONÇA FIRMINO

SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREAS COSTEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE GROSSOS-RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Mielle B. F. Oliveira

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suely S. L. de Castro

Mossoró-RN

2017

Ficha catalográfica gerada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas  
e Diretoria de Informatização (DINF) - UERN,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F525s      Firmino, Mônica Libânia Mendonça.  
             Salinização de águas subterrâneas em áreas costeiras: Um estudo de  
             caso no município de Grossos- RN / Mônica Libânia Mendonça Firmino -  
             2017.  
             71 p.

             Orientador: Thiago Mielle B. F. Oliveira.  
             Coorientadora: Suely S. L. de Castro.  
             Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio Grande do  
             Norte, Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais, 2017.

             1. Recursos Hídricos. 2. Salinização de Aquíferos Litorâneos. 3. Íons  
             Sódio. I. Oliveira, Thiago Mielle B. F. , orient. II. de Castro, Suely S. L. ,  
             co-orient. III. Título.

MÔNICA LIBÂNIA MENDONÇA FIRMINO

**SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREAS COSTEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE GROSSOS-RN**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

**Aprovada em:** \_\_\_\_/ \_\_\_\_/ \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Thiago Mielle Brito Ferreira Oliveira – Orientador  
(Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA)

---

Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio – Examinador Interno  
(Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jeane Cruz Portela – Examinadora Externa  
(Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA)

Aos meus pais, Vania Mendonça Firmino e Antônio de Souza Firmino, por toda dedicação, esforços, compreensão e amor dedicado. Dedico essa conquista.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, que apesar de todas as dores e dificuldades me deu força, coragem e determinação para trilhar essa nova fase de minha vida. Obrigada por mim dar bem mais do que mereço, sem o Senhor, eu nada seria.

Ao meu estimado orientador e amigo, Prof. Dr. Thiago Mielle B. F. Oliveira, pela oportunidade de aprender mais e incentivar o meu crescimento. Obrigada pelas críticas e debates, mas principalmente pelos momentos em que me fez avançar e evoluir.

À minha querida Coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suely S. L. de Castro, que tem servido de exemplo para mim, pela sua força, competência e profissionalismo.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, ao seu corpo docente pela competência no ensino e pesquisa.

Ao secretário Thiago Mendes, pelas prestimosas ajudas em momentos oportunos.

Aos Profs. Allan Nilson Dantas (IFRN – Santa Cruz/RN) e Adriano de Araújo Gomes (UNIFESSPA – Marabá/PA) pelo apoio no tratamento estatístico e interpretação dos resultados obtidos.

À FAPERN, por fomentar o projeto através da concessão de bolsa de mestrado.

Ao meu primo Samuel, pela paciência e alegria dos dias exaustivos de coleta.

Aos meus amigos e amigas que sempre me incentivaram nas minhas decisões e sempre me fortaleceram com o seu apoio.

A toda a equipe do Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA), pela sempre pronta colaboração e competência.

Aos meus amigos de Mestrado: Alex, Daniele, Rodrigo, Fernanda, Nicole, Lázaro, Leonardo, Mônica Danielle, Shaline, Thaís, Douglas e Wallas. Obrigada pelos momentos de alegria e de aflição vividos juntos.

A todos que durante esses dois anos me deram um sorriso, uma palavra de ânimo, fizeram uma oração a Deus por mim, me fizeram gargalhar ou até mesmo chorar, eu também agradeço, pois me fizeram viver e crescer.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou  
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou  
o que era antes.”*

*(Martin Luther King)*

## RESUMO

O município de Grossos, localizado no litoral do estado do Rio Grande do Norte, tem um destaca-se nacionalmente em relação à produção de sal marinho, como também na criação de peixes e crustáceos em cativeiro. Entretanto, o descarte inadequado dos efluentes gerados com estas atividades, somados a percolação de áreas salinas, erosão das formações rochosas do aquífero subterrâneo, intrusão salina de águas continentais, longos períodos de estiagem, entre outras ações naturais e antrópicas, têm contribuído em conjunto para a contaminação das águas distribuídas para a população local com diferentes nutrientes. Há anos a cidade vivência um surto de hipertensão e dos seus efeitos colaterais (acidentes vasculares cerebrais, problemas cardíacos, desordens endócrinas, entre outros), sendo que o consumo de água contendo altas concentrações de íons  $\text{Na}^+$  aparece como uma suposta causa. Diante disso, o presente trabalho investigou a hipótese de salinização dessas águas, utilizando cátions  $\text{Na}^+$  como marcadores do processo. A pesquisa foi dividida em duas partes, uma de natureza teórica (estudo socioambiental) e outra experimental (caracterização físico-química das águas). Em termos de análise físico-químicas, foi constatado que a grande maioria das águas (31 amostras, distribuídas entre as zonas urbana e rural) são classificadas como bicarbonatadas sódicas (90%), o que sugere grande influência da erosão das formações rochosas do aquífero, particularmente das rochas carbonáticas, para a salinização das águas. A abundância de  $\text{Na}^+$  nessas amostras, somada ao pequeno percentual de águas bicarbonatadas cálcicas/magnesianas (6,4%) e das sulfatadas/cloretadas cálcicas/magnesianas (3,2%), também indica a possível contribuição da percolação de águas residuais das atividades industriais locais, bem como da intrusão salina pelo avanço de águas oceânicas para o aquífero. Por meio de análise estatística multivariada, verificou-se que as águas captadas dos poços da rede pública de distribuição (poços planejados) e aquelas oriundas de poços artesanais (poços não planejados) apresentam características distintas, sendo que as variáveis mais influentes para tal classificação foram  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Independente da fonte de captação, toda a água distribuída na cidade encontra-se em diferentes estágios de salinização, sendo que os poços não planejados apresentaram situação mais crítica. Recomenda-se o aumento de investimentos em tecnologias de tratamento das mesmas, como forma de disponibilizar água de qualidade e zelar pelo bem-estar da população. Também se faz necessário o incentivo em políticas de educação ambiental, a fim de tornar a população mais esclarecida sobre os riscos associados ao consumo de águas salinizadas, bem como acerca das medidas cabíveis frente aos impactos negativos ocasionados a saúde pública.

**Palavras-Chave:** Recursos Hídricos; Salinização de Aquíferos Litorâneos; Íons Sódio; Diagnóstico Ambiental.

## ABSTRACT

Grossos city is located at the Rio Grande do Norte state coast and has a national importance in relation to the production of sea salt, as well as the creation of fish and crustaceans in captivity. However, the inadequate disposal of the effluents generated by these activities, together with the percolation of saline areas, erosion of rocks in the aquifer, continental waters intrusion, and other natural and anthropogenic actions have contributed to the contamination of drink-waters with different nutrients. For years, the city has experienced a hypertension outbreak and its side effects (strokes, heart problems, endocrine disorders, among others), and the consumption of water containing high concentrations of  $\text{Na}^+$  ions appears as a supposed cause. The present work investigated the hypothesis of groundwater salinization in this city, using  $\text{Na}^+$  cations as markers of the process. The research was divided into theoretical (socio-environmental studies) and experimental steps (physical-chemical characterization of waters). In terms of physicochemical analysis, it was found that the great majority of waters (31 samples, distributed between urban and rural areas) are enriched with  $\text{Na}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$  (90%), which suggests a great influence of the aquifer rock formations erosion, particularly carbonate-rocks, for the groundwater salinization. The abundance of  $\text{Na}^+$  in these samples, together with the small percentage of bicarbonated waters with calcium/magnesian (6.4%) and sulphated/chlorinated waters with calcium/magnesian (3.2%), also indicates the possible contribution of percolation of wastewater from industrial activities, as well as saline intrusion by the advance of oceanic waters into the aquifer. Studies by multivariate statistical analysis showed that the waters sampled from the wells of the public distribution network (planned wells) and those from artesian wells (unplanned wells) had different characteristics, and the most influential variables for this classification were  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , electrical conductivity and total dissolved solids. Regardless of the source supply, all the waters distributed in the city is in different stages of salinization and the unplanned wells present the more critical situation. It is strongly recommended to increase the investments in groundwater treatment technologies as an alternative to provide quality water and to ensure the well-being of the population. It is also necessary to encourage environmental education policies in order to make the population more informed about the risks associated with the consumption of salinized water, as well as about the measures that can be taken against the negative impacts for the public health.

**Keywords:** Water Resources; Salinization of Coastal Aquifers; Sodium Ions; Environmental Diagnosis.

## LISTA DE FIGURA

<b>Figura 1:</b> Mapa da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró. O destaque em vermelho refere-se à localização do município de Grossos.....	16
<b>Figura 2:</b> Diagrama geral do desequilíbrio ocasionado pelo excesso de bombeamento de água subterrânea em aquíferos costeiros.....	22
<b>Figura 3:</b> Efeitos do excesso de sódio na dieta em órgão e tecidos do corpo humano.....	27
<b>Figura 4:</b> Mapeamento das unidades geológicas do município de Grossos.....	31
<b>Figura 5:</b> Imagem de satélite do município de Grossos-RN, com destaque para os domicílios em que os questionários foram aplicados (marcadores em amarelos), bem como para as atividades salineiras mecanizadas (marcadores em vermelho), artesanais (marcadores em lilás) e criação de peixes e crustáceos em cativeiro (marcadores em verde), desenvolvidas ao entorno das zonas urbana e rural.....	34
<b>Figura 6:</b> Imagem aérea do município de Grossos-RN, contendo os pontos de amostragem georeferenciados (marcadores amarelos) .....	35
<b>Figura 7:</b> Resultados das análises de dureza total em águas de distribuição coletadas em diferentes pontos de amostragem na cidade de Grossos/RN.....	45
<b>Figura 8:</b> Resultados das análises de sólidos totais dissolvidos em águas de distribuição coletadas em diferentes pontos de amostragem na cidade de Grossos/RN.....	46
<b>Figura 9:</b> Resultados das análises de íons sódio em águas de distribuição coletadas nos diferentes pontos de amostragem da cidade de Grossos/RN.....	48
<b>Figura 10:</b> Diagrama de Piper obtido para as diferentes amostras de água estudadas...	50
<b>Figura 11:</b> (A) Gráfico da variância significativa em função das componentes principais, utilizando os dados dos parâmetros escalonados. (B) Gráfico dos escores de PC-1 em função de PC-2, obtido para as amostras captadas de poços planejados (marcadores pretos) e não planejados (marcadores azuis) .....	51
<b>Figura 12:</b> Gráfico de pesos atribuídos a cada parâmetro em PC-1 e PC-2.....	53

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Lista de reagentes utilizados nos ensaios analíticos.....	36
--	----

## **LISTA DE ABREVIACOES**

ANA: Agência Nacional de gua

APHA: American Public Health Association

EDTA: cido Etilenodiamino Tetra-Acético

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEMA: Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

ONU: Organizao das Naoes Unidas

PCA: Análise exploratória por componentes principais

TDR: Reflectometria no Domínio do tempo

STD: Sólidos totais dissolvidos

CE: Condutividade elétrica

Sal.: Salinidade

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	19
2.1. <i>Geral</i> .....	19
2.2. <i>Específico</i> .....	20
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
3.1. <i>Perspectiva global sobre os recursos hídricos</i> .....	20
3.2. <i>Mecanismos naturais e antrópicos de contaminação dos aquíferos</i> .....	21
3.3. <i>Salinização de águas subterrâneas</i> .....	23
3.4. <i>Riscos associados aos consumos de água salinizadas</i> .....	26
3.5. <i>O sódio como marcador do processo de salinização</i> .....	27
3.6. <i>Técnicas analíticas para análise de íons sódio</i> .....	28
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b> .....	30
4.1. <i>Caracterização geoquímica e morfológica do campo de estudo</i> .....	30
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	33
5.1. <i>Estudo de campo</i> .....	33
5.2. <i>Seleção dos pontos de amostragem</i> .....	35
5.3. <i>Estudo experimental</i> .....	36
5.3.1. <i>Reagentes</i> .....	36
5.3.2. <i>Instrumentação</i> .....	36
5.3.3. <i>Análises físico-químicas</i> .....	37
5.4. <i>Tratamento estatístico dos dados</i> .....	37
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
6.1. <i>Estudo socioambiental</i> .....	38
6.1.1. <i>Natureza e utilização da água captada</i> .....	38
6.1.2. <i>Aspectos sociais</i> .....	40

<i>6.1.3. Educação ambiental</i> .....	41
<i>6.2. Análise físico-químicas</i> .....	43
<i>6.3. Classificação geral das águas</i> .....	49
<i>6.4. Efeito da Sazonalidade</i> .....	53
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	54
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	55
<b>APÊNDICE</b> .....	65

## 1. INTRODUÇÃO

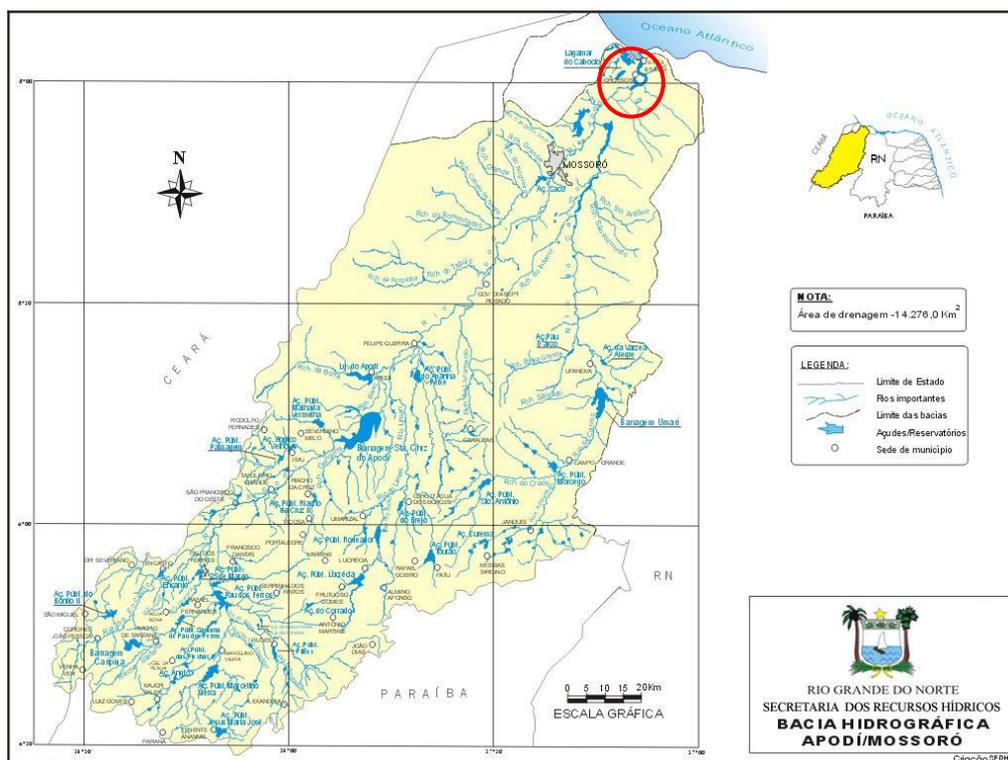
O crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico são geralmente acompanhados pelo aumento drástico da demanda por água para as necessidades básicas da população, cuja quantidade e qualidade são fundamentais à saúde e ao desenvolvimento das comunidades (BUENO, GALBIATTI e BORGES, 2005). No caso do Brasil, os problemas enfrentados com a escassez de água vêm se tornando mais preocupantes a cada ano. Em 2013 o país foi inserido no mapa mundial de eventos climáticos extremos pela Organização Mundial de Meteorologia, em decorrência da pior seca enfrentada pelo Nordeste nos últimos 50 anos (WMO, 2013). A situação torna-se mais crítica pela região ser uma das mais populosas (36,15 hab. Km) e possuir o menor volume hídrico acumulado (3%) do país (IBGE, 2014). Os longos períodos de estiagem e baixos índices pluviiais limitam o potencial socioeconômico da região, além de colocar a população em uma constante política de racionamento (SANTOS *et al.*, 2012).

No município de Grossos, por exemplo, situado no estuário da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró (Figura 1), podemos encontrar um dos principais polos de produção de sal marinho do país, além de outras importantes atividades que fortalecem a economia do Estado, a exemplo da criação de peixes e crustáceos em cativeiros (CARVALHO, KELTING e AGUIAR, 2012). Por outro lado, os resíduos produzidos com estas atividades não possuem um destino final adequado, tendo os recursos hídricos superficiais e subterrâneos como o provável destino final, o que compromete os múltiplos usos das águas (OLIVEIRA, DI SOUZA e CASTRO, 2009). Um dos principais impactos que o manejo inadequado dessas atividades pode causar é a salinização das reservas hídricas superficiais e subterrâneas (BOUZOURRA *et al.*, 2014). O consumo de águas salinas está associado aos vários problemas de saúde, como hipertensão, disfunções hormonais, aborto involuntário, doenças de pele, infecção respiratória aguda, doenças diarreicas, entre outras. Dependendo do nível e tempo de exposição, muitos desses problemas podem se agravar ou, em alguns casos, serem fatais (LESSA, 2001; PÉRES, MAGNA e VIANA, 2003; VINEIS *et al.*, 2011; SOUZA, 2012 *apud* LOPES *et al.*, 2012).

De acordo com dados da Secretaria de Saúde do município de Grossos, há anos a população sofre com um surto de hipertensão e efeitos colaterais (disfunções cardíacas, comprometimentos dos rins, acidente vascular cerebral, entre outros), representando o maior número de óbitos registrados por enfermidade (70%) até 2014. Essa desordem apresenta etiologia multifatorial, caracterizada pela elevação persistente da pressão arterial e por alterações metabólicas, levando ao risco de complicações cardiovasculares.

A prevalência da hipertensão arterial sistêmica é muito preocupante por ser uma patologia assintomática em suas fases iniciais. Aliado a isso, a falta de informações por parte da população contribui para seu baixo controle, acometendo não somente os idosos, mas indivíduos em faixas etárias cada vez mais precoces (MOURA *et al.*, 2015).

**Figura 1:** Mapa da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró. O destaque em vermelho refere-se à localização do município de Grossos.



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2003), outro importante agravante para os problemas crônicos de hipertensão está no consumo de alimentos enriquecidos com íons  $\text{Na}^+$ , inclusive após os processos de cocção em que quantidades excessivas deste íon são adicionadas na forma de diferentes sais, geralmente como cloreto de sódio -  $\text{NaCl}$ , popularmente conhecido como sal de cozinha. Na Europa Ocidental e América do Norte, o consumo estimado de  $\text{NaCl}$  na dieta é  $5\text{-}20 \text{ g/dia}^{-1}$  ( $2\text{-}8 \text{ g}$  de  $\text{Na}^+$  por dia). Entretanto, se a água consumida para saciar as necessidades do organismo já contém teores significativos deste cátion, torna-se impraticável calcular a dieta diária com base apenas no conteúdo nutritivo dos alimentos (WHO, 1996).

Pesquisadores de todo o mundo têm investido esforços para identificar os diferentes mecanismos de contaminação de águas subterrâneas por íons  $\text{Na}^+$ . Chaudhuri e Ale (2014) mostraram que o aumento nas concentrações de  $\text{Na}^+$  nas águas subterrâneas do Aquífero de Ogallala, estado do Texas - EUA, resultou da combinação de diferentes fatores naturais (erosão das formações rochosas e infiltração de águas salinas oriundas de correntes marítimas) e antropogênicos (atividades relacionadas à agricultura irrigadas e exploração de petróleo em poços profundos). Machiwal e Jha (2015) fizeram um estudo espaço-temporal em 15 poços de águas subterrâneas do distrito de Udaipur, na região semiárida da Índia, e destacaram a baixa precipitação pluviométrica e recarga reduzida dos lençóis freáticos como os principais agravantes da salinização, aumento da dureza e das concentrações de vários sais minerais nas águas subterrâneas daquela região. Brouyère e colaboradores (2004), ao estudar uma zona calcária que recobre o aquífero Hesbaye, localizado na Bélgica, concluíram que os mecanismos de recarga dos lençóis freáticos e aquíferos são bastante influenciados pelo fluxo gravitacional durante os eventos de percolação, podendo afetar também os níveis de nutrientes e os indicadores de potabilidade. Kelly, Panno e Hackley (2012), avaliaram as diferentes vias de acesso à salinização (concentração de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) de águas superficiais e subterrâneas no período de inverno em Chicago, a terceira maior cidade dos Estados Unidos, e concluíram que a lixiviação das estradas, principalmente, após período de nevascas, era um forte agravante, em virtude das grandes quantidade de  $\text{NaCl}_{(s)}$  utilizadas para controlar o excesso de neve nas vias públicas.

Especificamente no Brasil, Roisenberg e colaboradores (2003) fizeram uma caracterização geoquímica e gênica dos principais íons dissolvidos em 90 poços de águas subterrâneas de Porto Alegre - RS, e mostraram que a interação água-rocha apresenta uma fraca contribuição para a concentração da maioria dos íons dissolvidos avaliados (dentre eles, o  $\text{Na}^+$ ) se comparada às condições higiênico-sanitárias deficientes. Sisinni e Moreira (1996) mostraram que o chorume produzido no Aterro Sanitário Morro do Céu, localizado em Niterói - RJ, constitui uma importante fonte de salinização com íons metálicos e haletos para corpos hídricos adjacentes. Neto e colaboradores (2014) desenvolveram um índice de salinidade para avaliar a qualidade das águas de 48 reservatórios superficiais do estado do Ceará destinados à irrigação (Bacias Metropolitana, Jaguaribe, Acaraú, Coreaú, Parnaíba e Salgado). Em síntese, os resultados indicaram que a maioria dos pontos de amostragem apresentam restrições entre moderada

e alta para tal finalidade, sendo que a concentração de íons  $\text{Na}^+$  foi a variável mais crítica, seguido dos níveis de  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$  e da condutividade elétrica.

Diante deste quadro, o monitoramento dos níveis de  $\text{Na}^+$  em águas utilizadas para consumo humano pode ser considerado como uma forma de prevenção à exposição crônica. Estudos dessa natureza também contribuem com o desenvolvimento de políticas de conscientização e esclarecimento dos riscos associados ao consumo de águas contendo elevados teores deste cátion, além de auxiliar aos órgãos competentes na adoção de medidas mitigadoras de controle à exposição. Apesar disso, nenhum estudo minucioso foi desenvolvido até o momento no município de Grossos, a fim de averiguar a suposta contaminação das águas pelo processo de salinização, dando ênfase à concentração de íons  $\text{Na}^+$ .

Há diferentes métodos que podem ser utilizados para a análise deste cátion e, com isso, investigar a salinização das reservas hídricas. Em termos de métodos-padrão, podemos citar a fotometria de chama, absorção e emissão atômica, plasma indutivamente acoplado, cromatografia de íons e potenciometria (APHA, 2005). Apesar de todos os procedimentos serem eficientes, os métodos eletroquímicos de análise, como a Potenciometria Direta, são mais robustos e menos susceptíveis a interferentes naturais e antrópicos presentes nas amostras. Também permitem a análise de amostras coloridas e/ou com partículas suspensas, utilização de sistemas miniaturizados e possibilidade de ensaios *in loco*, superando importantes limitações de muitos métodos convencionais de análise (FARGHALY *et al.*, 2014). Por utilizar a tecnologia dos eletrodos íon-seletivos, a potenciometria pode ser uma alternativa promissora para a análise de íons  $\text{Na}^+$  em amostras ambientais (DE MARCO *et al.*, 2007), permitindo a detecção seletiva deste cátion, mesmo em concentrações traço.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. *Geral*

Avaliar a suposta contaminação da água de distribuição do município de Grossos-RN pelo processo de salinização, utilizando os íons  $\text{Na}^+$  como marcadores do processo, além de fazer uma possível relação entre os teores deste cátion e o elevado número de casos de hipertensão registrados na cidade.

### 2.2. *Específicos*

- Fazer estudo de campo nas zonas urbana e rural do município, levando em conta os aspectos socioambientais da população local;
- Demarcar pontos de amostragem;
- Otimizar parâmetros eletroanalíticos para análise de íons  $\text{Na}^+$ ;
- Determinar a concentração de  $\text{Na}^+$  nas águas de abastecimento;
- Estudar aspectos naturais e antrópicos que possam estar associados à salinização da matriz em estudo;
- Comparar os resultados obtidos com os limites máximos exigidos pelas legislações ambientais;
- Informar a população e aos órgãos competentes sobre os resultados, além de sugerir alternativas de tratamento para as possíveis águas salinizadas.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. *Perspectiva global sobre recursos hídricos*

De todo o território terrestre, cerca de 75% deste são recobertos por água, embora mais de 95% seja água salgada dos oceanos e somente 0,01% é água doce, distribuída entre rios e lagos (ODLARE, M., 2014). Há também uma fração finita que se acumula nos lençóis freáticos que, por sua vez, é a principal fonte potável utilizada para atender as necessidades básicas dos seres humanos.

A crescente demanda por água tem intensificado a exploração das águas subterrâneas, levando a diversos efeitos ambientais e geológicos, como o rebaixamento da terra, intrusão salina, fissuras no solo e poluição das águas subterrâneas profundas (SHI *et al.*, 2011). Outrossim, espera-se que os setores da agricultura e do fornecimento de energia, que também fazem uso desta fonte, continuem crescendo vertiginosamente nos próximos anos, mas há uma estimativa de que, até 2050, a agricultura aumente sua demanda em 60% e a indústria em 500%. Esses dados são alarmantes, haja vista que a população mundial deva chegar a 9,6 bilhões de pessoas neste mesmo período e o volume de água potável disponível não será suficiente para atender esta demanda (ONU, 2013). Segundo dados levantados pela Organização das Nações Unidas (2015), até 2030 o planeta enfrentará um déficit de água de 40%, caso não seja elaborada uma gestão eficiente deste recurso, que vise não só a qualidade, mas também a forma como este recurso será distribuído. Estima-se que, atualmente, mais de 20% das fontes mundiais de água subterrânea já sofram superexploração, mesmo antes de serem reabastecidas pelas chuvas (ONU, 2015; ANA, 2009).

No Brasil, mesmo possuindo 12% das reservas de água doce do planeta, a distribuição dessas águas se dá de forma muito irregular, estando a maior porção localizada na Região Norte (72%), onde menos de 5% da população nacional se concentra, enquanto o Nordeste encontra-se na situação mais crítica (3% do volume acumulado distribuído para 30% da população), culminando em uma das mais graves crises hídricas já enfrentadas, estendendo-se desde 2012.

Além da quantidade, a qualidade da água também é um fator preocupante, haja vista que as reservas hídricas em muitas regiões se encontram contaminadas, limitando seus múltiplos usos. Pesquisas têm revelado que alguns aquíferos brasileiros se encontram contaminados por fatores naturais e/ou antrópicos. Como exemplo, podemos citar o caso da intrusão salina de aquíferos costeiros no Rio de Janeiro, relatada por Silva Filho

(2009); ou ainda, a constatação de traços de pesticidas em águas subterrâneas do estado do Ceará, mostrada por Andrade e colaboradores (2008), em decorrência do crescimento de atividades agrícolas não sustentáveis na região, somada a percolação dos resíduos dispersos durante o cultivo de frutas e vegetais.

Mesmo diante de tais evidências, o país ainda conta com poucos investimentos em projetos direcionados ao monitoramento e preservação deste recurso.

### *3.2. Mecanismos naturais e antrópicos de contaminação dos aquíferos*

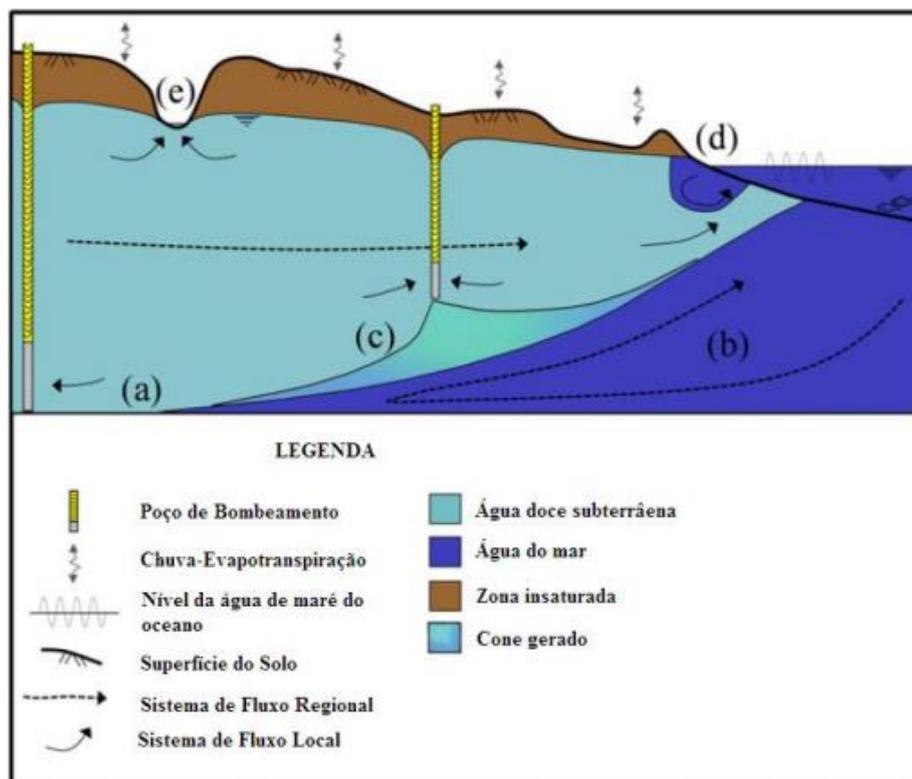
Aquíferos são formações geológicas subterrâneas com capacidade de armazenamento e permeabilidade suficiente para que a água se movimente (CLEARY, 2007). Estes depósitos de água são alimentados pela precipitação atmosférica, através de mecanismos de infiltrações em áreas de recarga. O fluxo da água subterrânea depende diretamente da permeabilidade da rocha e da porosidade, já que esta determina a quantidade de água a ser armazenada em uma rocha (PINTO-COELHO e HAVENS, 2016).

A principal via de captação de águas subterrâneas se dá através da perfuração de poços planejados ou instintivos. Em 1990, nos Estados Unidos, cerca de 39% da água subterrânea captada era destinada ao abastecimento público, enquanto a fração residual era destinada à indústria e outras atividades do setor agropecuário. Já na Europa, a água extraída dos aquíferos vem sendo utilizada para abastecer quase 100% da população da Dinamarca, Áustria e Itália, cerca de dois terços da população da Alemanha, Suíça e Países Baixos e um terço da população da Grã-Bretanha e Espanha (BAIRD, 2011). De toda a água captada no Brasil, 6% da população é abastecida por poços rasos, 43% por poços profundos e 12% por exploração de nascentes ou fontes. O ritmo intenso de superexploração justifica parte das dificuldades hídricas enfrentadas em muitas regiões semiáridas, já que a extração da água dos poços geralmente é mais intensa do que o ritmo de reabastecimento dos aquíferos. No que diz respeito à aplicação deste recurso, 39% da população a utiliza para saciar suas necessidades básicas e os outros 61% também o utiliza para fins domésticos (IBGE, 2009).

Nas regiões costeiras, outro problema resultante da exploração excessiva das águas subterrâneas é a susceptibilidade à contaminação pelas águas advindas do oceano. Normalmente, o fluxo/recarga de água doce não permite a passagem subterrânea da água salgada vinda do mar, mas quando as águas doces dos aquíferos são bombeadas indiscriminadamente e sem planejamento, a água salgada pode invadir estes poços e os

contaminar (reestabelecimento do equilíbrio de pressão no aquífero). A Figura 2 mostra como a perfuração de poços em áreas costeiras podem afetar o equilíbrio hídrico nos aquíferos, onde “a” representa o bombeamento com baixa influência de águas salinas, “b” descreve o movimento da água do mar em regiões profundas; “c” o cone formado pelo excesso de bombeamento, favorecendo o avanço da água do mar e sua mistura com as reservas do aquífero; “d” local de recirculação da água mar em partes superiores; “e” afloramento de água subterrânea na superfície (OLIVEIRA, 2016). Casos reais de contaminação por intrusão salina em regiões costeiras são relatados em vários países, como nos Estados Unidos (BOND e BREDEHOEFT, 1987), Espanha (CALVACHE e PULIDO-BOSCH, 1991), Brasil (SILVA JUNIOR *et al.*, 2000), Austrália (NARAYAN, SCHLEEGER e BRISTOW, 2007) e Tanzânia (CAMP *et al.*, 2014).

**Figura 2:** Diagrama geral do desequilíbrio ocasionado pelo excesso de bombeamento de águas subterrâneas em aquíferos costeiros.



Fonte: OLIVEIRA, 2016.

Também há casos de contaminação das águas subterrâneas pela percolação de contaminantes do solo. Esta matriz possui a capacidade de absorver grande quantidade de contaminantes, mas com o aumento da carga de contaminantes o solo sofre

transformações na sua capacidade absorptiva, podendo causar danos irreversíveis ao meio ambiente (CAMARGO, 2007). Darwish e colaboradores (2011) relataram os impactos sazonais das práticas agrícolas sob o solo e as águas subterrâneas no Líbano, entre os anos de 2007 e 2008, e constataram processo acelerado de eutrofização, devido às altas concentrações de nitratos e cloretos em ambas as matrizes. Kanzarie e colaboradores (2012), usando sondas *TDR* (Reflectometria no Domínio do Tempo) instaladas a até 4 m de profundidade na região semiárida do Bou Hajla, Tunísia, concluíram que o uso de água salina na irrigação está causando tanto a salinização do solo quanto do aquífero, por conta da infiltração de sais carregados pelas chuvas. Teh e colaboradores (2016), afirmaram em seu trabalho que a contaminação do solo e das águas subterrâneas na Ásia por metais pesados e compostos orgânicos tóxicos é atribuída a percolação dos contaminantes em áreas de intensa atividade agrícola, de zonas urbanas não saneadas, dos parques industriais e das áreas de mineração. No Brasil, Gomes e colaboradores (2012) estudaram a vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas adjacentes ao aquífero Guarani, na região da micro-bacia do córrego do Espraiado em Ribeirão Preto/SP, e concluíram que essa zona possui um alto potencial de infiltração de água no solo, o que favorece a contaminação do lençol freático.

Além dos casos supracitados, é importante ressaltar também o risco de contaminação dos aquíferos por vias naturais. Em alguns casos, a erosão da formação rochosa que detém os aquíferos contribui para o aumento da concentração de nutrientes nas águas (SPIRO e STIGLIANI, 2008). Ahmad e Khan (2015) relataram em um estudo feito em Bangladesh que a contaminação nas águas subterrâneas por arsênio é de origem geológica e que pelo menos 50 milhões de pessoas estão diretamente expostas à essa contaminação. Fatos como esse já foram relatados em estudos desenvolvidos em aquíferos na Argentina (BUNDSCHUH *et al.*, 2004), África do Sul (SMEDLEY, KNUDSEN e MAIGA, 2007), Vietnã (POSTMA, *et al.*, 2007), Estados Unidos (VERPLANCK *et al.*, 2008) e China (XIE *et al.*, 2009).

### 3.3. Salinização de águas subterrâneas

Em regiões onde a evaporação é maior que a precipitação, os corpos d'água tem a tendência de serem impactados com a salinização por diferentes nutrientes. Em outras palavras, pode-se definir a salinização de águas subterrâneas como a medida dos teores de sais dissolvidos na matriz, sendo que este fenômeno é mais acentuado em regiões

áridas e semiáridas, onde há baixos índices pluviométricos e o lençol freático localiza-se próximo à superfície (PEDROZO e KAPUSTA, 2010).

Os mecanismos de salinização são diversos e podem ocorrer por processos primários (naturais) e/ou secundários (antrópicos). Nesta ótica, Askri e colaboradores (2016) estudaram este fenômeno nas águas da planície costeira de Salalah, Sultanato de Omã, e constataram por simulações de modelagem inversa que o principal fator responsável pelo aumento de íons cloreto e sódio nas águas foi a dissolução de sais provenientes de halitas. Esse fato ficou ainda mais evidente durante uma campanha realizada em 2015, onde 11 amostras das águas subterrâneas coletadas apresentaram concentrações molares de Cl/Br superiores às águas do mar, mostrando o grande impacto que a dissolução deste mineral pode causar sobre a qualidade das águas subterrâneas da região. Kloppmann, Bourhane e Schomburgk (2013) estudaram diferentes aquíferos franceses buscando detectar os mecanismos de salinização dos mesmos. Os resultados indicaram que a dissolução natural de evaporitos (rochas sedimentares que apresentam camadas de minerais salinos) e o aumento na concentração da salmoura oriunda da evaporação da água do mar em algumas partes restritas do sistema multi-aquífero das bacias sedimentares contribuíram mais significativamente para a salinização das reservas.

A exploração descontrolada dos aquíferos subterrâneos e o risco de salinização em regiões continentais também tem instigado muitos estudiosos a entender as vias de acesso das águas marinhas aos lençóis freáticos. Em estado de equilíbrio, existe um gradiente hidráulico no aquífero que aplica um fluxo de água doce em direção ao mar, o que mantém a cunha salina em equilíbrio. Todavia, como a água do mar é mais densa, durante a captação intensa de águas subterrâneas, ocorre a formação de uma cunha que penetra pela parte inferior do aquífero, desencadeando sua salinização (CRUZ e SILVA JUNIOR, 2006; OLIVEIRA, 2016). Em um trabalho realizado na região de Mersim-Kazanei, uma área intensamente industrializada da Turquia, constatou-se que a exploração descontrolada dos aquíferos por poços de captação levou à intrusão salina e o comprometimento das águas, de modo que estes poços receberam recomendação para serem fechados por não atenderem aos critérios de potabilidade exigidos no país (DEMIREL, 2004). Em um trabalho realizado nos Emirados Árabes, no aquífero Wadi Ham, localizado no Fujairah, a intrusão salina foi monitorada por um modelo de elemento finito 3D, que foi desenvolvido com base em dados hidrogeológico disponíveis em escala real. Através de simulações, foi estudado a vulnerabilidade que este aquífero apresenta frente à intrusão salina nos próximos anos e concluíram que, até 2025, a intrusão da água

do mar acarretará uma redução drástica na porção de água doce disponível para esta região. A fim de controlar este problema, os autores também sugeriram a adoção de estratégias de gestão que envolvem a recarga superficial do aquífero através de águas residuais devidamente tratadas (HUSSAIN, JAVADI e SHERIF, 2015).

No que se refere aos processos secundários, classificados como sendo induzidos por atividades antrópicas, estes podem ser associados ao desmatamento, irrigação com águas inadequadas, sistema de drenagem ineficientes entre outros (MUNNS, 2012). Khan e colaboradores (2008) estimam que Bangladesh possui cerca de 2,8 milhões de hectares de terras afetadas pela salinidade, causada por diversos fatores naturais e agravados ainda mais pelas ações humanas, como no caso da interrupção do fluxo de águas a montante da Barragem Farrakka, localizada no estado indiano de Bengala Ocidental, próxima da fronteira com Bangladesh. Entre os principais impactos observados na região, estão o aumento no número de hipertensos e nos diagnósticos de pré-eclâmpsia em muitas gestantes. Yakirevich e colaboradores (2013) desenvolveram um modelo matemático capaz de simular os impactos que o fluxo de retorno da água de irrigação provoca sobre a salinização das águas subterrâneas do aquífero Alto Piura, no Norte do Peru, ao longo de 30 anos. Os resultados indicaram que, em diferentes áreas de irrigação, as taxas de aumento de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas variaram de 3-5 para 15-17 mg/L/ano, dependendo das condições hidrológica e hidroquímica, volume de água extraído e da proporção entre água de superfície e águas subterrâneas. O modelo desenvolvido obteve resultados positivos para fins de investigação e gestão, mostrando através desta pesquisa que a área estudada precisa desenvolver métodos que busquem o desenvolvimento sustentável das águas subterrâneas e do solo da região.

No Brasil, Ferreira e Costa Neto (2008) desenvolveram um trabalho de monitoramento na cidade de Guamaré/RN, buscando identificar a influência que as atividades de carcinicultura e salineira provocam tanto no solo como nas águas dos mananciais do município. Neste trabalho, eles salientaram que há décadas a água é utilizada desordenadamente pela população, tanto para abastecimento público como para a agricultura, sendo esta uma das potenciais causas da desertificação e mortalidade de árvores de grande porte na região. Estes pesquisadores, concluíram que nos pontos próximos aos viveiros de camarão as águas que antes eram usadas como potáveis passaram a apresentar os maiores teores de salinidade e a vegetação nativa vem sendo substituída por arbustos típicos de ambientes salinos.

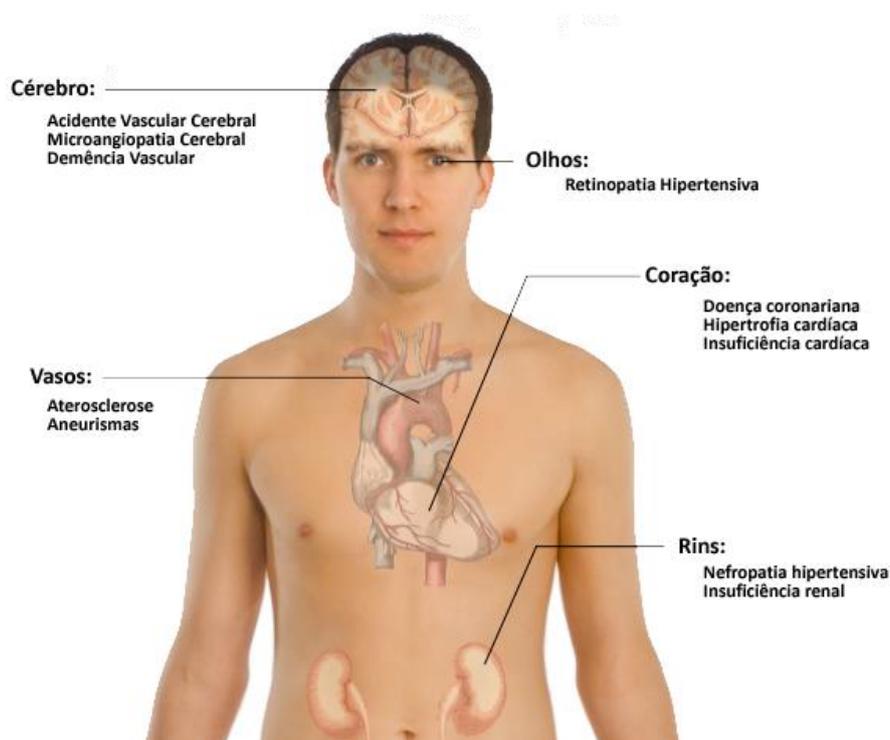
### *3.4. Riscos associados ao consumo de águas salinizadas*

A ação conjunta dos fatores naturais e antrópicos tem chamado a atenção para o monitoramento de nutrientes em águas utilizadas para o abastecimento público, em virtude dos efeitos colaterais associados ao consumo de águas contendo elevados teores dos mesmos. Um micronutriente comumente encontrado nos processos de salinização é o íon sódio ( $\text{Na}^+$ ). Sua principal função no organismo é controlar o volume dos fluidos extracelulares e do plasma, na condução dos impulsos nervosos, na contração muscular, na manutenção da pressão oncótica e/ou coloidosmóticas e no equilíbrio ácido/base (GUYTON e HALL, 2011; MCARDLE, KATCH e KATCH, 2011).

Por outro lado, a ingestão excessiva de  $\text{Na}^+$  na dieta pode causar diversos danos em vários órgãos e tecidos. A Figura 3 mostra os efeitos que o excesso deste cátion pode causar no cérebro (acidente vascular cerebral, microangiopatia cerebral e demência vascular); olhos (retinopatia hipertensiva); coração (patologias coronarianas, hipertrofia cardíaca e insuficiência cardíaca); rins (nefropatia hipertensiva e insuficiência renal) e vasos sanguíneos (aterosclerose e aneurismas).

Todos esses problemas são preocupantes e requerem assistência médica urgente e constante, mas a hipertensão tem ganhado importante destaque por ser assintomática, em muitos casos, acometendo pacientes de forma silenciosa. Como sabemos, o sangue, ao circular dentro dos vasos sanguíneos, pressiona a parede das artérias (pressão arterial). A medida da pressão arterial leva em conta um valor sistólico (quando o coração se contrai) e um diastólico (quando o coração relaxa). A hipertensão ocorre quando há a elevação da pressão arterial acima dos níveis normais – 120 (sistólico)  $\times$  80 (diastólico) mmHg. Atualmente, existem cerca de 30 milhões de hipertensos no Brasil e esse número só aumenta a cada ano (SBC, 2007).

**Figura 3:** Efeitos do excesso de sódio na dieta em órgão e tecidos do corpo humano.



Fonte: <http://www.drjoffre.com.br/hormonios-na-hipertensao/>

### 3.5. O sódio como marcador do processo de salinização

A salinização de ambientes aquáticos é monitorada por ensaios titulométricos que informam sobre a presença e quantidade de espécies iônicas presentes no meio. Para Oliveira (2016), os principais íons indicadores de salinização são  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , mas não se limita a estes. Elevados teores de  $\text{Cl}^-$  podem estar relacionados à solubilização de rochas sedimentares e/ou ocorrência de atividades antrópicas intensivas (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983). Em áreas costeiras, altas concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  podem ser associadas à intrusão de cunha salina (BARLOW, 2003; DEMIREL, 2004; KHASKA *et al.*, 2013). Os íons  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  contribuem em conjunto para o aumento da dureza das águas, atribuindo-as sabor adstringente e salobro (CRUZ, 2006). Embora a concentração de  $\text{K}^+$  seja um bom indício para caracterizar a salinização de águas subterrâneas, o  $\text{Na}^+$  acaba sendo a espécie mais utilizada para este fim, em virtude da gama de processos naturais e antrópicos em que esta espécie participa, facilitando sua biodisponibilização para a matriz aquosa (CUSTÓDIO, 1983; MENEZES *et al.*, 2013). Outras estimativas do processo de salinização podem ser obtidas com base na

condutividade elétrica e concentração de sais dissolvidos nas águas, embora sejam mais gerais, menos precisas e não conclusivas (ARAÚJO NETO *et al.*, 2014).

Faye e colaboradores (2005) realizaram um trabalho na região do Saloum (centro-oeste do Senegal), onde a salinização é um dos mais graves problemas ambientais enfrentados, afetando os recursos hídricos subterrâneos rasos, áreas de terra arável e manguezais. Os resultados indicaram os elevados teores de  $\text{Na}^+$  como um dos principais agravantes do processo, em decorrência da invasão do Rio Saloum como forma de equilibrar a perda constante de águas subterrâneas por diferentes processos naturais e antrópicos.

Najib e colaboradores (2016), diagnosticaram processo de salinização acelerado no aquífero costeiro Chaouia, o mais importante do Marrocos. Após estudo realizado em 44 poços, os resultados indicaram que na região central e a jusante do aquífero, o  $\text{Na}^+$  estava entre os principais íons envolvidos no processo, enquanto que a montante destacaram-se o  $\text{Ca}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ . Os autores ainda alertaram que metade das águas coletadas e analisadas estão fora dos padrões para fins de consumo humano, sendo uma importante fonte de contaminação para milhares de pessoas que as utilizam.

Gemini e colaboradores (2016) avaliaram os efeitos da água do mar sobre as águas subterrâneas cáustico-salobras da Península Karaburum (Turquia) e constataram que os íons dominantes no processo de salinização foram  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ; ambos estavam em concentrações bastante elevadas, provavelmente, em decorrência da intrusão da água do mar, levando a inadequação deste recurso para fins de potabilidade.

Santo e colaboradores (2009) realizaram um estudo na Bacia do Rio de Contas, sudoeste da Bahia - Brasil, buscando avaliar a influência dos escoamentos urbanos na salinização das águas e verificaram que os íons mais abundantes foram  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Além disso, complementaram que a alta evaporação dos volumes acumulados agravam expressivamente a salinização das reservas.

### 3.6. Técnicas analíticas para a análise de íons sódio

As análises de  $\text{Na}^+$  podem ser feitas por diferentes técnicas analíticas, tal como a fotometria de chama, que se baseia na quantidade de radiação emitida por espécies atômicas ou iônicas excitadas; espectroscopia de absorção atômica, que quantifica espécies de acordo com a absorção da radiação obtida por átomos livres no estado gasoso; ensaios de emissão com plasma indutivamente acoplado, que utilizam como fonte de ionização um plasma de argônio de alta energia; cromatografia de íons, que se baseia na

separação e detecção seletiva de espécies iônicas; além da potenciometria, que utiliza eletrodos íon-seletivos para a quantificação das espécies de interesse (APHA, 2005; SKOOG, WEST e HOLLER., 1994).

Apesar de todas se mostrarem eficientes, a potenciometria vem ganhando destaque frente às demais devido a menor possibilidade de interferentes naturais e antrópicos presentes nas amostras, além de ser uma técnica mais prática, de baixo custo, utiliza sistemas miniaturizados e permiti análises *in situ*. A potenciometria surgiu em 1888 com *Walther Hermann Nernst*, que relacionou a concentração de espécies iônicas na célula eletroquímica com o potencial elétrico gerado, através da seguinte equação:

$$E = E^{\circ} - \frac{59,15}{n} \log \frac{[produtos]}{[reagentes]}$$

Onde “*E*” representa o potencial em condições não-padrão, “*E*<sup>o</sup>” é o potencial padrão das semi-reação redox e “*n*” corresponde ao número de elétrons envolvidos no processo (FERNANDES, KUBOTA e OLIVEIRA NETO, 2001).

Após o século XX, houve um rápido desenvolvimento dos chamados eletrodos íon-seletivos, expandindo-se a uma gama de aplicações analíticas em diversos campos, incluindo diagnósticos clínicos, industriais, monitoramento ambiental e fisiológico (WANG, 2006). Os eletrodos íon-seletivos funcionam da seguinte maneira: os íons presentes no analito migram através de uma membrana seletiva e permeável, de uma região de alta concentração para outra de baixa concentração. Essa migração faz com que haja um desenvolvimento de carga (diferença de potencial elétrico) na interface eletrodo/solução problema. A magnitude da diferença de potencial elétrico é traduzida em relação às concentrações relativas do constituinte em análise (HARRIS, 2001; OH, CHA e NAM, 2003). Esse potencial é proporcional ao logaritmo da concentração de analito, sendo medido à corrente zero em relação ao eletrodo de referência, que possui potencial constante. Em condições ideais, a diferença de potencial entre os dois eletrodos dependerá da atividade de um íon específico na solução de trabalho.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### 4.1. Caracterização geoquímica e morfológica do campo de estudo

Na perspectiva de entender as características hidrogeoquímicas e morfológicas da região e sua possível contribuição para os tipos e níveis de sais minerais encontrados nas águas subterrâneas, particularmente os de íons  $\text{Na}^+$ , foi feita uma pesquisa exaustiva de trabalhos na literatura especializada, focando na topologia, composição e hidrografia da região em que o município de Grossos se situa. Essas informações serão associadas a observações qualitativas feitas no local, permitindo traçar um panorama geral das condições geoquímicas e morfológicas do município. Esses dados também serão essenciais para confrontar a influência de fatores antrópicos e naturais para a concentração de sais minerais encontrados nas amostras.

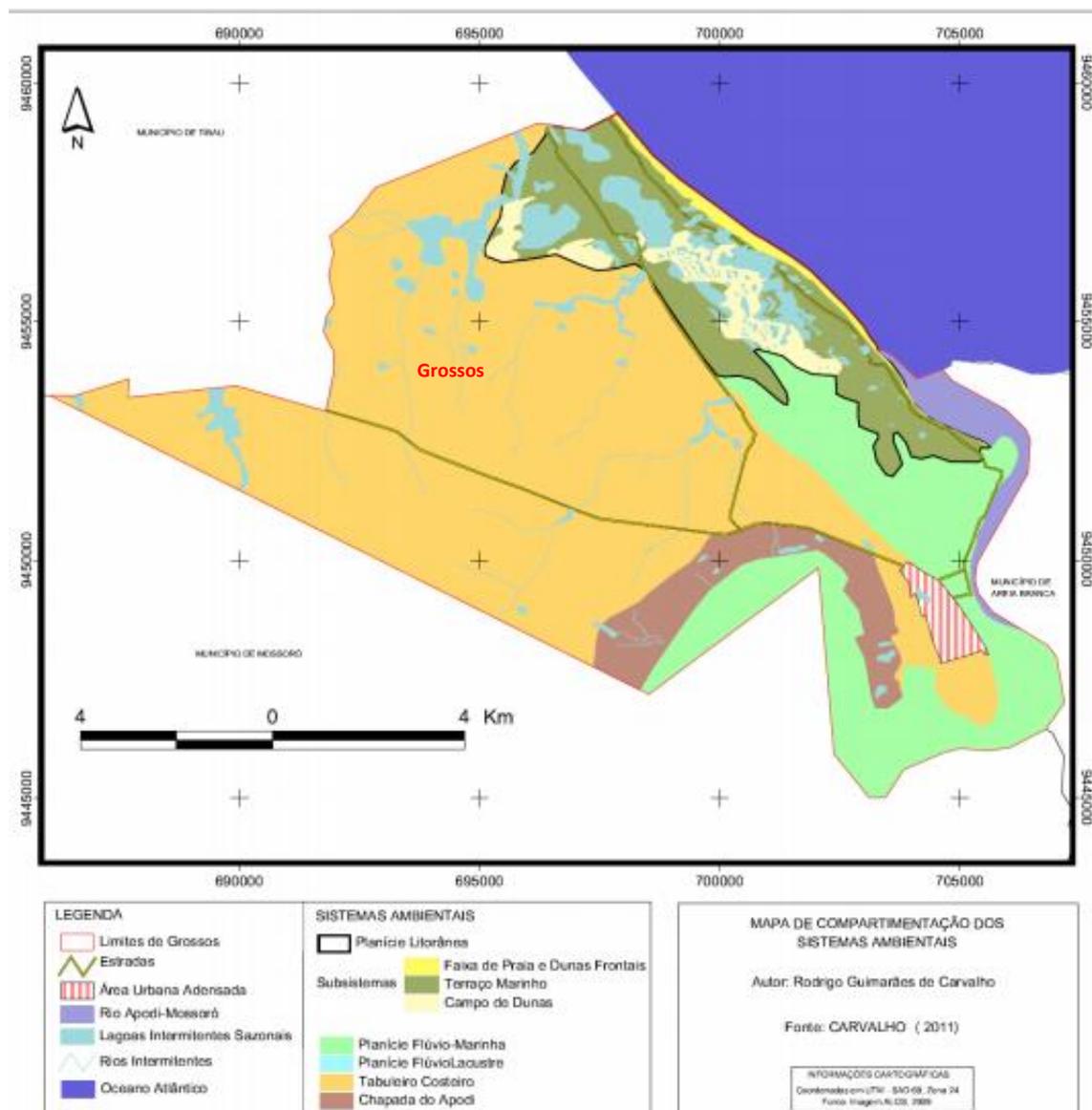
A cidade de Grossos está localizada no litoral do estado do Rio Grande do Norte, entre as coordenadas  $4^{\circ} 58' 48''$  de latitude sul e  $37^{\circ} 9' 18''$  longitude oeste, na porção setentrional na microrregião de Mossoró, subzona salineira (IDEMA, 1997). Limita-se com o oceano Atlântico ao norte, ao sul com a cidade de Mossoró, leste com a cidade de Areia Branca e a oeste com a cidade de Tibau do Norte. A cidade de Grossos possui sete comunidades, sendo quatro localizadas na região litorânea (Pernambuquinho, Barra, Alagamar e Areia Alvas) e as demais no interior do município (Córrego, Valença e Góis).

Geologicamente, boa parte do município encontra-se inserido na Província Borborema, constituída pelos sedimentos da Formação Jandaíra, do Grupo Barreiras e pelos Depósitos Flúvio-lagunares, Litorâneos e Aluvionares, como podemos verificar na Figura 4 (CPRM, 2005). O município abrange principalmente terrenos da Formação Barreiras (idade terciária-quadernária de 30 milhões de anos), com 7.820 hectares de extensão, equivalente a 57% da área do município (PETTA *et al.*, 2007). Está inserido no domínio geomorfológico do Tabuleiro Costeiro, apresentando-se na forma plana e tabular, com altitudes médias entre 70 a 100 metros, o que representa o topo da formação (CLAUDINON-SALES, 2002). O aquífero é composto por arenitos finos e grosseiros, conglomerados, arenitos argilosos, caulínicos e ferruginosos níveis de cascalhos, lateritas e argilas variadas de coloração amarela a avermelhada. O principal tipo de solo encontrado nesta região é o Latossolo Vermelho Amarelo, que possui textura média e elevada facilidade para drenagem (IDEMA, 2008).

Os Depósitos Litorâneos abrangem 17% do território, sendo este formado geomorfologicamente por planícies litorâneas. As planícies litorâneas são constituídas

por praias, dunas móveis e falésias, sendo formadas por areias quartzosas de granulometria variada, o que lhe proporciona poucas condições para formação de solo compacto. Entretanto, quando apresentam algumas condições mínimas de compactação, estes formam os neossolos quartzarênicos. Os depósitos litorâneos estão entre os principais ambientes de recarga do lençol subterrâneo (CARVALHO, R. G., 2011).

**Figura 4:** Mapeamento das unidades geológicas do município de Grossos.



Fonte: CARVALHO, KELTING e AGUIAR, 2012.

Os Depósitos Flúvio-Aluvionares são compostos por dunas móveis, dunas frontais, praias e terraço marinho (CARVALHO, KELTING e AGUIAR, 2012). Acredita-se que os Depósitos Flúvio-Aluvionares são ambientes que surgiram a partir do

resultado da ação dos rios que, neste caso, seria representado por braços e pelo leito principal do Rio Apodi-Mossoró (CARVALHO, 2011). São constituídos por uma extensa planície de inundação, onde predominam solos do tipo gleissolo salino e hidromórficos (FILGUEIRA *et al.*, 2005), que possuem altos teores de sais minerais e podem comprometer a fertilidade do mesmo, ou ainda, atuar como fonte de disseminação de sais minerais para ambientes adjacentes (PERREIRA, 2007 *apud* CARVALHO, 2011).

A Formação Jandaíra aflora em 5% da região: trata-se de uma formação do período cretáceo, com sequência carbonática de calcarenitos e calcilitos bioclásticos, de cor cinza-claro e amarelo, com níveis de evaporíticos. Nesse ambiente, o domínio geomorfológico é o da Chapada do Apodi, que possui solos com atributos salinos inferiores aos supracitados. Nesta formação, há o predomínio de cambissolos cujas características predominantes dependem da composição das rochas originárias (MOTA *et al.*, 2007; EMBRAPA, 2016).

Os Depósitos Flúvio-Lacustres possuem a menor área territorial no município (1% de extensão), abrangendo áreas de sedimentação fluvial acopladas a pequenas bacias de inundações sazonais. O solo predominante nesta região é o neossolo flúvico, que é característico de áreas banhadas ou próximas de rios e lagos (CARVALHO, KELTING e AGUIAR, 2012).

O clima do município tem predomínio semiárido, com altas temperaturas e umidade relativa de intermediária a alta (aproximadamente 69%), mas com períodos de chuva não definidos (precipitação média anual é de 879, 2 mm). A temperatura média anual é de 27, 3°C; a insolação chega a 2.800 horas/anos e os ventos com velocidades variando entre 7 a 8 m/s, vindos do quadrante SE (NASCIMENTO, 2004). O clima semiárido também influencia na baixa densidade da hidrografia superficial da região e alta permeabilidade do solo.

O município possui vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila, caracterizada por plantas de porte baixo e espalhadas, como a jurema preta, mufumbo, facheiro, faveleiro, xique-xique e marmeleiro, capazes de se adaptar a ambientes salinos. Na região também são encontradas espécie vegetativas pioneiras, como a psamófila, consorciada com algarobas (*Prosopis juliflora*), que controlam o avanço dos sedimentos nas comunidades litorâneas pela ação dos ventos (CARVALHO, KELTING e AGUIAR, 2012). Os manguezais também são encontrados na região, principalmente, na desembocadura do Rio Apodi-Mossoró, próximo à comunidade de Barra (IDEMA, 2008).

A faixa do Rio Apodi-Mossoró que corta a cidade é utilizada para a pesca, recreação e, principalmente, extração de sal marinho artesanal e mecanizada. Esta atividade de exploração pode ser observada em todo o entorno da cidade, colocando o município entre os principais importadores e exportadores deste produto no Brasil. Além desta, a criação de peixes e crustáceos em cativeiro têm crescido expressivamente ao longo dos anos, em virtude das condições geoclimáticas favoráveis e crescimento exponencial deste setor no mercado nacional e internacional (IDEMA, 2008). A atividade salineira, seja ela artesanal ou mecanizada, vem avançando em muitas áreas e desmatando alguns ecossistemas, como é o caso dos manguezais, levando ao empobrecimento da biodiversidade da planície Flúvio-Marinha (ROCHA; CLAUDINO-SALES e SALES, 2011).

## **5. METODOLOGIA**

### *5.1. Estudo de campo*

As características socioambientais da região foram estudadas a partir de observações qualitativas do campo de estudo, bem como por meio de entrevistas feitas com a população local. Para tanto, foi utilizado um questionário de múltipla escolha (APÊNDICE 1), contendo questões inerentes à problemática apresentado neste trabalho, mas com possibilidade de intervenção dos entrevistados para dar maior alcance as informações discutidas. A princípio, o questionário era composto por 16 questões semiestruturadas, o que possibilitou a formulação de novas hipóteses sobre as questões socioambientais da comunidade, os riscos associados ao consumo de águas salinizadas e os impactos já vivenciados. O questionário foi aplicado a 160 pessoas do município, residentes em diferentes estabelecimentos, dos quais 134 estão distribuído na zona urbana e os outros 26 nas zonas rurais (Figura 5).

Em geral, os questionamentos foram relacionados aos hábitos alimentares, natureza e uso da água de abastecimento, possíveis patologias vivenciadas pelos familiares e conhecimento dos riscos para a saúde associados ao consumo de águas salinizadas. A seleção dos domicílios foi feita de forma aleatória para garantir imparcialidade nos dados e evitar conflito de interesses. Vale ressaltar que os entrevistados eram previamente informados sobre a finalidade do questionário e sobre o sigilo das informações de cada voluntário (APÊNDICE 2). As respostas obtidas foram analisadas, tabuladas e/ou estruturadas em gráficos para posterior avaliação dos dados.

**Figura 5:** Imagem de satélite do município de Grossos-RN, com destaque para os domicílios em que os questionários foram aplicados (marcadores em amarelos), bem como para as atividades salineiras mecanizadas (marcadores em vermelho), artesanais (marcadores em lilás) e criação de peixes e crustáceos em cativeiro (marcadores em verde), desenvolvidas ao entorno das zonas urbana e rural.

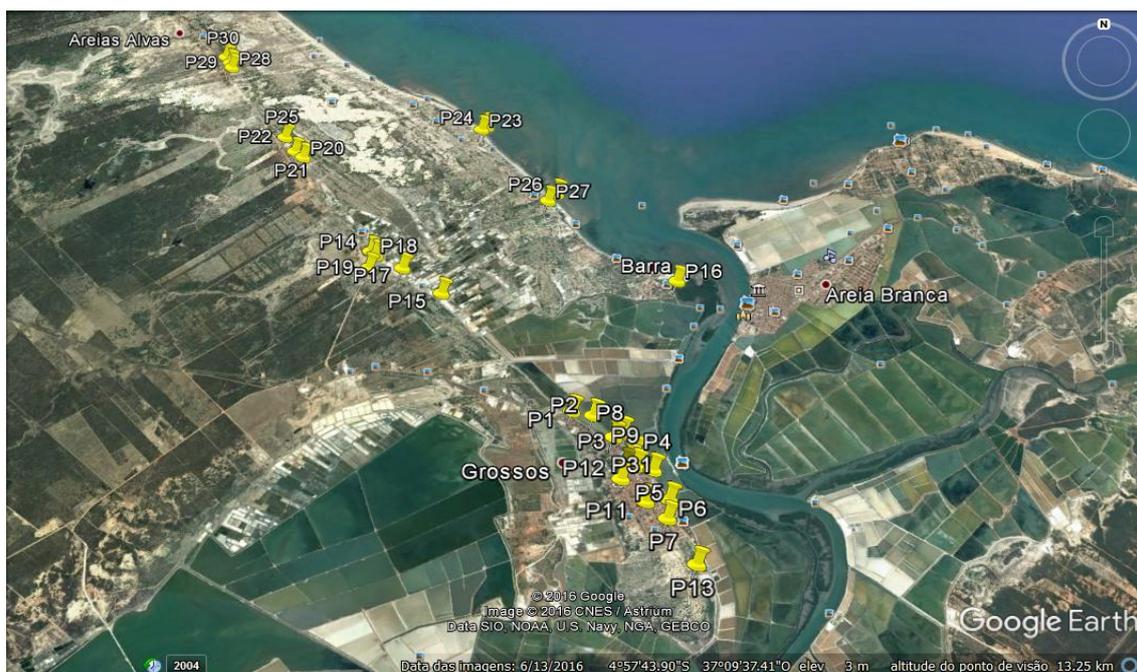


Fonte: Arquivo próprio; Imagens extraídas do *Google Earth*.

## 5.2. Seleção dos pontos de amostragem

De posse das informações das características da área (ver caracterização da área) e com base no levantamento feito pelo estudo socioambiental, foram selecionados e demarcados 31 pontos de amostragem (georeferências no APÊNDICE 3) entre as zonas urbana e rural, abrangendo residências abastecidas pela rede de distribuição local ou por poços artesanais construídos de forma não planejada, a fim de avaliar a influência de tratamentos convencionais da água frente à concentração de  $\text{Na}^+$ . A Figura 6 apresenta os diferentes pontos de amostragem devidamente georeferenciados.

**Figura 6:** Imagem aérea do município de Grossos-RN, contendo os pontos de amostragem georeferenciados (marcadores amarelos).



Fonte: Arquivo próprio; Imagens extraídas do *Google Earth*.

As amostras foram coletadas em garrafas de polietileno de 500 mL, devidamente etiquetadas, acondicionadas em caixas de isopor com gelo e transportadas para o Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica da UERN, onde os diferentes ensaios analíticos foram executados, respeitando período máximo recomendado para a análise de cada parâmetro (APHA, 2005). As coletas foram realizadas ao longo de novembro de 2015, que corresponde a um período de intensa estiagem na região.

### 5.3. Estudo Experimental

#### 5.3.1. Reagentes

Em todos os experimentos laboratoriais utilizou-se reagentes de pureza analítica, os quais encontram-se listados no Quadro 1. Para a preparação das soluções-padrão, utilizou-se água ultra-pura, condicionada a 25°C.

**Quadro 1:** Lista de reagentes utilizados nos ensaios analíticos.

Reagente	Fórmula Molecular	Procedência
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sigma
Cloreto de amônio	NH <sub>4</sub> Cl	Vetec
Hidróxido de amônio	NH <sub>4</sub> OH	Sigma
EDTA	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Merck
Negro de Eriocromo T	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub> SNa	Merck
Hidróxido de sódio	NaOH	Sigma
Trietanolamina	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>	Vetec
Cromato de potássio	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Vetec
Nitrato de prata	AgNO <sub>3</sub>	Vetec
Cloreto de bário	BaCl <sub>2</sub>	Vetec
Cloreto de Potássio	KCl	Vetec

#### 5.3.2. Instrumentação

As análises de Na<sup>+</sup> foram feitas por potenciometria direta, utilizando um medidor multiparamétrico *Orion 5Star*, da *Thermo Electron Corporation*, acoplado a um eletrodo íon-seletivo para o cátion de interesse (modelo FC300B, *Hanna Instruments*). Por esta mesma sonda, também foi possível obter informações acerca do pH, temperatura e condutividade, utilizando sensores específicos para cada parâmetro. Esses parâmetros são importantes para entender a dinâmica do Na<sup>+</sup> no meio ambiente. Além destes, também foram analisadas as concentrações de Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> por titrimetria convencional. Para complementar as informações acerca do balanço iônico das espécies na massa d'água, também foram feitas análises de K<sup>+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> por espectroscopia de absorção atômica (Espectrofotômetro de Absorção Atômica, modelo *SpectrAA 50*, *Varian*) e absorção molecular (Espectrofotômetro UV-visível, modelo *Cary 50 Conc.*,

*Varian*), respectivamente. Todos os ensaios foram realizados a temperatura ambiente (25°C) e em triplicato, sendo que os resultados serão apresentados como a média ponderada obtida entre três medidas.

### 5.3.3. Análises físico-químicas

Todas as análises foram executadas seguindo métodos padrão, descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). A alcalinidade das águas, avaliada pelas concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , foi determinada por titulação potenciométrica, utilizando  $\text{HCl}$   $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  como titulante. A dureza das amostras foi avaliada com base nas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , obtidas por titrimetria de complexação com EDTA em meio alcalino, utilizando Negro de Eriocromo T e Calcon como indicadores do ponto final da reação, respectivamente. As concentrações de  $\text{Cl}^-$  foram estimadas por titrimetria de precipitação, utilizando o método de Möhr como referência –  $\text{AgNO}_3$   $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  como titulante e  $\text{CrO}_4^{2-}$  como indicador. As análises potenciométricas de  $\text{Na}^+$ , pH/T e condutância elétrica foram feitas com eletrodos específicos para cada parâmetro. No caso de  $\text{K}^+$ , as concentrações foram determinadas por espectroscopia de absorção atômica a 589 nm. O  $\text{SO}_4^{2-}$  foi determinado por espectrofotometria molecular, utilizando  $\text{BaCl}_2$   $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$  como agente turbidimétrico e leituras no comprimento de onda de 410 nm. Os impactos da salinização das águas de distribuição também foram avaliados por medidas de sólidos totais dissolvidos, obtidas por gravimetria.

### 5.4. Tratamento estatístico dos dados

O conjunto de resultados obtidos a partir das análises físico-químicas foram tratados e representados na forma de tabelas e gráficos. Em virtude do grande número de parâmetros analíticos e pontos de amostragem contemplados neste trabalho, o efeito simultâneo dos parâmetros na dinâmica do  $\text{Na}^+$  e balanço iônico no ambiente foi avaliado pelo programa estatístico *QUALIGRAF*, disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. O nível de similaridade entre os pontos e as variáveis críticas dos processos também foram investigadas por análise estatística multivariada, através de análise exploratória por componentes principais (PCA), utilizando o software *Unscrambler 10.3X*. As informações mais relevantes foram estudadas, discutidas e apresentadas a seguir.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Estudo Socioambiental

A intervenção socioambiental deste trabalho foi crucial para entender a necessidade de elaboração de planos de ação voltados a práticas educativas e gerenciais, relativas ao consumo de águas salinizadas. Conforme descrito anteriormente, o apanhado de informações foi coletado por um questionário semiestruturado, cujos blocos de perguntas estavam relacionados aos seguintes subtópicos:

#### 6.1.1. Natureza e utilização da água captada

Os dados mostraram que a maior alíquota dos entrevistados (90%) utilizam água proveniente da rede pública, mas ainda há uma minoria que capta água de poços artesanais. Os principais motivos apresentados para a não utilização do serviço público de distribuição está no custo e dificuldade de acesso em algumas áreas – ausência de redes de encanamento subterrâneas. No distrito de Alagamar, por exemplo, por não haver disponibilidade de água encanada, a comunidade faz uso de águas de cisternas abastecidas por carros-pipa vindos da zona urbana. Essas cisternas foram distribuídas pelo governo do estado, através do programa “Água para todos”, sendo que a água recolhida é proveniente de um sistema de armazenamento de águas da chuva. Nos períodos de seca também é comum o reabastecimento das cisternas com águas captadas em poços da rede pública da zona urbana, mas cabe a ressalva que este processo de reabastecimento não é regular e torna-se bem mais lento.

Os longos períodos de estiagem enfrentados pela comunidade urbana e rural vêm influenciando a população à prática constante de perfuração de poços não-planejados como alternativa para superar os problemas desencadeados pela falta d’água. Apesar de não ser feita uma análise físico-química e microbiológica criteriosa dessas águas, os entrevistados afirmam perceber características indesejadas nas mesmas para o consumo humano e para outras finalidades:

... *“a água tem sabor salgado, adstringente e não mata a sede”*.

... *“a água não deixa formar espuma com o sabão que utilizo para fazer a limpeza doméstica”*.

... “*sinto comichões pelo corpo quando faço minha higiene pessoal com essa água*”.

Independente da fonte de abastecimento, 76% dos entrevistados alegam que não fazem nenhum tipo de tratamento prévio nas águas antes de utiliza-las. Questionados sobre os motivos, os mesmos manifestam falta de conhecimento sobre as reais necessidades de qualquer tratamento e, para a fração da população que é abastecida pela rede pública, a credibilidade da Companhia responsável pela distribuição de águas de qualidade é outro fator a ser considerado. Todavia, também complementam que nunca tiveram curiosidade de entender ou avaliaram os poucos parâmetros de qualidade que são analisados em águas de abastecimento público do município. Segundo o IBGE (2000), as cidades que utilizam água tratada no Brasil variam de acordo com o tamanho da população. Os investimentos do governo no setor ainda são restritos e destinados quase que totalmente para cidades com mais de 100 mil habitantes. Municípios emergentes e com menos de 20 mil habitantes, como é o caso de Grossos, ainda não estão entre as prioridades imediatas.

Dos 24% dos entrevistados que afirmaram tratar a água, as principais medidas adotadas são filtragem e fervura. Esses processos são eficientes apenas para tratar micropartículas e um pequeno número de microrganismos patogênicos, respectivamente, presentes nas águas. A concentração da maioria dos sais minerais permanece praticamente constante na matriz aquosa após os tratamentos primários supracitados, além destes não garantirem a eliminação completa de diferentes patógenos termo resistentes, como é o caso da *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Escherichia coli*, *Campylobacter*, entre outros (TUCCI *et al.*, 2002).

Com relação às propriedades organolépticas, apenas 1% dos entrevistados informaram que a água apresenta características normais de potabilidade (ausência de cor, cheiro ou sabor) e todos estes recebem água do sistema público de distribuição. Os demais já constataram alterações, principalmente, na cor (32%; amarelada, vermelha ou esbranquiçada) e no sabor (46%; salino, salobro ou adstringente), que pode estar relacionada à presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, dependendo da origem e do local de armazenamento (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 2002). Também reclamam sobre o odor de cloro e/ou ferrugem nas águas advindas do sistema público de distribuição, que pode ter relação com o tipo de tratamento preliminar utilizado pela companhia responsável. Alguns também alertam sobre a presença de odores fétidos de

matéria orgânica em decomposição, provavelmente, devido à presença de compostos orgânicos originários de fontes biogênicas, que se disseminam na massa d'água durante o processo de captação (FERREIRA FILHO, 1996).

O estudo também revelou que, na alimentação, essas águas são utilizadas diariamente na cocção dos alimentos, preparo de sucos e bebidas e uma pequena parcela para saciar a sede, provavelmente devido ao sabor desagradável que a água apresenta. Pesquisas desenvolvidas pelo *Center for Disease Control and Prevention* (2015) mostram que a água distribuída em grande parte do mundo, especialmente onde o tratamento, saneamento e a higiene são feitos de forma inadequada, pode não ser segura para beber, preparar alimentos e bebidas, pois a mesma pode conter elevadas concentrações de íons tóxicos para o organismo, além de contaminantes causadores de diversas doenças, incluindo parasitas, bactérias e vírus.

#### 6.1.2. Aspectos sociais

Quando interrogados sobre as principais patologias vivenciadas pelos familiares em cada domicílio, a hipertensão e seus efeitos colaterais (acidente vascular cerebral, arritmias cardíacas, disfunções renais, entre outras doenças cardiovasculares) estão entre as principais desordens metabólicas relatadas (69%), independente do gênero. Segundo dados da *World Heart Organization* (2013), em todo o mundo, há aproximadamente 17,3 milhões de pessoas que morreram até 2008 por problemas crônicos como a hipertensão, sendo que dessas 7,3 milhões chegaram a óbito por doenças coronarianas e 6,2 milhões decorrentes de acidente vascular cerebral. Em relação ao sexo dos indivíduos, Lim e colaboradores (2012) asseguram que, nas américas, os problemas epidemiológicos da hipertensão são igualmente distribuídos entre homens e mulheres, sendo que as mulheres afro-americanas têm uma maior taxa de prevalência no mundo, correspondendo 44% dos casos.

Na área alcançada pelo presente estudo, em média, há pelo menos dois casos de pessoas afetadas com esta anomalia por domicílio, o que corrobora com os dados da Secretaria Municipal de Saúde do município e mostra a importância de estudos de diagnóstico para entender a origem desta problemática. Segundo o mesmo órgão, estes números não são recentes e a comunidade sofre com este problema crônico há décadas. Em relação à faixa etária, não foi identificado uma margem específica em que são observados os primeiros sinais da hipertensão, já que as vítimas desta patologia estão

distribuídas quase que uniformemente entre 18 e 60 anos. O questionário não considerou pessoas afetadas com idade inferior aos 18 anos, mas há relatos de crianças e adolescentes acometidos com hipertensão e problemas cardiovasculares nesta faixa etária.

Na tentativa de identificar os possíveis fatores de risco externos (não genéticos) que possam contribuir para esses números, 39% dos entrevistados relataram o uso de tabaco e álcool como possíveis agravantes das patologias vivenciadas. De fato, Moraes e colaboradores (2002) mostraram, por meio de um estudo epidemiológico, uma relação positiva entre o consumo de álcool (medido em gramas por dia) e casos de doenças cardiovasculares em pacientes brasileiros. O uso de tabaco também foi apontado como um fator preocupante na evolução de doenças cardíacas isquêmicas e acidentes vasculares cerebrais, além de uma série de complicações no sistema respiratório e trato digestivo (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Em relação ao histórico genético familiar, que também é considerado um fator de risco, porém não-tratável, mais da metade dos voluntários envolvidos no estudo afirmam ter familiares vítimas de hipertensão e/ou anomalias cardiovasculares. Neste ponto, vale salientar que o fato de parte dos indivíduos estarem dentro do grupo de risco em relação às doenças supracitadas, não significa que estas patologias venham a se desenvolver ao longo do tempo, principalmente quando se faz um acompanhamento cautelar do problema (*World Heart Federation*, 2015). Entretanto, os fatores de risco genéticos se somam aos externos, aumentando a probabilidade de evolução dessas doenças ao decorrer da vida e precisam ser monitorados constantemente para reduzir as complicações no quadro do paciente.

### 6.1.3. Educação ambiental

Ciente da possível relação que estas desordens poderiam ter com o consumo de águas salinizadas, particularmente aquelas enriquecidas com íons  $\text{Na}^+$ , os questionamentos foram direcionados para o conhecimento que os entrevistados detinham acerca dos riscos associados ao consumo de águas impactadas por este processo. Dentre esses, 91% afirmaram conhecer os perigos que estas águas poderiam ocasionar à saúde humana, mas também complementaram que os cuidados diários são feitos apenas com a dosagem de  $\text{NaCl}$  adicionada durante os processos de cocção dos alimentos; a grande maioria desconhece a presença significativa do cátion  $\text{Na}^+$  em carnes processadas, defumados, enlatados, condimentos, massas e, principalmente, nas águas utilizadas no consumo diário (COSTA e MACHADO, 2010; NAKASATO, 2004). Pouco mais de 30%

dos entrevistados ainda citaram os temperos prontos e corantes a base de urucum como fontes secundárias de sais sódicos, tomando base apenas o sabor experimentado nos alimentos.

Isso não significa que este nutriente não seja importante, já que o  $\text{Na}^+$  está envolvido na manutenção e distribuição hídrica do nosso corpo, no equilíbrio osmótico, na irritabilidade muscular e é importante no mecanismo de transporte de moléculas através de membranas celulares (MAHAN e STUMP, 2002). A grande questão está na dosagem diária consumida, ou seja, o simples controle dos níveis de  $\text{Na}^+$  na cocção dos alimentos é insuficiente para garantir uma dieta moderada deste nutriente em nossa alimentação. Com esta visão e diante do elevado número de hipertensos, o Brasil desponta entre os principais países com iniciativas voltadas à redução do consumo de sal na alimentação, contando com ações governamentais que visam recomendar limites diários de ingestão deste produto e incentivar a diminuição no consumo de alimentos industrializados com alto teor de  $\text{Na}^+$  em sua composição (WEBSTER *et al.*, 2011).

Após serem informados e notificados sobre um possível processo de salinização das águas subterrâneas, muitos dos entrevistados (88%) corroboraram com a hipótese deste fenômeno no município de Grossos, tendo em vista sua localização em uma região de intensa atividade salineira (contribuição antrópica), além de estar na foz do Rio Apodi/Mossoró e ser banhada pelo Oceano Atlântico (contribuição natural). A população (92% dos entrevistados) reclama da inexistência de políticas públicas de conscientização ambiental pela gestão municipal e pelas escolas, embora uma minoria (8%) dos entrevistados afirmem que algumas escolas abordam temas relacionados em exposições científicas e em semanas de conscientização ambiental. Esse quadro precisa ser mudado e os estabelecimentos de ensino podem ser o ponto de partida para as ações necessárias, mesmo não sendo os únicos detentores de tal responsabilidade. Também é essencial que o governo, em suas diferentes esferas, exerça seu papel com os cidadãos e zele pelo bem-estar da população atingida.

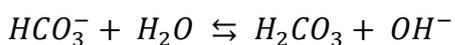
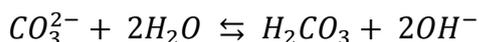
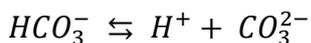
Para Costa e Costa (2011), a educação ambiental é uma ferramenta oportuna de transformação de valores, conhecimento e atitudes que são direcionadas à conservação do ambiente e construção da conscientização ambiental. Por isso, deve ser estimulada e praticada. Todavia, as atividades de pesquisa também devem se somar, já que é a partir delas que se identificam os subsídios necessários para a estruturação de políticas públicas afirmativas; análise e avaliação das práticas gerenciais sob a ótica de questões socioambientais, visando ações corretivas e que garantam melhorias na qualidade de vida

da população; mapeamento de possíveis fontes poluidoras de origem natural ou antrópica; além do estabelecimento dos indicadores de qualidade da água distribuída para a população.

## 6.2. Análises físico-químicas

Para confirmar as hipóteses de salinização das águas subterrâneas, avaliar as potenciais contribuições naturais e antrópicas, bem como estudar e sugerir as possíveis medidas cabíveis, análises físico-químicas de diversos parâmetros foram executados (APÊNDICE 3), interpretadas e discutidas. Em termos de pH, os resultados indicaram uma média de  $7,9 \pm 1,1$  conferindo às águas características levemente alcalinas. Esse tipo de pH é característico de regiões com balanço hídrico negativo, onde a precipitação é menor que a evaporação, favorecendo a dissolução das rochas em intensidades que variam de acordo com o pH local (BAIRD, 2005). Esta é uma primeira evidência de contribuição natural para as concentrações de sais minerais encontradas no aquífero.

Há diferentes espécies carbonatadas que podem contribuir para a alcalinização das águas naturais, conforme descrito no conjunto de equações apresentadas a seguir:



Cada uma destas espécies tem predomínio em função do pH. Em regiões onde os ecossistemas aquáticos recebem influências do mar, os aquíferos são passíveis de receber grandes quantidades de  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$  por intrusão das águas oceânicas, que contribuem para o aumento da alcalinidade no meio e sugerem outra via de processo natural que pode justificar os valores medianos de pH encontrados nas amostras, principalmente quando se trata de regiões cársticas (ESTEVEES, 2011).

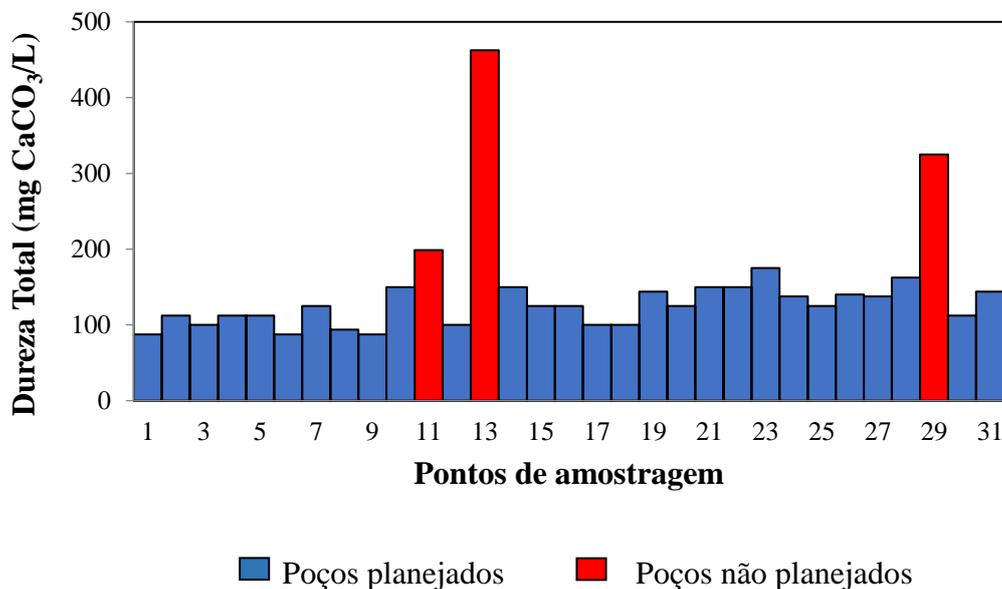
Neste trabalho, tomando por base o valor de pH mediano, a espécie dominante para a alcalinidade também foi o  $HCO_3^-$ , com concentrações que variaram entre 187,8 a 276,1 mg/L. Dinka e colaboradores (2015) reportaram que em  $pH > 7,5$ , há grandes possibilidades das concentrações de  $HCO_3^-$  em aquíferos serem devido a erosão de rochas

calcárias em contato constante com as águas das reservas. Zabala, Manzano e Vives (2015) estudaram o Aquífero Pampeano, subjacente à Bacia do Del Azul - Argentina, e constataram que os valores de pH (7,1 - 8,0) obtidos se devem à presença majoritária de  $\text{HCO}_3^-$  oriundo da dissociação de rochas carbonáticas existentes na reserva. Jeannin e colaboradores (2016) estudaram as águas subterrâneas cársticas das montanhas do Jura, na Suíça, e concluíram que a salinização da reserva nos últimos 20 anos foi decorrente da dissociação dos minerais bicarbonatados que compõe as rochas do aquífero, aumentando a concentração de  $\text{HCO}_3^-$  em 5,0%.

A união dos eventos naturais e antrópicos também tem efeito direto na dureza das águas, que é desencadeada pela presença de sais carbonatados dissolvidos na massa d'água ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , por exemplo), de modo que  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são os principais cátions a serem considerados para fins analíticos (BLUMBERG e AZEVEDO NETTO, 1987). Neste trabalho, a dureza das águas, medida em termos de  $\text{CaCO}_3$ , variou entre 87,5 (moderadamente duras) a 462,5 mg/L (muito duras), sendo que os valores mais significativos foram observados nas águas de distribuição captadas em poços não planejados, conforme observado na Figura 7. Resultados similares foram encontrados por Caracas (2013), em um trabalho realizado nas águas subterrâneas da região costeira do Baixo Jaguaribe - CE (área próxima ao campo de estudo deste trabalho), de modo que a classificação da dureza das águas variou entre branda (18,2%), dura (45,4%) e muito dura (36,4%).

Pelas características geoquímicas apresentadas anteriormente, provavelmente, estes valores podem estar relacionados com o processo natural de dissolução de rochas calcárias, principalmente calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), que se apresentam como as principais fontes de  $\text{Ca}^{2+}$ . Para o  $\text{Mg}^{2+}$ , destaca-se também as biotitas, anfíbolitos e piroxênios, sendo que essas formas são mais resistentes ao intemperismo químico quando comparado as fontes de  $\text{Ca}^{2+}$  e, por essa razão, se apresenta em menor quantidade na matriz aquosa (ABDALLA *et al.*, 2010). De fato, as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  (25,04 a 185,36 mg/L) foram bem superiores as de  $\text{Mg}^{2+}$  (0,50 a 33,41 mg/L) em todos os pontos estudados, com destaque para os poços não planejados, corroborando a discussão anterior.

**Figura 7:** Resultados das análises de dureza total em águas de distribuição coletadas em diferentes pontos de amostragem na cidade de Grossos/RN.



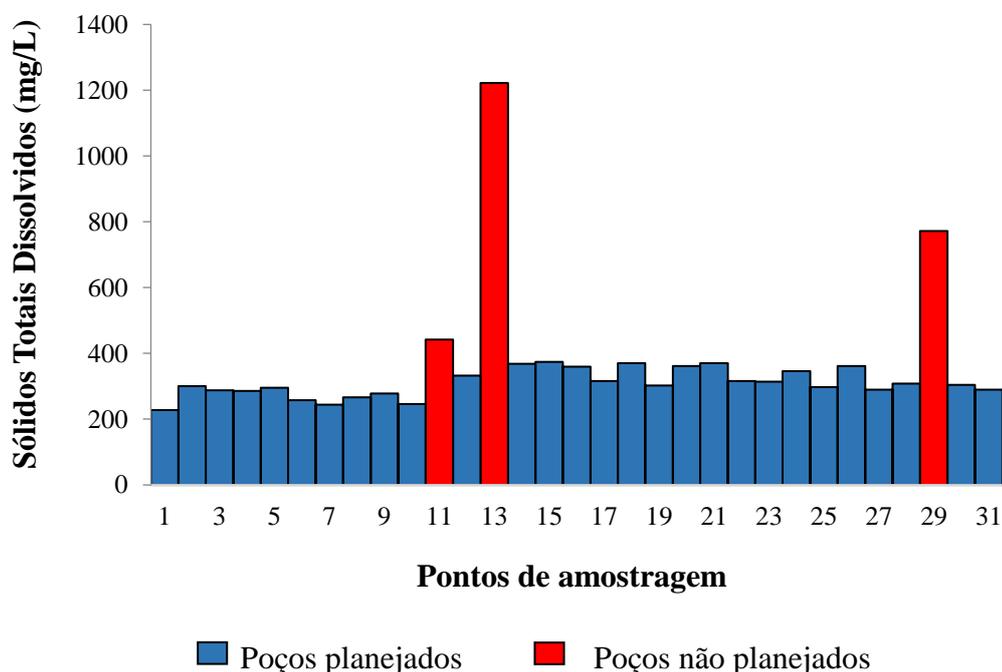
Fonte: arquivo próprio.

Também acreditamos que os tratamentos primários por coagulação, utilizados na companhia de abastecimento público estadual, surtam algum efeito positivo sobre a dureza das águas, já que as concentrações mais significativas foram observadas para os poços não planejados, construídos pela própria população. Independente da origem da água captada, considerando que todos os poços estão em áreas muito próximas às zonas salineiras e/ou às águas continentais, não se pode descartar a contribuição antrópica dos rejeitos das atividades econômicas desenvolvidas ao entorno do município em associação à intrusão da água do mar. Em períodos chuvosos, a percolação de água pelo solo e o consequente arraste de contaminantes para o lençol freático constitui outro fator importante a ser considerado (SRINIVASAMOORTHY *et al.*, 2014).

A presença de sais minerais dissolvidos nas águas subterrâneas também foi constada por medidas de sólidos totais dissolvidos, cujas medidas de concentração variaram entre 244 e 1222 mg/L. Mais uma vez, os Pontos 11, 13 e 29, que representam as águas captadas por poços não planejados, foram os que apresentaram os níveis mais elevados, conforme pode ser observado na Figura 8. O aumento na concentração de espécies iônicas na matriz também é refletida diretamente nos ensaios de condutividade (439 a 2076  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), em virtude do aumento da condutância do meio. Estes resultados aumentam a possibilidade de contribuição da erosão das formações rochosas que

envolvem o aquífero, as quais apresentam elevada concentração de sais minerais e que podem disseminá-los para a massa d'água. Outro fator importante é a estiagem prolongada dos últimos anos, que acarreta o decréscimo nos níveis de recarga dos aquíferos, proporcionando o aumento no tempo de residência das águas subterrâneas e, conseqüentemente, a elevação dos teores de sais minerais (DINKA, LOESKAND e NASAMBUKI, 2015).

**Figura 8:** Resultados das análises de sólidos totais dissolvidos em águas de distribuição coletadas em diferentes pontos de amostragem na cidade de Grossos/RN.



Fonte: Arquivo próprio.

Em áreas continentais, a concentração de  $\text{Cl}^-$  pode ser um excelente indicador de intrusão salina por águas oceânicas, já que esta espécie é abundante na água do mar, altamente solúvel e não sofre processos redox com facilidade (CRUZ, 2006). Neste trabalho, as concentrações variaram entre 50,73 e 525 mg/L, comprovando a hipótese dessalinização das águas subterrâneas, mesmo daquelas distribuídas pela rede pública (poços planejados). Em termos de NaCl, essas concentrações poderiam ser expressas na faixa entre 89,4 a 865,2 mg/L, sendo que a concentração mais intensa foi detectada no Ponto 29, um dos pontos mais próximos às áreas de rejeito das águas residuais das atividades salineiras, mostrando indícios de forte contribuição antrópica. Resultados semelhantes foram relatados por Elissa e colaboradores (2016), ao estudar as águas

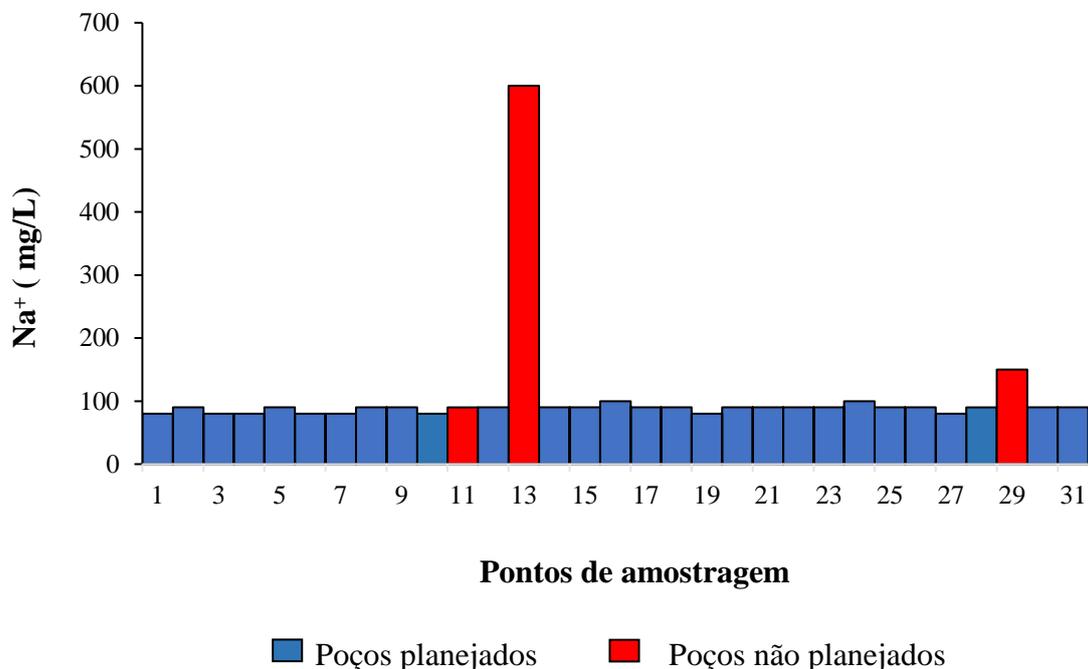
subterrâneas do aquífero do Delta do Wadi Watir (Península do Sinai, Egito) com traçadores isotópicos e observaram que os poços perfurados ao longo da costa possuíam alta salinidade, desencadeada por uma soma de fatores naturais (avanço do mar) e antrópicos (descarte inadequado de resíduos industriais não tratados).

Além do cloreto, outro ânion que apresentou valores consideráveis nas águas subterrâneas e que também está relacionado à intrusão salina foi o  $\text{SO}_4^{2-}$  (16,74 a 77,47 mg/L), embora os efluentes da indústria salineira e da criação de crustáceos, bem como a erosão de rochas sulfatadas como a gipsita, também apresentem concentrações significativas deste íon e possam contribuir para o aumento dos teores na matriz em estudo (STEIN, 2013). Para este parâmetro, os pontos 11 (51,0 mg/L), 13 (77,47 mg/L) e 29 (38,76 mg/L) se sobressaíram novamente entre os demais.

A presença de cátions monovalentes como  $\text{K}^+$  também deve ser considerada em estudos de salinização de águas subterrâneas, tendo em vista sua abundância e participação no equilíbrio do balanço iônico do meio. Neste trabalho, as concentrações deste cátion variaram entre 10,8 e 14,26 mg/L, que são valores elevados para águas subterrâneas e característicos de reservas em processo acelerado de salinização (SHUGAIR, 2002; SHOMAR, 2015), com destaque para os poços não planejados.

Apesar da importância de íons  $\text{K}^+$  para o mapeamento de ambientes salinos, quando se refere aos possíveis impactos que o consumo de águas enriquecidas por sais minerais podem ocasionar à saúde humana, principalmente no tocante à hipertensão arterial e efeitos colaterais, o monitoramento das concentrações de íons  $\text{Na}^+$  ganha importância singular. Este cátion está presente em todos os eventos naturais e antrópicos supracitados e, por esta razão, o mesmo foi considerado neste trabalho como o principal marcador da salinização das águas subterrâneas. Em geral, a concentração média de  $\text{Na}^+$  encontrada na águas foi de  $100 \pm 10$  mg/L, independente da natureza da água captada, com exceção dos pontos 13 (área de descarga de efluentes das salinas) e 29 (área de encontro com o mar), onde os teores atingiram valores de 600 mg/L e 150 mg/L, respectivamente (Figura 9).

**Figura 9:** Resultados das análises de íons sódio em águas de distribuição coletadas nos diferentes pontos de amostragem da cidade de Grossos/RN.



Fonte: Arquivo próprio.

Esses resultados atestam a salinização das águas subterrâneas do município, provavelmente, pela soma de eventos naturais (erosão das formações rochosas do aquífero e intrusão de águas oceânicas) e antrópicos (extração e refino de sal marinho não sustentáveis) ocorridos no entorno do aquífero que abastece o município. Esse resultado é preocupante, tendo em vista a forte relação deste íon com as desordens metabólicas mencionadas e o grande número de acometidos na cidade de Grossos-RN. A título de informação, mesmo as concentrações mais baixas de Na<sup>+</sup> detectadas nessas águas sejam quase cinco vezes maior que o valor máximo recomendado pela *United States Environmental Protection Agency* (20 mg/L; USEPA, 2003). Ao considerar as quantidades extras deste cátion advindas dos demais alimentos, percebemos o nível de exposição ao qual a população está vulnerável. Apesar dos estudos de toxicidade já comprovado pelos consumo excessivo de íon Na<sup>+</sup> (GUYTON e HALL, 2011, MCARDLE, KATCH e KATCH, 2011), a legislação brasileira ainda aceita valores 5 vezes maior (200 mg/L; Portaria 518/2014- NS) mostrando a necessidade de revisão.

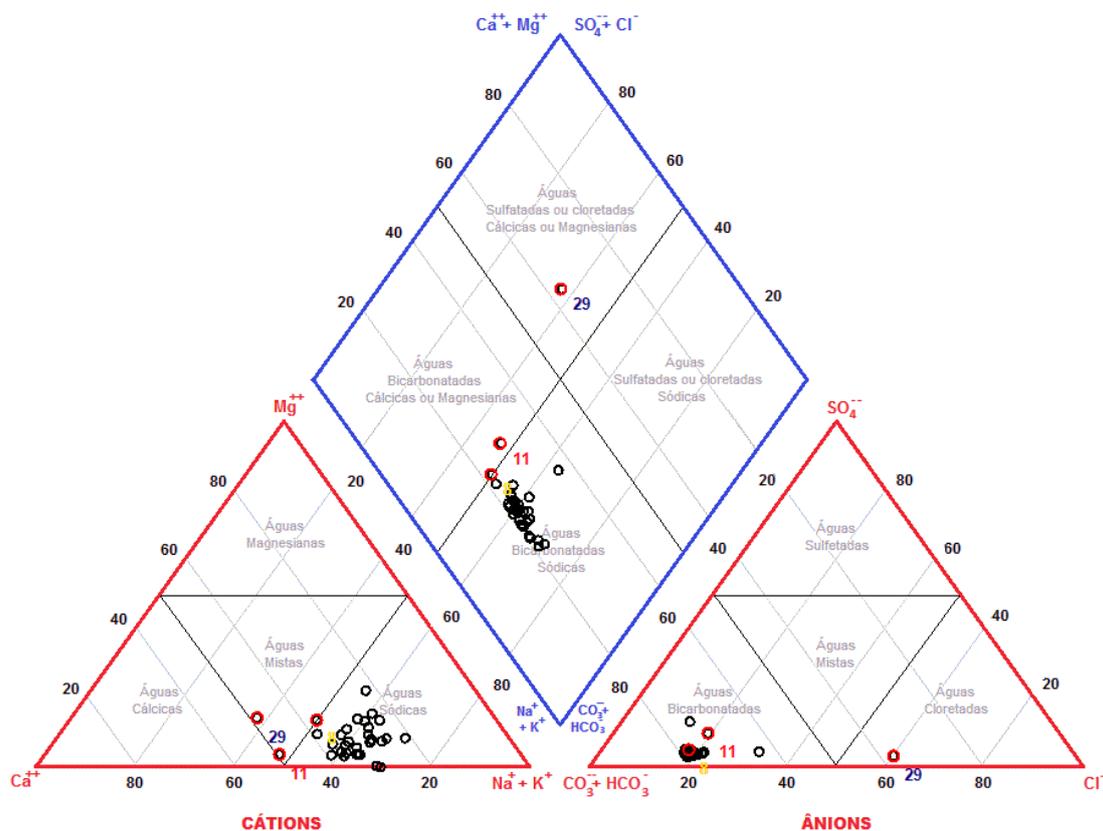
### 6.3. Classificação geral das águas

Em virtude da quantidade de parâmetros analisados e da complexidade para avaliar a ação conjunta dos mesmos na matriz, os resultados dos ensaios físico-químicos foram otimizados por diferentes ferramentas estatísticas, a fim de obter-se uma classificação geral para as amostras e identificar os parâmetros críticos para o processo de salinização. Neste sentido, uma primeira classificação e agrupamentos das mesmas foi feita pelo *Diagrama de Piper*, que é estruturado com base em possíveis íons dominantes presentes na matriz (SANTOS e MOHR, 2013), conforme mostrado na Figura 10.

Em termos de cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ), percebemos que 90,3% das amostras estão classificadas como águas sódicas (ricas em  $\text{Na}^+$ ), enquanto as demais possuem classificação mista entre sódicas e cálcicas (ricas em  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ). Em termos de composição aniônica ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ), praticamente todas as amostras são constituídas de águas bicarbonatadas (96,8%), com exceção do Ponto 29 (zona de planícies litorâneas banhadas pelo mar), cuja presença de  $\text{Cl}^-$  é majoritária. A presença reduzida de cátion/ânions bivalentes e destaque para íons monovalentes é um indício de águas com maior tempo de residência nos aquíferos, característica típica de regiões com baixa pluviometria (DE AGUIAR *et al.*, 2000; SANTIAGO *et al.*, 2007).

Unificando as informações dos íons dominantes, observamos que a grande maioria das águas é classificada como bicarbonatada sódica (90%), mostrando que os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  têm grande influência sobre as características gerais das amostras estudadas e que a erosão das formações rochosas do aquífero, particularmente das rochas carbonáticas, pode estar contribuindo significativamente para a salinização das águas. A abundância de  $\text{Na}^+$  nessas amostras, somada ao pequeno percentual de águas bicarbonatadas cálcicas/magnesianas (6,4%) e das sulfatadas/cloretadas cálcicas/magnesianas (3,2%), também sugere a possível contribuição da percolação de águas residuais das atividades salineiras em direção às águas subterrâneas, bem como a intrusão salina pelo avanço de águas oceânicas no aquífero (DE AGUIAR *et al.*, 2000; SANTIAGO *et al.*, 2007).

**Figura 10:** Diagrama de Piper obtido para as diferentes amostras de água estudadas.

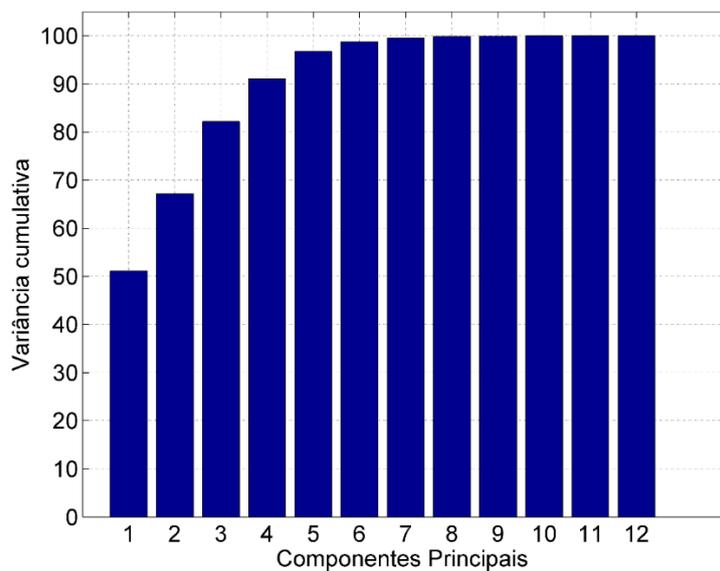


Fonte: Arquivo próprio.

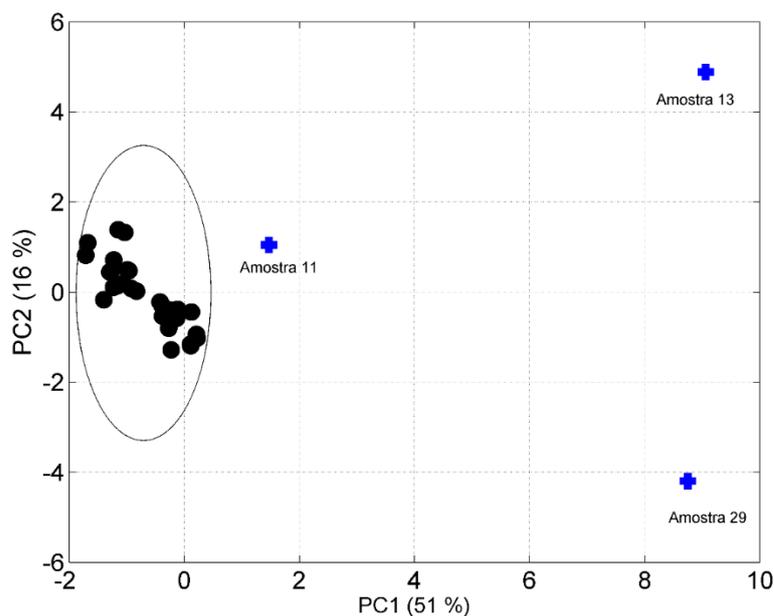
Diante da complexidade atribuída ao grande número de parâmetros físico-químicos trabalhados e da dificuldade em relacioná-los nas várias amostras analisadas, o conjunto dos resultados foi submetido à análise exploratória por PCA, utilizando dados escalonados em uma matriz de dimensão 31 (amostras) x 12 (parâmetros analisados). Para selecionar o número de componentes principais significativos para o estudo, avaliou-se o percentual de variância explicada cumulativamente em função do número de componentes principais – PCs, conforme descrito na Figura 11A.

**Figura 11:** (A) Gráfico da variância significativa em função das componentes principais, utilizando os dados dos parâmetros escalonados. (B) Gráfico dos escores de PC-1 em função de PC-2, obtido para as amostras captadas de poços planejados (marcadores pretos) e não planejados (marcadores azuis).

(A)



(B)



Fonte: Arquivo próprio.

Como pode ser observado, no modelo estatístico obtido após a quinta PC não ocorre aumento significativo de informação explicada, indicando que os dados podem ser

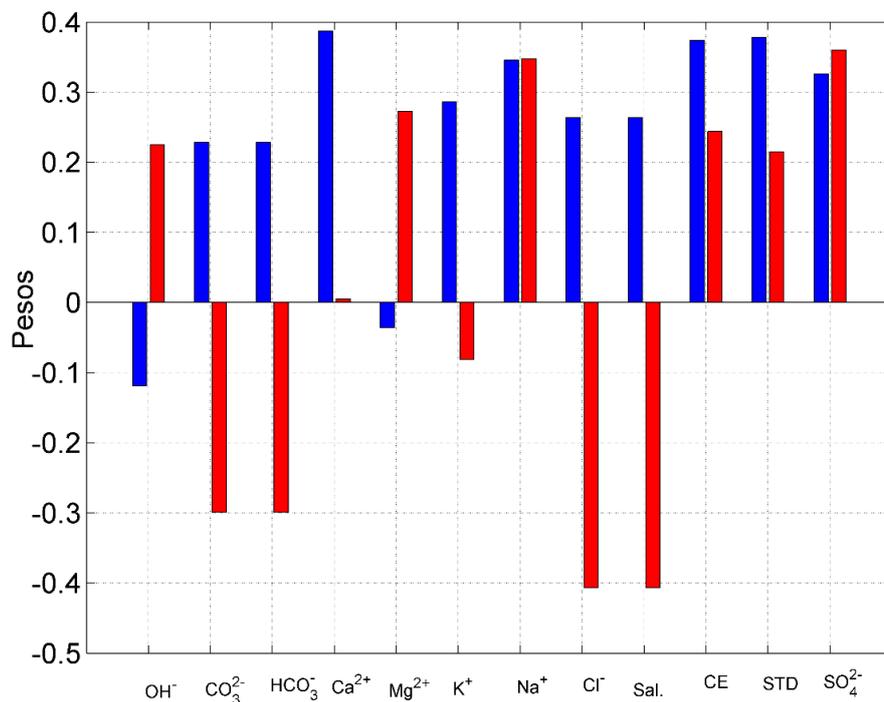
descritos satisfatoriamente pelas cinco primeiras componentes principais que, por sua vez, representam 97% de toda a variância dos dados. Seguindo este raciocínio, ao observarmos o gráfico bidimensional de PC-1 em função de PC-2 (Figura 11B), que concentram 67% da variância cumulativa dos dados, podemos identificar um grupo de amostras de comportamento similar/coeso (marcadores pretos), que correspondem às águas captadas e distribuídas a partir dos poços planejados, como já havia sido detectado nos estudos preliminares.

O modelo ainda mostra que as águas captadas em poços não planejados apresentam comportamento muito distinto daquelas captadas em poços planejados, havendo ainda diferenças significativas entre elas mesmas, como pode ser observado pela grande dispersão dos dados nas PCs dos Pontos 11, 13 e 29. Constata-se ainda que PC-1 é a principal componente responsável por distinguir as águas oriundas de poços planejados e não planejados.

Diante desses resultados, estudamos o gráfico de pesos atribuído a cada parâmetro em PC-1 e PC-2 (Figura 12), a fim de identificar as variáveis críticas nos resultados de PCA. Os dados indicam que as variáveis mais influentes em PC1 são  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD). Para PC-2, a concentração de  $\text{Cl}^-$  e a salinidade (Sal.) foram mais influentes. Deste modo, percebe-se que, apesar da concentração expressiva de  $\text{Na}^+$  encontrada nas águas subterrâneas e do risco associado à saúde dos consumidores, os demais nutrientes estudados e que também levam a salinização das águas naturais também devem ser avaliados e tratados adequadamente, antes que estas águas sejam distribuídas aos consumidores.

Como as amostras contêm concentrações significativas de diferentes nutrientes, uma possível solução seria a implantação de dessalinizadores eficientes para o tratamento dessas águas (por osmose reversa ou por processos térmicos, por exemplo), como forma de garantir água potável com qualidade e quantidade satisfatória para atender as necessidades da população.

**Figura 12:** Gráfico de pesos atribuídos a cada parâmetro em PC-1 e PC-2.



Fonte: Arquivo próprio.

#### 6.4. Efeito da sazonalidade

A fim de identificar possíveis oscilações nos resultados em decorrência do início do período chuvoso na mesorregião em que o município em questão está englobado, uma nova etapa de coletas e análises foi desenvolvida e os resultados foram confrontados com aqueles obtidos no período de estiagem. Até o momento, há perspectivas que os índices pluviométricos permaneçam acima de 500 mm, que representa um volume bem acima da média obtida em anos anteriores (EMPARN, 2017). Entretanto, a recarga hídrica dos lençóis freáticos é lenta e ainda não foi suficiente para reduzir expressivamente a salinização da massa d'água. Em termos de Na<sup>+</sup>, as concentrações mais significativas foram identificadas nos pontos 7 (110 mg/L), 13 (609 mg/L), 23 (128 mg/L) e 29 (136 mg/L), atestando as informações apresentadas anteriormente. Esses dados também reafirmam a necessidade de investimentos em tecnologias de tratamento mais eficientes, que garantam água de qualidade e em quantidade para a população local, bem como em políticas de educação e conscientização ambiental para o uso adequado da água destinada ao consumo humano.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas distribuídas no município de Grossos-RN, tanto as captadas de poços planejados quanto aquelas oriundas de poços artesanais, estão sendo impactadas pelo processo de salinização. Os resultados indicam que este fenômeno pode estar associado a diferentes fatores naturais (intrusão de águas oceânicas no aquífero, erosão hídrica das rochas em contato com a reserva, além da baixa recarga dos lençóis freáticos, ocasionada pelos longos períodos de estiagem) e antrópicos (descarte inadequado de resíduos industriais e sua consequente percolação em direção ao aquífero), que se somam e agravam a intensidade do processo. A salinização das águas pôde ser observado mesmo no período chuvoso, uma vez que a recarga hídrica do aquífero é lenta e, até o momento, insuficiente para reduzir de forma expressiva tal processo.

Entre as amostras estudadas, há um predomínio de águas sódicas (90,3%) enriquecidas com bicarbonatos (96,8%), sendo que a própria geologia da região e a intrusão da água do mar têm uma importante contribuição para esses números. Apesar das concentrações do marcador  $\text{Na}^+$  terem sido expressivas (100 - 600 mg/L), principalmente nas águas captadas de poços não planejados, há outros íons que também merecem atenção ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , entre outros) por contribuírem paralelamente para o processo de salinização nas matrizes estudadas. Essas informações foram suportadas pela análise estatística multivariada dos dados, que reitera a importância dos parâmetros  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos na variância explicativas das componentes principais (PC-5; > 97% da variância das informações), bem como na característica geral das águas captadas em poços planejados e artesanais. O uso de dessalinizadores (osmose reversa ou processos térmicos, por exemplo) pode ser uma alternativa viável para obter água de melhor qualidade e para zelar pelo bem-estar da população.

O conjunto de resultados obtidos nesta pesquisa permite-nos inferir que o elevado teor de íons sódio e a consequente salinização das águas subterrâneas pode estar relacionada à alta incidência de casos de hipertensão e doenças correlatas vivenciadas pelos munícipes. O estudo socioambiental também revelou a necessidade de incentivos em políticas de educação ambiental, a fim de tornar a população mais esclarecida sobre os riscos associados ao consumo de águas salinizadas, bem como acerca das medidas cabíveis frente aos impactos negativos ocasionados a saúde pública.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, K.V.P. *et al.* Avaliação da Dureza e das Concentrações de Cálcio e Magnésio em Águas Subterrâneas da Zona Urbana e Rural do Município de Rosário-MA. *Revista Águas Subterrâneas*. (2010).

AHMAD, S. A.; KHAN, M H. Ground Water Arsenic Contamination and Its Health Effects in Bangladesh. *Handbook of Arsenic Toxicology*. (2015) 51–72.

ALBAREDA-SIRVENT, M.; MERKOCI, A.; ALEGRET, S. Configurations used in the design of screen-printed enzymatic biosensors. A review. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 69 (2000) 153–163.

ANA (Agência Nacional de Água). Fatos e tendências. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: < [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao\\_2.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2016.

ANDRADE, E. M. de, *et al.* Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. *Environmental Research*. 106 (2008) 170–177.

APHA (American Public Health Association). *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater*. 19 th Ed. New York: APHA, 2005.

ARAÚJO NETO, J. R. *et al.* Modelagem da estrutura iônica das águas superficiais de reservatórios da bacia Metropolitana do Ceará, Brasil usando regressão linear múltipla. *Revista Agro@mbiente On-line*. 8 (2014) 29-38.

ASKRI, B *et al.* Isotopic and geochemical identifications of groundwater salinisation processes in Salalah coastal plain, Sultanate of Oman. *Chemie der Erde - Geochemistry*. 76 (2016) 243–255.

BAIRD, C.; CANN, M. *Química ambiental*. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARLOW, P. M. Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. *Science for a changing world*. 1262 (2003).

BLUMBERG, E.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. Alcalinidade e Dureza das águas Naturais. *Revista do Departamento de Águas e Esgotos*. 28 (1987).

BOND, L. D.; BREDEHOEFT, J. D. Origins of seawater intrusion in a coastal aquifer — A case study of the Pajaro Valley, California. *Journal of Hydrology*. 92 (1987) 363-388.

BOUZOURRA, H. *et al.*, Characterization of mechanisms and processes of groundwater salinization in irrigated coastal area using statistics, GIS, and hydrogeochemical investigations. *Environmental Science and Pollution Research*. 22 (2014).

BROUYÈRE, S.; DASSARGUES, A.; HALLET, V. Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: A field investigation. *Journal of Contaminant Hydrology*. 72 (2004) 135-164.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M.J. Monitoramento de variáveis de qualidade de água no horto Ouro Verde - Conchal - SP. *Engenharia Agrícola*. 25 (2005) 742-748.

BUNDSCHUH, J. *et al.* Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles county, Santiago del Estero Province. *Applied Geochemistry*. 19 (2004) 231-243.

CALVACHE, M. L.; PULIDO-BOSCH, A. Saltwater intrusion into a small coastal aquifer (Rio Verde, Almuñecar, southern Spain). *Journal of Hydrology*. 129 (1991) 195-213.

CAMARGO, O. A. Uma visão política sobre contaminação de solos com metais pesados. (2007). Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_3/contaminacao/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/contaminacao/index.htm)>. Acesso em: 10 out. 2016.

CAMP, M. V. *et al.* Investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: The example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 96 (2014) 71-78.

CARACAS, I. B. Influência da Salinização em Parâmetros de Qualidade das Águas Subterrâneas na Região Costeira do Baixo Jaguaribe. 2013. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará.

CARVALHO, R. G. de, Análise de sistemas ambientais aplicada ao planejamento: estudo em macro e mesoescala na região da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN/Brasil. 2011. 269f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará.

CARVALHO, R. G de.; KELTING, F. M. S.; AGUIAR, P. F. de. Diagnóstico ambiental integrado do município de Grossos/RN: subsídios ao planejamento ambiental. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, 23 (2012) 105-129.

CARVALHO, S. E. Q. de. Desenvolvimento e aplicação de eletrodo quimicamente modificado com Hexacianoferratos de metais Fe, Ni e Co. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências- Química Analítica). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de São Paulo.

CDC (*Center for Disease Control and Prevention*). About High Blood Pressure. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/bloodpressure/about.htm>>. Acesso em: 12 Dez. 2015.

CHAUDHURI, S.; ALE, S. Long term (1960–2010) trends in groundwater contamination and salinization in the Ogallala aquifer in Texas. *Journal of Hydrology*. 513 (2014) 376–390.

CLAUDINO-SALES, V. Les Littoraux du Ceará: evolution geomorphologique de la zone côtière de l'Etat du Ceará, Brésil –du long terme au court terme. 2002. Thèse de Doctorat, Université Paris Sorbonne.

CLEARY, R. W. *Águas Subterrâneas*. Florida, USA: Princeton Groundwater Inc. Clean Environment Brasil, 2007.

COSTA, C. A.; COSTA, F. G. A Educação como Instrumento na Construção da Consciência Ambiental. *Nucleus*. 8 (2011) 421-440.

COSTA, F. P.; MACHADO, S. H. O consumo de sal e alimentos ricos em sódio pode influenciar na pressão arterial das crianças? *Ciências saúde coletiva*. 15 (2010).

CPRM (Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado do Rio Grande do Norte). *Diagnóstico do Município de Grossos*. (2005). Disponível em:<[http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/atlas\\_digital\\_rhs/rgnorte/relatorios/GROS050.PDF](http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/atlas_digital_rhs/rgnorte/relatorios/GROS050.PDF)>. Acesso em: 21 nov. 2016.

CRUZ, A. Estudo de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro: Modelagem Hidrogeoquímica e Avaliação de Vulnerabilidade à Intrusão Marinha. 2006. 118f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CRUZ, A.; SILVA JÚNIOR, G. C. Spatial and temporal hydrochemical behavior of Piratininga coastal aquifer, Niterói City, Brazil. *Salt Water Intrusion Meeting*. 1 (2006) 12-18.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. Hidrologia subterrânea. 2ª ed. Barcelona: Omega, 2001.

DARWISH, T. *et al.* Observations on soil and groundwater contamination with nitrate: A case study from Lebanon-East Mediterranean. *Agricultural Water Management*. 99 (2011) 74–84.

DE AGUIAR, R. B.; SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. A Origem dos Sais nas Águas subterrâneas dos Aquíferos Costeiros no Município de Caucaia – Ceará. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000. São Paulo. Anais do 1st Joint World Congress on Groundwater. São Paulo: ABAS, 2000. CD-ROM.

DE MARCO, R.; CLARKE, G.; PEJCIC, B. Ion-selective electrode potentiometry in environmental analysis. *Electroanalysis*. 19 (2007) 1987-2001.

DEMIREL, Z. The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of Environmental Management*. 70 (2004) 275–282.

DINKA, M. O.; LOISKANDL, W.; NDAMBUKI, J. M. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 3 (2015) 444–456.

ELISSA *et al.* Groundwater recharge and salinization in the arid coastal plain aquifer of the Wadi Watir delta, Sinai, Egypt. *Applied Geochemistry*. 71 (2016) 48–62.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Definição e Características Gerais. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_8\\_2212200611538.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html)>. Acesso em: 15 nov. 2016.

EMPARN (Empresa de Pesquisa em Agropecuária). Meteorologia. (2017). Disponível em: <<http://187.61.173.26/>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

ESTEVEZ, F. de A. Fundamentos de Limnologia. 3ª ed. São Paulo: Editora Interciência, 2011.

FARGHALY, O. A.; HAMEED, R. S. A.; ABU-NAWWAS, A. A.H. Analytical application using modern electrochemical techniques. *International Journal of Electrochemical Science*. 9 (2014) 3287- 3318.

FAYE, S. *et al.* Groundwater salinization in the Saloum (Senegal) delta aquifer: minor elements and isotopic indicators. *Science of the Total Environment*. 343 (2005) 243–259.

FERNANDES, J. C. B.; KUBOTA, L. T.; OLIVEIRA NETO, G. De. Eletrodos Íon-Seletivos: Histórico, Mecanismo De Resposta, Seletividade E Revisão Dos Conceitos. *Quim. Nova*. 24 (2001) 120-130.

FERREIRA FILHO S. S. Otimização da Aplicação do CAP no Tratamento de Água Visando a Redução de Compostos Orgânicos Causadores de Odor e Sabor em Águas de Abastecimento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. 1 (1996) 131-143.

FERREIRA, M.; COSTA NETO. Influência da Carcinicultura Sobre a Salinização do Solo Em Áreas do Município de Guamaré/RN. *Holos*. 2 (2008).

FILGUEIRA, R. F. *et al.* Zoneamento Ambiental da Foz do Rio Apodi-Mossoró: versão preliminar. Mossoró, RN: UERN, 2005.

GEMINI, Ü.; SOMAY, M.; AKAR, T.; TARCAN, G. An assessment of the seawater effect by geochemical and isotopic data on the brackish karst groundwater from the Karaburun Peninsula (İzmir, Turkey). *Environmental Earth Sciences*. 75 (2016) 1-19.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Classificação das Áreas de Recarga do Sistema Aquífero Guarani no Brasil em Domínios Pedomorfoagroclicmáticos – Subsídio aos Estudos de Avaliação de Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas. *Revista do Departamento de Geografia*. 18 (2006) 67-74.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Tratado de fisiologia Médica. 11ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2011.

- HARRIS, D. C. *Análise Química Quantitativa*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- HUSSAIN, M. S.; JAVADI, A. A.; SHERIF, M. M. Three Dimensional Simulation of Seawater Intrusion in a Regional Coastal Aquifer in UAE. *Procedia Engineering*. 119 (2015) 1153-1160.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. (2000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 06 Jan. 2015.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio. (2009). Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?t=acesso-sistema-abastecimentoagua&vcodigo=IU22>>. Acesso em: 25 jan. 2016.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Síntese dos Indicadores Sociais. (2014). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv42820.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. (2000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 06 Jan. 2015.
- IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente). Perfil do seu Município. (2008). Disponível em: <<http://idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=PASTAC&TARG=875&ACT=&PAGE=6&PARM=&LBL=Perfil+do+Seu+Munic%C3%83%C6%92%C3%82%C2%ADpilo+2008>>. Acesso em: 30 nov. 2016.
- JEANNIM, P-Y. *et al.* Impact of global change on karst groundwater mineralization in the Jura Mountains. *Science of The Total Environment*. 541 (2016) 1208–1221.
- KANZARIE, S. *et al.* Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan) – Salinization risk of soils and aquifers. *Computers and Electronics in Agriculture*. 86 (2012) 34–42.
- KELLY, W. R.; PANNON, S. V.; HACKLEY, K. C. Impacts of road salt runoff on water quality of the Chicago, Illinois, region. *Environmental and Engineering Geoscience*. 18 (2012) 65-81.
- KHAN, A. *et al.* Saline contamination of drinking water in Bangladesh. *The Lancet*. 371 (2008) 385.
- KHASKA, M. *et al.* Origin of groundwater salinity (current seawater vs. saline deep water) in a coastal karst aquifer based on Sr and Cl isotopes. Case study of the La Clape massif (southern France). *Applied Geochemistry*. 37 (2013) 212–227.

KLOPPMANN, W.; BOURHANE, A.; SCHOMBURGK, S. Groundwater Salinization in France. *Procedia Earth and Planetary Science*. 7 (2013) 440-443.

LEMOS, E. C. L & MEDEIROS, F. W. 2006. Águas Subterrâneas e as Doenças de Veiculação Hídrica. Área Piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal – Município de Fortaleza / CE. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 93p.

LESSA, I. Epidemiologia da hipertensão arterial sistêmica e da insuficiência cardíaca no Brasil. *Rev. Brás. Hipertens.* 8 (2001) 383 – 392.

LIM, S. S. *et al.* A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Bethesda: PMC (2012). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4156511/>>. Acesso em: 23 maio 2016.

LOPES, N. P. *et al.* Perfil de fatores determinantes da HAS de uma população específica em uma região delimitada de Curitiba-PR. *Revista de Enfermagem*. 1 (2012) 01-11. Disponível em: <<http://www.santacruz.br/ojs/index.php/Revenf/article/view/1006/930>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

MACHIWAL, D.; JHA, M. K. Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies* (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.11.005>

MAHAN, L. K.; STUMP, S. E. Krause Alimentos, nutrição & dietoterapia. 10ª ed. São Paulo, SP: Roca, 2002.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição, Energia e Desempenho Humano. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET*. 17 (2013) 3318 – 3326.

MORAES, R. S. *et al.* Risk factors for cardiovascular disease in a Brazilian population-based cohort study. *Int. J. Cardiology*. 90 (2002) 205-11.

MOTA, J. C. A. *et al.* Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi- RN. *Bras. Ci. Solos*. 31 (2007) 445-454.

MOURA, I. H. *et al.* Prevalência de hipertensão arterial e seus fatores de risco em adolescentes. *Acta Paulista de Enfermagem*. 28 (2015) 81-6. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010321002015000100081&script=sci\\_arttext&lng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010321002015000100081&script=sci_arttext&lng=es)>. Acesso em: 14 jun. 2015.

MUNNS, R. The impact of salinity stress. Plant stress. (2012). Disponível em: <[http://www.plantstress.com/Articles/salinity\\_i/salinity\\_i.htm](http://www.plantstress.com/Articles/salinity_i/salinity_i.htm)>. Acesso: 10 out. 2016.

NAJIB, S. *et al.* Salinization process and coastal groundwater quality in Chaouia, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*. 115 (2016) 17–31.

NAKASATO, M. Sal e hipertensão arterial. *Revista Brasileira de Hipertensão*. 11 (2004) 95-97.

NARAYAN, K. A.; SCHLEEGER, C.; BRISTOW, K. L. Modelling seawater intrusion in the Burdekin Delta Irrigation Area, North Queensland, Australia. *Agricultural Water Management*. 89 (2007) 217–228.

NASCIMENTO, S. R. V. Geoprocessamento aplicado a gestão de informações territoriais do município de Grossos-RN. Estudo multitemporal do uso e ocupação do solo. 2004. 98f. Dissertação (Mestrado em Geociência). Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geociência, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

NETO, J. R. A. *et al.* Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. *Revista Agro@mbiente On-line*. 8 (2014) 184-193.

ODLARE, M. Introductory Chapter for Water Resources. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. (2014). Disponível em: <[http://ac.elscdn.com/B9780124095489090357/3s2.0B978012409548909035main.pdf?\\_tid=090ff69e9b9711e68bec0000aacb362&acdnat=1477498547\\_959e1509953ca49489169d8dc2a6b339](http://ac.elscdn.com/B9780124095489090357/3s2.0B978012409548909035main.pdf?_tid=090ff69e9b9711e68bec0000aacb362&acdnat=1477498547_959e1509953ca49489169d8dc2a6b339)>. Acesso em: 20 out. 2016.

OH, H. J.; CHA, G. S.; NAM, H. Effect of Surfactants on the Electrochemical Performance of Cation-Selective Membrane Electrodes. *Bull. Korean Chem. Soc.* 24 (2003).

OLIVEIRA, A. F.; VALENTE, J. G.; LEITE, I. C. Aspectos da mortalidade atribuível ao tabaco: revisão sistemática. *Rev. Saúde Pública*. 42 (2008) 335-345.

OLIVEIRA, A. M. Modelagem do avanço da Cunha Salina em Sistema Aquífero Costeiro. 2016. 72f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

OLIVEIRA, T. M. B. F.; DI SOUZA, L.; CASTRO, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. *Eclética Química*, 34 (2009) 17 – 26.

ONU (Organização das Nações Unidas). Novo relatório da ONU. (2013). Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 19 out. 2016.

ONU (Organização das Nações Unidas). Até 2030 planeta pode enfrentar déficit de água de até 40%, alerta relatório da ONU. (2015). Disponível em: <

<https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de-agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 13 out. 2016.

PEDROZO, C. da S.; KAPUSTA, S. C., Indicadores Ambientais em Ecossistemas aquáticos. (2010). Disponível em:<[http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_amb\\_saude\\_seguranca/meio\\_amb/031212\\_indic\\_amb.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_amb_saude_seguranca/meio_amb/031212_indic_amb.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2016.

PÉRES, D. S.; MAGNA, J. M.; VIANA, L. A. Portador de hipertensão arterial: atitudes, crenças, percepções, pensamentos e práticas. *Rev. Saúde Pública.* 37 (2003) 635-642.

PETTA, R. A. *et al.* Análise da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró no contexto de alterações ambientais e socioeconômicas ligadas a exploração de petróleo. 2007, Campinas. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2007.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. Gestão de recursos hídricos em tempos de crise. 1ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

POSTMA, D. *et al.* Arsenic in groundwater of the Red River floodplain, Vietnam: Controlling geochemical processes and reactive transport modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 71 (2007) 5054–5071.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. *Edgard Blücher.* (2002) 332.

ROCHA, A. B. da; CLAUDINO-SALES, V. C. da; SALES, M. C. L. Geoambientes, uso e Ocupação do Espaço no Estuário do Rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste Do Brasil. *REDE – Revista Eletrônica do Prodem.* 7 (2011) 60-75.

ROISENBERG, C. *et al.* Caracterização geoquímica e gênese dos principais íons das águas subterrâneas de Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.* 8 (2003) 137-147.

SANTIAGO, M. M. F. *et al.* Fatores condicionantes da qualidade das águas subterrâneas na região costeira de Caucaia, Ceará – Brasil. *Revista de Geologia.* 20 (2007) 23-32.

SANTO *et al.* Parâmetros indicativos do processo de salinização em rios urbanos do semiárido brasileiro. *Quím. Nova.* 32 (2009).

SANTOS, E. *et al.* A seca no Nordeste no ano de 2012: relato sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o semiárido no distrito de Iguaçú/Canindé-CE. *Revista Geonorte.* 1 (2012) 819 – 830.

SANTOS, R de S.; MOHR, T. Saúde e Qualidade da Água: Análises Microbiológicas e Físico-Químicas em Águas Subterrâneas. *Revista Contexto & Saúde.* 13 (2013) 46-53.

SBC (Sociedade Brasileira de Cardiologia). V Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial. (2007). Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0066-782X2007001500012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2007001500012)>. Acesso em: 15 Nov. 2016.

SHI, J. *et al.* Assessment of deep groundwater over-exploitation in the North China Plain. *Geoscience Frontiers*. 2 (2011) 593–598.

SHOMAR, B. Geochemistry of soil and groundwater in arid regions: Qatar as a case study. *Groundwater for Sustainable Development*. 1 (2015) 33–40.

SHUGAIR, S. M. S. Estudo da Contaminação do Solo e Água Subterrânea por Elementos Tóxicos Originados dos Rejeitos das Minas de Carvão de Figueira no Estado do Paraná. 2002. 129f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

SILVA FILHO, E. V. *et al.* Groundwater chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer, SE – Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 27 (2009) 100–108.

SILVA JUNIOR *et al.* A Problemática da Intrusão Marinha nos Aquíferos Costeiros do Leste Fluminense: Um Estudo de Caso - A Região Oceânica de Niterói. *Revista Águas Subterrâneas*. (2000).

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública do Rio de Janeiro*. 12 (1996) 515-523.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. *Analytical Chemistry: An Introduction*, 6ª ed., Saunders: Chicago, 1994.

SMEDLEY, P. L.; KNUDSEN, J.; MAIGA, D. Arsenic in groundwater from mineralised Proterozoic basement rocks of Burkina Faso. *Applied Geochemistry*. 22 (2007) 1074–1092.

SPIRO, T. G. & STIGLIANI, W. M. *Química Ambiental*. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SRINIVASAMOORTHY, K. *et al.* Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamil Nadu, Índia. *Journal of King Saud University - Science*. 26 (2014) 37–52.

STEIN, P. Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas da Bacia Sedimentar Potiguar/RN e Caracterização da Salinização do Aquífero Cárstico Jandaíra. 2013. 204f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

TEH, T. *et al.* Risk Assessment of Metal Contamination in Soil and Groundwater in Asia: A Review of Recent Trends as well as Existing Environmental Laws and Regulations. *Pedosphere*. 26 ( 2016) 431–450.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da Gestão da Água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da Água. *Bahia Análise & Dados*. 13 (2002) 357-370.

USEPA (*United States Environmental Protection Agency*). Ambient water quality criteria. (2003). Disponível em: <[https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=ambient+water+quality+criteria&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result\\_template=2col.ftl](https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=ambient+water+quality+criteria&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=2col.ftl)>. Acesso em: 15 dez. 2016.

VERPLANCK, P. L. *et al.* Geochemical controls of elevated arsenic concentrations in groundwater, Ester Dome, Fairbanks district, Alaska. *Chemical Geology*. 255 (2008) 160–172.

VINEIS, P.; CHAN, Q.; KHAN, A. Climate Change Impacts on Water Salinity. *Journal of Epidemiology and Global Health*. 1 (2011) 5-10. Disponível em :<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210600611000086>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

WANG, J. Analytical Electrochemistry. *Wiley On Line Library*. 3 rd. 2006.

WEBSTER, J. L. *et al.* Salt reduction initiatives around the world. *Journal of Hypertension*. 29 (2011) 1043-1050.

WHO (*World Health Organization*). *Sodium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: WHO, 1996.

WHO (*World Health Organization*). *Sodium in Drinking-water*. Geneva: WHO, 2003.

WMO (*World Meteorological Organization Extranet*). (2013). Disponível em:<[https://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/index_en.html)>. Acesso em: 10 jan. 2016.

XIE, X. *et al.* Geochemistry of redox-sensitive elements and sulfur isotopes in the high arsenic groundwater system of Datong Basin, China. *Science of the Total Environment*. 407 (2009) 3823–3835.

YAKIREVICH, A. *et al.* Modeling the impact of solute recycling on groundwater salinization under irrigated lands: A study of the Alto Piura aquifer, Peru. *Journal of Hydrology*. 482 (2013) 25–39.

ZABALA, M. E.; MANZANO, M.; VIVES, L. The origin of groundwater composition in the Pampeano Aquifer underlying the Del Azul Creek basin, Argentina. *Science of The Total Environment*. 518–519 (2015) 168–188.

## **APÊNDICE**

**Apêndice 1** – Questionário Socioambiental

**Apêndice 2** – Declaração de Voluntário

**Apêndice 3** – Georeferências

## APÊNDICE 1



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS – PPGCN  
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS – MCN



### QUESTIONÁRIO SÓCIOAMBIENTAL

<b>1. INFORMAÇÕES DO ENTREVISTADO</b>	
NOME:	
IDADE:	DATA:
INFORMAÇÕES PARA CONTATO:	
<b>2. PONTO DE COLETA</b>	
ZONA: ( ) Urbana      ( ) Rural Rua: _____	MUNICÍPIO/DISTRITO:
CARACTERÍSTICAS DO LOCAL:	
COORDENADAS DO DOMICÍLIO:	
CÓDIGO:	
<b>3. NATUREZA DA ÁGUA UTILIZADA PARA ABASTECIMENTO</b>	
FONTE DE CAPTAÇÃO: ( ) Rede pública      ( ) Poço artesiano	TRATAMENTO DA ÁGUA: ( ) Sim      ( ) Não
TIPO DE TRATAMENTO:	
PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS: ( ) Cor                      ( ) Sabor                      ( ) Odor/ Observações: _____	
UTILIZAÇÃO DA ÁGUA: ( ) Saciar a sede ( ) Cozimento dos alimentos ( ) Preparo de sucos e outras bebidas ( ) Banho	

Limpeza doméstica

Outro (\_\_\_\_\_).

#### 4. ASPECTOS SOCIAIS

##### PATOLOGIAS OBSERVADAS (RESIDENTES NO DOMICÍLIO)

	Nº	SEXO		FAIXA ETÁRIA
		M	F	
HIPERTENSÃO				
INFARTO				
AVC				
DISFUNÇÃO RENAL				
ALERGIAS DERMICAS				
OUTRAS				

Observações:

---



---

OUTROS FATORES DE RISCO DAS PESSOAS ATINGIDAS (FUMANTES USUÁRIOS DE ÁLCOOL, DROGAS ILÍCITAS, ENTRE OUTROS):

HISTÓRICO GENÉTICO DE FAMILIARES QUE RECEBERAM DIAGNÓSTICO POSITIVO DOS MESMOS PROBLEMAS:

#### 5. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

<p>CONHECIMENTO ACERCA DA IMPORTÂNCIA E RISCOS DO Na<sup>+</sup>?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim      <input type="checkbox"/> Não</p>	<p>REALIZAÇÃO DE PROGRAMAS/POLÍTICAS DE CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim      <input type="checkbox"/> Não</p>
---	--

<b>CONTROLE DOS NÍVEIS DE Na<sup>+</sup> NA DIETA DIÁRIA?</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<b>EM CASO POSITIVO, COMO É FEITO O CONTROLE?</b>
<b>CONHECE AS FONTES DE Na<sup>+</sup> NA ALIMENTAÇÃO?</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <b>QUAIS?</b> _____	<b>CONHECE QUE A ÁGUA CONSUMIDA PODE SER UMA IMPORTANTE FONTE DE Na<sup>+</sup> ?</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

**APÊNDICE 2**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS – PPGCN  
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS – MCN

**DECLARAÇÃO DE VOLUNTÁRIO**

Eu, \_\_\_\_\_, CPF nº \_\_\_\_\_, venho, por meio deste, **declarar a minha disponibilidade em participar como voluntário** no projeto “SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREAS COSTEIRAS: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE GROSSOS-RN”, desenvolvido pela aluna de mestrado Mônica Libânia Mendonça Firmino, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais desta universidade, sob a orientação do Prof. Dr. Thiago Mielle Brito Ferreira Oliveira.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_.

Local

Data

\_\_\_\_\_

Assinatura

## APÊNDICE 3

AMOSTRA	COORDENADAS	[OH <sup>-</sup> ]	[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	[Ca <sup>2+</sup> ]	[Mg <sup>2+</sup> ]	[K]	[Na]	[Cl]	[SAL.]	[CONDUT.]	[STD]	[SULFATO]
P1	S 04° 58 497- W 037° 09 715	0	108	216	35,06825	0	13,745	83,8805	56	92,288	452	228	17,981
P2	S 04° 58 537- W 037° 09 546	0	124,8	249,6	55,10725	-6,07625	11,555	101,8232	71,75	118,244	534	300	17,6796
P3	S 04° 58 691- W 037° 09 327	1,36	115,8	231,6	30,0585	6,07625	12,44	84,436	57,75	95,172	470	288	19,4374
P4	S 04° 58 863- W 037° 09 231	0	105,6	211,2	35,06825	6,07625	13,86	82,49175	56	92,288	460	286	22,019
P5	S 04° 59 013- W 037° 09 096	5,1	112,2	224,4	60,117	-9,11438	14,995	84,1027	57,75	95,172	471	296	20,856
P6	S 04° 59 259- W 037° 08 983	4,08	99,9	199,8	25,04875	6,07625	17,935	84,93595	56	92,288	452	258	18,8549
P7	S 04° 59 412- W 037° 09 004	3,026	102,6	205,2	44,58678	3,341938	13,925	75,71465	50,75	83,636	439	244	21,9876
P8	S 04° 58 729- W 037° 09 389	0	107,4	214,8	60,117	-13,6716	14,865	84,93595	56	92,288	463	266	22,1518
P9	S 04° 58 926- W 037° 09 276	2,38	111	222	42,58288	-4,55719	14,335	84,8804	56	92,288	461	278	19,744
P10	S 04° 58 973- W 037° 09 307	2,72	109,8	219,6	44,58678	9,418188	15,455	82,93615	54,25	89,404	456	246	21,2715
P11	S 04° 59 275- W 037° 09 161	2,21	116,34	232,68	86,1677	-3,94956	14,89	86,1025	71,75	118,244	596	442	50,9809
P12	S 04° 59 088- W 037° 09 341	0	114	228	39,57703	0,303813	17,04	90,4354	61,25	100,94	492	332	20,9346
P13	S 04° 58 934- W 037° 09 224	0	135	270	170,3315	9,114375	19,805	314,9685	57,75	95,172	2076	1222	77,468
P14	S 04° 56 921- W 037° 11 441	0	121,8	243,6	55,10725	3,038125	11,59	87,71345	71,75	118,244	529	368	17,8811
P15	S 04° 56 921- W 037° 11 443	1,53	112,5	225	35,06825	9,114375	10,805	84,7693	68,25	112,476	500	374	16,742
P16	S 04° 57 235- W 037° 08 831	0	135	270	45,08775	3,038125	12,35	91,04645	70,875	116,802	527	360	18,7291
P17	S 04° 56 962- W 037° 11 396	0	131,7	263,4	45,08775	-3,03813	11,78	90,3243	70,875	116,802	524	316	15,7477
P18	S 04° 57 100- W 037° 11 154	0	132	264	45,08775	-3,03813	13,335	92,4352	70	115,36	528	370	17,7716
P19	S 04° 57 100- W 037° 11 441	0	109,8	219,6	45,08775	7,595313	13,475	79,15875	63	103,824	480	302	19,1978
P20	S 04° 55 841- W 037° 12 163	0	118,2	236,4	40,078	6,07625	14,11	93,1018	71,75	118,244	525	362	18,3285
P21	S 04° 55 772- W 037° 12 247	2,72	136,14	272,28	40,078	12,1525	15,425	93,1018	71,75	118,244	537	370	17,0439
P22	S 04° 55 594- W 037° 12 360	0	128,34	256,68	40,078	12,1525	15,995	85,26925	68,25	112,476	503	316	17,2366
P23	S 04° 55 497- W 037° 10 556	3,4	111	222	35,06825	21,26688	14,61	91,37975	71,75	118,244	503	314	20,4511
P24	S 04° 55 460- W 037° 10 510	2,04	93,9	187,8	35,06825	12,1525	15,63	96,4348	110,25	181,692	604	346	21,0946

P25	S 04° 55 593- W 037° 12 359	3,06	110,4	220,8	37,57313	7,595313	16,85	85,1026	70	115,36	505	298	18,24
P26	S 04° 56 272- W 037° 09 855	0	133,2	266,4	50,0975	3,64575	12,95	90,7687	73,5	121,128	538	362	20,3267
P27	S 04° 56 353- W 037° 09 930	2,72	117	234	45,08775	6,07625	13,77	84,3249	70	115,36	495	290	18,1815
P28	S 04° 54 679- W 037° 13 001	0	119,4	238,8	55,10725	6,07625	15,47	87,82455	70,875	116,802	519	308	18,7792
P29	S 04° 54 617- W 037° 13 026	0	138	276	185,3608	-33,4194	26,98	148,1519	525	865,2	1249	772	38,5758
P30	S 04° 54 538- W 037° 13 081	2,72	138	276	35,06825	6,07625	16,975	90,6576	71,75	118,244	523	304	19,1573
P31	S 04° 58 597- W 037° 09 104	0	125,7	251,4	35,06825	13,67156	17,395	89,04665	70,875	116,802	526	290	18,4057