Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Monitoramento e mapeamento das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN

¹Hermínio Sabino de Oliveira Junior; ²Paulo Cesar Moura da Silva; ³Clara Livia Câmara e Silva

¹ Ms. em Manejo de solo e água, Universidade Federal do Semi-árido, Campus Mossoró. (84) 99669-3464. herminiosabino@gmail.com (autor correspondente). ² Professor titular, Departamento de Ciências Ambientais e tecnológicas – DCAT, Universidade Federal do Semiárido, Av. Prof. Antônio Campos – Pres. Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró, Rio Grande do Norte. (84) 98837-5060. paulo.cesar@ufersa.edu.br ³ Ms. Ciências Naturais, Coordenadora de meio ambiente e saneamento ambiental – COMEAS, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/RN. Rua Dona Maria Câmara, 188 Capim Macio, CEP 9082-430, Natal Rio Grande do Norte (84) 99942-5216, claralivia_SGA@hotmail.com

Artigo recebido em 26/08/2016 e aceito em 19/10/2016

RESUMO

Os recursos hídricos são elementos essenciais para a vida e os processos modificadores do ambiente, por isso possuir conhecimento da atual situação pode garantir uma gestão eficiente objetivando o uso mais sustentável, assim não comprometendo as atuais e futuras gerações no tocante a disponibilidade e qualidade hídrica. As águas subterrâneas são uma alternativa em regiões áridas e semiáridas como no nordeste brasileiro, para o abastecimento humano, já que as taxas de pluviometria são consideravelmente baixas. A cidade de Mossoró nos últimos anos passa por uma expansão urbana e um crescimento populacional, aumentando a demanda por água de boa qualidade para o abastecimento, por isso a presente pesquisa teve como objetivo a análise da qualidade da água subterrânea distribuída à população da área urbana de Mossoró-RN, já que estudos dessa natureza são bastante escassos na região. As análises das amostras foram realizadas no laboratório da CAERN, companhia responsável pela distribuição de água no estado do Rio Grande do Norte. E depois os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e interpolação de cada variável para a elaboração de mapas temáticos. As águas subterrâneas de um modo geral como é de se esperar não apresentam restrições quanto as suas propriedades físicas, principalmente por se tratar de um aquífero poroso e relativamente profundo como o aquífero Açu. Um Sistema de Informações Geográficas - SIG pode melhorar a interpretação das análises do comportamento da qualidade da água dos poços, além de diminuir o tempo gasto e espaço de armazenamento.

Palavras-chaves: Sistema de Informações Geográficas – SIG; Qualidade de água; Parâmetros físico-químicos.

Monitoring and mapping of underground waters of urban supply in the municipality of Mossoró-RN

ABSTRACT

Water resources are essential for life and environmental modifiers processes, so the knowledge of the current situation can ensure efficient management aiming at more sustainable use, thus not affecting the current and future generations regarding the availability and water quality. Groundwater is an alternative in arid and semi-arid regions such as in northeastern of Brazil, for human consumption, since the pluviometry rates are considerably lower. The city of Mossoro in recent years goes through an urban expansion and population growth, increasing the demand for good quality water supplies, so this study aimed to analyze the groundwater quality distributed to the population of the urban area of Mossoro-RN, whereas such studies are rather scarce in the region. The analyzes of the samples were performed in the laboratory of CAERN, the water company that is responsible for distributing water in the state of Rio Grande do Norte. And then the data were analyzed using descriptive statistics and interpolation of each variable for the elaboration of thematic maps. Groundwater, generally speaking, as is to be expected shows no restrictions about their physical properties, mainly because it is a porous aquifer and relatively deep as the Açu aquifer. A Geographic Information System - GIS can improve the understanding of the analysis of the behavior of the quality of the water from wells, and reduce the time spent and storage space.

Keywords: Geographic Information System - GIS; water quality; physico-chemical parameters

Introdução

Os recursos hídricos são elementos essenciais para a vida e os processos modificadores do ambiente, por isso ter conhecimento da atual situação pode garantir uma gestão eficiente que garanta o uso mais sustentável, assim não comprometendo as atuais e futuras gerações no tocante a disponibilidade e qualidade hídrica. O processo de urbanização que municípios brasileiros passam ultimamente requer uma disponibilidade dos recursos hídricos para a realização do abastecimento à sua população e esses recursos podem estar em mananciais hídricos como barragens, açudes, rios assim como no subsolo.

A disponibilidade de água potável é apontada como um dos grandes problemas do século XXI. Mesmo com todos os esforços e avanços tecnológicos para o armazenamento e controle do consumo da água, este recurso vem se tornando escasso e sua qualidade se deteriora cada vez mais rápido (Santos et al, 2009).

De acordo com avaliações do relatório sobre desenvolvimento humano - PNUD, até o ano de 2025 a população que vive em regiões onde a pressão sobre os recursos hídricos é maior que o suporte de recarga, atualmente estimada em de 700 milhões de pessoas, podendo chegar a mais de três bilhões. Dessa população, mais de 1,4 bilhão de pessoas vivem em bacias hidrográficas que, sem uma gestão eficiente, terá como impactos a seca dos rios e esgotamento das águas subterrâneas (ANA, 2007).

As águas subterrâneas possuem uma grande importância para desenvolvimento das atividades humanas. Elas exercem papel fundamental no abastecimento nas cidades e assim como no setor privado, com os mais diferenciados usos da água, tanto nos centros urbanos como nas comunidades rurais e, também, como em sistemas autônomos residenciais privados, indústrias, serviços, irrigação agrícola e lazer. Outro uso, bem menos falado, mas de igual importância das águas subterrâneas é a função ecológica para manter o equilíbrio da fauna e flora e ainda para fins estéticos e paisagísticos além de tornar rios, lagos perenes através das descargas de aquíferos (Bicudo, 2010).

Com o desenvolvimento de intensas pesquisas, atualmente já é provável uma avaliação mais sistêmica do real potencial de reservatórios das águas subterrâneas e, um olhar mais amplo da disponibilidade desse recurso. Com os estudos foi possível desenvolver tecnologias para melhor aproveitamento desse importante manancial, uma das várias tecnologias empregadas nas pesquisas, às geotecnologias aplicadas aos recursos hídricos se destacam devido as grandes possibilidades de

análises sistemáticas e cruzamento de diversas informações incorporadas aos sistemas de informações geográficas – SIG.

A atualização das informações cadastrais, seja socioeconômica, ambientais ou dos recursos hídricos se mostra de fundamental importância para se conseguir uma gestão eficiente buscando alcançar o desenvolvimento sustentável, se precisar necessariamente uma relação direta da área urbanizada, da população ou de características identificadas em cada município. As pequenas e médias cidades são as mais afetadas com o crescimento desordenado prejudicando o uso e ocupação do território, fato esse, que atinge diretamente a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida de toda a população.

A presente pesquisa por possuiu caráter pioneiro na região, teve importância singular no tocante a gestão dos recursos hídricos subterrâneo, não só para a cidade de Mossoró, mas para toda região que utiliza as águas do aquífero Açu nos mais diversos usos.

Obter conhecimentos sobre os recursos hídricos subterrâneos pode garantir a disponibilidade de tal recurso para as futuras gerações. A cidade de Mossoró é grande usuária das águas do aquífero açu, seja para o abastecimento humano, ou para a produção de culturas irrigadas, assim a realização de estudo voltado tanto a qualidade e a quantidade do aquífero é de extrema importância para o planejamento de futuros usos.

A importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento das atividades mais essenciais dos seres humana só o torna cada vez mais escasso e precioso nos dias atuais. Possuir o máximo de informações sobre os tais recursos pode ser a garantia de fazer uma melhor gestão e ter esse recurso sempre disponível e em boa qualidade.

A cidade de Mossoró nos últimos anos passa por uma expansão urbana e um crescimento populacional, aumentando a demanda por água de boa qualidade para o abastecimento, por isso ter conhecimento de como se encontra a qualidade das águas dos poços para abastecimento é de grande relevância futuras intervenções, novas pesquisas e políticas que visem o melhoramento do abastecimento para a população e assegure a disponibilidade desse recurso.

O presente trabalho teve como objetivo geral a análise da qualidade da água subterrânea distribuída à população da área urbana de Mossoró-RN.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

Mossoró-RN tem uma altitude média de 16 m e apresenta coordenadas 05°11'16,8" de latitude sul e 37°20'38,4" de longitude oeste (Figura 01), distante da capital cerca de 277 km, sendo seu acesso, a partir de Natal, efetuado através da rodovia BR-304 (IBGE, 2010).

Figura 01: Mapa de localização do município de Mossoró-RN

O município de Mossoró possui uma população de 288.162 habitantes, podendo chegar a mais de 300.000, se for considerado a população flutuante, que tem Mossoró como local de trabalho, compras ou outras atividades. Situada na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Mossoró, limitando-se com os municípios de Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Açú, Upanema, Governador Dix-Sept Rosado, Baraúna e o Estado do Ceará, abrangendo uma área de 2.100 km² (IBGE, 2010).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw^h, ou seja, semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, com precipitação pluviométrica anual muito irregular e com umidade relativa média do ar de 68,9% (Sousa, 2014). Mossoró caracteriza-se por possuir um clima tropical semiárido, com 7 a 8 meses de período seco por ano. Seu clima é seco, quente e com estação chuvosa concentrada entre o verão e o outono. As precipitações pluviométricas possuem distribuição muito irregular ao longo do ano, as médias variam entre 600 a 800mm anuais. As amplitudes térmicas são ligeiramente maiores nos meses secos e menores nos chuvosos, com temperaturas média de 27,4 °C, com uma variação entre 21 °C e 36,0 °C (Santos, 2012).

Mossoró está assentada sobre uma superfície de relevo plano de altitudes modestas (4 a 142 metros), conforme Figura 02, composto por tabuleiros sedimentares de origem cretácea, cortados pelos vales dos rios, Apodi e Angicos, que

representam largas várzeas com lagoas residuais (CPRM, 2005).

Figura 02: Mapa do relevo do município de Mossoró-RN

Caatinga Hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactácea e plantas de porte mais baixo e espalhado. Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro.

Carnaubal - vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira, a carnaúba. Os carnaubais são espaçados e iluminados.

Vegetação Halófila - é uma vegetação que suporta grande salinidade em decorrência da penetração da água do mar nas regiões baixas marginais dos cursos d'água. O clima semi-árido provoca uma grande evaporação e concentração de sais na parte superficial do terreno. Observa-se ocorrência de uma vegetação típica, desta formação. Destacando o piririxiu e o bredo, às vezes consorciados com carnaubais (IDEMA, 2008).

Na Figura 03 estar representado as classes de solos encontradas no de município, onde pode-se identificar os ARGISSOSLOS, esse estando em maior parte na área urbana e também na região da serra Mossoró. CAMBISSOLOS, esse com maior área sendo encontrado em todas as regiões do município, CHERNOSSOLO localizado na parte sul do município das divisas com as cidades de Assú e Governador Dix-Sept Rosado. GLEISSOLOS localizados próximo as áreas alagadas pela dinâmica de maré alta e maré baixa. LATOSSOLO sua maior evidência estar na região sul do município nas divisas das cidades de Tibau, Grossos e também Serra do Mel. Os VERTISSOLOS são encontrados quase que na sua totalidade as margens dos rios Apodi-Mossoró e Carmo. (EMBRAPA, 2013).

Figura 03: Mapa de solos do município de Mossoró-RN

O município de Mossoró encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema (FIGURA 04), sendo constituído pelos sedimentos da Formação Jandaíra (K2j), do Grupo Barreiras (ENb), depósitos Colúvios-eluviais (NQc), Flúvio-lagunares (Qfl) e depósitos Aluvionares (Q2a) (EMBRAPA, 2005).

Figura 04: Mapa da geologia do município de Mossoró-RN

Os dados técnicos de todos os poços foram disponibilizados pela a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, com sede em Mossoró-RN. Posteriormente, todos os dados foram convertidos em bancos de dados espacial no formato shapefile para serem introduzidos nos softwares no software SIG's QGIS 2.8.6. Optou-se pelo QGIS devido o mesmo ser um software robusto e de fácil manuseio, além de sua distribuição ser gratuita e possibilitou a realização de todos os processos de geoprocessamento, diminuindo assim os custos com a pesquisa.

O mapa com as localizações dos poços foi confeccionado após as coletas das coordenadas de cada poço com GPS de navegação e posteriormente foi realizado a transferência dos pontos para software QGIS e em seguida transformado em

Shapefile com projeção Universal Transversa de Mercator –UTM e datum SIRGAS2000, que a partir de 2005 passou a ser o datum oficial do Brasil (IBGE, 2015).

Variáveis analisadas

As análises das amostraram foram realizadas no laboratório de qualidade de água da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN na cidade de Natal onde constituíram as análises das seguintes variáveis:

Físicas: turbidez, cor aparente.

Químicas: sódio (Na^+), cloretos (Cl^-), dureza, nitrato (NO_3^-), (SO_4^{2-}), e potencial hidrogeniônico – pH.

As coletas das amostras e análises laboratoriais foram realizadas seguindo as metodologias descritas na 21ª Edição do “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005).

Cada poço foi espacializado através das coordenadas X e Y obtidas na visita de campo e com auxílio do aparelho GPS. A partir daí foi criado um banco de dados contendo todas as informações dos poços que posteriormente foi alimentado com os resultados das análises de água fornecida pela CAERN.

Análise dos resultados

Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, tabela de correlação e interpolação de cada variável para a elaboração de mapas temáticos

No presente trabalho foram analisadas 6 variáveis dos 16 poços ativos no sistema de abastecimento, fornecido pela CAERN, através de softwares livres como o SISVAR e SAEG 9.1,

Foi analisado o comportamento das variáveis da água por meio de medidas descritivas: média, valores máximo e mínimo, coeficiente de variação (CV) e Desvio padrão (DP).

Interpolação dos dados através do método IDW

Os dados foram interpolados através do Inverso do Quadrado da Distância – IDW, esse interpolador emprega o modelo estatístico denominado “Inverso das Distâncias”. O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (Marcuzzo et al, 2011). Assim, adota maior peso para as amostras mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto à ser interpolado. Desde modo o modelo consiste em se multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores.

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, usamos a seguinte equação matemática:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)} \quad [1]$$

Resultados e discussão

Não existe uma rede nacional de monitoramento para águas subterrâneas. As fontes de informação são, na maioria das vezes, de caráter pontual e correspondem as pesquisas desenvolvidas nas universidades e alguns estudos elaborados pelas secretarias estaduais de recursos hídricos.

Na década de 70, a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN assumiu a direção do sistema de abastecimento público de Mossoró, quando realizou o primeiro estudo hidrogeológico do aquífero Açu, em Mossoró. Este estudo representa uma primeira e considerável avaliação do comportamento hidrodinâmico do aquífero na região de Mossoró.

Conhecer o estado que se encontra os aquíferos pode trazer diversos benefícios na gestão dos recursos hídricos e consequentemente para a população, que terá a certeza de estar recebendo uma água de qualidade.

A análise dos aspectos físico-químicos das águas subterrâneas tem considerável importância na determinação hidrogeológica, principalmente em regiões áridas e semiáridas como a cidade de Mossoró, alvo dessa pesquisa. Encontrar água é apenas um dos problemas enfrentados pela população dessas regiões. É essencial que essa água tenha características físico-químicas que atendam os padrões de portabilidade e não coloque a saudável qualidade de vida dos seres humanos em risco.

Espacialização dos poços

O mapa com os poços utilizados no abastecimento urbano de Mossoró foi elaborado a partir da tabela disponibilizada pela CAERN e com a confirmação em campo, como mostrado na metodologia.

No mapa pode-se perceber como a cidade vem tendo um crescimento, com as zonas de expansão urbana, assim necessitando de um

sistema de abastecimento eficiente e eficaz, uma vez que 70% água disponibilizada à população chega através dos poços e os outros 30% de adutora (Souza et al 2010).

ANA (2010) já relatava que a CAERN enfrentava problemas de falta água em Mossoró e não havia uma política bem definida de investimento prevista para ampliação do sistema através de novos poços, posto que já se encontra na ordem do dia um novo projeto de adução de água superficial, desta vez do Açude Santa Cruz, localizado 10 km ao sul de Apodi e cerca de 90 km de Mossoró.

Hoje, a única adutora que fornece água para o sistema de abastecimento de Mossoró é a Jerônimo Rosado, que capta água da barragem Armando Ribeiro Gonçalves na cidade de Itajá. Mas, mas a nova adutora para que a água da barra de Santa Cruz na cidade de Apodi chegue à população, já estar em fase de implantação, porém sem uma data para conclusão.

Os poços estão espacializados (Figura 05) de uma forma que atenda a todos os usuários de forma satisfatória, sendo distribuídos em todas as zonas da cidade, tendo a maior concentração na parte norte e na margem esquerda do rio Apodi-Mossoró. Uma vez que a CAERN busca garantir que os bairros não sofram com a falta de água.

Figura 05: espacialização dos poços ativos de abastecimento da CAERN na zona urbana de Mossoró-RN

Análise estatística

Foi verificado um coeficiente de variação na maioria dos dados como sendo médio e baixo. A pouca variação pode ser explicada por todos os poços estarem em um único aquífero.

Tabela 01: Estatística descritiva das análises das variáveis da água para abastecimento humano na zona urbana de Mossoró-RN

Variável	Média	Valor		Coeficiente		Desvio Padrão
		Mínimo	Máximo	Variação	Class CV	
pH	7,46	7,2	7,8	2,49	Baixo	0,18
Sódio	75,9	34,44	117,00	31,78	Médio	24,15
Dureza	98,50	31,90	185,55	49,41	Médio	48,67
Cloretos	59,61	47,68	96,62	19,59	Médio	11,68
Cor Aparente	4,29	3,60	5,50	12,59	Baixo	0,54
Nitrato	1,49	0,00	2,83	46,06	Médio	0,68

Fonte: Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte – CAERN, 2015

Cor aparente

Quando a água, além da cor, apresenta uma turbidez adicional que pode ser removida por centrifugação, diz-se que a cor é aparente (Scuracchio, 2011).

A cor é responsável pela coloração da água, e está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010). A cor aparente em μC , unidade de cor, e assim essa característica é puramente estética.

Os valores da cor aparente ficaram entre $3,60 \mu\text{C}$, mínimo e $5,50 \mu\text{C}$ o máximo com média de $4,29 \mu\text{C}$, na legislação vigente determina que os valores não ultrapassem $15 \mu\text{C}$, por tanto os valores encontrados estão dentro dos padrões de qualidade. Este parâmetro tem importância estética e, quando alterado, provoca rejeição para o consumidor.

Visto que, água que possui sua cor elevada provoca a sua rejeição por parte do consumidor e o leva a buscar outras fontes de suprimento muitas vezes inseguras (BRASIL, 2004).

Como mencionado anteriormente a cor aparente da água é um aspecto mais visível e de aceitação, na legislação o valor máximo permitido é de 15 uH .

Os poços que apresentaram o maior dessa variável foram os PT – 18, PT – 19, PT – 24 e PT – 27, esse localizados mais distante do centro da cidade (Figura 06).

A cor da água é consequência das substâncias em solução, ou seja, em águas não poluídas, a cor é determinada pela presença de ácidos húmicos/fúlvicos e compostos de ferro, mas, quando poluídas, deriva de uma variedade de compostos orgânicos.

Os poços que apresentaram os maiores valores têm uma característica semelhantes, ambos estão localizados próximo a áreas onde são desenvolvidas atividades que possuem grande potencial de poluição (Abatedouro, postos de combustível, base da Petrobras). A presente pesquisa não buscou a relação do uso e ocupação

com a qualidade da água, mas foi um fato curioso e que vale ser mencionado.

Figura 06: Mapa da cor aparente dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

Dureza

Através das análises ficou constatado valores de dureza mínimo de $31,90 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo de $184,55 \text{ mg L}^{-1}$ com média de $98,50 \text{ mg L}^{-1}$. Esses valores foram similares aos encontrados por ANA (2010), onde a média ficou em $126,2 \text{ mg L}^{-1}$ e o valor mínimo de 50 mg L^{-1} e máximo de 200 mg L^{-1} .

A maioria das amostras ficaram na faixa de dureza moderada ($50 - 150 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$). Isso indica uma conformidade das águas do aquífero e é perfeitamente compatível com a natureza arenosa desse aquífero (ANA, 2010). Esses valores,

segundo Tsutiya (2006), pode levar a corrosão dos tubos utilizados na instalação dos poços.

Figura 07: Mapa da dureza dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

Como já mencionado anteriormente a dureza apresentou valores abaixo do permitido na portaria 2.914 / 2011 do ministério da saúde, mas mesmo abaixo, a dureza pode causar incrustações nas tubulações de água quente, característica das águas de abastecimento através de poços em Mossoró.

Dois poços apresentaram dureza superior a 160 mg L de CaCO_3 (PT – 02 e PT – 19) ambos localizado à margem esquerda do rio Apodi-Mossoró, como mostrado na Figura 07.

A dureza dos poços mencionados anteriormente pode ser classificada, segundo Libânio (2005), como dura, podendo assim, dificultar o banho, a lavagem de utensílios domésticos e roupas, criando problemas higiênicos (Braga et al., 2004).

Nitrato

Os valores de nitrato ficaram abaixo dos valores permitido na portaria 2.914 / 2011 do ministério da saúde, a maioria dos poços apresentaram valores de entre 1,2 e 1,8 mg L. a grande maioria está à margem esquerda do rio Apodi-Mossoró e mais a oeste (FIGURA 8).

O poço PT – 23 instalado no Clube dos Funcionários da Petrobras – CEPE (Aspectro)

apresentou o valor de 2,83 mg L, fato que deve haver uma maior preocupação já que no local existe um parque aquático e reduto da população para recreação.

Figura 08: Mapa do nitrato dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

O nitrato faz parte do ciclo biogeoquímico do nitrogênio, fazendo parte dos ecossistemas naturais dos seres vivos. Contudo, as altas concentrações de nitrato em água podem trazer riscos à saúde do homem e quase sempre apresentam problemas ambientais (BRASIL, 2004).

Cloretos

Os poços de abastecimento humano na área urbana de Mossoró tiveram valor de cloreto médio 59,61mg L-1, mínimo de 47,68 mg L-1 e máximo 96,62mg L-1, com um CV de 19,59% e desvios padrão 11,68.

Para a região de recarga CPRM e UFRN (2007a) e ANA (2010b), constataram valores de cloreto variando de 14,8 mg L-1 a 2.244,2 mg L-1 com média de 300,2 mg L-1. O cloreto assim como sais de cálcio, sulfatos e nitratos podem interferir e modificar a dureza da água.

Um estudo realizado por Fernandes et al (2005), na região da chapada do Apodi encontraram valores de cloreto variando de 75,9 mg L-1 a 535,7 mg L-1, tendo esses valores

comportamentos diferente entre área não irrigada e área irrigada, onde ocorreram os maiores valores.

Tratando de água para o consumo humano, o sabor é a principal limitação. Respeitando os padrões de potabilidade e as classificações das águas subterrâneas, a portaria nº 2.491 MS coloca como sendo valor máximo permitido de 250, mg L⁻¹ para os níveis de cloreto. Águas com teores menores que 250 mg L⁻¹ de cloretos é satisfatória para serviços de abastecimento doméstico (o ideal seria menor que 150mg L⁻¹).

Cloretos dissolvidos na água em excesso pode resultar em um sabor salino na mesma, além de danos em superfícies metálicas (tubos por exemplo). Os seres humanos, em zonas áridas, podem tolerar uma concentração de até 900 mg/L sem nenhum efeito fisiológico adverso, mas o cloreto pode trazer efeito laxativo para as pessoas sem essa tolerância (Dutra, 2013).

Os valores máximos permitidos de cloreto para águas destinadas ao consumo humano é de 250 mg L, portanto todos os poços analisados possuem água com o valor bem abaixo do máximo permitido.

Dois poços (PT -02 E PT - 08) tiveram valores em destaque quando comparados aos demais, pois foram os únicos a apresentarem valores acima de 65 mg L. Os menores valores ficaram localizados na região nordeste do centro urbano e novamente os poços à margem direita apresentaram esses menores valores (Figura 09).

Figura 09: Mapa de cloretos dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

Sódio

O sódio estar presente nas rochas ígneas e é liberado durante o processo de intemperismo, o sódio geralmente presente nas águas doces em forma de Na⁺, suas altas concentrações ocorre em associação com o íon CL (Celligoi, 1999).

O valor médio do sódio nos poços analisados foi de 75,9 mg L⁻¹, com um intervalo variando entre o valor mínimo de 34,44 mg L⁻¹ e máximo de 117 mg L⁻¹, o coeficiente de variação foi classificado segundo Warrick (1998), com sendo médio (31,78 %) e o desvio padrão foi de 24,15. Já ANA (2010b) constatou valores variando entre 13, 1 mg L⁻¹ a 552,3 mg L⁻¹ com média de 99.3 mg L⁻¹, mostrando uma maior variação.

Na portaria nº 2.491 MS o valor máximo permitido para sódio é de 200 mg L⁻¹, mas mesmo as análises mostrando valores abaixo, deve-se ter cuidado, pois junto com o cálcio e outros sais, o sódio pode afetar aumentar a alcalinidade e alterar o sabor da água.

Os valores de sódio tiveram uma espacialização bastante interessante (Figura 10), os poços localizados à margem direita do rio apresentaram os valores mais elevados dessa variável, já os poços a esquerda tiveram os menores valores, com exceção do poço PT - 08, que tem valores de sódio semelhantes aos poços à direita do rio.

Figura 10: Mapa do sódio dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

Concentrações dos constituintes iônicos principais das águas, como sódio, não apresenta perigo direto para a saúde do consumidor, entretanto produzem efeitos organolépticos que podem impossibilitar o consumo das águas (Fenzl, 1988).

pH

Potencial hidrogeniônico (pH) expressa a concentração de íons de hidrogênio (H^+) na solução, conferindo a condição ácida ou básica à mesma, dependendo dessa concentração. O pH de um corpo de água é afetado por vários fatores, entre eles: o substrato rochoso e composição do solo por meio do qual a água se move (alguns tipos de rochas como calcário podem neutralizar o ácido, enquanto outros, tais como granito, tem pouco efeito sobre o pH).

Foi observado uma pequena variação aos valores de pH nos 16 poços analisados, com média de 7,46 mg L⁻¹ e valores variando entre 7,2 mg L⁻¹ e 7,8 7,2 mg L⁻¹ e um desvio padrão muito baixo, 0,18. Assim, os poços estudados (16 que fazem o abastecimento urbano de Mossoró) indicam uma tendência de neutralidade em suas águas e ficando dentro do valor máximo permitido na legislação que recomenda águas com pH entre 6 e 9,5. Diferentemente dos resultados encontrados por ANA (2010b) e CPRM e UFRN (2007a) onde o pH variou entre 4,3 mg L⁻¹ e 8,6mg L⁻¹, com valor médio de 5,7mg L⁻¹, indicando águas com tendência à acidez. Casos de águas alcalinas relacionam-se à influência das rochas carbonáticas.

O pH é um importante indicador da qualidade da água, uma vez que ele possui uma relação direta com diversos outros elementos. Os valores encontrados nos poços no centro urbano de Mossoró ficaram com média não ultrapassando 7,5 mostrando uma uniformidade do aquífero no qual as águas são captaadas (Figura 11).

Apenas 2 poços apresentaram valores acima de 7,6 de pH, o PT – 06 e o PT – 22, o primeiro localizado à margem esquerda do rio

Conclusões

As águas subterrâneas de um modo geral como é de se esperar não apresentam restrições quanto as suas propriedades físicas, principalmente por se tratar de um aquífero poroso e relativamente profundo como o aquífero Açú.

Todos os valores encontrados nas análises físico-química das águas dos 16 poços ficaram abaixo dos máximos permitidos na Portaria nº 2.194/2011 do Ministério da Saúde

Apodi-Mossoró e o segundo à margem direita do rio.

Figura 10: Mapa de pH dos poços de abastecimento da zona urbana de Mossoró-RN

A água com um pH abaixo ou acima do intervalo 6,5 a 9,5 pode levar alguns metais, com os quais entre em contato, a altas concentrações (por exemplo, chumbo e, cobre). Estes são metais que têm efeitos potencialmente nocivos à saúde. Portanto, quanto maior a disponibilidade de H^+ (quanto menor o pH), maior a tendência de haver de metais na água (Nelson, 2002).

enquadradas como adequadas para o consumo humano.

Mesmo como valores dentro do permitido, o poço PT – 02 chamou atenção por apresentar os maiores valores em 2 variáveis estudadas (Nitrato, Cloretos). Evidenciando uma necessidade da realização de um estudo referente as possíveis causas desse fato ocorrer.

O auxílio das geotecnologias facilitou na interpretação dos dados de modo a mostrar de forma rápida a espacialização das variáveis,

através da interpolação e dos mapas, podendo auxiliar nas tomadas de decisões.

Um Sistema de Informações Geográficas - SIG pode melhorar a interpretação das análises do comportamento da qualidade da água dos poços, além de diminuir o tempo gasto e espaço de armazenamento, já que as planilhas de papel seriam substituídas por um banco de dados.

Recomenda-se que a companhia responsável pela distribuição adote medidas que visem a utilização das ferramentas de geotecnologias para o melhoramento da gestão das águas, uma vez que no atual cenário que em que o planeta estar, os recursos hídricos são ainda mais preciosos e de extrema e fundamental importância para o desenvolvimento das atividades humanas.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e a Universidade Federal do Semi-árido – UFERSA por toda a estrutura.

Referências

- APHA, 1985. STANDARD methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington.
- ANA. Agência Nacional das Águas, 2007. GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília.
- ANA. Agência Nacional das Águas, 2010a. Altas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado. Brasília
- ANA. Agência Nacional das Águas, 2010b. 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. Brasília
- Bicudo, C.E.M., Tundisi, J.G., Scheuenstuhl, M.C.B; 2010. Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo.
- Braga, B., Hespanhol, I., 2005. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo
- BRASIL, 2011. Portaria nº 2914/MS de dezembro
- BRASIL, 2004. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Brasília.
- Celligoi, A., 1999. Considerações sobre análises química de água subterrânea. Geografia, Londrina, v.8, n.1, 91-97.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília
- CPRM. Companhia de Pesquisa De Recursos Minerais., UFRN. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, 2007a. Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema Afonso Bezerra. Meta C. Caracterização Hidrogeológica dos aquíferos. Recife
- CPRM. Companhia de Pesquisa De Recursos Minerais., UFRN. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte – UFRN, 2007b. Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema Afonso Bezerra. Meta D. Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade. Recife
- Dutra, C, 2012. Avaliação hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral nos municípios de Cambé, Ibioporã, Londrina e Tamarana. Monografia (Bacharel). Londrina, UFPR.
- EMPRESA, Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2005. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte. Embrapa Solos, UEP Recife.
- EMPRESA, Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília.
- Fenzl, N, (1988). Introdução a Hidrogeoquímica. Universidade Federal do Pará. Belém.
- Fernandes, M.A.B., Santiago, M.M.F., Gomes Filho, J.M., Frischkorn, H., Lima, J.O.G de., 2005. Origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi – Ceará. Águas Subterrâneas, v. 19, n. 1. 25-34.
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados da Sinopse por setor censitário Brasil, 2011. Rio de Janeiro.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015 Base cartográfica integrada digital dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro.
- IDEMA - Instituto De Desenvolvimento Sustentável E Meio Ambiente Do Rio

- Grande Do Norte, 2008. Perfil do seu município – Mossoró. Natal.
- Libânio, M., 2005. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Átomo, Campinas.
- Marcuzzo, F. F. N., Andrade, L. R. de., Melo, D. C. R., 2011 Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física 04, 793-804.
- Nelson, D., 2002. Natural Variations in the Composition of Groundwater. Drinking Water Program. Presented at Groundwater Foundation Annual Meeting Oregon. Department of Human Services. Springfield, Oregon.
- Santos, W. O., Barreto, H. B. F., Costa, F. G. B., Freite, F. G. C., Espínola Sobrinho, J., Costa Neto, C. M. da., Caracterização da velocidade média dos ventos na região de Mossoró-RN, 2012 In: I INOVAGRI International Meeting & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação - WINOTEC, 2012, Fortaleza-CE. anais do IV INOVAGRI International Meeting & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação – WINOTEC. Disponível: <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wpcontent/uploads/2012/06/Protocolo049.pdf>. Acesso 20 jun 2016
- Santos, S. C. C dos., Silva, N. M da., Gorayeb, A. C. C., Pereira, L., 2009. Condições ambientais da fonte hídrica do município de Bragança Amazônia Oriental – Brasil. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 11, n. 36, 100 – 112.
- Scuracchio, P. A.; Farache Filho, A, 2011. Qualidade da água utilizada para consumo em escolas e creches no município de São Carlos – SP. Alim. Nutr., Araraquara v. 22, n. 4, p. 641-647, out./dez.
- Souza, Israel de Macedo., Rocha, V.A.G.M.R., Araújo, John Kenedy., 2011. Descrição do sistema de abastecimento de água da cidade de Mossoró-RN. XVIII Simpósio Brasileiro de recursos hídricos. Disponível: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/e083033ade218d5c8efd2fa13721f4f0_7d6bd2a07d9810e164dc8d55e7a436fc.pdf. Acesso em 12/01/2015
- Tsutiya, Milton Tomoyuki, 2006. Abastecimento de água. 3ª edição. São Paulo
- Warrick, A. W., Nielsen, D. R, 1998. Spatial variability of soil physical properties in the field In: Hillel, D. Applications of soil physics. New York: Academic. 319-344.