

UMA CIDADE SOBRE AS ÁGUAS: USO E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM MOSSORÓ/RN

A CITY ON WATERS: USE AND QUALITY OF THE GROUNDWATER IN MOSSORÓ-RN
*UNA CIUDAD SOBRE EL AGUA: USO Y CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÂNEAS EN
MOSSORÓ/RN*

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1114>

FILIPPE DA SILVA PEIXOTO^{1*}
LUCAS MATHEUS GARCIA TÔRRES²
ISABEL CRISTINA SILVA FERREIRA³
ANDERSON MIKAEL DE SOUZA SILVA⁴

¹ Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).
Campus Central, Pres. Costa e Silva, CEP: 59610-210, Mossoró (RN), Brasil, Tel.: (+55 84) 99687.8617,
felipepeixoto@uern.br, <http://orcid.org/0000-0001-5409-3001>

*Autor correspondente

² Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)
Campus Central, Pres. Costa e Silva, CEP: 59610-210, Mossoró (RN), Brasil, Tel.: (+55 84) 99217.5505,
lucas-matheus-@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-3004-320X>

³ Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).
Campus Central, Pres. Costa e Silva, CEP: 59610-210, Mossoró (RN), Brasil, Tel.: (+55 84) 98772.0072,
isabelferro070@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-3588-9968>

⁴ Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).
Campus Central, Pres. Costa e Silva, CEP: 59610-210, Mossoró (RN), Brasil, Tel.: (+55 84) 98772.0072,
andersonupanema@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-3588-9968>

Histórico do Artigo:

Recebido em 15 de Outubro de 2020.

Aceito em 6 de Setembro de 2021.

Publicado em 6 de Setembro de 2021.

RESUMO

A cidade de Mossoró possui 70% da matriz hídrica composta por água subterrânea captada na própria área urbana, contudo, é notável a falta de informações sobre as águas subterrâneas locais. Este estudo buscou identificar o uso e qualidade das águas subterrâneas, bem como a descrição hidrogeológica. Para isso, foi compilado cadastros de poços com informações construtivas e de qualidade da água, cujas fontes foram o Sistema de Informação de Água Subterrânea – SIAGAS/CPRM, e a Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte - CAERN. Há ocorrência do Sistema Aquífero Apodi - SAA, composto pelo aquífero Barreiras, funcionando como aquífero de transferência, o aquífero Jandaíra como aquífero livre, e o aquífero Quebradas, compondo uma camada confinante a semi-confinante para o aquífero Açú. Este, mais produtivo e sem restrições de uso quanto à qualidade, mas com sinais de perda qualitativa.

Palavras-chave: Abastecimento Urbano. Hidrogeologia. Aquífero Açú. Aquífero Jandaíra. Poços tubulares.

ABSTRACT

Mossoró city has water supply from groundwater (70%), capitated in their urban zone, however, there is not current registers end basic information of the wells, mealy bad information about water quality. The current study aimed identify use and quality of the groundwater, and hydrogeological aspects descriptions. For this, we constructed wells register with data from Information System of Groundwater – SIAGAS/CPRM, and Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte – CAERN. We evidenced the Apodi Aquifer System – AAS constituted for Barreiras aquifer, with function of the transference of water to Jandaíra aquifer, characterized as unconfined as karstic, Quebradas aquitard, forming a confidant to semi-confinant layer for Açú aquifer. This is the most productive and has good quality waters for several uses but has been presented decrease of the water quality.

Keywords: Urban water supply. Hydrogeology. Açú aquifer. Jandaíra aquifer. Tubular wells.

RESUMEN

La cidade de Mossoró tiene el 70% de la matriz de agua compuesta de agua subterránea capturada en el área urbana, sin embargo, la falta de información sobre el agua subterránea local es notable. Este estudio buscó identificar el uso y la calidad del agua subterránea, así como descripción hidrogeológica. Se construyó un registro de pozos con información y datos constructivos y de calidad del agua, cuyas fuentes fueron el Sistema de Información de Aguas Subterráneas - CPRM, y Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte. Existe el Sistema de Aquíferos Apodi - SAA, compuesto por el acuífero Barreiras, que funciona como un acuífero de transferencia, el acuífero Jandaíra como un acuífero libre, el aquífero Quebradas compone una capa de confinamiento para el acuífero Açú. Este último es el más productivo, sin restricciones de uso por la calidad, pero con pérdidas cualitativas de agua.

Palabras clave: Suministro de água urbano. Hidrogeologia. Aquífero Açú. Aquífero Jandaíra. Pozos tubulares.

INTRODUÇÃO

Nas regiões semiáridas, onde as condições climáticas possuem evapotranspiração de cerca de 2.100 mm/ano, as águas subterrâneas são menos vulneráveis à contaminação e oscilação quantitativa em função de serem menos expostas à evapotranspiração. Esses recursos possuem importância para agricultura, indústria e abastecimento doméstico, mas devem ser tratadas como recurso estratégico para a segurança hídrica da sociedade (PEIXOTO *et al.*, 2017).

O gerenciamento dos recursos hídricos é essencial para atendimento das demandas atuais e futuras. Para isso são necessárias uma série de informações para dar suporte a produção de modelos de gerenciamento dos recursos hídricos, no que tange ao planejamento, execução e avaliação dessa política (CAMPOS e STUART, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Mossoró está situada na região Oeste do Rio Grande do Norte, é o segundo município mais populoso do Estado, com população estimada de 294.076 habitantes e possui uma demanda hídrica de cerca de 3.430 m³/h para abastecimento doméstico e industrial. Essa demanda é suprida em 30% pelas águas superficiais do açude Armando Ribeiro Gonçalves e o restante é suprido pelas águas de aquíferos sob a cidade, via captação de poços tubulares (CAERN, 2019). Mossoró polariza várias atividades na região do Oeste Potiguar que, com o crescimento e diversificação industrial, aumento do contingente populacional e ampliação do comércio e dos serviços, incrementam a sua demanda hídrica.

A partir da década de 1980, o risco de colapso, não só em Mossoró, mas em outras cidades da região, bem como a demanda hídrica para a implementação da fruticultura irrigada no Vale do Rio Piranhas-Assú, justificou a construção do açude Armando Ribeiro Gonçalves, hoje o 3º maior reservatório de água do Nordeste em capacidade de armazenamento (2,4x10⁶ m³).

Contudo, desde 2015, o açude não acumula mais que 50% da sua capacidade, enquanto isso, cresce a pressão sobre o aquífero Açú na cidade de Mossoró, sobretudo nos períodos interanuais de seca.

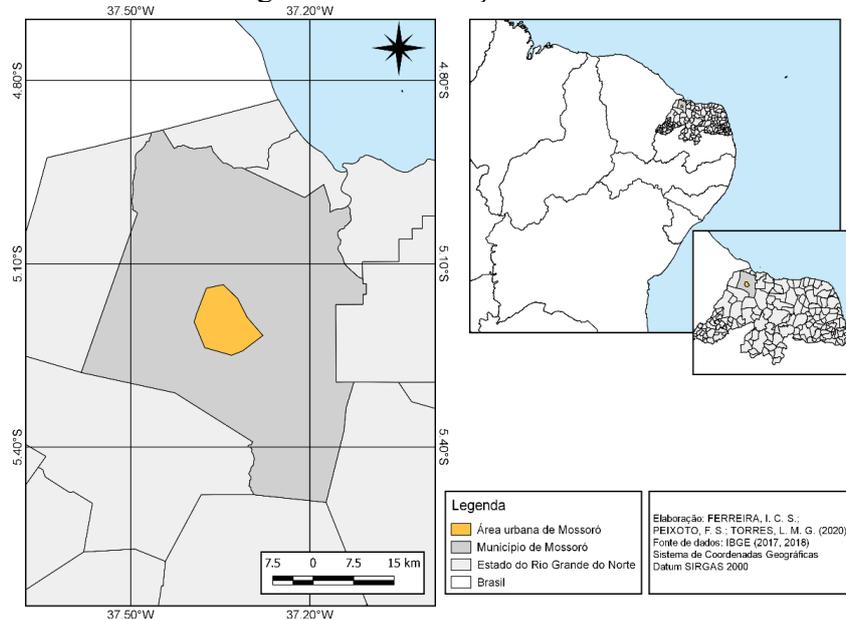
A falta de dados e estudos sistematizados sobre a captação e uso das águas subterrâneas na cidade inviabiliza o processo de otimização de captação da água. É nesse contexto que, o referido artigo buscou caracterizar o uso e qualidade das águas subterrâneas, bem como a descrição hidrogeológica, por meio da construção de um cadastro de poços georreferenciados identificando tipos de captação, aquíferos mais explorados, distribuição espacial do uso da água e classificação hidroquímica da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está inserida no município de Mossoró-RN, se tratando da área urbana delimitada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (IBGE, 2011) (Figura 1). Essa

área possui 11,58 km² que abriga uma população de 295.191 habitantes. A cidade localiza-se a 281 km da capital do Estado, Natal, e representa a segunda maior cidade do Estado, polarizando diversos serviços de comércio, saúde e educação na região do Oeste Potiguar. A geologia da área está inserida em um contexto continental da província Borborema, que se trata de uma área de dobramentos de idade brasiliana.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As estruturas tectônicas produzidas no período cretáceo entre 143 e 10 milhões de anos promoveram esforços crustais que resultaram em uma distinção da crosta da terra na parte setentrional do Nordeste do Brasil gerando o processo de rifteamento Araripe – Potiguar, gerando duas bacias sedimentares, a bacia do Araripe e a bacia Potiguar. Esta última, consiste litologicamente de sedimentos que formaram 3 grupos litoestratigráficos, segundo Araripe e Feijó (1994) divididos em: Grupo Areia Branca, que consiste nas formações sinrift Pendências, Pescada e Alagamar, formado por sedimentos de leques deltáticos aluviais com matriz lamítica, depositados em um período de regressão marinha entre 140 e 110 milhões de anos; Grupo Apodi, representado pelas formações Ponta do Mel, Quebradas, Açú e Jandaíra, formadas entre 110 a 80 milhões de anos, em período de transgressão marinha, por meio de depósitos fluviais, de talude e plataforma de deposição marinha de matriz variada e depósitos biossintetizados de mar raso; e por último, o Grupo Agulha, com as formações Ubarana, Tibau e Guamaré depositadas entre 80 e 10 milhões de anos de forma sub-horizontal e localizada ao longo de porções emersa ou submersas da costa.

A geologia da área de estudo consiste na estratificação vertical das formações Pendências e Alagamar com profundidades superiores a 1100 m sendo que as formações Açú e Jandaíra tornam-se mais acessíveis à captação da água subterrânea e possuem propriedades aquíferas relevantes. Sobreposta a Formação Jandaíra, encontram-se depósitos aluviais com profundidades não superiores a 4 metros e Formação Barreiras no setor norte e noroeste da área de estudo com profundidade inferior a 40 metros (MANUEL FILHO *et al.*, 2010).

O clima local é classificado de acordo com Koppen (1936) como tropical semiárido quente (Bhs), com 4 meses chuvosos que se concentram no final do verão e parte do outono. Essa característica demonstra uma forte concentração das chuvas, com médias anuais de 750 mm, além do relevante déficit hídrico considerando o balanço entre a pluviometria e a evapotranspiração potencial média que é de 2.300 mm/ano. O relevo é formado por vertentes

planas a suave onduladas, demonstrando a condição estrutural do reverso da cuesta na porção ocidental da chapada do Apodi. A morfologia fica representada por unidades tubuliformes de fundo de vale; superfície aplainada pouco dissecada e depósitos fluviomarinhas de planície (PETTA *et al.*, 2007).

Os solos correspondem ao latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho-amarelo, planossolo nátrico, associado a planície fluvial e neossolo flúvico, nas proximidades do canal fluvial do rio Apodi-Mossoró a vegetação ciliar é formada em grande proporção pela espécie exótica algaroba (*Prosopis juliflora*) (BRASIL, 1967).

A coleta de dados ocorreu a partir de cadastro de 27 poços operados pela CAERN para abastecimento urbano em 2019, contudo 25 desses poços encontram-se na área urbana, enquanto dois estão nas imediações, fora do perímetro urbano, mas também são usados para finalidade de abastecimento. Além desses, foram utilizados os registros de 80 poços no SIAGAS/CPRM (2020), que apesar do baixo número de informações sobre os poços, são capazes de produzir um bom diagnóstico tendo em vista a quantidade de poços na área de estudo. O cadastro compilado, portanto, possui 105 poços, dos provenientes do cadastro da CAERN dispõem de análises físico-químicas e bacteriológicas, contudo, sem informação sobre os aspectos construtivos dos poços, como perfil construtivo e perfil litológico.

A profundidade e uso da água, bem como a acessibilidade aos aquíferos foram classificados de acordo com o cadastro dos 105 poços. Dada a limitação das informações, a geometria aquífera foi produzida com base no perfil litológico de 11 poços. Os dados sistematizados foram inseridos em Sistema de Informação Geográfico – SIG, formando um banco de dados georreferenciados de poços localizados na cidade, facilitando o uso de ferramentas de análise, seleção e integração espacial do software Qgis versão 3.4.4.

Para a modelagem da qualidade da água, foram utilizadas análises de 25 poços dentro da área urbana e 2 poços nas suas imediações para ajuste da interpolação espacial. Portanto, foram utilizadas 27 análises realizadas pela CAERN com os parâmetros físico-químicos de sódio - Na^+ , potássio - K^{2+} , cálcio - Ca^{2+} , magnésio - Mg^{2+} , cloreto - Cl^- , sulfeto - SO_4^{2+} , condutividade elétrica-Ce, potencial hidrogeniônico-pH, e temperatura. As análises foram modeladas no diagrama de Durov por meio do software Qualigraf 2.0 gerando informações sobre a salinidade e associações hidroquímicas.

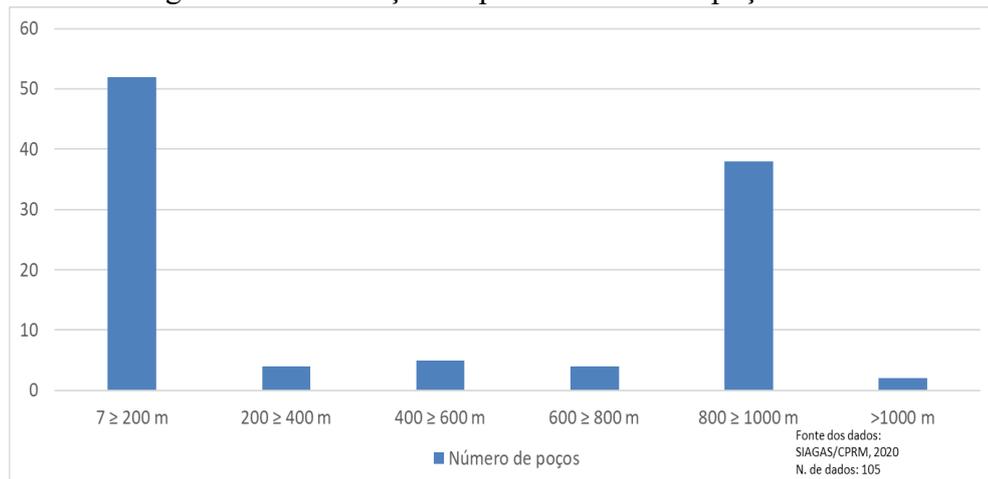
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal meio de captação das águas subterrâneas ocorre através dos poços tubulares. Na área urbana do município de Mossoró/RN, os poços possuem uma variação considerável no nível de profundidade, sendo alguns rasos atingindo 7 metros, e outros mais profundos podendo chegar a 1.071 metros. A figura abaixo nos mostra a distribuição da profundidade desses poços (Figura 2).

Quase metade dos poços, cerca de 48%, está a uma profundidade que varia entre 7 e 200 metros. Outros estão bem mais profundos, variando de 801 a 1.000 metros. Estes correspondem a 37% dos poços estudados. As profundidades que variam entre 201 e 400 metros, 401 e 600 metros, 601 e 800 metros equivalem a 4%, 5% e 4% respectivamente, já 2% dos poços da área em estudo chega a atingir uma profundidade maior que 1.000 metros.

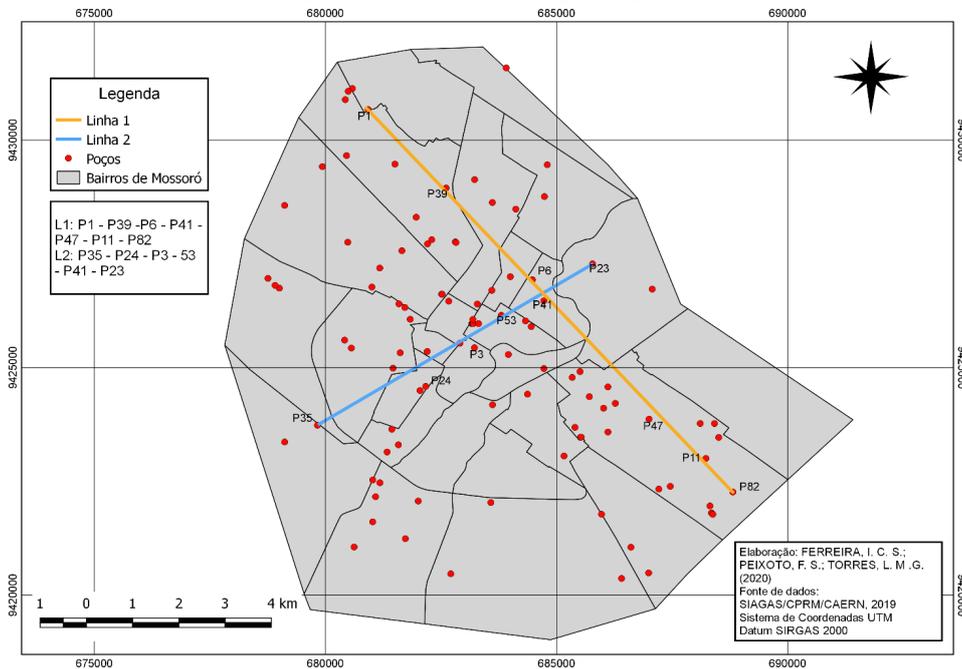
Os perfis hidrogeológicos produzidos revelam a condição litoestratigráfica da área, esses perfis foram traçados de modo a utilizar o máximo de informação disponível no cadastro de poços (Figura 3). O perfil 1 foi baseado em 7 perfis construtivos em um alinhamento NW – SE, caracterizando a geometria aquífera até a profundidade de 970 m. O perfil 2 foi realizado a partir de um alinhamento SW - NE, definindo a geometria aquífera com profundidades de até 950 m. Ambos os perfis identificaram 4 unidades hidrogeológicas, que exercem diferentes funções no sistema aquífero.

Figura 2 - Distribuição da profundidade dos poços



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 3 - Perfis hidrogeológicos



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A Geometria das unidades hidrogeológicas demonstra a característica de pouca influência da Formação Barreiras que foi identificada apenas no poço 1, com profundidade de 40 m. Tratando-se de um aquífero poroso, ela atua como aquífero de transferência, ou seja, é permeado pela água que infiltra na superfície e a transfere para o aquífero Jandaíra, que se encontra sotoposto. No perfil 2, o Barreiras também é evidenciado, contudo pode ter havido uma interpretação equivocada no poço 3 devido a proximidade desse poço com o Rio Apodi-Mossoró, podendo se tratar da aluvião, todavia optou-se por utilizar as informações originais do perfil construtivo do poço, que foi interpretado como formação barreiras da parte superior do poço até a profundidade de 35 metros.

O aquífero Jandaíra é classificado como aquífero livre, heterogêneo, anisotrópico e de circulação cárstica, assim, possui condições de carstificação e qualidade da água variáveis (VASCONCELOS, TEIXEIRA e ALVES NETO, 2010). As maiores vazões estão associadas a porosidade secundária que sobre influência de lineamentos e fraturas nos sentidos NE - SW e NW - SE (MANOEL FILHO et al., 2010). Comporta-se, entretanto, como aquífero cárstico livre, captando água pluvial ou a partir da Formação Barreiras que atua como aquífero de transferência. Apesar da condição da qualidade da água limitada, de acordo com Rebouças (1967) este é o aquífero de maior reserva hídrica, dimensionada em $180 \times 10^9 \text{ m}^3$. Na área de estudo, o aquífero Jandaíra possui profundidades que variam entre 350 e 370 metros no perfil 1 (Figura 4) e entre 350 e 400 metros de profundidade no perfil 2 (Figura 5). Ao correlacionar dados de profundidade, quase 50% dos poços tubulares na área urbana captam água desse aquífero e, apresentam vazão específica média de 0,5 m³/h/m, demonstrando assim sua importância, sobretudo no abastecimento por sistemas alternativos na cidade de Mossoró.

Junto às unidades hidrogeológicas sotopostas da Formação Açu, o aquífero Jandaíra forma o Sistema Aquífero Apodi - SAA, denominado por Manoel Filho *et al.*, (2010), em estudo com modelagem de teste de aquífero no município de Baraúna. De modo independente das outras formações, estudando a hidrogeologia da formação Açu, Vasconcelos *et al.*, (1990) definiram 4 unidades da base para o topo: Açu 1 - Na porção basal predominam, sobre um relevo acidentado, formado por depósitos de leques aluviais e fluviais do tipo entrelaçado; Açu 2 - depósitos fluviais do tipo meandrante grosseiro que gradam verticalmente para meandrante fino; Açu 3 - arenitos médios/grossos a conglomeráticos de coloração predominantemente avermelhada; Açu 4 - arenitos muito finos a finos, tendendo a médios, de coloração esbranquiçada a esverdeada, bastante friáveis.

Carvalho Júnior e Melo (2000) estudando essas unidades 3 e 4 no município de Apodi - RN, identificaram 3 sub-unidades por meio de suas características litológicas e hidrogeológicas, definindo assim a subunidade 1 - correspondendo a parte mais grosseira da unidade Açu 3 com arenitos de matriz arenosa e conglomerados; e subunidades 2 e 3 que correspondem a arenitos de matriz fina a muito fina, formada por siltitos e argilitos. No estudo de Manoel Filho et al., (2010) foi delimitado no SAA sotoposto à Formação Jandaíra, aquíferos correspondentes litoestratigraficamente com as subunidades 2 e 3 denominando de aquíferos quebradas.

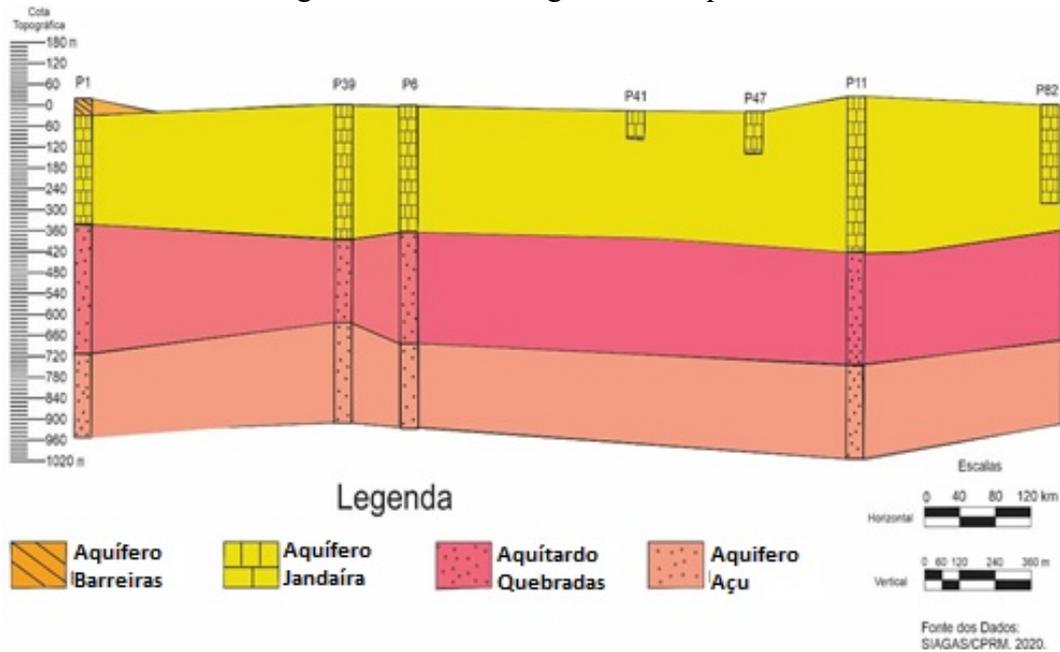
Na área de estudo, o SAA é limitado inferiormente pela “sequência sedimentar albonomaniana denominada de Formação Açu, discordante com a Formação Alagamar” (SOUTO, PEDRA e FARIAS, 1990). O aquífero Açu é o mais produtivo na área de estudo, possuindo vazões específicas médias de 1,97 m³/h/m, esse aquífero possui características de confinamento pelo aquífero quebradas que litologicamente apresenta uma matriz lamítica. A partir da geometria das unidades hidrogeológica foi possível identificar o aquífero quebradas, embora Feitosa o divida em 2 aquíferos, os perfis construtivos da área de estudo não permitiram identificar essa divisão. Assim, na cidade de Mossoró, ele se comporta como uma camada limítrofe confinante e semiconfinante que varia entre 300 a 350 metros de espessura.

Apesar dessa condição, Frischkorn, Santiago e Torquato (1988) identificaram por meio de estudos de isótopos O¹⁶ e O¹⁸ que há interação entre as águas do Aquífero Jandaíra e Aquífero Açu, seja em característica ascendente na zona de baixos estruturais onde grabéns evidenciam artesianismo nos poços ali localizados, seja em fluxo descendente quando o aquífero Jandaíra cede parte de sua reserva principalmente por meio das zonas de contato de falhamentos.

Na área de estudo são evidenciadas condições de confinamento e semiconfinamento devido à presença de poços artesianos. De acordo com os dados, 32 poços atingem o aquífero Açu com essa característica, 48 poços captam aquífero livre representado pelo Jandaíra e em 25 poços não se pode identificar o tipo de aquífero captado (Figura 6). O aquífero Açu possui um topo que varia entre 600 e 860 metros de profundidade, captando águas geotermiais com temperaturas entre 46 e 52 °C, segundo os dados dos poços operados pela CAERN em 2019. O

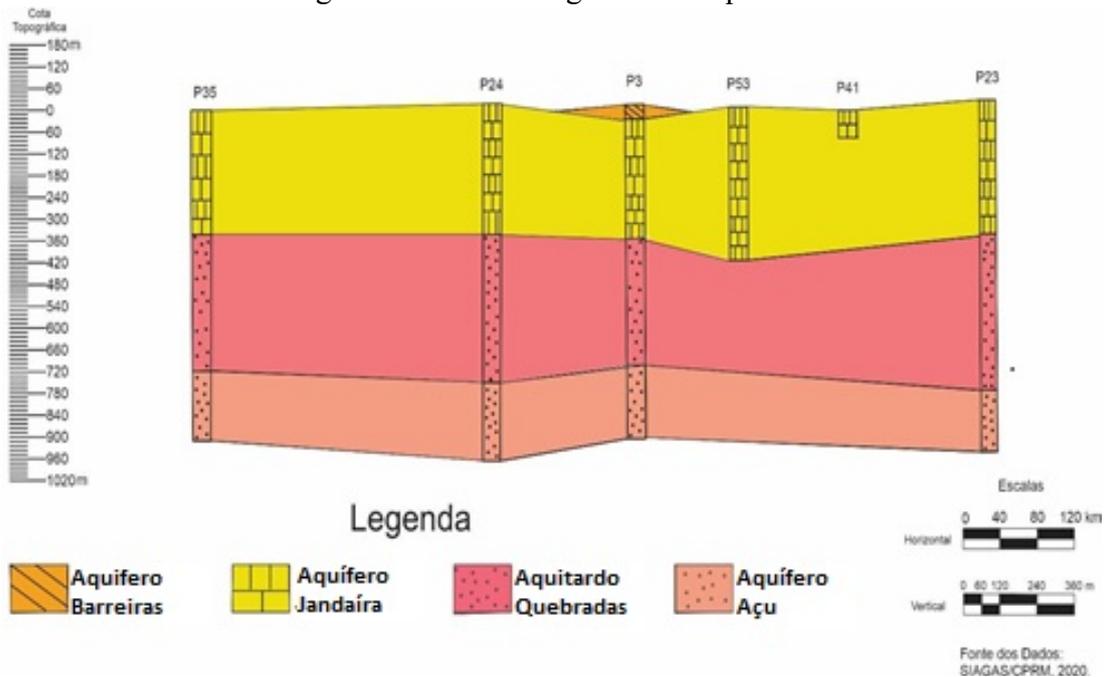
aquífero Açu é constituído por arenitos de cores cinza a amarelada com matriz psamítica, a boa qualidade da água desse aquífero é demonstrada pela variedade de usos decorrentes de suas águas, principalmente a captação para produção de água potável de mesa e água mineral nos municípios de Apodi, Upanema e Assú, no Rio Grande do Norte.

Figura 4 - Perfil 1 da geometria aquífera



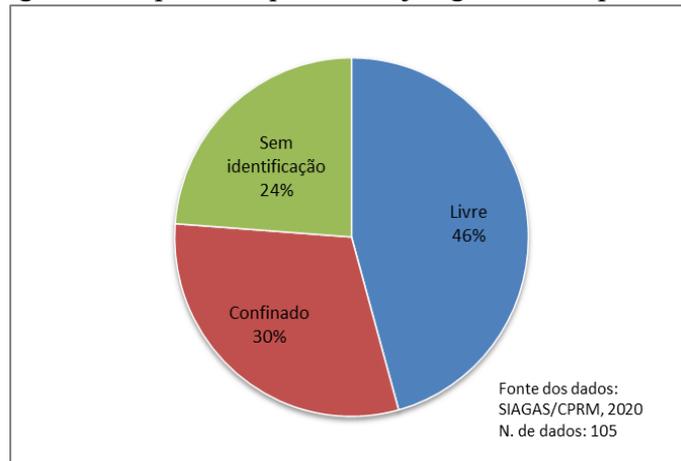
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 5 - Perfil 2 da geometria aquífera



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 6 - Tipos de aquíferos cuja águas são explotadas



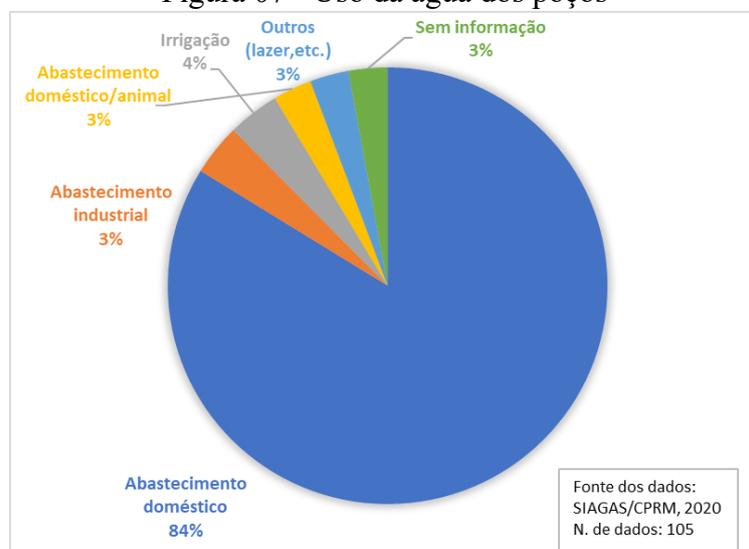
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na cidade de Mossoró, todos os poços operados pela CAERN captam águas do aquífero Açú. O volume captado pelos poços é cerca de 2.401 m³/h, portanto o aquífero Açú é a principal fonte que compõe a matriz hídrica da cidade. Mesmo alocados na zona urbana, os poços possuem propriedades bacteriológicas e físico-químicas isentas de contaminantes, pois a profundidade e o confinamento exercido pelo aquitardo sobreposto o protege da contaminação. Desse modo, em nenhum desses poços foi evidenciado contaminação de qualquer natureza de acordo com os dados de monitoramento de qualidade da água bruta produzidos pela CAERN.

USO E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são de grande importância para as atividades humanas, tendo relevância para o setor industrial, doméstico, lazer, entre outros. No município de Mossoró o uso dessas águas é distribuído em seis tipos: abastecimento urbano, abastecimento doméstico, abastecimento industrial, abastecimento doméstico/animal, irrigação e outros (Figura 7).

Figura 07 - Uso da água dos poços



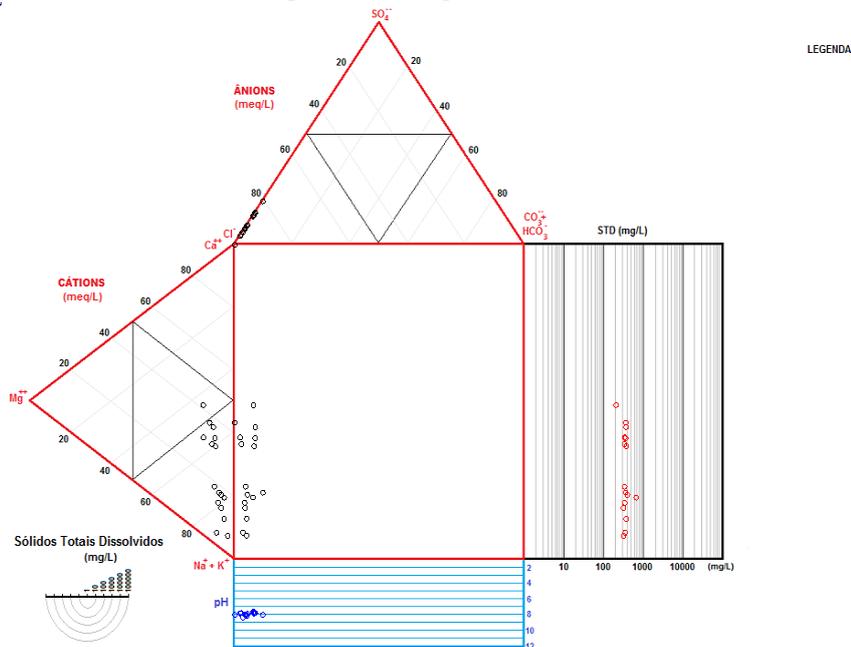
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nos 105 poços disponibilizados pelo SIAGAS/CPRM, observa-se que o maior uso das águas subterrâneas, com 84% da totalidade dos poços, é direcionado ao abastecimento doméstico, seja convencional ou alternativo. Os setores de abastecimento industrial e de irrigação apresentam o mesmo valor de 4%. Já o abastecimento que agrega os usos doméstico e dessedentação animal, uso industrial, e outros (incluindo o lazer), correspondem a 3% dessa totalidade.

A qualidade da água foi baseada em 16 poços operados pela CAERN e todos locados no aquífero Açú. Todos os poços possuem classificação de água quanto a salinidade como água doce, com exceção do poço 28 que possui água salobra, porque possui uma condutividade elétrica - CE de 1.022 ms/cm² e concentração de sólidos totais dissolvidos - STD em 664,3 mg/L.

As classes naturais da água são cloretadas sódicas (93 %) ou cloretadas mistas (7%). Como demonstrado no diagrama de Durov, pode-se observar dois agrupamentos determinados pela quantidade de sólidos totais dissolvidos, os poços P6, P11, P14, P15, P19, P23 e P30 se agrupam como maiores valores de STD (Figura 8).

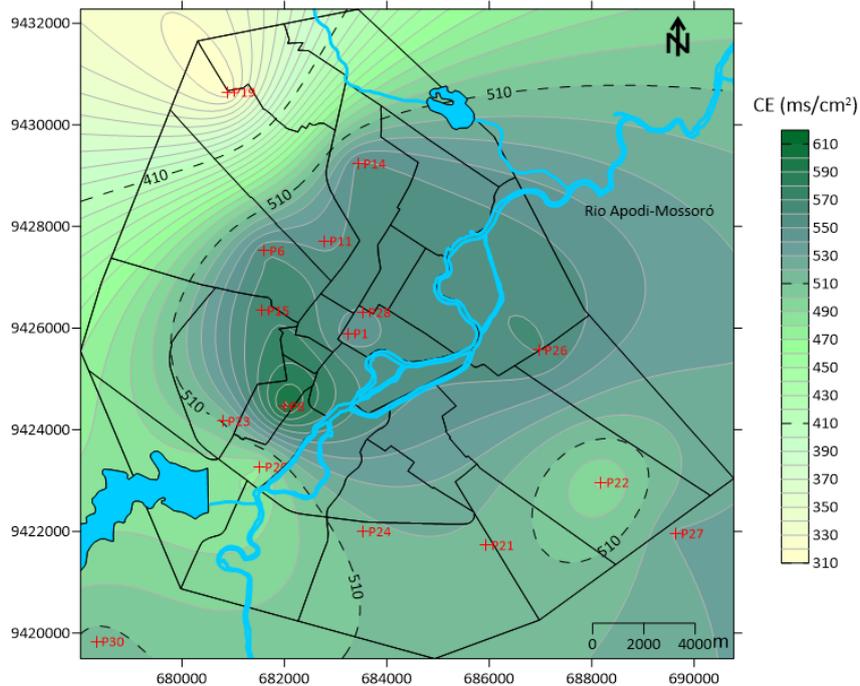
Figura 8 - Diagrama de Durov



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Para identificar essa variável determinantemente mais evidente, foram realizados o zoneamento dos parâmetros de CE, Ca⁺² e de Na⁺² + K. A variação da CE se dá entre 312 e 1022 ms/cm², com média 551,3, ms/cm², mediana 537,5 ms/cm² e um desvio padrão 140,7 ms/cm². O comportamento espacial dos valores que estão concentrados espacialmente no poço 28, na região central da área de estudo, pode estar ligado a um maior amadurecimento do poço e um regime de exploração muito alto podendo haver então convergência de fluxos hidráulicos que provoque maiores concentrações de sais. Além disso, o poço encontra-se locado em uma área em que pode haver influência da água salobra do estuário do rio ou de depósitos com concentrações de sais. Desse modo, devido aos valores anômalos desse poço, ele foi retirado para fins de espacialização dos valores de CE, considerado assim um *outlier*. Na parte da cidade, a menos de 4 km do Rio Apodi-Mossoró, há maiores concentrações de sais, conforme demonstra os valores de CE, mas que não comprometem a boa qualidade da água do aquífero Açú quanto a classes de salinidade.

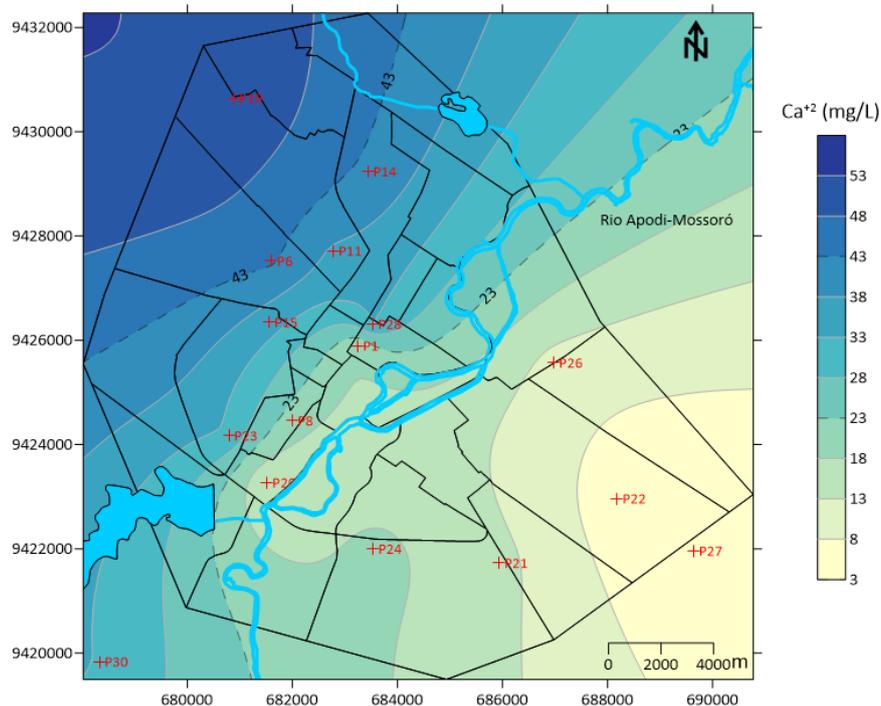
Figura 9 - Zoneamento de condutividade elétrica



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O comportamento das concentrações de Ca^{+2} evidenciam uma grande variação com mínima de 3,1 e máxima de 51,7 mg/L, no qual a concentração média é 25,9 e mediana 26,4 e desvio padrão 14,4 mg/L. O comportamento espacial deste parâmetro demonstra que a parte Oeste da cidade, a partir da margem esquerda do Rio, há uma maior concentração de Ca^{+2} nas águas subterrâneas (Figura 10).

Figura 10 – Zoneamento das concentrações de cálcio

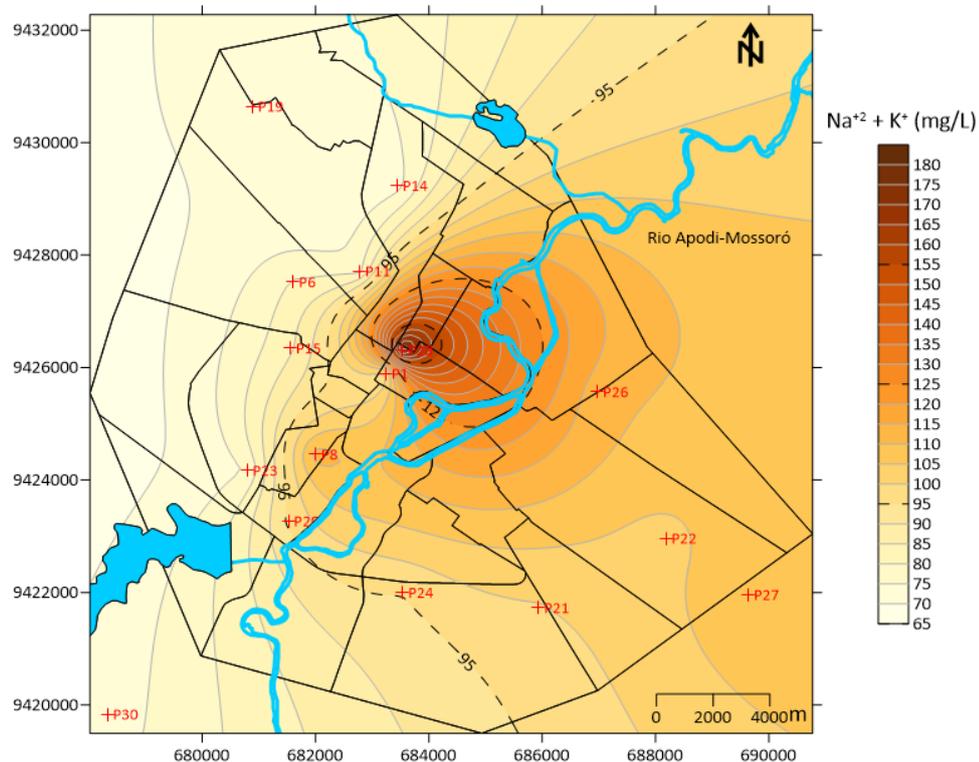


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Ademais, o parâmetro quantidade de Ca^{+2} pode refletir uma constituição geológica com maiores conexões hidráulicas entre o aquífero cárstico e o aquífero poroso explotado, ou presença de calcilutitos no aquífero Açú. Frickson, Santiago e Torquato (1988) identificaram essa conexão por meio de análise de isótopos. Melo *et al.*, (2005) também concluíram que a condição tectônica de altos e baixos estruturais pode refletir em cisalhamentos que conectam hidráulicamente os aquíferos Jandaíra e Açú.

A variação das concentrações de $\text{Na}^{+2} + \text{K}^{+}$ se dá entre o mínimo de 72,6 e máximo de 180,0 mg/L, com média 96,4 mg/L, mediana 95,5 mg/L e um desvio padrão 26,4 mg/L. a variabilidade da concentração desses parâmetros é maior que a de Ca^{+2} devido, principalmente, aos poços 28 e 8, ambos estão a menos de 2 km do Rio. Fora da área de influência do Rio, no Sudeste e Leste da cidade, há maiores concentrações da associação de Na^{+2} e K^{+} , essa condição pode estar associada a uma menor conectividade hidráulica entre os aquíferos Jandaíra e Açú, o que é corroborado pelo perfil 1 que mostra maior uniformidade no aquífero e que separa estatigraficamente os dois aquíferos. Assim, nessa área o aquífero possui uma função selante mais pronunciada.

Figura 11 – Zoneamento das concentrações de sódio e potássio.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As maiores preocupações sobre a locação de poços na área de estudo vêm da possibilidade de aumento dos níveis de salinização da água do aquífero Açú pelas subterrâneas salobras do sistema estuarino-flúvio-marinho. Na área de influência desse sistema, regimes de captação elevados como vazões de estabilização acima de 200 m³/h podem resultar numa convergência de fluxos e de concentração de STD. Ademais, essa salinização é facilitada pela maior conexão hidráulica entre aquíferos mais superficiais em virtude falhamentos associados as áreas próximas ao canal do Rio. Contudo, de acordo o mapa apresentado, não há caracterização de cunha salobra a partir do sistema estuarino, haja vista presença outros poços com menos de 2 km do canal do rio que não possuem concentrações de sais elevadas, portanto o atual problema

aparentemente ocorre de forma mais pontual o que pode ter uma relação mais evidente com o regime de exploração de água de determinados poços dentro dessa mesma área.

CONCLUSÃO

Na cidade de Mossoró foram encontrados 105 poços no SIAGAS e no cadastro da CAERN. Quase metade dos poços, cerca de 48%, possuem profundidade entre 7 e 200 metros, os poços em operação pela CAERN possuem profundidade maior e estão a captar o aquífero Açú, que é a principal fonte de abastecimento público da cidade. Porém, os poços com profundidades menores que 400 m estão captando águas do aquífero Jandaíra, sobretudo para sistemas alternativos de abastecimento. Além disso, 84 % dos poços são utilizados para o abastecimento urbano por meio do sistema principal ou alternativos. Contudo, foram identificados outros usos, como: irrigação; abastecimento industrial e atividades de lazer.

O SAA, caracteriza-se na área de estudo com 2 principais aquíferos: Jandaíra aquífero com profundidades que varia entre 350 e 400 metros, que se caracteriza como aquífero livre; Aquífero Açú com camada limítrofe superior entre 600 e 860 metros, limitado na parte superior pelo aquitardo Quebradas, atuando como camada confinante a semiconfinante. Dentre os poços operados pela CAERN foi possível identificar a boa qualidade das águas do aquífero Açú, classificadas como água cloretadas sódicas (93 %) ou cloretadas mistas (7%), e que são, majoritariamente, águas doces e naturalmente adequadas ao consumo humano, segundo os parâmetros analisados. Todavia, os poços 8 e 28, locados com proximidade de até 2 km do rio, apresentaram salinidade maior de suas águas, que pode ser resultado de uma maior conexão entre as águas salobras do sistema estuarino-flúvio-lacustre e o aquífero Açú, associado a um alto regime de exploração.

É notável que não haja nenhum cadastro oficial de poços na Prefeitura Municipal, muito menos levantamento sistemático empírico para um cadastro de poços atualizado. Portanto se faz necessário uma atualização dos dados aqui trabalhados por meio de trabalho de campo em toda a cidade, sobretudo nos casos de uso da água subterrânea para sistemas alternativos de abastecimento, que exigem maior monitoramento e controle da qualidade da água consumida. É imprescindível a produção de dados e informações que deem suporte ao gerenciamento municipal e que, considere a conservação qualitativa e quantitativa das águas prevenindo a contaminação dos aquíferos Jandaíra e Açú que são fontes de águas importantes para a sustentabilidade hídrica da cidade.

REFERÊNCIAS

ARARIPE, P.T.; FEIJÓ, F.J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.

BRASIL, Ministério da Agricultura; Ministério do Interior. 1967. **Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Fortaleza, 1 mapa color. Escala 1:600.000.

CAERN, Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, 2019, disponível em: <http://www.caern.rn.gov.br/>, acesso em 09 de fev, 2019.

CAMPOS, J. N. B. STUART, T. M. **Gestão das águas: princípios e práticas**, 2. Ed, Fortaleza: ABRH, 2001. 342 p.

CARVALHO JÚNIOR, E. R.; MELO, J. G. **Comportamento hidrogeológico do aquífero Açú na região de Apodi - RN**. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000.

FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F.; TORQUATO, J. R. Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. In: V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1988, São Paulo. **Anais do V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo: ABAS, 1988. v. 1. p. 144-153.

KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**: Berlin, 1936, p 42.

MANOEL FILHO, J. et al., **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará**. Vol. III – Hidrogeologia. Agência nacional de águas - ANA. Programa nacional de desenvolvimento dos recursos hídricos. Acordo de Empréstimo N° 7420-BR, Banco Mundial, 2010.

OLIVEIRA, R. M.; CAVALCANTE, I. N.; ARAÚJO, K. V.; SILVEIRA, R. N. C.M.; PEIXOTO, F. S.; LIMA NETO, I. O. Estudo hidroquímico do Aquífero Barreiras no Município de Eusébio, Ceará. **Revista do instituto geológico**, v. 38, p. 21-36, 2017. Disponível em: <http://pgegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/12151>. Acesso em: 23 jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20170007>.

PEIXOTO, F. S. ; CAVALCANTE, I. N. ; SILVEIRA, R. N. C. M. ; DE ARAÚJO, K. V.. Estimativa de recargas hídricas subterrâneas potenciais voluntárias e involuntárias em áreas urbanas. **Águas subterrâneas (São Paulo)**, v. 31, p. 104, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28621/18691>>. Acesso em: 13 jul. 2020. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i1.28621>.

PETTA, R. A.; GOMES, R. C.; ERASMI, S.; CAMPOS, T. F. C.; NASCIMENTO, P. S. R. . Análise da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró no contexto de alterações ambientais e socioeconômicas ligadas a exploração do petróleo. **IV PDPETRO**, Campinas, SP. 2007, 1 – 10. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0289-2.pdf>, acesso em 04 de jan 2018.

REBOUÇAS, A., FILHO, M. & BENOIT, H. **Bacia Potiguar - Estudo Hidrogeológico**. SUDENE - Divisão de Documentação, Recife, 1967.

SIAGAS - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2015. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 19 Out. 2015.

SOUTO, D. L. A. N.; PEDRA, W. N.; FARIAS, P. R. C. Sistemas deposicionais e geometria dos reservatórios da Formação Açú no alto de Mossoró, Bacia Potiguar. n: SBG/Núcleo Nordeste, **Congr. Bras. Geol.**, 36, Natal, Anais, 1: 241 - 249, 1990.

VASCONCELOS, E. P.; LIMA NETO, F. F. ROOS, S. Unidades de correlação da formação Açú-Bacia Potiguar. In: SBG/Núcleo Nordeste, **Congr. Bras. Geol.**, 36, Natal, Anais, 1:227-240. 1990.

VASCONCELOS, S. M. S.; TEIXEIRA, Z. A.; ALVES NETO, J. Caracterização do aquífero Jandaira, porção situada no Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Geologia (Fortaleza)**, v. 23, p. 50-60, 2010. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15131/1/art_smsvasconcelos-2010.pdf. Acesso em 04 jan. 2018.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte – CAERN, pela disponibilização das fichas de monitoramento da qualidade da água dos poços em operação na cidade de Mossoró – RN, e ao serviço geológico brasileiro – CPRM pela atualização e oferta dos dados de perfis litológicos no Sistema de Informação de Água Subterrânea – SIAGAS. E finalmente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento de bolsa de iniciação científica da aluna Isabel Cristina Silva Ferreira.