



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

HERMÍNIO SABINO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**MONITORAMENTO E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
ABASTECIMENTO URBANO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ

2016

HERMÍNIO SABINO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**MONITORAMENTO E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
ABASTECIMENTO URBANO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais

Orientador: Paulo Cesar Moura da Silva, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

O49m Oliveira Junior, Hermínio Sabino de. MONITORAMENTO E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO URBANO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN / Hermínio Sabino Oliveira Junior. - 2016.

77 f. : il.

Orientador: Paulo Cesar Moura da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2016.

1. Geotecnologias. 2. Parâmetros Físico-químicos. 3. Mapeamento. I. da Silva, Paulo Cesar Moura, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HERMÍNIO SABINO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**MONITORAMENTO E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
ABASTECIMENTO URBANO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN**

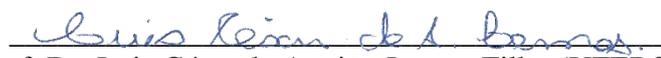
Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais

APROVADA EM: 14 /06/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva (UFERSA)
Presidente


Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho (UFERSA)
Membro Examinador


Prof. Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho (UERN)
Membro Examinador (Externo)

As minhas queridas avós, Maria Hermínia e Severina Carlos, pelos ensinamentos, perseverança, fé e coragem que sempre transmitiram e ajudaram até este momento. Mas, que deixaram esse mundo no período de elaboração final do presente trabalho (In Memoriam).

Aos meus pais, Hermínio Sabino de Oliveira e Maria Irene Fernandes de Oliveira por todo o apoio nessa caminhada
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jesus Cristo (Deus) ao qual me concedeu a saúde física e mental para desenvolver este trabalho, pelas conquistas que tem me proporcionado em toda a caminhada da minha vida.

A toda minha família pelo apoio emocional e estrutural para conseguir esta conquista, em especial meus pais Hermínio Sabino e Maria Irene, minhas irmãs Yonara Michelle e Luzia Fernandes, além da minha sobrinha Annaly Fernandes Dantas.

A minha namorada/esposa Clara Livia Câmara e Silva, por toda sua ajuda, paciência nos momentos de estresse, auxílio nas tarefas e viagens necessárias para a realização da pesquisa e todo amor, pois sem essa ajuda incomparável dela não teria conseguido finalizar esta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. D. Sc. Paulo César Moura da Silva, pela confiança, paciência e disponibilidade para transmitir os seus valiosos conhecimentos de maneira clara objetiva, tendo um papel fundamental no desenvolvimento desta pesquisa. Salientando-se que me ajudou a desenvolver profissionalmente e pessoalmente com seus ensinamentos e conselhos.

Aos professores Luís César de Aquino Lemos Filho, Rafael Batista de Oliveira, José Francismar de Medeiros, Carolina Malala Martins, Neyton de Oliveira Miranda, Rodrigo Guimarães de Carvalho e Ramiro Gustavo Varela Camacho que contribuíram direta e indiretamente para conclusão desta pesquisa.

A Companhia de Águas e Esgotos - CAERN, por disponibilizar as análises das amostras de água e todas as informações que contribuíram de forma significativa nesta pesquisa.

A Camilo Vinícius Trindade Silva pela ajuda nas coletas dos pontos de localização dos poços, auxílio nas discussões referente ao planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos e todo seu apoio técnico de gestor ambiental, companheirismo e paciência.

Aos meus amigos Alex Albuquerque, Allyanne Freitas, Edilma Nunes e Cleiton Praxedes que sempre acreditaram e apoiaram nas dificuldades, fazendo com que conseguisse vencer as dificuldades e ultrapassar as barreiras.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela formação acadêmica e oportunidade de concluir o Curso de Mestrado em Manejo de Solo e Água.

A CAPES pelo apoio financeiro da bolsa durante todo o programa.

A todos os docentes do programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água por contribuírem na minha formação profissional.

RESUMO

Os recursos hídricos são elementos essenciais para a vida e para os processos modificadores do ambiente, por isso ter conhecimento da atual situação pode garantir uma gestão eficiente que torne possível o uso mais sustentável. 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, tanto nos centros urbanos como nas comunidades rurais e, também, como em sistemas autônomos residenciais privados, indústrias, serviços, irrigação agrícola, turismo e lazer. O presente trabalho teve como objetivo geral a análise da qualidade da água subterrânea distribuída à população da área urbana de Mossoró-RN. As amostras foram coletadas nos 16 poços ativos que fazem parte do sistema de abastecimento de água na zona urbana da cidade de Mossoró e as análises das foram realizadas no laboratório de qualidade de água da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN. Os poços com menores níveis dinâmicos são os PT – 02, PT – 23, PT – 20. Esses estão localizados à margem esquerda do rio, e possuindo datas de perfuração anterior a 1980. Já os poços com maiores valores de turbidez foram PT - 8, PT – 11 e PT – 14. Constatou-se uma fortíssima e positiva correlação entre a CE com Cloreto, sulfatos e STD 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 enquadradas como adequadas para o consumo humano. O auxílio das geotecnologias facilitou na interpretação dos dados de modo a mostrar de forma rápida e eficiente 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.

Palavras-chaves: Geotecnologias; Mapeamento; Parâmetros Físico-químicos

ABSTRACT

Water resources are essential elements for life and environmental modifiers processes, therefore be aware of the current situation can ensure efficient management that makes possible a more sustained use. Groundwaters have a great importance for the development of human activities. They play a crucial role in supplying the cities and as well as in the private sector, with the most different uses, both in urban centers and rural communities, as well as in private residential autonomous systems, industries, services, agricultural irrigation and recreation. This study aimed to the analysis of groundwater quality distributed to the population of the urban area of Mossoro-RN. The samples were collected in 16 active wells that are part of the water supply system in the urban area of the city of Mossoro and the analyzes were performed in the quality lab of water of Rio Grande do Norte's Water and Sewerage Company – CAERN in Natal city. The wells with lower dynamic levels are the PT - 02 PT - 23 PT - 20. These are located on the left riverbank and have previous drilling dates to 1980, since the wells with higher turbidity values were PT - 8 PT - 11 and PT - 14. We found a very strong and positive correlation between the EC with chloride, sulphates and STD. All the values found in the physical-chemical analyzes of water from 16 wells were below the maximum allowed by Ordinance No. 2,194 / 2011 of the Health Ministry classified as suitable for human consumption. The aid of geotechnology facilitated in data interpretation to show quickly the spatial variables through interpolation and maps, and may help in decision making. A Geographic Information System – GIS can improve the interpretation of the analyzes behavior of water quality in wells, in addition to decreasing the time spent and storage space, since the paper sheets would be replaced by a database.

Keywords: Geotechnology; mapping; Physical-chemical parameters

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país	12
Figura 02 -	Perfil geológico da bacia Potiguar	14
Figura 03 -	Esquema de fontes de abastecimento urbano em Mossoró-RN	16
Figura 04 -	Espacialização dos casos de cólera na cidade de Londres	18
Figura 05 -	Esquema simplificado da estrutura de SIG	19
Figura 06 -	Interpolação pelo Inverso da Distância – IDW	21
Figura 07 -	Mapa de localização do município de Mossoró-RN	23
Figura 08 -	Mapa do relevo do município de Mossoró – RN	24
Figura 09 -	Mapa de solos do município de Mossoró-RN	26
Figura 10 -	Mapa da geologia do município de Mossoró-RN	27
Figura 11a -	Coleta de coordenadas dos poços de abastecimento	28
Figura 11b -	Coleta de coordenadas dos poços de abastecimento	28
Figura 13 -	Mapa de localização dos poços de abastecimento urbano	33
Figura 14 -	Mapa dos níveis estáticos dos poços de abastecimento urbano de Mossoró,RN	49
Figura 15 -	Mapa dos níveis dinâmicos dos poços de abastecimento urbano de Mossoró,RN	50
Figura 16 -	Mapa das profundidades dos poços de abastecimento urbano de Mossoró,RN	51
Figura 17 -	Mapa das profundidades dos poços de abastecimento urbano de Mossoró,RN	52
Figura 18 -	Mapa das temperaturas das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	53
Figura 19 -	Mapa Cor aparente das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	54
Figura 20 -	Turbidez das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	55
Figura 21 -	Condutividade elétrica das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	56
Figura 22 -	Dureza das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	57
Figura 23 -	Cálcio das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	58
Figura 24 -	Nitrato das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	59
Figura 25 -	Magnésio das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	60
Figura 26 -	Potássio das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	61
Figura 27 -	Cloretos das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	62
Figura 28 -	Sulfatos das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	63
Figura 29 -	Sódio das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	64
Figura 30 -	Sólidos Totais Dissolvidos das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	65
Figura 31 -	pH das águas de abastecimento urbano de Mossoró,RN	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Localização dos poços ativos na área urbana de Mossoró –RN	29
Tabela 02	Abrangência dos poços de abastecimento urbano de Mossoró	34
Tabela 03 -	Estatística descritiva das análises das variáveis da água de abastecimento público no sistema urbano de Mossoró-RN	36
Tabela 04 -	Matriz de correlação entre parâmetros analisados	47

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	4
2 - OBJETIVOS	6
2.1 OBJETIVOS GERAIS	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3 - REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 ASPECTOS LEGAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	7
3.2 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	11
3.5 RECURSOS HÍDRICOS NO RIO GRANDE DO NORTE	14
3.5.1 Bacia Potiguar	14
3.5.2 Faixa Sedimentar Litorânea.....	15
3.7 GEOTECNOLOGIAS	17
3.8 INTERPORLAÇÃO	21
4 - METODOLOGIA	23
4.1 CARACTERIZAÇÃO.....	23
4.1.1 Localização.....	23
4.1.2Clima	24
2.1.3 Relevo.....	24
2.1.4 Vegetação	25
2.1.5 Solos	25
2.1.6 Geologia	26
4.2 MATERIAIS	27
4.3MÉTODOS.....	28
4.3.1 Variáveis analisadas	28
4.3.2 Espacialização dos dados	28

4.3.3 Poços ativos do sistema de abastecimento urbano	29
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
4.4.1 Estatística descritiva	30
4.4.2 Coeficiente de Correlação	31
4.4.3 Interpolação dos dados através do método IDW	31
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
6.1 ESPACIALIZAÇÃO DOS POÇOS	33
6.2 ANÁLISE QUALITATIVA DOS PARÂMETROS	35
6.2.1 - Nível estático	37
6.2.2 – Nível Dinâmico	37
6.2.3 – Profundidade	38
6.2.4 - Vazão	38
6.2.5– Temperatura	38
6.2.6 – Cor aparente	39
6.2.7 – Turbidez	39
6.2.8 – Condutividade	40
6.2.9 – Dureza	40
6.3 - PARÂMETROS QUÍMICOS (CALCIO, NITRATO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, CLORETOS, SULFATOS, SÓDIO, SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS – STD).....	41
6.3.1 – Cálcio	41
6.3.2 – Nitrato	41
6.3.4 – Magnésio	42
6.3.5 – Potássio	42
6.3.6 Cloretos	42
6.3.7 Sulfatos	43
6.3.8 Sódio	43
6.3.9 Sólidos totais dissolvidos – STD	44
6.3.10 pH	44

6.4 CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ANALISADOS.....	46
6.5 – MAPEAMENTO DOS PARAMETROS AVALIADOS.....	49
6.4.1 - Parâmetros físicos	49
6.4.1.1 – Nível estático	49
6.4.1.2 – Nível dinâmico	50
6.4.1.3 – Profundidade.....	51
6.4.1.4 – Vazão	52
6.4.1.5 – Temperatura.....	53
6.4.1.6 – Cor Aparente	54
6.4.1.7 – Turbidez.....	55
6.4.1.8 – Condutividade elétrica.....	56
6.4.1.9 – Dureza.....	57
6.4.2 – Parâmetros químicos	58
6.4.2.1 Cálcio.....	58
6.4.2.2 Nitrato.....	59
6.4.2.3 Magnésio	60
6.4.2.4 Potássio.....	61
6.4.2.5 Cloretos.....	62
6.4.2.6 Sulfatos	63
6.4.2.7 Sódio.....	64
6.4.2.8 Sólidos Totais Dissolvidos	65
6.4.2.9 pH	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS	68
ANEXOS	74

1 - 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 possuir caráter pioneiro na região, tem 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.

2 - OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

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

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características físico-químicas das águas subterrânea usadas no abastecimento na zona urbana do município de Mossoró.
- Construção de um banco de dados e utilização de um SIG para gestão das águas subterrânea de abastecimento humano.
- Realizar a espacialização dos poços de abastecimento da zona urbana do município;
- Interpolação e confecção de mapas temáticos para cada variável analisada

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ASPECTOS LEGAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O Brasil possui dispositivos legais referentes à água desde o período colonial, mas somente em 1934 o Código de Águas (Ministério de Minas e Energia, 2009) passou a ser a legislação específica para os recursos hídricos.

O Código de Águas constituiu uma política bastante avançada para a época. Mas, apenas o setor elétrico foi atendido na sua regulamentação, limitando-se aos aspectos desse setor, deixando de lado os usos múltiplos e a proteção da qualidade das águas (Granziera, 2001).

Ao longo da década de 1970, iniciaram-se as discussões sobre a gestão descentralizada das águas, e em 1978 foram criados Comitês de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas para diversos rios brasileiros, principalmente na região sudeste. Os comitês eram formados apenas por integrantes do poder público, não possuíam poder deliberativo, porém muitos estudos foram realizados como o enquadramento de diversos corpos d'água nas bacias de rios como Paranapanema e Paraíba do Sul (ANA, 2007).

No ano de 1986 foi publicada a Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que serviu para substituir a portaria nº 13 do Ministério do Interior. Nessa resolução foi estabelecida uma nova classificação para as águas doces, salobras e salinas. E em 1988 a Constituição Federal concedeu atribuição à União para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 2012).

Em 1997 tendo em vista a regulamentação dos aspectos previstos na Constituição Federal, foi sancionada a Lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e diz que é de responsabilidade dos estados o gerenciamento das águas subterrâneas. Essa lei foi um marco fundamental no processo de modificação do ambiente institucional regulador dos recursos hídricos no Brasil, levando à criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (1998) e da Agência Nacional das Águas – ANA (2000) (ANA, 2007).

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 substituiu a Resolução CONAMA nº 20, de 1986. Esta resolução define a classificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros

Águas subterrâneas são conceituadas pela resolução CONAMA nº396/2008 no seu Art2º como sendo: águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo e aquífero como corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Na mesma resolução no Art. 3º as águas subterrâneas são classificadas em seis classes que são elas:

- I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e
- VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

O ministério da saúde, através da portaria 2.914/2011 destaca no art. 3º que toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água (BRASIL, 2011).

No Art. 5º da mesma portaria são adotadas a seguinte definição:

I - Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria.

Os parâmetros que possuem um limite ou valor recomendado para o consumo humano na portaria são:

Cloro residual livre: o cloro é um agente bactericida, adicionado durante o tratamento da água. Quando o derivado clorado é adicionado à água ocorre, primeiramente, a reação de oxidação da matéria orgânica, que recebe o nome de “demanda de cloro”. Após esse processo o derivado clorado reage com a amônia, formando as cloraminas, que são denominadas de “cloro residual combinado”. Em seguida a formação das cloraminas, tem-se a presença do chamado “cloro residual livre”, que é constituído do ácido hipocloroso e do ion hipoclorito (Paludo, 2010). O valor recomendado para as águas de abastecimento é de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$, mas a total ausência não é benéfica para a saúde humana, devido a isso na própria portaria, estabelece que todas as águas tenham no mínimo $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ em todo o sistema.

Cloretos: são solúveis e estáveis em solução e dificilmente formam precipitados. Minerais fontes de cloro são halita (NaCl) e silvita (KCl) (Magalhães, 2006). Os valores máximos não podem ultrapassar 250 mg L^{-1} .

Cor aparente: resulta da presença de substâncias dissolvidas na água, provenientes principalmente da lixiviação de matéria orgânica (FUNASA, 2009). Para as águas de abastecimento humano o limite estabelecido é de $5,0 \text{ uC}$ (unidade de cor).

Dureza: normalmente expressa como número de equivalente de miligramas por litro (mg L^{-1}) de carbonato de cálcio (CaCO_3). Tal característica imprime à água a dificuldade em dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como ferro, manganês, cobre, bário, etc (ABDALLA et al 2010). A dureza pode ser classificada, segundo Libânio (2005), como mole ou branda ($0 - 50 \text{ mg L de CaCO}_3$), Dureza moderada ($50 - 150 \text{ mg L de CaCO}_3$), dura ($150 - 300 \text{ mg L de CaCO}_3$) e muito dura ($>300 \text{ mg L de CaCO}_3$). A portaria estabelece o valor máximo de 500 mg L^{-1} .

Ferro total: ferro é um elemento presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de $0,3 \text{ mg/L}$, esse valor é o máximo permitido pela portaria. São fontes de ferro os minerais escuros (máficos): magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios; pela afinidade geoquímica quase sempre é acompanhado pelo manganês. A precipitação de ferro presente nas águas é a principal responsável pela perda da capacidade específica de poços profundos. Estas incrustações são produtos da atividade de ferro-bactérias (ANA, 2010).

Nitrato e Nitrito: nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg L . Nitritos são ausentes, pois é rapidamente convertido a nitrato pelas bactérias. Pequeno teor de nitrito é sinal de poluição orgânica recente (Magalhães, 2006). Segundo o

padrão de potabilidade da OMS e portaria nº 2.914 da MS, uma água para abastecimento humano não deve ter mais do que 10mg L⁻¹ de nitrato e 1,0 mg L⁻¹ de nitrito.

Sódio: sua ocorrência está associada às seguintes características: ampla distribuição em minerais fontes; baixa estabilidade química dos minerais que o contém; solubilidade elevada e difícil precipitação dos seus compostos químicos em solução. Os teores de sódio das águas subterrâneas para abastecimento humano são de 200 mg L⁻¹ (FUNASA, 2009)

Sólidos totais dissolvidos: refere-se à concentração de íons dissolvidos presentes nas águas.

Sulfatos: são sais moderadamente a muito solúveis, exceto sulfatos de estrôncio e de bário. A presença de sulfato nas águas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e à lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita (Magalhães, 2006). A portaria estabelece um valor máximo de 250 mg L⁻¹.

pH: é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado por reações químicas e por equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água (FUNASA, 2009). Os valores de potabilidade para as águas de abastecimento humano são de pH podendo variar entre 6,0 a 9,5.

Turbidez: representa o grau de interferência que a água apresenta à passagem de luz, devido à presença de carga sólida em suspensão (Paludo, 2010).

Coliformes totais: são definidos como todos os bacilos gram-negativos, aeróbios facultativos, não formadores de esporos e com oxidase-negativa, capazes de crescer na presença de sais biliares. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicativo da possibilidade de existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (CETESB, 2007).

Escherichia coli: é a bactéria mais representativa dentro do grupo dos coliformes termotolerantes. Portanto, a sua presença é um indicio de coliformes fecais, porque essa bactéria existe no trato intestinal de humanos e animais de sangue quente (CETESB, 2007).

3.2 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

As reservas renováveis de água subterrânea no Brasil, ou seja, suas recargas efetivas alcançam $42.289 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($1.334 \text{ km}^2\text{a}^{-1}$) e correspondem a 24 % do escoamento dos rios em território nacional (vazão média anual de $179.433 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e 49 % da vazão de estiagem (considerada como a vazão de estiagem com 95 % de permanência). Somente os 27 principais aquíferos sedimentares, que ocupam 32 % da área do país, totalizam a $20.473 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Essa gigantesca vazão de água é distribuída, de forma simplificada, em dois grandes grupos: aquíferos de rochas e materiais sedimentares e aquíferos de rochas fraturadas (Bicudo, 2010.)

O Manancial subterrâneo brasileiro poderia abastecer 80% das cidades do país, potencializando o uso racional desse recurso complementar ou estratégico nos gerenciamentos integrados da água disponível. O uso das águas nos processos industriais e irrigação seria não as subterrâneas mais sim, águas quem necessariamente não necessitam ser potáveis (Giampá & Gonçales, 2013).

Ainda segundo Giampá & Gonçales (2013) um dos problemas enfrentados na utilização das águas subterrâneas no Brasil é a falta de conhecimento sobre a forma de ocorrência dessas águas e pessoal especializado em hidrologia e sobre aspectos legais dos recursos hídricos.

Segundo relatório da Agência Nacional da Água – ANA (2007), uma abordagem da disponibilidade de água subterrânea no Brasil passa primeiramente sobre os terrenos sedimentares (bacias sedimentares) e cristalinos, relativamente às diferenças desses no que tange, especialmente à potencialidade hidrogeológica, diretamente vinculada à natureza geológica e ao clima. Em seguida, é apresentada uma descrição sucinta dos principais sistemas aquíferos sedimentares e de alguns sistemas cársticos e/ou fraturados em relação à produtividade de poços e reservas exploráveis.

A Figura 01 representa a área de recarga dos 27 principais sistemas aquíferos brasileiros e a divisão hidrográfica nacional com as doze regiões. As reservas renováveis desses sistemas totalizam cerca de 21 mil m^3 /s . A disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável), considerada igual a 20% das reservas reguladoras, corresponde a cerca de 4.100 m^3 /s .



Figura 01: Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país.

Fonte: ANA, 2005(b)

Segundo o mesmo relatório mencionado anteriormente, o aquífero Açú tem uma área de recarga de apenas 1,3% em relação a sua região hidrográfica, a Atlântico Nordeste Oriental e possui uma área de recarga de 3.674 km² e espessura média de 200 m. Sua reserva renovável é de aproximadamente 10,5 m³ h e explorável de 2,1 m³ h.

No Brasil, estimasse a existência de pelo menos 400 mil poços. A água de poços e de fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer (Ribeiro, 2013).

Cerca de 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do país ele representa o principal manancial hídrico. (MMA & PNRH, 2006).

3.4 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO NORDESTE

A distribuição espacial das águas subterrâneas na região nordeste se faz de maneira heterogênea, principalmente considerando as áreas de maior escassez do semiárido. Em determinada área a ocorrência de águas subterrâneas depende da interação de fatores climáticos e geológicos. O regime pluviométrico tem o papel de recarga, sendo fonte de alimentação dos mananciais subterrâneos (Cabral & Santos, 2007).

Em relação às águas subterrâneas, o semiárido brasileiro apresenta uma especificidade que o diferencia das demais regiões do país, que existe terrenos sedimentares e permeáveis em maior número. As rochas cristalinas pouco permeáveis e salinas são dominante no território brasileiro e esses tipos de rocha estão presentes em aproximadamente 80% da região nordeste os 20% restantes representam bolsões sedimentares no Estado do Piauí e regiões do Cariri, Chapada do Apodi e outra (INSA, 2011).

Cerca de 50% do nordeste são representados por rochas do embasamento cristalino (granitos, gnaisses, xistos, etc.) de reduzida potencialidade hídrica, correspondendo essa área à localização das zonas de maior aridez, dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, norte da Bahia e leste do Piauí.

Das reservas totais, incluindo as reservas permanentes e as reservas reguladoras devem ser consideradas inicialmente a profundidade máxima explorável em função dos aspectos técnicos e econômicos da construção de poço e ainda da qualidade química da água. Admite-se atualmente uma profundidade limite, na região nordeste, em torno dos 1.000m, já existindo vários poços perfurados até esse limite, principalmente na região de Mossoró-RN (BRASIL, 2009).

3.5 RECURSOS HÍDRICOS NO RIO GRANDE DO NORTE

O Rio Grande do Norte possui um equilíbrio em relação ao número de sedes municipais que são abastecidas com mananciais superficiais e subterrâneos. Cerca de 51% é exclusivamente abastecida com águas superficiais e 46% por águas subterrâneas, já os 3% restante são de forma mista, tantos mananciais superficiais como subterrâneos (ANA, 2010).

As fontes de águas subterrâneas sempre assumiram um papel de muita importância no combate à seca em todo o Nordeste, tendo como objetivo minimizar os problemas de abastecimento nos estados, e no Rio Grande do Norte isso não é diferente, com a perfuração de poço várias cidades foram beneficiadas e reduziram seus problemas com a falta de água.

O domínio de rochas sedimentares no Estado do Rio Grande do Norte abrange cerca de 50% da área do estado, que está representada pelas seguintes ocorrências:

- Bacia Potiguar
- Faixa Sedimentar Litorânea

3.5.1 Bacia Potiguar

A bacia Potiguar instala-se na Província Borborema, no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira (Figura 02), e é controlada por zonas de cisalhamento preexistentes do embasamento (Almeida et al. 1977). A Bacia Potiguar abrange uma área de 22.000 km² dentro dos limites do Estado do Rio Grande do Norte.

O esquema simplificado do perfil geológico da bacia Potiguar é representado na figura 02, a seguir.

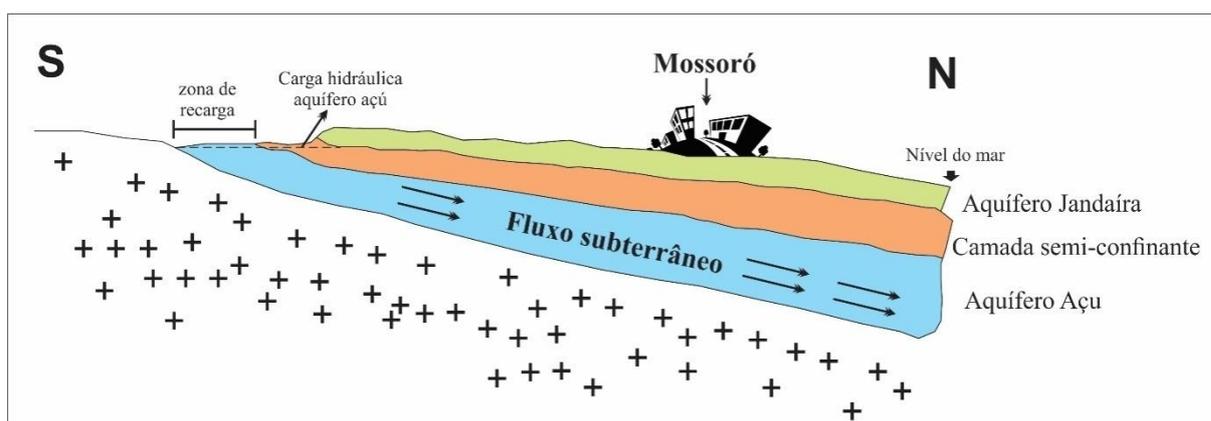


Figura 02: Perfil geológico da bacia Potiguar
Fonte: Adaptado de Rebouças 1980

Dois sistemas aquíferos principais ocorrem na bacia: livre (calcários de Formação Jandaíra e sedimentares mais recentes) e confinado (arenitos de Formação Açu). Há indicações de filtração vertical ascendente de água do aquífero Açu para o Jandaíra. A qualidade química

da água do aquífero Açú é, geralmente, boa, enquanto a água do Jandaíra apresenta restrições devido ao elevado grau de salinização, com predominância dos teores de bicarbonato, cálcio e magnésio (ANA, 2010).

A Formação Açú, de idade cretácica, aflora numa faixa que contorna a Bacia Potiguar entre as rochas do embasamento e os sedimentos da Formação Jandaíra. A formação Açú localmente, é recoberto por aluviões dos principais rios intermitentes (perenizados) da região. Essa formação é subdividida em dois membros, membro superior e inferior (ANA, 2005a).

No Membro Superior é constituído de folhelhos, argilitos e siltitos, com intercalações de arenitos finos, e espessura que pode atingir 60 m. O Membro Inferior é constituído por arenitos grosseiros a conglomeráticos, arenitos finos e intercalações de folhelhos e siltitos, e apresenta espessuras superiores a 200 m (Vasconcelos, 2006).

Em condições de confinamento, o aquífero Açú representa o sistema de maior interesse hidrogeológico, com profundidades de captação elevadas dos 400 aos 900 m, produzindo vazões de até 300 m³ h. Segundo um estudo recente sobre a Exploração do aquífero Açú na região de Mossoró-RN, as informações levantadas apontam para uma descarga de 36,24 hm³ ano⁻¹ sendo captada em 1994 por 73 poços (ANA 2010).

O aquífero Açú pode suprimir as atuais demandas de Mossoró, o setor da fruticultura e usuários menores, durante os próximos dez a quinze anos, sem maiores problemas. Porém, recomendou-se que, tendo em vista o panorama geral de exploração do aquífero Açú, com as crescentes demandas decorrentes do acentuado desenvolvimento econômicas da região, sejam adotadas medidas necessárias para uma efetiva gestão do manancial, dentre as quais consta a monitoramento permanente do aquífero (ABAS, 2003).

3.5.2 Faixa Sedimentar Litorânea

A faixa sedimentar litorânea se distribui ao longo do litoral leste do estado, com largura média aproximadamente de 25 km, onde predominam os chamados tabuleiros arenosos. Cerca de 61% do abastecimento público da cidade de Natal é feito através de poços tubulares captando a água contida nos sedimentos arenosos das dunas da Formação Barreiras nesta região. A maioria dos poços perfurados na faixa costeira apresenta profundidade na ordem de 40 a 100 m, com vazões de exploração variando de 10 a 50 m³ h⁻¹ (CRPM, 1996)

3.6 RECURSOS HÍDRICOS EM MOSSORÓ

O município de Mossoró está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológico carstico-fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares do Grupo Barreiras, Depósitos Colúvio-eluviais, Depósitos Flúvio-lagunares e dos Depósitos Aluvionares. O Domínio carstico-fissural é constituído pelos calcários da Formação Jandaíra (CPRM, 2005).

O atual sistema de abastecimento de água de Mossoró conta com duas fontes de obtenção de água (Figura 03), uma subterrânea e outra superficial, sendo a subterrânea a de maior utilização devido à maior abundância e maior qualidade da água. Os outros 30% da água consumida, fica a cargo de águas subterrâneas providas do Aquífero Açu, que é um aquífero praticamente confinado, sendo uma riqueza natural da região. O aquífero é explorado através de poços tubulares profundos distribuídos em pontos estratégicos da cidade (Sousa et al., 2011).

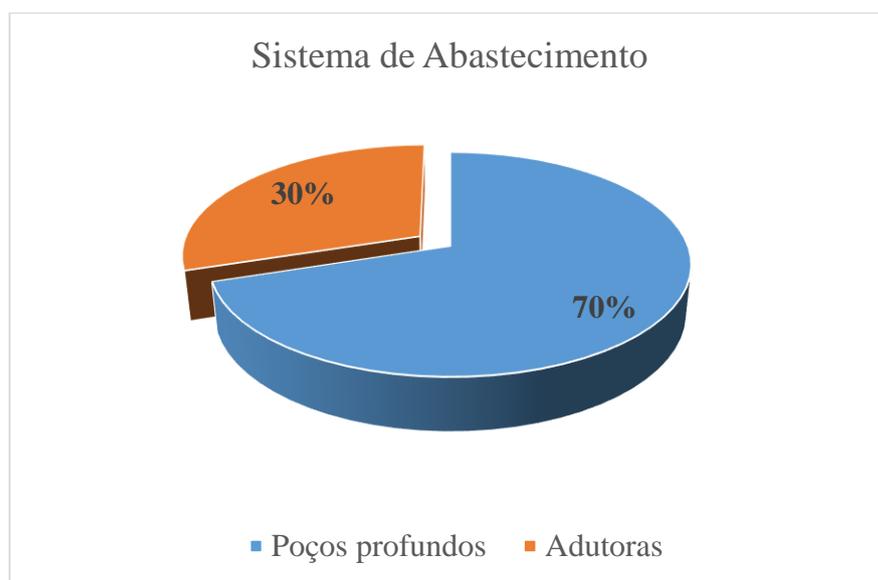


Figura 03: Esquema de fontes de abastecimento urbano em Mossoró-RN
Fonte: Adaptado de CAERN 2014

Já estar em fase de construção uma nova adutora que trará suas águas para diversas cidades, uma delas Mossoró. A adutora sairá da barragem de Santa Cruz na cidade de Apodi. Essa obra é fruto do grande projeto de transposição do rio São Francisco que por meio do eixo norte levará as águas do São Francisco até a barragem de Santa Cruz.

3.7 GEOTECNOLOGIAS

O geoprocessamento pode ser confundido com o surgimento da ciência da computação. Mas, já se tinha registro de análises espaciais sendo utilizadas antes mesmo do uso de computadores, na década de 50 foi quando surgiu o uso de hardware e software para auxiliar na elaboração de mapeamentos (EMBRAPA, 2014).

Os primeiros mapas foram traçados no século VI a.C. pelos gregos que, em função de suas expedições militares e de navegação, criaram o principal centro de conhecimento geográfico do mundo ocidental. O mais antigo mapa já encontrado foi confeccionado na Suméria, em uma pequena tábua de argila, representando um Estado. A confecção de um mapa normalmente começa a partir da redução da superfície da Terra em seu tamanho. Em mapas que figuram a Terra por inteiro em pequena escala, o globo se apresenta como a única maneira de representação exata. A transformação de uma superfície esférica em uma superfície plana recebe a denominação de projeção cartográfica. Na pré-história, a Cartografia era usada para delimitar territórios de caça e pesca.

Na Babilônia, os mapas do mundo eram impressos em madeira, mas foram Eratosthenes de Cirene e Hiparco (século III a.C.) que construíram as bases da cartografia moderna, usando um globo como forma e um sistema de longitudes e latitudes. Ptolomeu desenhava os mapas em papel com o mundo dentro de um círculo. Com a era dos descobrimentos, os dados coletados durante as viagens tornaram os mapas mais exatos. Após a descoberta do novo mundo, a cartografia começou a trabalhar com projeções de superfícies curvas em impressões planas (SILVEIRA, 2006)

Em 1854 o Dr. Jonh Snow preocupado com o grande surto de cólera que assolou a cidade de Londres, decidiu juntar informações da epidemia, em que cerca de 500 pessoas morreram num curto período de tempo, dez dias, e teve a ideia de marcar em um mapa do centro da cidade a distribuição dessas informações em forma de pontos. Depois da distribuição espacial dos dados, Dr. Snow percebeu que a maioria dos casos estavam concentrados entorno de um determinado poço, que estava localizado na Avenida Broad Street (Figura 04) e ordenou a sua lacração, o que contribuiu para conter a epidemia. Esse mapa passou para a história como um dos primeiros exemplos que ilustra o poder explicativo da análise espacial (Koch & Denike, 2004).



Figura 04: Espacialização dos casos de cólera na cidade de Londres
 Fonte: Adaptada de KOCH e DENIKE, 2004.

Como mencionado anteriormente os primeiros trabalhos com uso de sistema de informações geográficas ocorreram na década de 50 no Canadá, com o objetivo de se realizar um inventário de recursos naturais, tendo como principal motivador o governo daquele país. Porém esses sistemas eram de difícil manuseio, devido à falta de monitores de alta resolução, os computadores que existiam na época tinham um valor elevado e a mão de obra era escassa e muito cara (Davis & Fonseca, 2001).

O geoprocessamento pode ser conceituado como uma ferramenta computacional para tratamento e análise de dados geográficos. A integração desses dados é chamada de SIG (Sistema de Informações Geográficas) onde é permitido cruzar dados de diferentes fontes e facilitando uma retirada de informação e, assim, promovendo uma tomada de decisão mais rápida (EMBRAPA, 2014).

Assim, o geoprocessamento pode ser definido como uma série de tecnologias direcionada à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação (FIGURA 05). Esses sistemas são mais comumente tratados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

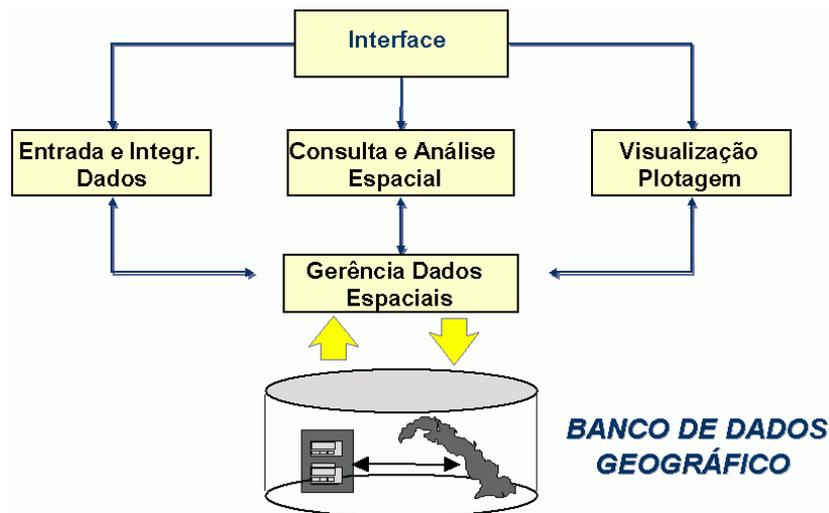


Figura 05: Esquema simplificado da estrutura de SIG

Um SIG pode representar uma gama de grande variedade de dados espaciais, como localização e delimitação de áreas de interesse, rede de destruição, topografia, juntamente com outros atributos. Assim é possível representar: Localização de poços; estações meteorológicas e dados relacionados (qualidade de água, temperatura, precipitação); redes de drenagem; estradas; mapa de solos; delimitações de municípios; mapa de uso e cobertura da terra; curvas de nível entre outros.

Os Sistemas Geográficos de Informação (SGI) vem se popularizando nas últimas décadas, acompanhando o desenvolvimento de sistemas computacionais cada vez mais avançados e baratos. Surgindo assim, diversas metodologias para estudo dos recursos naturais, explorando a grande capacidade destes sistemas para compatibilizar, armazenar, tratar e atualizar as informações temáticas disponíveis. No caso dos procedimentos metodológicos que envolvem a análise integrada do meio ambiente (Marques, 2008).

Um sistema de informação geográfica – SIG possui uma grande importância no uso como ferramenta complexa que possibilite fazer uma análise mais avançada, cruzamento de aspectos para o planejamento e organização sócio espacial e dos aspectos de recursos hídricos no tocante as políticas públicas no âmbito nacional, estadual e municipal. Ter a possibilidade de trabalhar com diversas variáveis permite uma gama de modos de ações, sobrepondo e sistematizando de forma integrada e atualizando de forma dinâmica, onde o número de variáveis não limite o processo.

Os SIG's possuem uma importância na análise espacial, possibilitando projetar cenários futuros, servindo de subsídio na elaboração de novas políticas públicas como o uso e ocupação do solo, monitoramento e licenciamento ambiental além de outras diversas aplicações. Os SIG's constituem um local que dá suporte de forma organizada e com boa

estrutura a uma gestão eficiente e ao processo decisório em diferentes âmbitos de aplicação, permitindo a criação de indicadores com base análise geográfica, sem contar que o mesmo pode coletar armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados, por isso essa ferramenta vem sendo usada no planejamento ambiental e cada dia mais utilizado na gestão dos recursos hídricos.

3.8 INTERPOLAÇÃO

A Geoestatística é uma área que inclui uma grande variedade de técnicas de estimação, como Inverso do Quadrado da Distância (IDW), análise do vizinho mais próximo (*nearest neighbor*), e krigagem linear e não-linear. É mais comumente usada para identificar e mapear padrões espaciais da superfície terrestre. Pode ser usada para determinar se existe autocorrelação espacial entre dados de pontos. Para isso, a função mais comum utilizada é o (semi)variograma. (Jakob, 2002)

Chamado de IDW (*Inverse Distance Weighted*), o inverso ponderado da distância é um método puramente matemático. Segundo Miranda (2005), este método estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. O cálculo da média é ponderado pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos, destaca-se que o peso da distância é ajustado por um expoente, isso implica que, quanto maior expoente, maior será a influência da distância.

A interpolação ou Ponderação pelo Inverso da Distância IDW é baseada na distância ponderada de um ponto amostral (FIGURA 06 A. Superfície IDW interpolada a partir de pontos vetoriais de elevação (FIGURA 06 B (Mitas, L., Mitassova, H.1997).

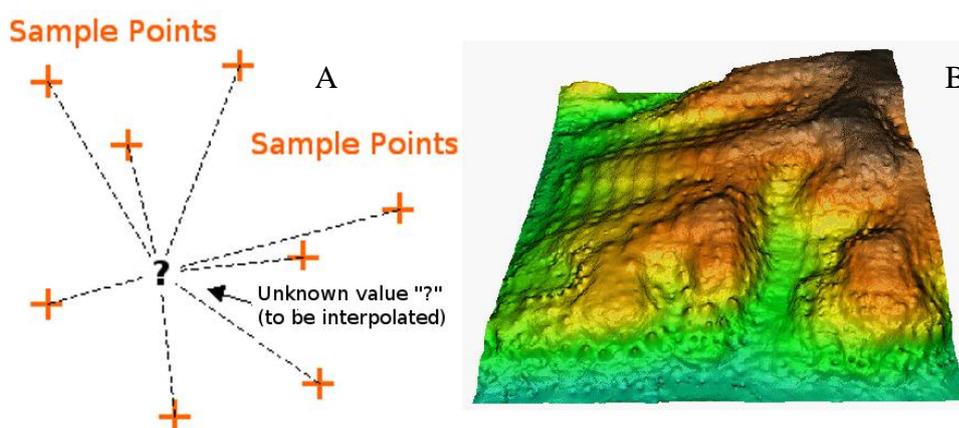


Figura 06: Interpolação pelo Inverso da Distância – IDW
Fonte: Mitas e Mitassova, 1997

Segundo Barbosa (2006), a ponderação é atribuída a pontos amostrais através da utilização de um coeficiente que controla como a influência da ponderação irá diminuir a medida que a distância a partir do ponto desconhecido aumenta.

Assim, quanto maior for o coeficiente de ponderação, sobre menos pontos terá efeito, quanto mais longes do ponto desconhecido durante o processo de interpolação. Aumentando o coeficiente, o valor do ponto desconhecido será mais próximo ao valor dos pontos vizinhos observados.

Esse método realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, atribuindo pesos a cada um dos valores mais próximos ao ponto para onde a variável está sendo calculada, portanto, o peso de cada valor é dado em função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior é o peso a ser atribuído ao valor amostrado (Paula et al., 2015)

Vale salientar que o método de interpolação IDW possui algumas desvantagens: a qualidade da interpolação pode diminuir, se a distribuição de pontos amostrais é irregular. Além disso, os valores máximos e mínimos na superfície interpolada só podem ocorrer em pontos de dados de amostra. Isto resulta frequentemente em pequenos picos e poços em torno dos pontos de dados de amostra (Silva et al., 2007).

4 - METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO

4.1.1 Localização

A sede do município 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 07), distante da capital cerca de 277 km, sendo seu acesso, a partir de Natal, efetuado através da rodovia BR-304 (IBGE, 2010).

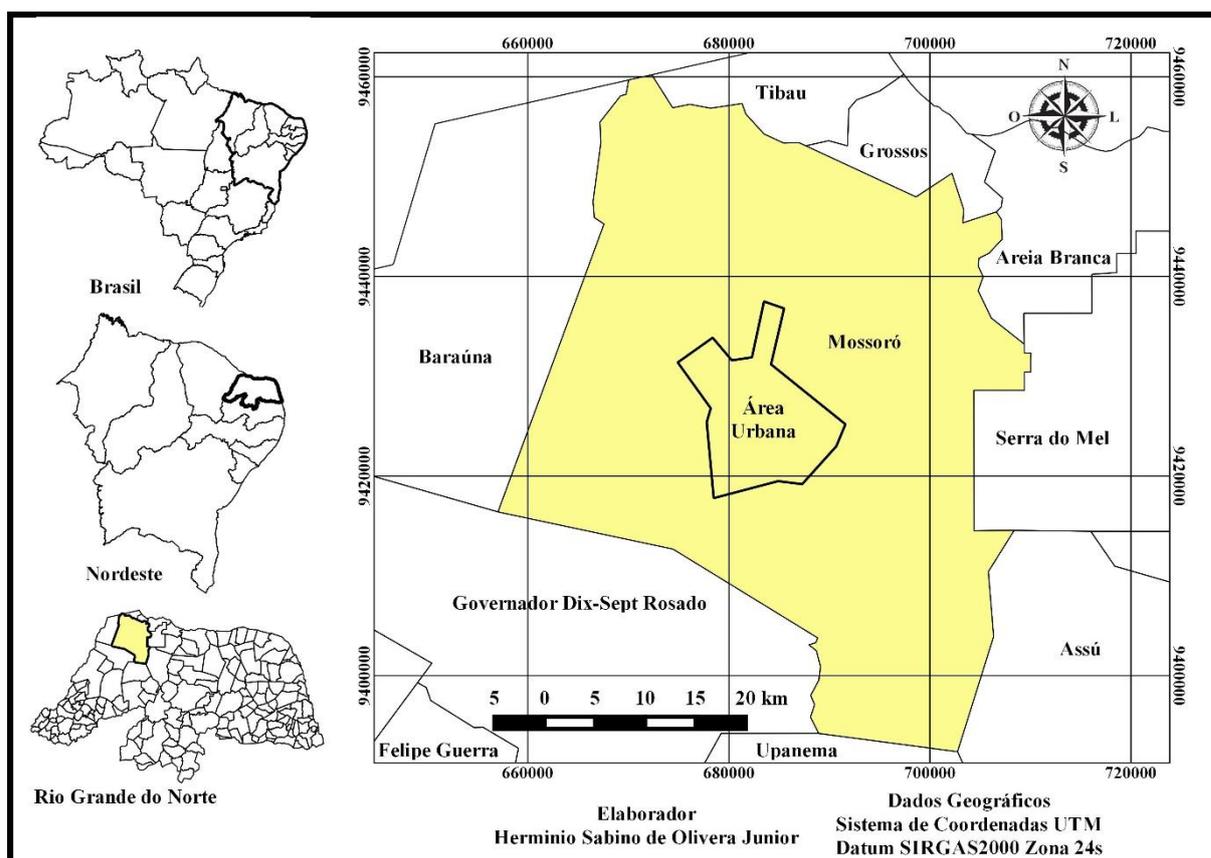


FIGURA 07: Mapa de localização do município de Mossoró-RN

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa - IBGE

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).

4.1.2Clima

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).

2.1.3 Relevo

Mossoró está assentada sobre uma superfície de relevo plano de altitudes modestas (4 a 142 metros) composto por tabuleiros sedimentares de origem cretácea, cortados pelos vales dos rios, Apodi e Angicos, que representam largas várzeas com lagoas residuais (CPRM, 2005) como mostra a FIGURA 08.

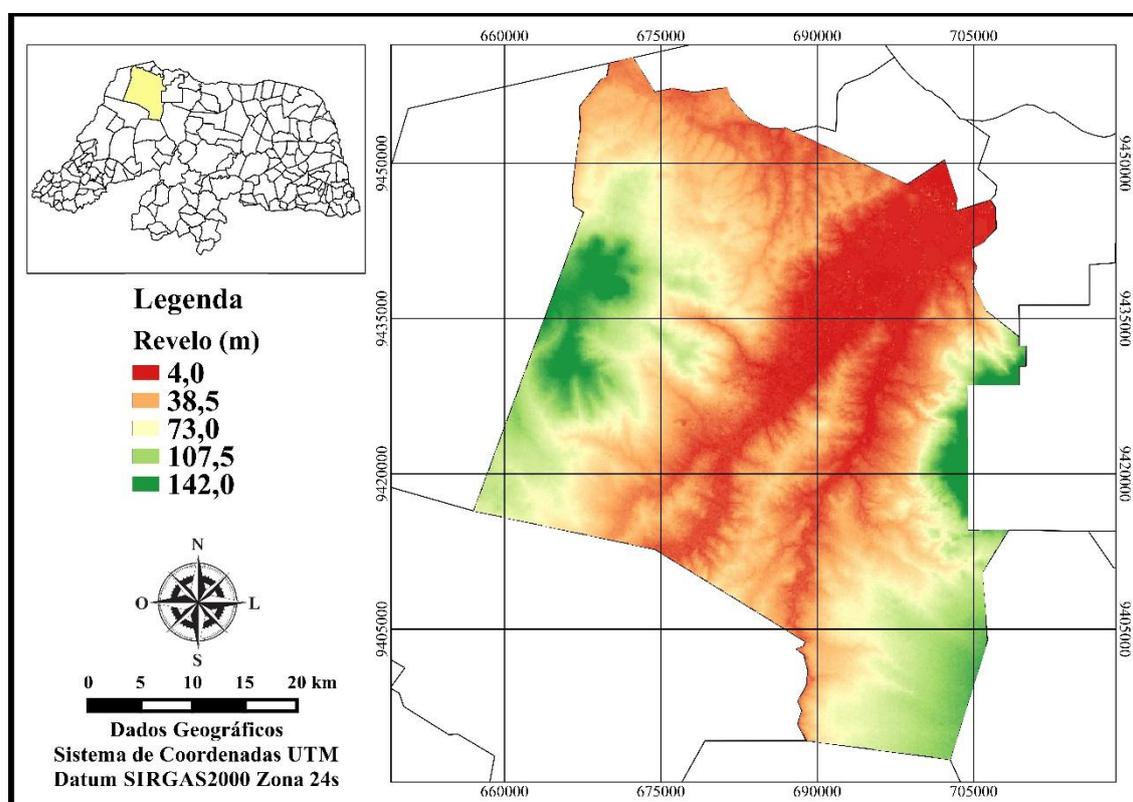


Figura 08: Mapa do relevo do município de Mossoró – RN
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisa – INPE, 2015

2.1.4 Vegetação

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 pirrixiu e o bredo, às vezes consorciados com carnaubais (IDEMA, 2008).

2.1.5 Solos

Na Figura 09 estar representados 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).

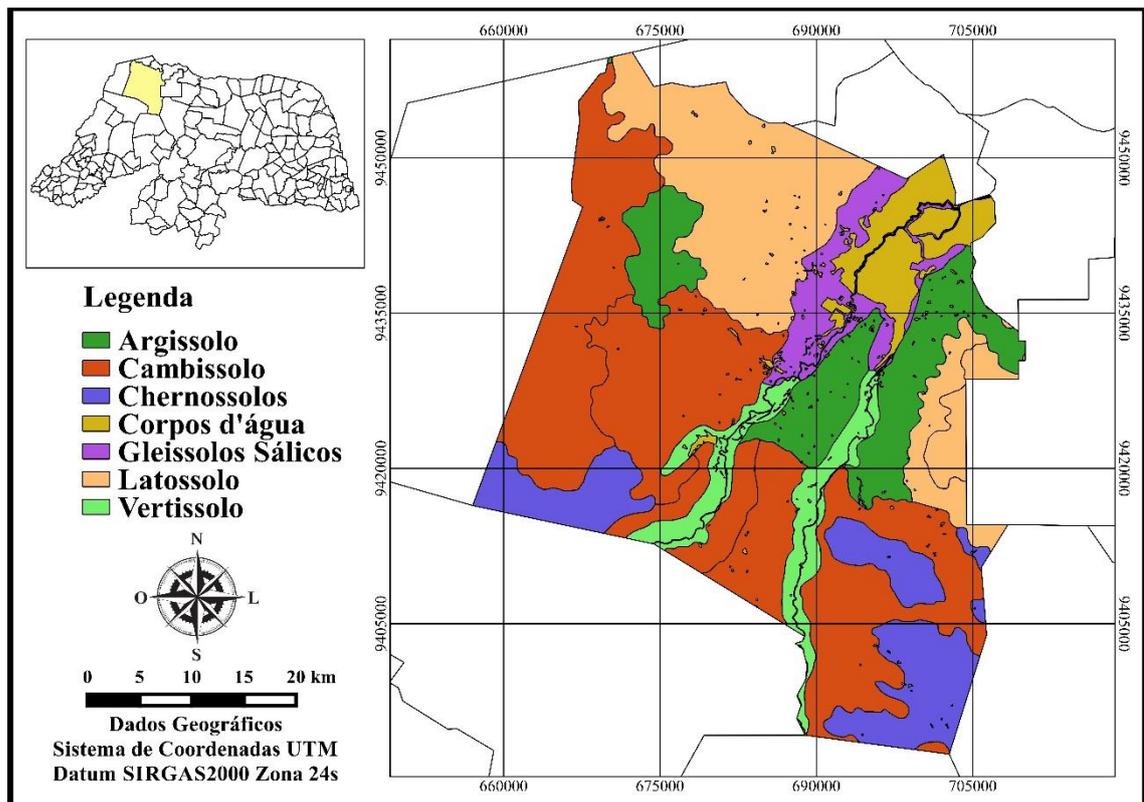


FIGURA 09: Mapa de solos do município de Mossoró-RN,
 FONTE: Adaptado de EMBRAPA, 2013

2.1.6 Geologia

O município de Mossoró encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, 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), como representado na figura 10.

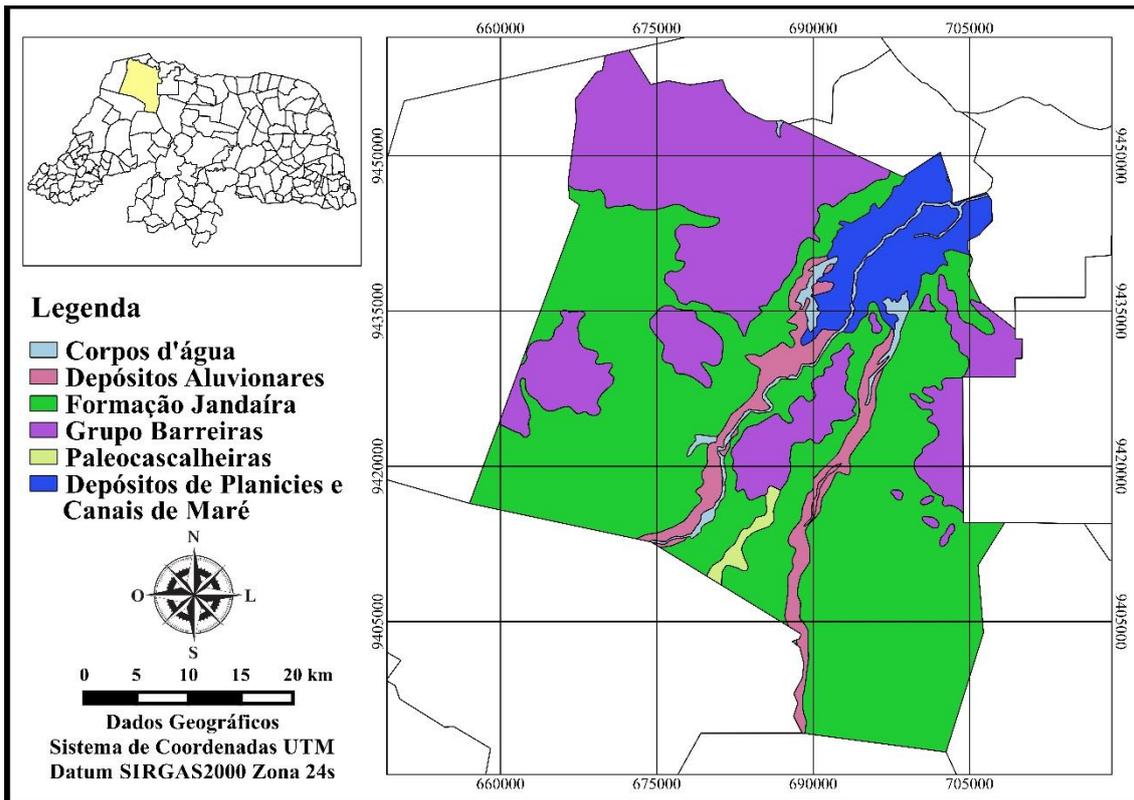


Figura 10: Mapa da geologia do município de Mossoró-RN
 Fonte: Adaptado da EMBRAPA, 2014

4.2 MATERIAIS

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 realizada 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)

4.3 MÉTODOS

4.3.1 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, sólido totais dissolvidos – STD, condutividade elétrica (CE), cor aparente.

Químicas: sódio (Na^+), alcalinidade (CaCO_3), cloro residual, cálcio (Ca^{2+}), cloretos (Cl), dureza, ferro total (Fe), magnésio (Mg^{2+}), nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), sulfatos (SO_4^-), potássio (K^+), e potencial hidrogeniônico – pH; e

Microbiológicas: coliformes totais e escherich coli.

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).

Outras variáveis analisadas foram os níveis estático e dinâmicos, temperatura, profundidade e vazão

4.3.2 Espacialização dos dados

Cada poço foi espacializado através das coordenadas X e Y obtidas na visita de campo e com auxílio do aparelho GPS (FIGURAS 11 A e B). 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.



A



B

Figura 11 – Coleta das coordenadas dos poços
Fonte: Acervo pessoal

Com a finalidade de melhor mostrar a espacialização dos poços na área urbana buscou na Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos – SEMURB a divisão dos bairros atualizada, mas essa informação não existe, até a conclusão do

trabalho. Assim, foi considerado a área urbana total, disponibilizada em formato do programa Google Earth (.kml) e posteriormente, transformado em *shapefile* e utilizado em software GIS.

Por não contarmos com a divisão dos bairros atualizadas, levaremos em conta a área urbana sendo dividida pelo rio Apodi-Mossoró, onde os poços serão descritos como estando localizados à margem direita ou esquerda do rio.

4.3.3 Poços ativos do sistema de abastecimento urbano

Em Mossoró existem, segundo a CAERN, 16 poços ativos para o abastecimento da população que vive na zona urbana. Logo abaixo segue a relação dos poços ativos na área urbana de Mossoró-RN fornecida pela CAERN, Lista atualizada em outubro de 2014 (Tabela 01).

Tabela 01. Coordenadas dos poços ativos na área urbana de Mossoró –RN

Poço	X	Y	Bairro
PT-01	683251	9425892	Centro
PT-02	684361	9426909	Bom Jardim
PT-06A	681571	9427534	Nova Betânia
PT-08A	682035	9424447	Belo Horizonte
PT-11A	682788	9427704	Abolição I
PT-14A	683438	9429236	Santo Antônio
PT-15A	681557	9426354	Nova Betânia
PT-18	684710	9428688	Santo Antônio
PT-19	680884	9430636	Abolição IV
PT-20	681509	9423269	Belo Horizonte
PT-21	685942	9421704	Liberdade
PT-22	688153	9422966	Costa e Silva
PT-23	680677	9424338	Quixabeirinha
PT-24	683410	9422152	Bom Jesus
PT-26	686983	9425572	Costa e Silva
PT-27	689700	9422060	Costa e Silva UFERSA

Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, 2014

4.4 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

4.4.1 Estatística descritiva

No presente trabalho foram analisadas 24 variáveis dos 16 poços ativos no sistema de abastecimento, fornecido pela CAERN, através de softwares livres como o SISVAR e SAEG 9.1, que são elas: nível estático, nível dinâmico, profundidade, vazão, temperatura, sódio, alcalinidade, cloro residual, condutividade elétrica, cálcio, cloretos, dureza, cor aparente, ferro total, magnésio, nitrato, nitrito, sólido totais dissolvidos – STD, sulfatos, potássio, potencial hidrogeniônico – pH, turbidez, coliformes totais e escherichi coli

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

A distribuição Normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades da estatística, conhecida também como Distribuição de Gauss ou Gaussiana. É representada por um gráfico simétrico, em forma de sino e que pode ser descrito pela função densidade de probabilidade. Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se encontra no centro da distribuição e essa possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva. (Triola, 2008).

Os testes Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW) fornecem o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar H_0 : (i) se $\text{valor-p} \leq \alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se $\text{valor-p} > \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão. (LOPES et al, 2013)

No teste de Kolmogorov-Smirnov, quando KS for maior que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. Assim, a distribuição dos dados não foi considerada normal para um nível de 5% de significância. O KS variou entre 0,275 e 0,113 ficando bem abaixo do nível de significância estipulado (5%).

Os dados foram analisados de acordo com a estatística clássica, para verificação de seu comportamento quanto às medidas estatísticas de posição e de variabilidade. De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick (1998), em baixa ($CV \leq 15\%$); média ($15 < CV \leq 50$) e alta variabilidade ($CV > 50\%$).

Para constatar se os dados possuíam aderência ou não a distribuição normal, foi aplicado o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) a nível de 5% de probabilidade, o qual incide no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normalmente reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais (SILVA E CHAVES, 2001). Ou seja, se a experiência fosse repetida 100 vezes, aceitou-se que a diferença encontrada poderia ser falsa em cada 5 ocasiões.

4.4.2 Coeficiente de Correlação

Para realizar a análise de correlação dos dados foi aplicado o coeficiente de relação de Paerson (r). Este pode variar de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor mostra a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2009)

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad [1]$$

4.4.3 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 (MARCUIZZO 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:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad [2]$$

z = valores estimados;

n = número de amostras;

z_i = valores conhecidos;

d_i = distâncias entre os valores conhecidos e estimados (z_i e z).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

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 conseqüentemente para a população, que terá a certeza de estar recebendo uma água de qualidade.

A análise dos aspectos físico-químicos das águas subterrânea 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.

Na natureza não existe água pura, isso deve-se o alto grau de dissolução de gases, corantes, colóides, sais, etc. Isso faz com que a água seja conhecida como o solvente universal. Segundo Medeiros Filho, devido a esta efetiva propriedade de solvência e ao seu alto poder de transportar partículas em seu meio, podem ser encontrados diversas impurezas que normalmente definem sua qualidade. Essas impurezas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- *em suspensão*: algas, protozoários, fungos e vírus; vermes e larvas; areia, argila e silte; resíduos industriais e domésticos;
- *estado coloidal*: corantes vegetais, sílica e vírus; (em dissolução), sais de cálcio e magnésio (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos ou cloretos), sais de sódio (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos fluoretos e cloretos), óxidos de ferro e manganês, chumbo, cobre, zinco, arsênico, selênio e boro, iodo, flúor e compostos fenólicos; substâncias
- *albuminóides*: nitratos e nitritos, gases (O₂, CO₂, H₂S, N).

6.1 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 um data para conclusão.

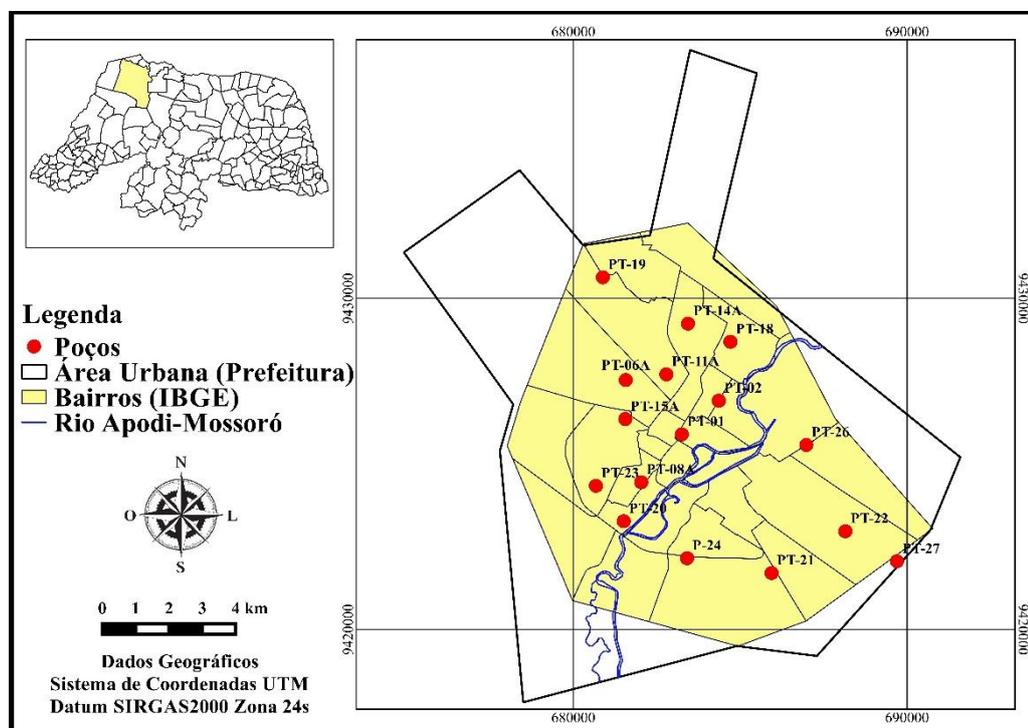


Figura 13: Mapa de localização dos poços de abastecimento urbano
Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN

Os poços estão espacializados 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.

Segundo responsáveis da CAERN, a companhia tem projetos que novos poços sejam perfurados para que o sistema não sofra perdas com o aumento da população e crescimento e surgimento de novos bairros.

A distribuição dos poços na área urbana é realizada de forma que um poço possa abastecer mais de um bairro e em alguns casos existe bairros atendidos por mais de um poço (tabela 02). Mas, como não foi possível realizar o mapeamento dos bairros mais atualizado, não será aprofundada essa discussão.

Tabela 02: Abrangência dos poços de abastecimento urbano de Mossoró

Poço	Locais de abrangência dos poços
PT-01	Centro, Doze Anos e Boa Vista
PT-02	Centro, Paredões, Barrocas, Bom Jardim Santo Antônio
PT-06A	Nova Betânia, Aeroporto I e II e Quixaberinha
PT-08A	Belo Horizonte, Alto da Conceição e Centro
PT-11A	Abolição I e II, Santo Antônio, e Nova Betânia
PT-14A	Santo Antônio, Santa Helena, Conjunto Gurilândia e Distrito Industrial
PT-15A	Boa Vista, Doze Anos, Nova Betânia e Aeroporto I
PT-18	Santo Antônio, Barrocas, Bom Jardim e Centro
PT-19	Abolições III e IV, Santa Delmira I e II, Redenção, Santo Antônio e Distrito Industrial
PT-20	Belo Horizonte, Alto da Conceição e Itapetinga
PT-21	Liberdade, Alto do Sumaré, Dom Jaime Câmara, Planalto 13 De Maio e Ilha de Santa Luzia
PT-22	Alto da Pelonha, Vingt Rosado e Costa e Silva
PT-23	Aeroporto I e II, Belo Horizonte e Quixabeirinha
P-24	Bom Jesus, Planalto 13 de Maio, Alto São Manoel e Ilha de Santa Luzia
PT-26	Costa e Silva, Parque Universitário e Ilha de Santa Luzia
PT-27	Rincão, Alto da Pelonha, Parque Universitário e Costa e Silva

Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, 2015

Mesmo com a tentativa de espacializar os poços em todas as regiões da cidade, não é difícil perceber que em determinadas épocas do ano a área urbana sofre com o abastecimento de água, bairros ficando dias sem ser atendidos.

6.2 ANÁLISE QUALITATIVA DOS PARÂMETROS

Foi verificado um coeficiente de variação na maioria dos dados como sendo médio e baixo, apenas uma variável, o cálcio, foi classificada com um coeficiente de variação alto. A pouca variação dos dados é resposta ao pequeno número de amostras e por todos os poços estarem em um único aquífero.

A estatística descritiva para as 19 variáveis nos 16 poços de abastecimento urbano de Mossoró, são apresentadas na Tabela 03 e anexo são apresentados os resultados das análises das águas dos poços concedidas pela CAERN.

Tabela 03: Estatística descritiva das análises das variáveis da água de abastecimento público no sistema urbano de Mossoró-RN

Variável	Unidade	P.P ¹	Média	Valor		Variação	Coeficiente			Des. Padrão	KS
				Mínimo	Máximo		Clas. CV	Curtose	Assimetria		
N. Estático	m	-	133,6	92,00	165,00	15,28	Médio	-0,174	-0,716	20,43	0,213*
N. Dinâmico	m	-	183,0	138,00	216,00	12,82	Baixo	-0,757	-0,508	23,47	0,181*
Profundidade	m	-	960,3	897,00	1071,00	4,95	Baixo	0,545	0,839	47,57	0,178*
Vazão	m ³ h	-	160,6	38,00	250,00	37,05	Médio	-0,152	-0,428	59,53	0,177*
Temperatura	°C	-	53,2	51,00	56,00	2,61	Baixo	-0,482	0,510	1,39	0,259*
Sódio	mg L ⁻¹	200	75,9	34,44	117,00	31,78	Médio	0,953	0,020	24,15	0,153*
Alcalinidade	mg L ⁻¹	ND	150,6	126,41	183,92	9,03	Baixo	1,400	0,723	13,60	0,150*
Cloro Residual	mg L ⁻¹	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	dS/cm	ND	532,4	461,00	793,00	14,95	Baixo	8,063	2,572	79,60	0,191*
Cálcio	mg L ⁻¹	ND	26,28	4,38	52,26	54,47	Alto	-1,091	0,254	14,31	0,167*
Cloretos	mg L ⁻¹	250	59,61	47,68	96,62	19,59	Médio	6,669	2,278	11,68	0,195*
Dureza	mg L ⁻¹	500	98,50	31,90	184,55	49,41	Médio	-0,875	0,325	48,67	0,117*
Cor Aparente	mg Pt/L	15	4,29	3,60	5,50	12,59	Baixo	0,034	0,576	0,54	0,139*
Ferro total	mg L ⁻¹	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg L ⁻¹	ND	8,12	2,05	17,76	48,32	Médio	1,164	0,961	3,92	0,130*
Nitrato	mg L ⁻¹	10	1,49	0,00	2,83	46,06	Médio	0,270	-0,322	0,68	0,169*
Nitrito	mg L ⁻¹	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STD	mg L ⁻¹	1000	254,5	209,30	375,40	14,57	Baixo	7,838	2,462	37,10	0,230*
Sulfatos	mg L ⁻¹	250	24,27	15,38	63,39	46,13	Médio	11,223	3,138	11,20	0,275*
Potássio	mg L ⁻¹	ND	14,20	6,25	29,48	40,11	Médio	2,329	1,191	5,69	0,156*
pH		6 – 9,5	7,46	7,2	7,8	2,49	Baixo	-1,122	0,162	0,18	0,113*
Turbidez	mg L ⁻¹	5	0,24	0,10	0,45	49,04	Médio	-0,949	0,243	0,12	0,164*
Coliformes Totais	nmp/100 mL	100 ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escherichi coli		100 ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, 2015

(1) Padrão estabelecido ou recomendado pela Portaria 2941/2011 do M.S para água potável;

(2) Ausência em 100 ml;

(*) Distribuição não normal

(ND) limite não definido na legislação vigente

6.2.1 - Nível estático

O nível estático apresentou valores mínimo de 92 e máximo de 165 m, uma média de 133,6 m, variando assim 15,28%, classificado como médio, os dados não mostraram normalidade na sua distribuição. ANA (2010), constatou níveis estáticos entre 110 m a 200 m com média de 155 m. Já Vasconcelos, 2006 constatou valores variando desde 4,0 m até 138,00 m, porém em uma região diferente do aquífero, mais ao sul, próximo da área de recarga.

Segundo relatórios da CAERN sobre a evolução dos níveis estáticos dos poços do aquífero na região de Mossoró, em um período de 15 anos (1991 - 2005) houve um rebaixamento de aproximadamente 55 m.

Esse rebaixamento do nível estático, pode estar relacionado com a instalação de várias empresas do ramo da fruticultura irrigada, mais precisamente na área da antiga empresa Mossoró AgroIndustrial S/A (MAISA), localizada a oeste do município de Mossoró e no município de Baraúna, nessa região, onde o aquífero Açú foi bastante explorado, através de poços profundos, chegando a 800 m ou mais, produzindo vazões de até 400 m³/h (VASCONSELOS, 2005)

A região de Mossoró apresentou nos últimos anos um considerável desenvolvimento econômico, com base nas explorações de petróleo, sal e na agricultura irrigada, conseqüentemente a população teve um aumento, acarretando numa demanda da água oriunda do aquífero Açú cada vez maior. Dessa maneira, um incremento acentuado nas descargas bombeadas foi inevitável, resultando em significativos rebaixamentos do nível potenciométrico do aquífero e bombeamento em regime de exaustão (CPRM, 2005).

6.2.2 – Nível Dinâmico

De forma simplificada, o nível dinâmico é a distância da boca do poço para o nível da água. Esse dado é muito importante quando se estuda poços, sejam eles tubulares ou não.

Os dados do nível dinâmico variaram entre 138 m a 216 m com média de 183 m, com variação de 12,82%, apontando a tendência de rebaixamento no aquífero, mostrado por Vasconcelos, CPRM e UFRN (2005), onde os níveis oscilavam de 110 m a 200 m com média de 155 m. Se considerarmos o ano de 1991, podemos constatar um maior rebaixamento, pois naquele ano os níveis ficavam entre 65 m a 135 m com média de 100 m.

É notório que, tantos os dados de níveis estáticos quanto os dinâmicos do aquífero Açú na região de Mossoró assinalam um rebaixamento médio de 83 m na superfície potenciométrica desse aquífero entre 1991 e 2015, que segundo ANA (2010), esse rebaixamento ocorreu em decorrência dos bombeamentos praticados nos poços destinados ao abastecimento de água de Mossoró.

Com o rebaixamento dos níveis estático e dinâmico, o abastecimento urbano como as demais atividades econômicas pode ser afetado, pois quanto mais baixo é esse nível em relação a superfície do solo mais recursos necessários para captar a água em nessas profundidades.

6.2.3 – Profundidade

Os poços para o abastecimento urbano de Mossoró variam entre 897 e 1071, com variação de 4,97%. Ainda conforme ANA (2010) em os poços no aquífero açu possuem uma profundidade que varia de 60 a 1200 metros m, na pesquisa realizada entre Mossoró e Limoeiro do Norte com uma amostra de apenas 41 poços e menciona sobre os poços se encontrarem na região em torno da cidade de Mossoró, os em pleno domínio da estrutura profunda conhecida como *graben* central da Bacia Potiguar. CPRM e UFRN (2007), mostraram que os poços do aquífero na zona de recarga possuem profundidades de 15 m a 148 m com média de 44,9 m.

6.2.4 - Vazão

Os valores encontrados para a vazão dos poços tiveram variação de $38 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com um coeficiente de variação de 37,5%, isso pode ser explicada pelo tamanho da amostra, considerada pequena, apenas 16 poços.

No relatório feito pela ANA no ano de 2010, esse mesmo problema foi averiguado quando foi observado os poços que captam água do aquífero Açú. Nesse relatório foram encontrados poços com vazões variando entre $6,25 \text{ m}^3/\text{dia}$ a $183,33 \text{ m}^3/\text{dia}$

A vazão pode estar relacionada com o diâmetro do poço, já que quando maior o diâmetro maior a vazão e a necessidade de instalação de uma bomba maiores e mais potente.

O valor da vazão diária dos poços é de aproximadamente $61.689,36 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, já que os a soma de todas as vazões foram de $2.570,39 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Considerando um consumo diário de 110 litros por habitantes, segundo as Nações Unidas, e uma população urbana calculada em 250.000 (projeção, segundo ANA (2003), para 2025, mas em 2015 esse número já foi atingido) habitantes, a demanda para o abastecimento urbano seria entorno de $27.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$. Assim, podemos dizer que, com esses valores de vazão diário, o abastecimento urbano de Mossoró pode ser considerado satisfatório uma vez que o valor captado é mais que o dobro da demanda, vale salientar que não entra nos valores de demanda das atividades industriais.

6.2.5– Temperatura

As temperaturas dos poços são consideradas elevadas, a presente pesquisa apontou que os dados variam entre $51 \text{ }^\circ\text{C}$ a $55 \text{ }^\circ\text{C}$, nessas temperaturas o desenvolvimento de bactérias e vírus

é quase improvável, uma vez que a acidez dos solos é um fator de baixa sobrevivência dos mesmos, juntamente com as altas temperaturas (Lewis et al,1986)

As águas subterrâneas possuem uma amplitude térmica pequena, ou seja, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica (Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos). Se ocorrer na temperatura, segundo Tsutiya (2006), uma variação de entre 4 e 5 °C o potencial de corrosão da água é multiplicado, podendo afetar tanto a qualidade da água como a produção do poço pelo processo de deterioração provocando um decréscimo da viscosidade da água com a difusão de O₂.

6.2.6 – 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 μC , mínimo e 5,50 μC o máximo com média de 4,29 μC , na legislação vigente determina que os valores não ultrapassem 15 μC , 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).

6.2.7 – Turbidez

A turbidez da água é devida à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais (TONON et al. 2013).

Os dados de turbidez tiveram valores de 0,10 μT (mínimo) e 0,45 μT (máximo) com média de 0,24, bem abaixo do permitido na portaria 2.941 do ministério da saúde que é de 5 μT . A turbidez possui um coeficiente de variação de 49,04, classificado como médio, e um desvio padrão de 0,12.

Os valores bem abaixo do permitido revelam que a pouca presença de materiais: partículas inorgânicas como as argilas, lodo, areia, silte (Richtter & Azevedo Netto, 2002). Os

mesmos autores mencionam que a presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa.

6.2.8 – Condutividade

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, tais como a tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução, mas para as águas de abastecimento humano a presença de organismos não é recomendada.

Os poços apresentaram CE variando entre 461 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valor mínimo e 793 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valor máximo, com média ficando em 532,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. CPRM e UFRN encontraram valores semelhantes na área de recarga do aquífero, onde a CE ficou em torno de 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores encontrados também por ANA (2005) e (2010) para a região de Mossoró e Baraúna.

Em 2005 a CPRM realizou um mapeamento da condutividade elétrica (CE) com informações de poços cadastrados, onde os valores variaram de 169 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 4100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com valor médio de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CPRM e UFRN, 2005)

A portaria 2.914 / 2011 do Ministério da Saúde não estabelece um padrão estabelecido ou recomendado para a condutividade elétrica. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (BRASIL, 2011).

6.2.9 – Dureza

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

6.3 - PARÂMETROS QUÍMICOS (CALCÍO, NITRATO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, CLORETOS, SULFATOS, SÓDIO, SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS – STD)

6.3.1 – Cálcio

Os teores de cálcio variaram de 4,38 mg L⁻¹ a 52,47 mg L⁻¹, com média de 26,28 mg L⁻¹. Os valores de máximo e a média foram semelhantes aos encontrados por ANA (2010), onde teve uma variação entre 0 mg L⁻¹ e 60mg L⁻¹, ficaram bem abaixo dos encontrados por e CPRM e UFRN (2007), na área de recarga do aquífero que foram de 0,0 mg L⁻¹ a 693,6 mg L⁻¹, com média de 60,6 mg L⁻¹. Na legislação não se encontra valores de referência, mas em trabalhos de Custodio & Llamas (1983), nas águas subterrâneas os teores de cálcio variam, em geral, de 10 a 100 mg/L, para aquíferos confinados e semi-confinados.

As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura e assim, o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está relacionada a quantidade do CO₂. (Martins Netto et al. 2006)

6.3.2 – Nitrato

O nitrato é uma substância química derivada do nitrogênio que se encontra de forma natural na água e no solo em pequenas concentrações (Foster; Hirata, 1988). Porém, essas concentrações podem ser alteradas devido ao uso intensivo de fertilizantes na agricultura e a coleta e disponibilização inadequada dos esgotos domésticos (ROSSI et al.,2007). Nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg/L (Campos & Rohlfs, 2010)

Nos 16 poços foram encontrados valores entre 0,00 mg L⁻¹ a 2,83 mg L⁻¹ e média de 1,49 mg L⁻¹ e CV de 64,06%, além de um desvio padrão bastante baixo de 0,68 mg L⁻¹. Esses valores ficaram abaixo do padrão de potabilidade da portaria nº 2.941/2011 do Ministério da Saúde. Segundo ANA (2010) as concentrações de nitrato em 13 amostras ficaram no intervalo de 2,8 a 10,7 mg L⁻¹ com média de 6,4 mg L⁻¹

CPRM & UFRN (2007) constatou valores de nitrato variando de 0,0 a 208,0 mg/L, com média de 15,3 mg/L. Este resultado sugere que a águas estão afetadas por nitrato em algumas situações, mas cabe salientar que esses valores foram encontrados na área de recarga no aquífero, onde os poços possuem uma profundidade média de 44,9 m.

Outros estudos mostraram que o nitrato foi encontrado em águas subterrâneas distribuídas à população, como no caso de Natal-RN, onde concentrações acima do permitido foram encontradas em poços de abastecimento e até mesmo em bebedouros na Universidade Federal. Isso mostra o

quanto é importante o monitoramento e análises das águas da rede de abastecimento (Evangelista, 2014).

6.3.4 – Magnésio

Os dados de magnésio tiveram valores com média de $8,12 \text{ mg L}^{-1}$, com o valor mínimo de $2,05 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo de $17,67 \text{ mg L}^{-1}$ com um Coeficiente de variação 48,32%, mas com desvio padrão de 3,92. No estudo realizado na área de recarga do aquífero, CPRM e UFRN (2007) encontraram valores entre $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ a $313,6 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $42,2 \text{ mg L}^{-1}$. Esses valores da área de recargas foram semelhantes ao encontrado por ANA (2010) para os poços situados na região de Mossoró e Baraúna.

Na legislação não há um valor de referência para esse atributo, mas estudos sobre a concentração do magnésio revelam que o mesmo pode prejudicar o abastecimento, já que junto com o cálcio, sulfatos e cloretos podem aumentar a salinidade da água, assim modificando seu enquadramento.

6.3.5 – Potássio

O potássio apresentou um coeficiente de variação de 40,11%, considerado médio e um valor mínimo de $6,26 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo $29,48 \text{ mg L}^{-1}$ com média de $14,20 \text{ mg L}^{-1}$, mas o desvio padrão foi relativamente pequeno, de $5,69 \text{ mg L}^{-1}$. Assim, como as demais variáveis, o valor de KS indicaram anormalidade, com um valor de 0,156.

ANA (2010), assim como CPRM e UFRN (2007), encontraram valores de potássio variando entre $4,23 \text{ mg L}^{-1}$ a $141,9 \text{ mg L}^{-1}$, com uma média de $26,28 \text{ mg L}^{-1}$. Vale ressaltar que esses valores foram para um número maior de poços, tanto na área de recarga como na de confinamento.

6.3.6 Cloretos

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

Para a região de recarga CPRM & UFRN (2007) e ANA (2010), constataram valores de cloreto variando de $14,8 \text{ mg L}^{-1}$ a $2.244,2 \text{ mg L}^{-1}$ com média de $300,2 \text{ mg L}^{-1}$. 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 $75,9 \text{ mg L}^{-1}$ a $535,7 \text{ mg L}^{-1}$, 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).

6.3.7 Sulfatos

O sulfato é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto (BRASIL, 2006).

O valor máximo permitido para a concentração de sulfatos em águas para abastecimento urbano é de 250 mg L⁻¹ já os dados de sulfatos mostraram um valor médio de 2 4,27 mg L⁻¹, no intervalo entre 15,38mg L⁻¹(mínimo) e 63,39mg L⁻¹(máximo), com um coeficiente de 46,13% e desvio padrão 11,20. ANA (2010), no estudo realizado na região de Mossoró constatou que os valores de sulfatos variavam de 0,0 a 375,2 mg L⁻¹, com média de 38,2 mg L⁻¹. Esses valores podem variar dependendo de proximidade com a área de recarga, já que, CPRM &UFRN (2007) encontraram valores semelhantes a ANA (2010) na região entre os municípios de Afonso Bezerra e Upanema, ambos no Rio Grande do Norte.

O excesso de sulfatos é prejudicial ao abastecimento, pois pode causar efeito laxativo à ingestão, além de poder provocar incrustações no sistema, além de contribuir para a salinidade da água (CETESB, 2013)

6.3.8 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 (2010) 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.

6.3.9 Sólidos totais dissolvidos – STD

Todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, correspondem aos sólidos, que em águas naturais, origina-se, do processo de erosão natural dos solos e do intemperismo das rochas (Porto et al., 1991).

O valor máximo permitido de STD é de 1000 mg L⁻¹, mas nos poços estudados na presente pesquisa, não foram encontrados valores que se aproximasse do máximo permitido. As análises mostraram que os valores de STD variaram entre 209,3 mg L⁻¹ e 375,4 mg L⁻¹ com um coeficiente de variação, 14,57% e um desvio padrão de 37,10. Assim como as demais variáveis estudadas os valores de KS mostraram anormais. Valores bem mais elevados foram constatados por CPRM & UFRN (2007) assim como ANA (2010), os sólidos totais dissolvidos variaram de 101,0 mg/L a 3450,0 mg/L, com média de 597,9 mg/L.

Na Bacia Sedimentar Potiguar, o sistema aquífero Açú chega a apresentar águas com mais de 2.000 mg L⁻¹ de sólidos totais dissolvidos (ANA 2006). Teores elevados deste parâmetro indicam que a água tem sabor desagradável, podendo causar problemas digestivos, principalmente nas crianças, e danifica as redes de distribuição.

6.3.10 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 (2010) e CPRM & UFRN (2007) onde o pH variou entre 4,3 mg L⁻¹ e 8,6 mg

L⁻¹, com valor médio de 5,7 mg L⁻¹, indicando águas com tendência à acidez. Casos de águas alcalinas relacionam-se à influência das rochas carbonáticas.

6.4 CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ANALISADOS

A análise de correlação entre os parâmetros físico-químicos constituiu na elaboração de uma matriz com base no coeficiente de Pearson como índice de similaridade, verificando o grau de relacionamento entre as variáveis estudadas das amostras de águas subterrâneas na área urbana de Mossoró (Tabela 05).

O coeficiente de correlação é utilizado para verificar relações entre variáveis independentes com variáveis dependentes (NAIR et al., 2005). A importância linear das variáveis na correlação é determinada pelos intervalos dos coeficientes (-1, 1). O coeficiente positivo sugere que as variáveis mudam juntas no mesmo sentido, enquanto o coeficiente negativo indica que elas variam em sentido contrário

A correlação foi classificada da seguinte forma: nula (0), fraca (0 - 0,3) média (0,3 - 0,6) forte (0,6 - 0,9), fortíssima (0,9 - 0,99) e perfeita (1). Para análise da matriz foram considerados correlações $\geq 0,70$.

Tabela 05–Matriz de correlação entre parâmetros analisados

VARIÁVEIS	N. Estático	Profundidade	Vazão	N. Dinâmico	Temperatura	Sódio	Alcalinidade	C.E	Cálcio	Cloretos	Dureza	C. Aparente	Magnésio	Nitrato	STD	Sulfato	Potássio	pH	Turbidez
N. Estático	1	0,18	0,38	0,82	0,27	0,15	-0,01	-0,29	-0,18	-0,28	-0,32	0,15	-0,50	-0,28	-0,23	-0,44	-0,02	0,28	-0,02
Profundidade		1	-0,04	-0,06	0,16	0,49	-0,22	-0,11	-0,51	0,06	-0,53	-0,19	-0,47	-0,28	-0,04	-0,31	-0,27	0,54	-0,31
Vazão			1	0,58	0,214	-0,26	0,26	-0,14	0,23	-0,32	0,15	-0,009	-0,07	-0,03	-0,09	-0,23	0,35	-0,18	0,02
N. Dinâmico				1	0,30	0,02	0,036	-0,19	-0,03	-0,19	-0,12	0,15	-0,25	-0,20	-0,12	-0,32	0,13	0,16	0,09
Temperatura					1	0,50	-0,52	-0,32	-0,63	-0,07	-0,67	-0,08	-0,63	-0,49	-0,24	-0,36	-0,57	0,49	-0,28
Sódio						1	-0,40	0,2	-0,77	0,53	-0,76	-0,11	-0,56	-0,54	0,28	0,003	-0,77	0,68	-0,04
Alcalinidade							1	0,58	0,80	0,22	0,74	0,02	0,54	0,40	0,53	0,52	0,81	-0,36	0,19
C.E								1	0,39	0,90	0,46	-0,11	0,58	0,12	0,98	0,93	0,23	0,07	0,10
Cálcio									1	-0,01	0,98	0,02	0,75	0,62	0,31	0,49	0,91	-0,51	0,22
Cloretos										1	0,09	-0,22	0,35	-0,14	0,91	0,81	-0,15	0,31	0,08
Dureza											1	0,03	0,87	0,64	0,38	0,58	0,87	-0,56	0,18
Cor aparente												1	0,04	0,07	-0,06	-0,05	0,01	-0,4	-0,30
Magnésio													1	0,61	0,52	0,69	0,62	-0,55	0,07
Nitrato														1	0,04	0,10	0,57	-0,57	0,10
STD															1	0,90	0,17	0,10	0,04
Sulfato																1	0,26	-0,04	0,11
Potássio																	1	-0,48	0,11
pH																		1	-0,02
Turbidez																			1

Constatou-se uma fortíssima e positiva correlação entre a CE com Cloreto, sulfatos e STD, alcançando 0,90 e 0,93 e 0,98 respectivamente e média correlação com o magnésio com valor de 0,58. CRM & UFRN (2007) encontram valores semelhantes para o coeficiente de variação para a CE e Cloretos, sulfatos e STD. Apenas a correlação com o magnésio foi diferenciada, já que CPRM & UFRN o valor do coeficiente mostrou-se forte. Conforme mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água. (CETESB, 2009). Estas correlações são perfeitamente previstas, já que a condutividade elétrica é um parâmetro que está diretamente relacionado com a presença de íons dissolvidos na água (MANASSÉS, 2009)

Assim como a CE, a dureza da água está relacionada com diferentes outras variáveis, na matriz de correlação ficou evidenciado isso, com a relação com o cálcio e magnésio. Isso já era esperado pois, a dureza da água refere-se à concentração total de íons alcalino-terrosos na água, principalmente de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), cujas concentrações são muito superiores às dos demais íons alcalinos terrosos encontrados em águas naturais. (ABDALLA, 2010). Outra variável com uma correlação forte e positiva com da dureza foi a alcalinidade o que pode dizer guardam relação entre si, pois alguns dos compostos que conferem à água a sua alcalinidade são também responsáveis pela dureza, a fração correspondente aos carbonatos de cálcio e magnésio. Da mesma forma a correlação da dureza com a CE.

Na alcalinidade foi observado uma correlação forte com o cálcio (0,80), potássio (0,81) e dureza (0,74), além de uma relação média com o magnésio (0,54). A relação da alcalinidade com o cálcio, potássio e magnésio é explicada por esses serem todos eles minerais alcalinos. Já com a dureza reflete pois essa é constituída principalmente por cálcio e magnésio como mencionado anteriormente.

Com valores semelhantes, porém negativos, o sódio apresentou correlação forte com o cálcio (-0,77), potássio (-0,77) e dureza (-0,76) e correlação média com o magnésio (-0,56).

6.5 – MAPEAMENTO DOS PARAMETROS AVALIADOS

A aleatoriedade e imprevisibilidade dos processos hidrológicos dificulta a previsão dos valores de referência, no entanto, através de tratamentos estatísticos, dentro de uma determinada margem de erro, pode-se estabelecer o modelo que melhor representa as variáveis em estudo.

6.4.1 - Parâmetros físicos

6.4.1.1 – Nível estático

Os valores de nível estático ficaram bem distribuídos, encontrando poços tanto na margem direita como esquerda apontando valores acima de 140 metros (FIGURA 14).

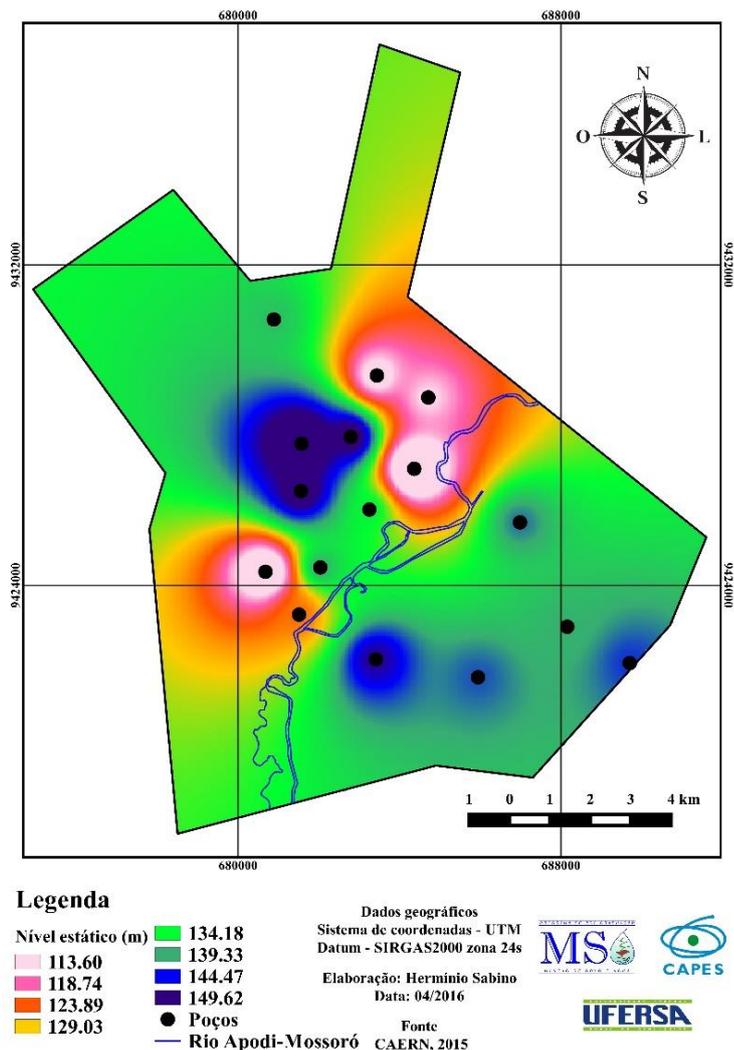


Figura 14: Mapa dos níveis estáticos dos poços de abastecimento urbano de Mossoró-RN.

Apesar dos níveis estarem baixando nas últimas décadas, segundos estudos da própria CAERN e da ANA (2010), ainda é possível encontrar níveis estáticos considerados bons, se comparado com a grande profundidade que os poços possuem na área urbana de Mossoró.

6.4.1.2 – Nível dinâmico

O nível dinâmico assim como o estático apresentar uma espacialização semelhante. Os poços com maiores níveis estão localizados tanto à margem esquerda como direita do rio Apodi-Mossoró (FIGURA 15).

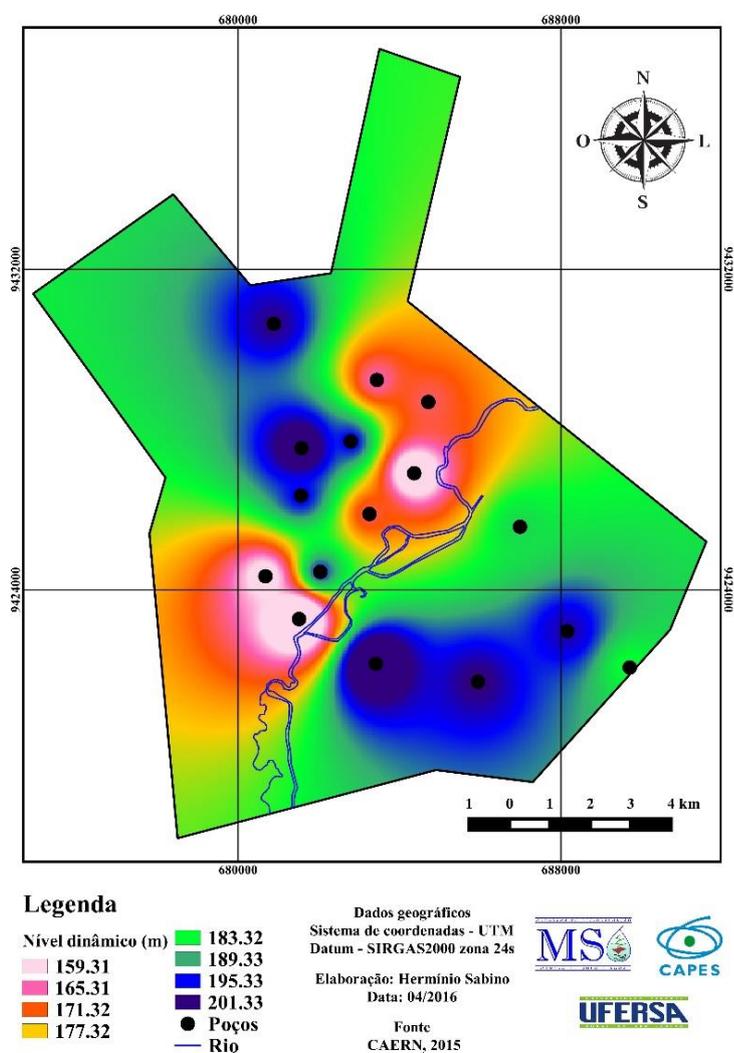


Figura 15: Mapa dos níveis dinâmicos dos poços de abastecimento urbano de Mossoró - RN.

Os poços com menores níveis dinâmicos são os PT – 02, PT – 23, PT – 20. Esses estão localizados todos à margem esquerda do rio, e possuem datas de perfuração anterior a 1980.

A presença de poucos poços a margem direita do rio comprometer o abastecimento futuro dos bairros localizado na mesma região, bairros que crescem e outro fator agravante é o surgimento de novo bairros, aumentando a demanda por água.

6.4.1.3 – Profundidade

Os poços com maiores profundidades estão localizados as margens direita do rio (FIGURA 16), mas dois poços na margem esquerda possuem profundidades acima de 1000 metros, encontram-se no bairro Belo Horizonte (PT – 20 e PT – 08).

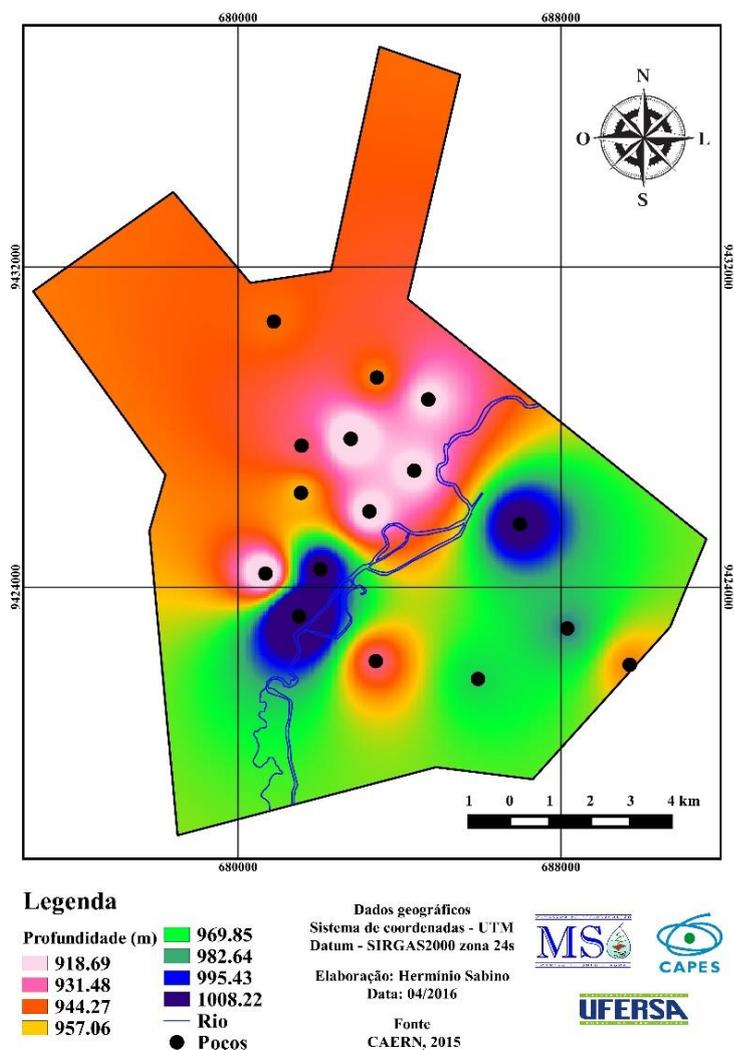


Figura 16: Mapa das profundidades dos poços de abastecimento urbano de Mossoró - RN.

As menores profundidade são dos poços mais antigos e que estão localizados mais próximos do centro da cidade. As grandes profundidades podem inviabilizar a perfuração de novos poços na região localizada a margem direita onde concentra-se o menor número de poços e o crescimento urbano é perceptível.

6.4.1.4 – Vazão

As menores vazões encontradas estão nos poços (PT – 01, PT – 02 e PT – 20) com data de perfuração anterior a 1990 (FIGURA 17). O PT – 01 foi o primeiro poço de abastecimento da cidade, localizado onde hoje é o corredor cultural no centro da cidade. Os três poços abastecem mais de 10 bairros na área urbana como foi mostrado na Tabela 02.

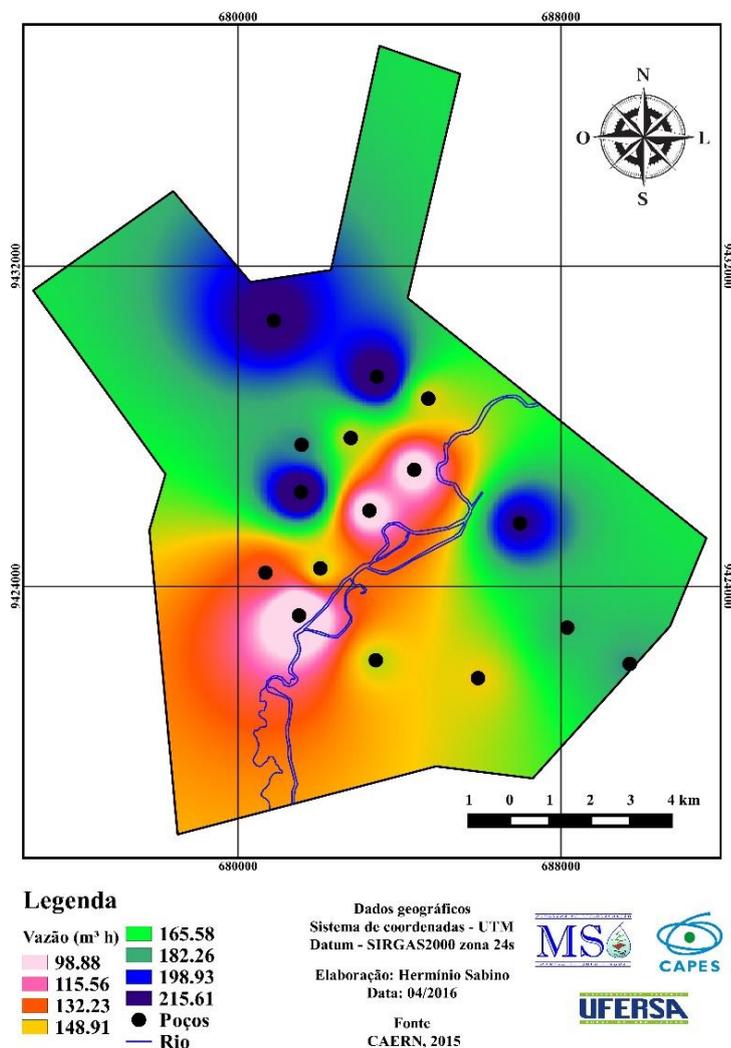


Figura 17: Mapa das vazões dos poços de abastecimento urbano de Mossoró, RN.

Os poços com maiores vazões (PT – 14, PT – 15, PT – 19 e PT – 26), todas acima de 190 m³ h são poços com datas de perfuração mais recente se comparado os mencionados anteriormente. Esses poços abastecem 12 bairros da cidade (Tabela 02).

Essa área tem menos densidade populacional e isso pode ser uma vantagem no abastecimento destas áreas, porém a indústria pode demandar grandes quantidades de água o que é um ponto fraco no sistema.

6.4.1.5 – Temperatura

As temperaturas de todos os poços ficaram acima dos 50 °C, mas as maiores temperaturas registradas foram dos poços localizados à margem direita do rio (PT - 21, PT - 22 e PT – 27), essas ficando acima dos 54 °C (FIGURA 18).

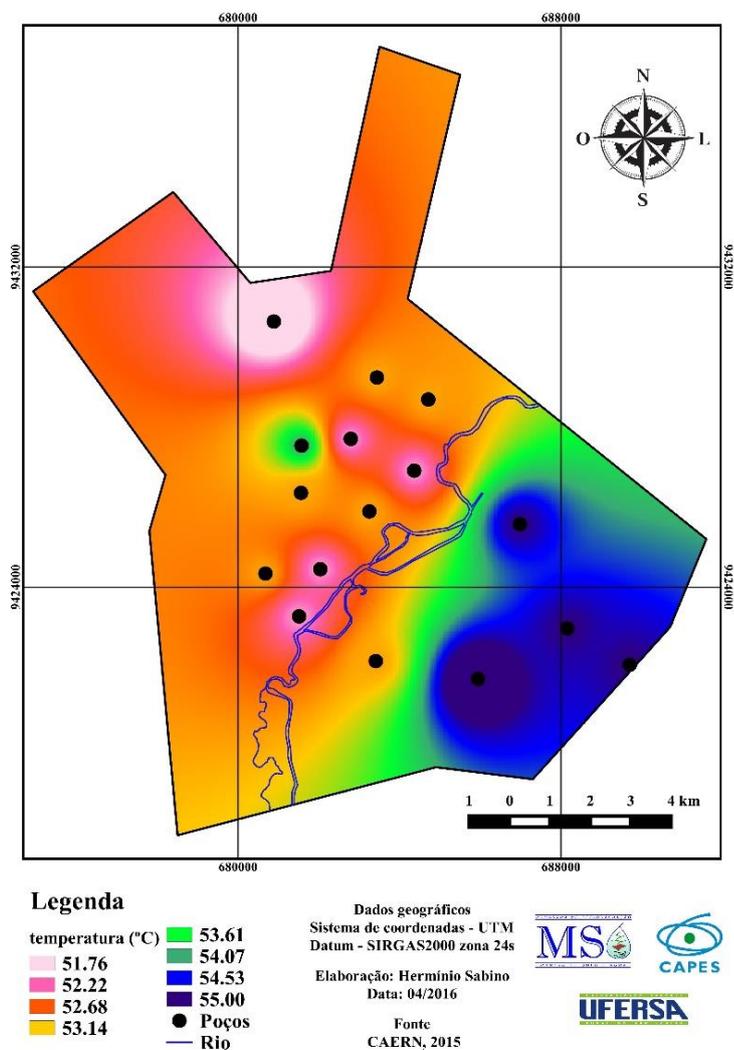


Figura 18: Mapa das temperaturas das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

As altas temperaturas dos poços, devido à grande profundidade, dificultam o crescimento de bactérias e vírus, diminuindo a necessidade de maiores processos de tratamento dessa água e a população assistida por esses poços estão em um grau de risco menor de contaminação. Vale ressaltar que mesmo as temperaturas sendo elevadas é necessário ter um cuidado e monitoramento em todo o sistema para conter possíveis problemas, seja por problemas nos tubos ou outra fonte de contaminação.

6.4.1.6 – Cor Aparente

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 19).

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.

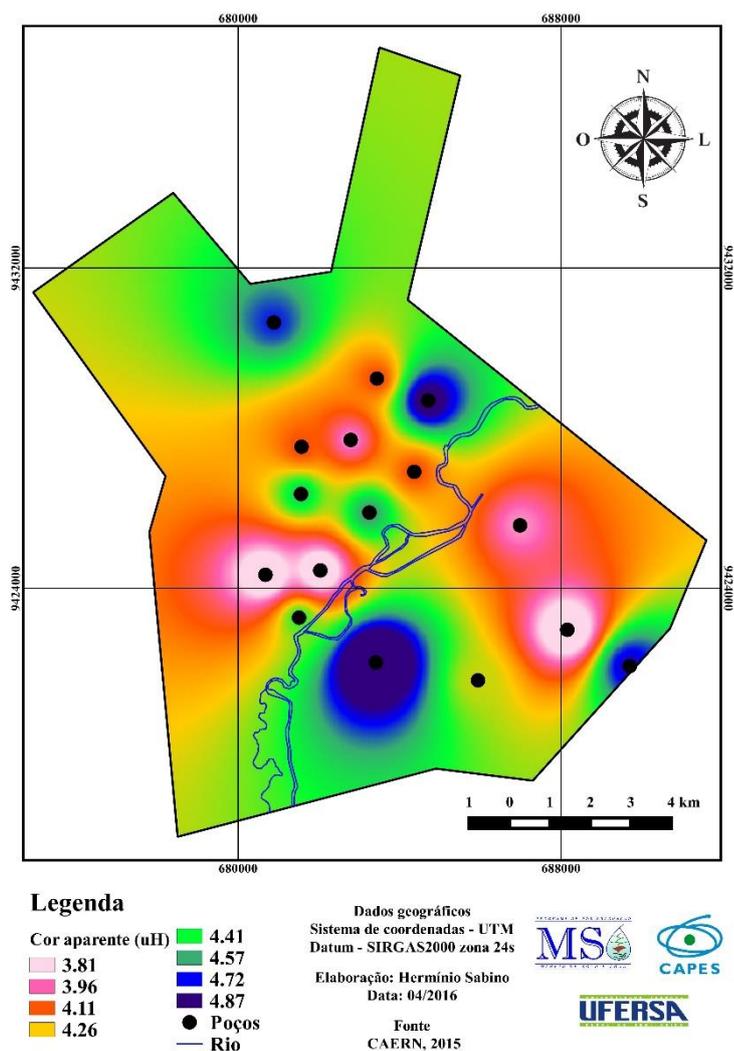


Figura 19: Mapa Cor aparente das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Os poços que apresentaram os maiores valores têm uma característica semelhante, 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.

6.4.1.7 – Turbidez

A turbidez assim como a cor aparente, retrata a transparência da água e é um aspecto estético. Os poços com maiores valores de turbidez foram PT - 8, PT - 11 e PT - 14 (FIGURA 20).

Todos os valores ficaram bem abaixo do sugerido na legislação e tal aspecto não traz nenhum dano nocivo à população.

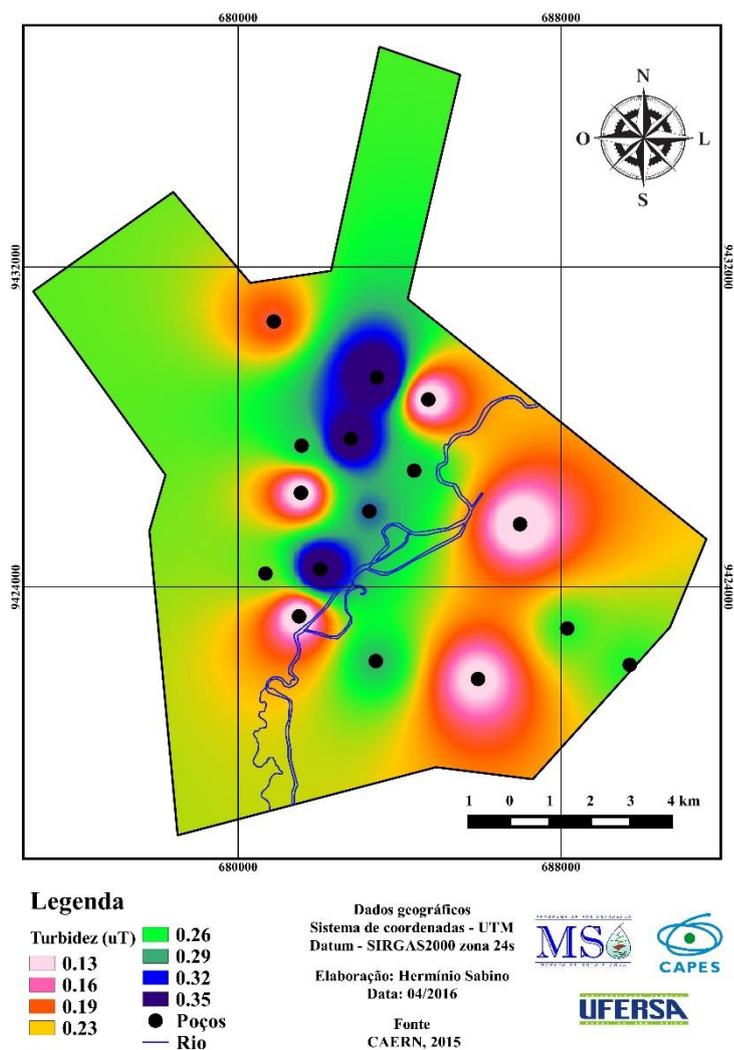


Figura 20: Mapa da turbidez das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

A turbidez deve-se as substâncias em suspensão ou coloidais e as medidas são feitas baseando-se na intensidade luminosa que atravessa a água. As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Corcóvia & Celligoi, 2012). Na presente pesquisa não houve de registro de Ferro nas águas, por tanto não afetando nos valores de turbidez.

6.4.1.8 – Condutividade elétrica

A condutividade elétrica mostrou um comportamento nítido do seu crescimento de sul para norte, com os poços localizados as margens esquerda do rio apresentando os maiores valores (FIGURA 21). Em apenas um poço (PT – 02), foi encontrado o valor acima de 700 $\mu\text{S cm}$, indicando que é a população que recebe essa água pode estar ingerindo uma maior quantidade de minerais do que o restante da população urbana.

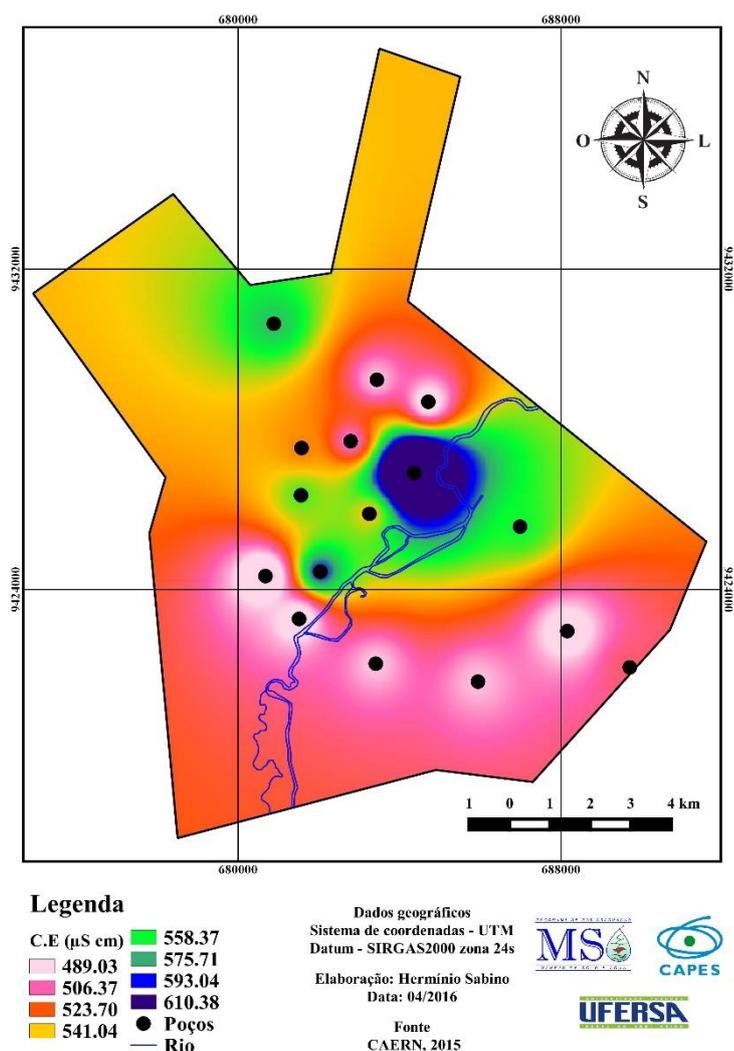


Figura 21: Mapa da condutividade elétrica das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009)

6.4.1.9 – Dureza

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 CaCO₃ (PT – 02 e PT – 19) ambos localizado à margem esquerda do rio Apodi-Mossoró, como mostrado na figura 22

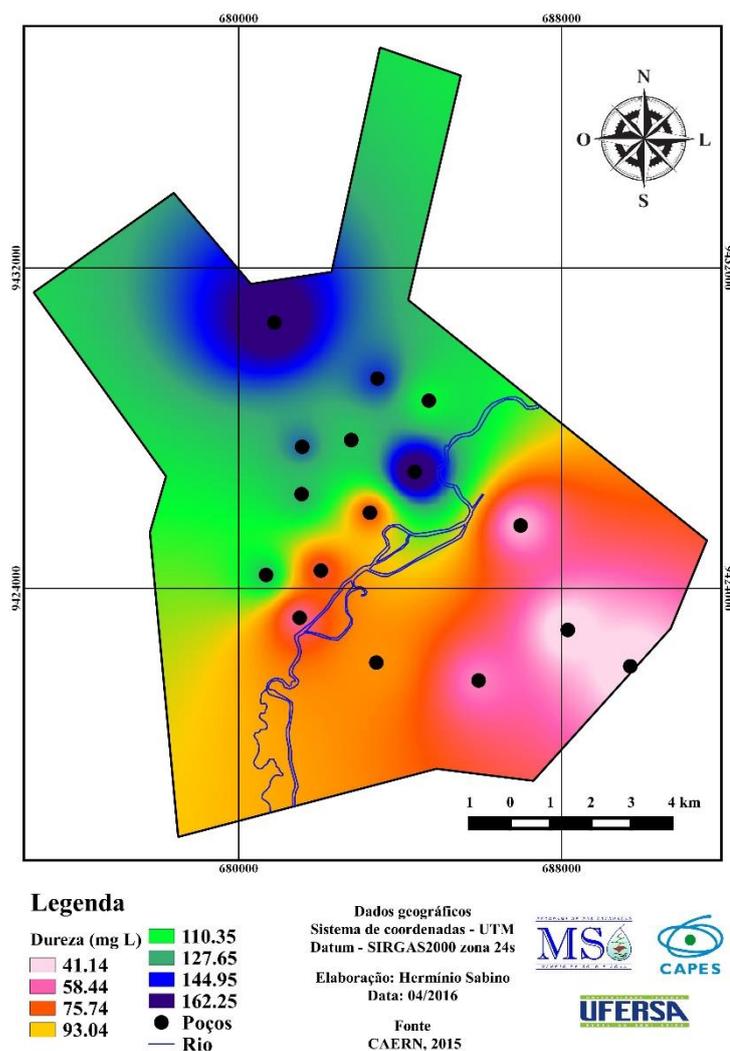


Figura 22: Mapa da dureza das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

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).

6.4.2 – Parâmetros químicos

6.4.2.1 Cálcio

Os valores de cálcio foram bem distintos quando comparamos a margem direita e esquerda do rio. Nos poços localizados a direita, as análises mostraram baixa concentração desse atributo, já nos poços localizados a esquerda os valores praticamente dobraram (FIGURA 23).

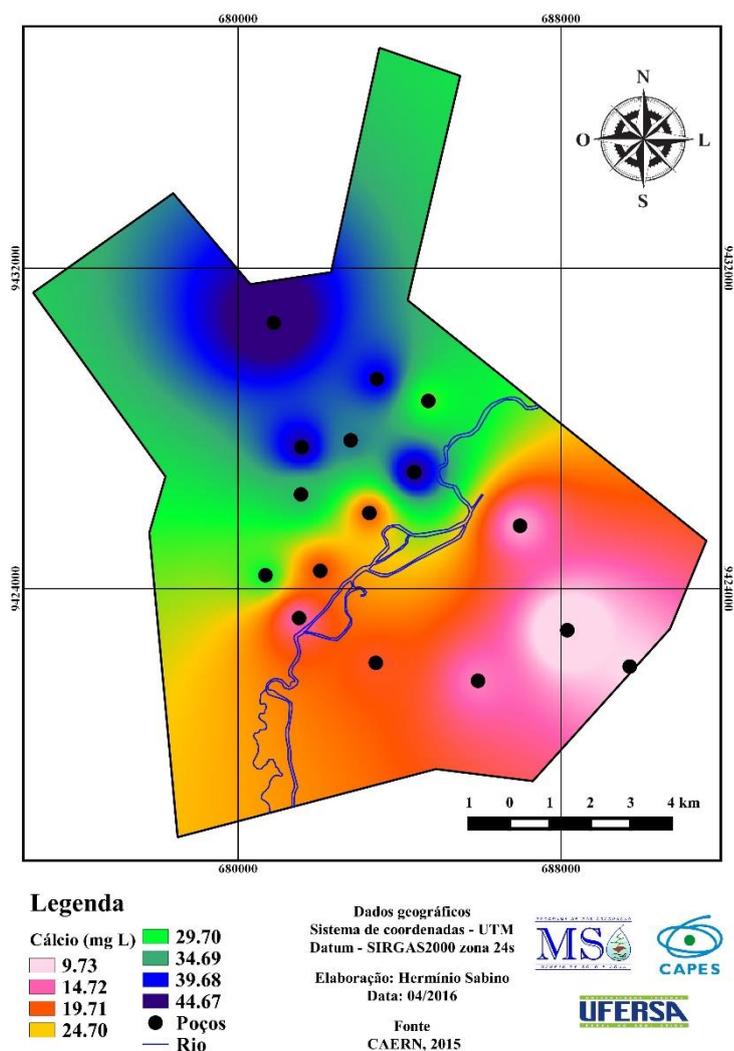


Figura 23: Mapa do cálcio das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Os poços que apresentaram maior concentração de cálcio, acima de 39 mg L foram os PT – 02, PT – 06, PT – 14 e PT – 19, esse último com o maior valor. Já os poços PT – 21, PT – 22 (menor valor), PT – 26 e PT – 27. O que pode explicar essa diferença entre os valores encontrados nos dois lados do rio é o tipo de solo da região, à margem esquerda são encontrados os CAMBISSOLOS e à margem direita os ARGISSOLOS e a formação geológica.

6.4.2.2 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 24).

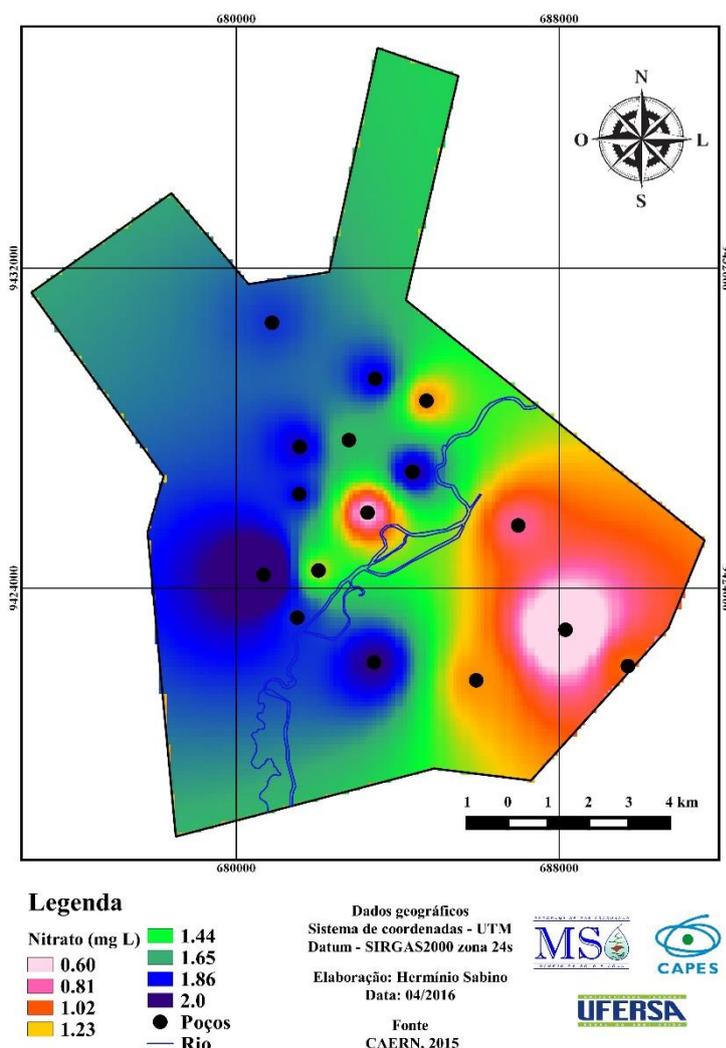


Figura 24: Mapa do nitrato das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

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.

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).

6.4.2.3 Magnésio

Apenas um poço apresentou concentração de magnésio acima de 15 mg L, foi o localizado na avenida Delfim Moreira no bairro Bom Jardim. Os demais ficaram na entre 6,5 mg L e 8,7 mg L conforme mostrado na FIGURA 25.

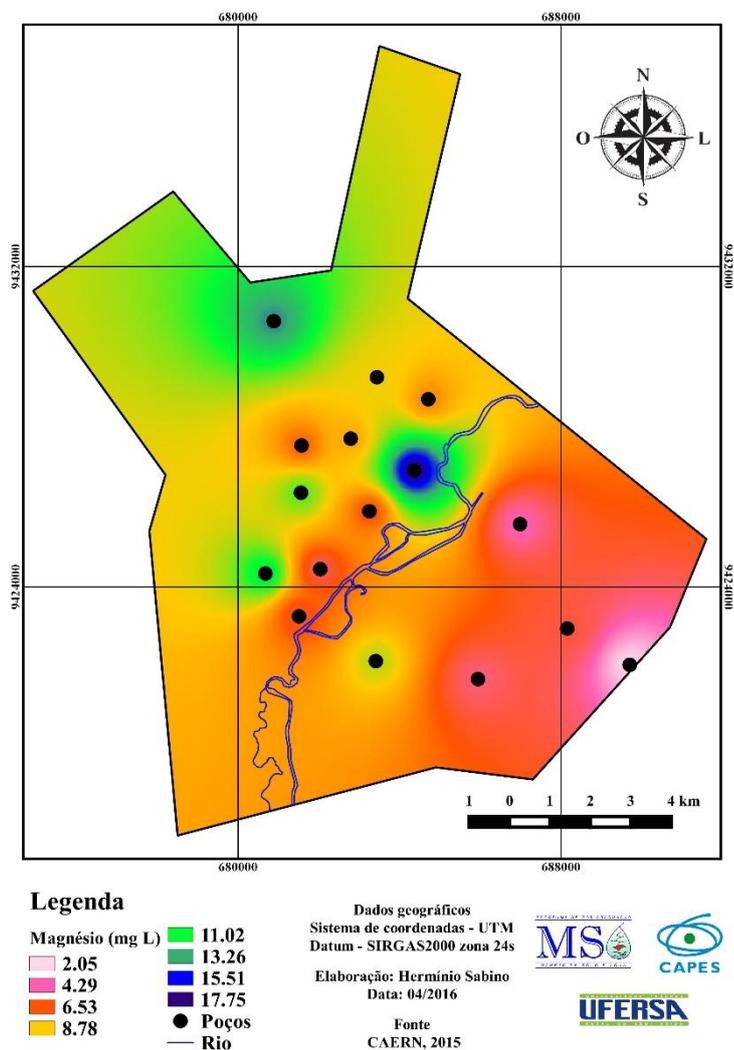


Figura 25: Mapa do magnésio das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Segundo Cortecci (2002), em várias regiões do mundo, tanto em países industrializados ou não a incidência de doenças cardiovasculares pode estar relacionada com o consumo de águas com concentrações de magnésio. Pacientes que em vida haviam bebido água relativamente leve, apresentaram teores de magnésio em média 6% mais baixo, que nos pacientes que haviam consumido água relativamente dura.

6.4.2.4 Potássio

Apenas um poço apontou valor maior que 26 mg L de potássio, PT - 19 localizado no bairro Abolição na rua Petrônio Portela. Podendo representar uma fonte de potássio pontual já que apenas esse poço apresentou valores em destaque.

Os valores diminuem em sentido sul – Norte e os poços com as menores concentração desse atributo, nos poços localizados à margem direita do rio Apodi-Mossoró (FIGURA 26).

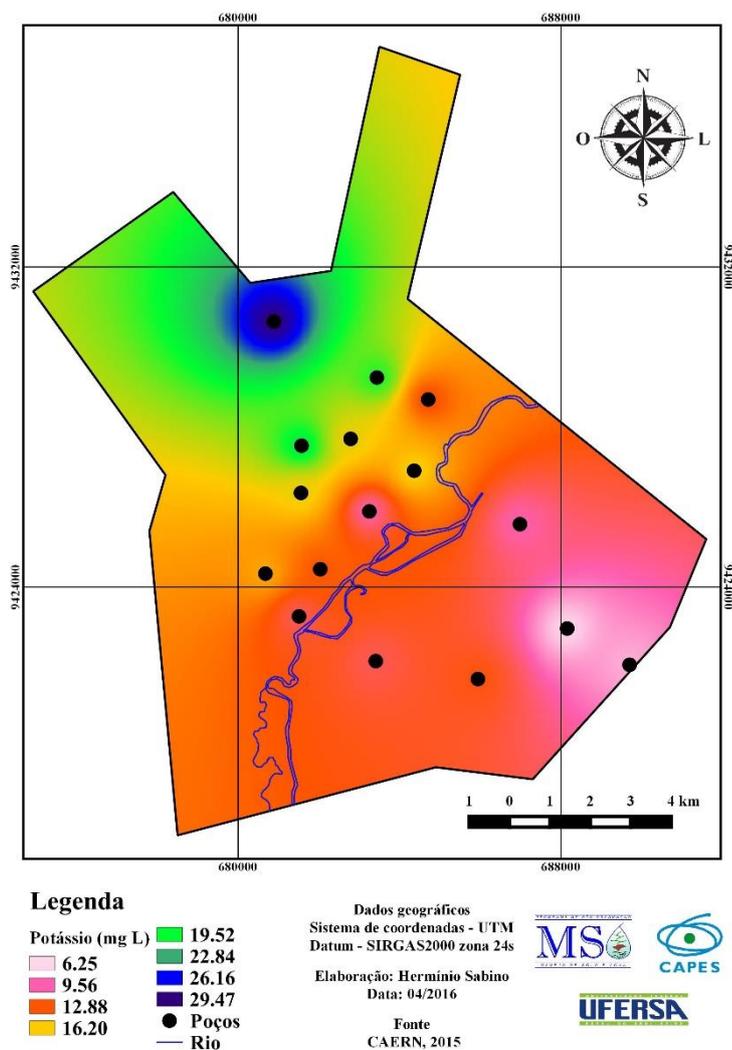


Figura26: Mapa do potássio das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Mesmo o potássio sendo um dos elementos essenciais à nutrição humana e suas concentrações encontradas em águas subterrâneas não ofereça perigo a saúde humana, alguns cuidados têm que ser tomados, para os portadores de insuficiência renal, hipertensão e diabetes (Cajazeiras, 2007).

6.4.2.5 Cloretos

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 27).

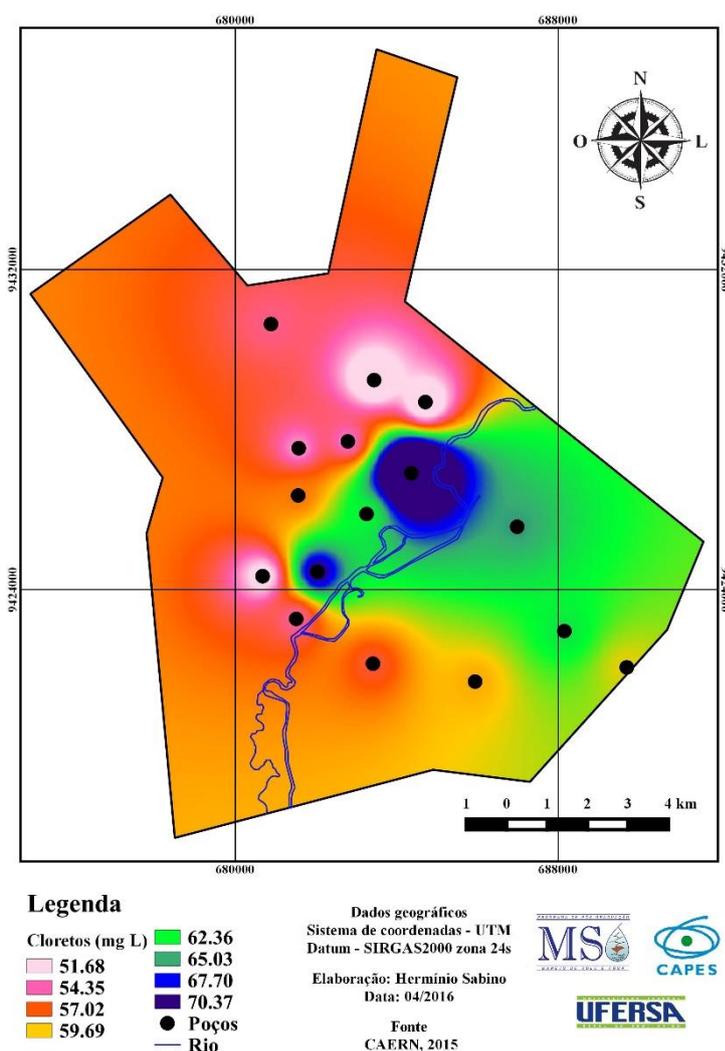


Figura 27: Mapa do cloretos das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Em quantidades razoáveis de cloretos não são prejudiciais à saúde, mas transmite a água uma leve alteração como um sabor levemente salgado (salobro). Os cloretos quando acima dos níveis permitidos na água podem causar efeito laxativo para as pessoas que consomem essa água (Cajezeiras, 2007).

6.4.2.6 Sulfatos

Como nas outras variáveis, os valores encontrados para os sulfatos ficaram bem abaixo dos valores máximo permitidos na legislação vigente, como ilustrado na figura 28 abaixo

A maioria dos poços (mais de 90%) não ultrapassaram o valor de 29 mg L e apenas em um poço, o PT – 02, o valor foi superior a 33 mg L.

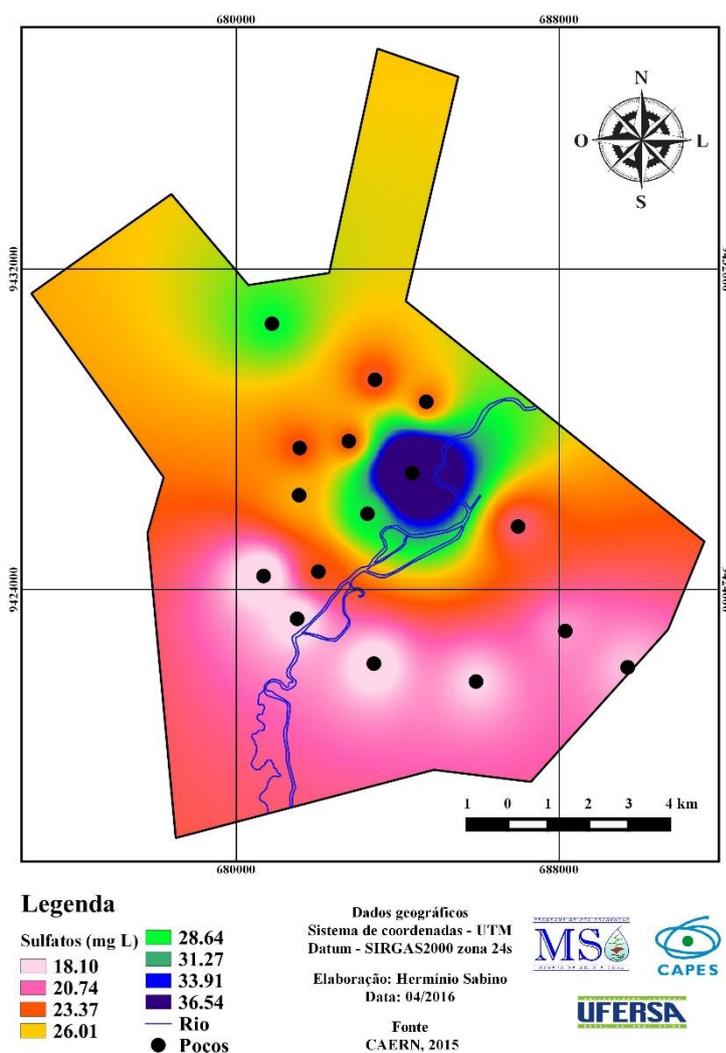


Figura 28: Mapa do sulfato das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Os poços localizados na região sul, em cor rosa no mapa, apresentaram os menores valores de sulfato. Porém mesmo com valores baixos é importante ter um cuidado, pois assim como outros elementos, os sulfatos podem alterar o sabor da água e aumentar a dureza e ainda causar efeito laxativo na população.

6.4.2.7 Sódio

Os valores de sódio tiveram uma espacialização bastante interessante (FIGURA 29), 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.

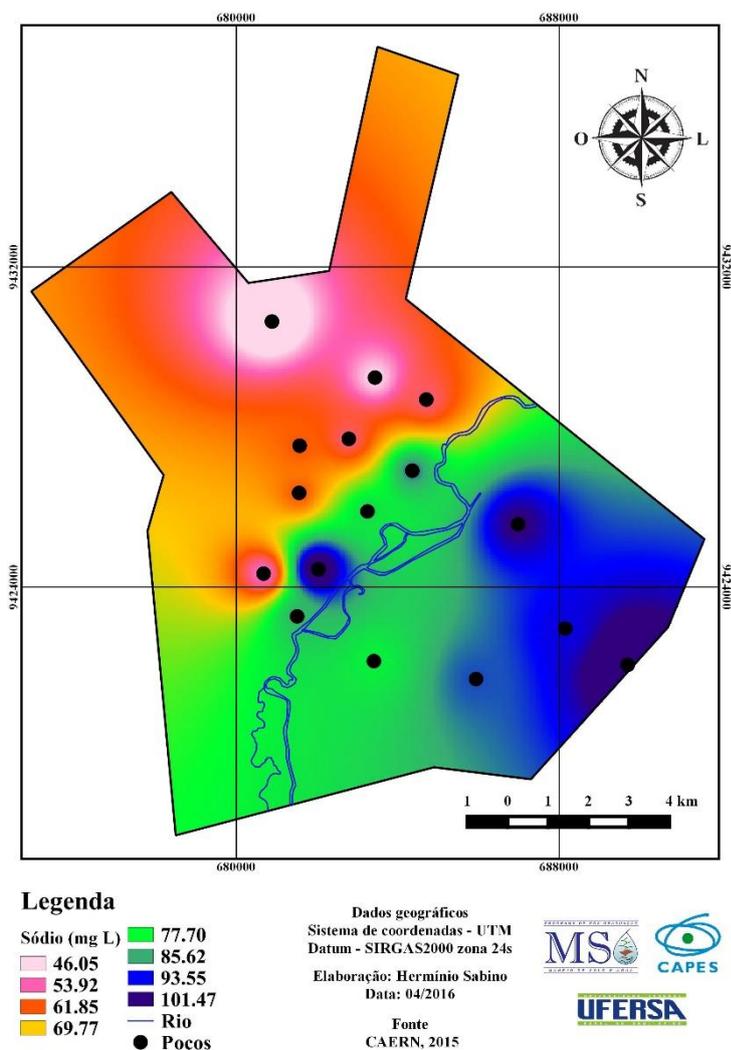


Figura 29: Mapa do sódio das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

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).

6.4.2.8 Sólidos Totais Dissolvidos

O teor de sólidos totais dissolvidos de águas para consumo humano geralmente varia de 20 a 1000 mg L, assim como as outras variáveis, a presente pesquisa mostrou que os valores encontrados nos poços de abastecimento urbano em Mossoró ficaram abaixo do máximo permitido na legislação (FIGURA 30).

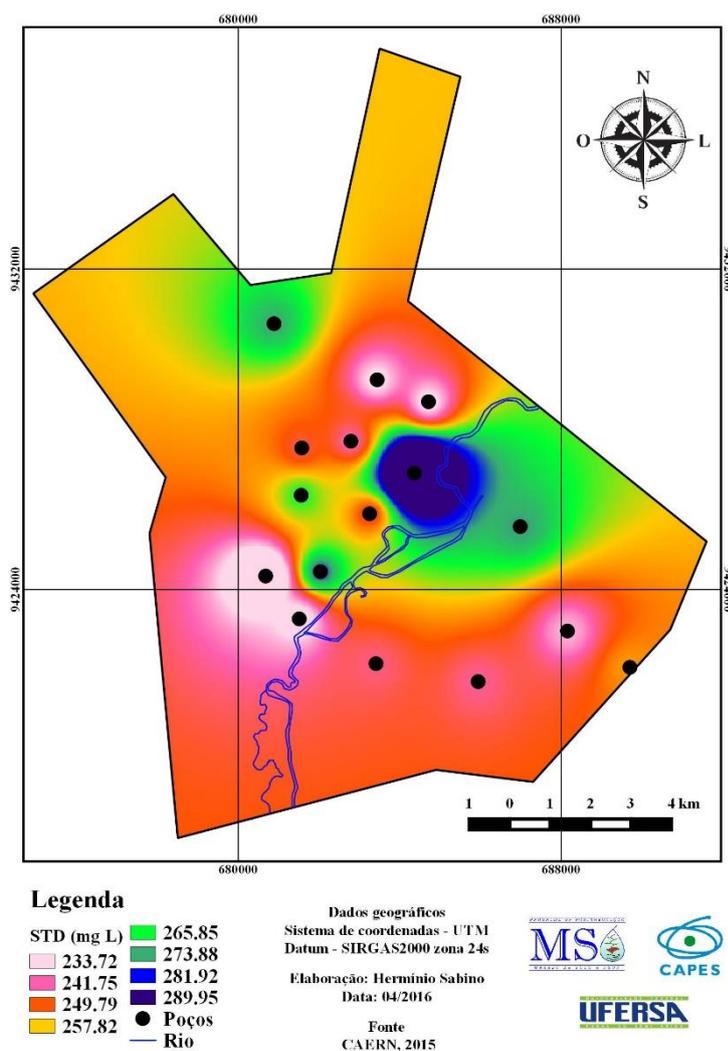


Figura 30: Mapa dos Sólidos Totais Dissolvidos das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

Os valores dos poços na região sul e leste da área urbana, tiveram uma maior uniformidade, já os poços localizados no centro e mais a norte os valores são mais dispersos. O poço que apresentou o maior valor de sólido totais dissolvidos foi o PT – 02, assim como outras variáveis

6.4.2.9 pH

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 captadas (FIGURA 31).

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

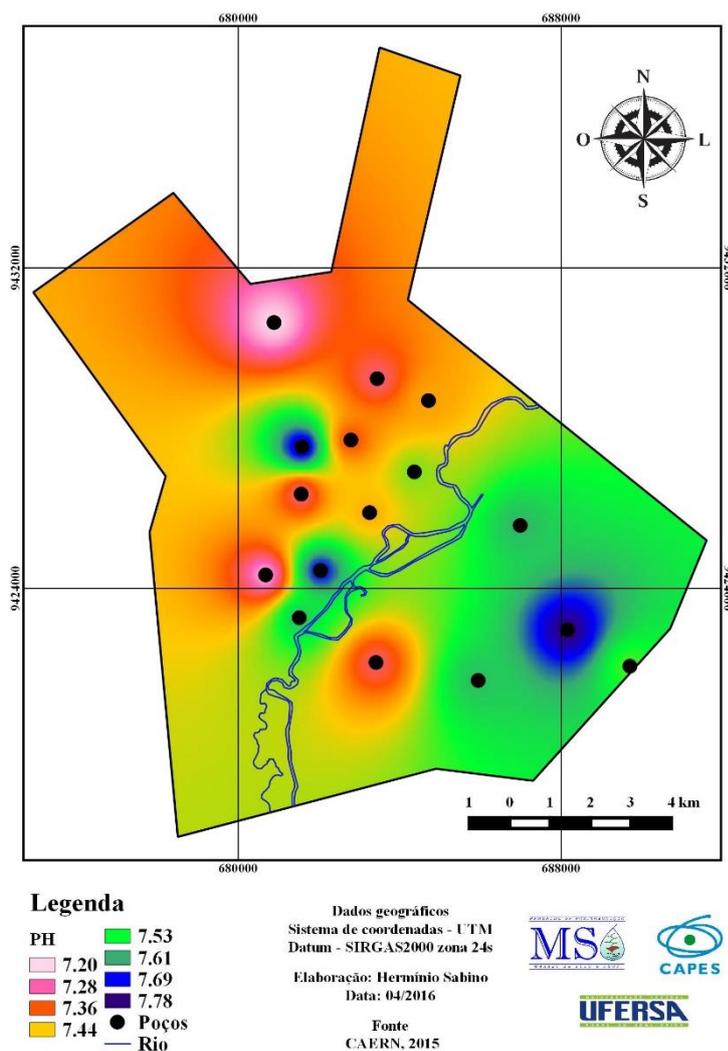


Figura 31: Mapa do pH das águas de abastecimento urbano de Mossoró, RN

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).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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.

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 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 8 variáveis estudadas (Condutividade Elétrica, Cálcio, Nitrato, Magnésio, Cloretos, Sulfatos e Sólidos Totais Dissolvidos). 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.

REFERÊNCIAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, **Água subterrânea**: minimização das consequências da seca no Nordeste, coordenação: Dr. Albert Mente, Junho, 2003. p. 4, 5, 33 e 34.

ABDALLA, K.V.P; CAVALCANTE, P.R.S; COSTA NETO, J.P; MESQUITA NETO, M.C de. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA.**XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. São Luís, MA. 2010

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Altas Brasil**: abastecimento urbano de água: resultados por estado. Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS –ANA. **GEO Brasil**: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. / Ministério do Meio Ambiente ; Agência Nacional de Águas ; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília : MMA; ANA, 2007. 264p. : il. (GEO Brasil Série Temática : GEO Brasil Recursos Hídricos).

Agência Nacional de Águas (ANA). 2005a. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> >

Agência Nacional de Águas (ANA). 2005b. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp>

ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., NEVES, B.B.B., FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: **SIMP. GEOL. NORDESTE**, 8. Anais... Campina Grande: SBG-NE, 1977, Bol. 6, p. 363- 391, 1977.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 15th ed. New York, 1998. 1134p.

APHA. **STANDARD methods,for the examination of water and wastewater**. 16th ed. Washington, 1985.

BAGNARA, D.; PRIETTO, P. D. M. ; TIMBOLA, R. S. **Aplicação da krigagem ordinária na modelagem do pH e da dureza da água subterrânea na área central de Passo Fundo – RS**. Teoria e prática na engenharia civil, n.20, p. 15-22, Novembro, 2012.

BARBOSA, J.P.M. **Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos**: o sig como ferramenta. Caminhos de Geografia 9 (17) 85 - 96, fev/2006

BICUDO, C.E.de M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. , orgs.B583a **Águas do Brasil**: análises estratégicas / Carlos E. de M. Bicudo; José G.Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl – São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

BRAGA; Beo et. al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resoluções do Conama**: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. /Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126p.

BRASIL. **Análise das informações sobre recursos hídricos subterrâneos no país.** Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2009(a)

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente.** 2 Ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água.** 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009(b). 144 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914/MS de 2011.

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. Água subterrânea no nordeste brasileiro. In CIRILO, J.A; CABRAL. J.J.S.P; FERREIRA. J.P.C.L; OLIVEIRA, M.J.P.M; LEITÃO, T.E; MONTENEGRO, S.M.G.L; GÓES, V.C, Orgs. **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas.** Ed Universitária da UFPE, Recife – PE, 2007. 508p.

CAJAZEIRAS, C. C. A. **Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, região de Crajubar/CE.** 2007. 144 f. dissertação (mestrado em geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

CAMPOS, T. S; ROHLFS, D. B. **Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás/GO.** 209 Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás: Programa de Pós-Graduação em Biociências Forenses, 2010.

CELLIGOI, A. **Considerações sobre análises química de água subterrânea.** Geografia, Londrina, v.8, n.1, p. 91-97, jan. / jun. 1999.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **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: ANA, 2012. 327p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma técnica: Coliformes totais – determinação pela técnica de membrana filtrante: métodos de ensaio.** São Paulo. Ago/2007.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo de 2008.** São Paulo: Cetesb, 2009.

CORCÓVIA, J. A; CELLIGOI, A. **Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Iporã-PR.** REA – Revista de Estudos Ambientais. V.14, n. 2esp, p. 39 – 48, 2012.

CORTECCI, G (2002) - Geologia e Saúde – Tradução de Wilson Scarpelli, São Paulo 30 pp.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 15 ed São Paulo: Edgar Blucher 1997. 468p

CPRM -Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso Monteiro Pires, Dunaldson EliezerGuedes Alcoforado da Rocha, Valdecí lio Galvão o Duarte de Carvalho. Recife: CPRM/PRODEEM,2005.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ed. Omega, v. 2, 1983.

DAVIS, C; FONSECA, F. Apostila de **Introdução aos sistemas de informações geográficas**. Curso de especialização em geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte-MG, 2001.

DUTRA, C. **Avaliação hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral nos municípios de Cambé, Ibioporã, Londrina e Tamarana**. [Trabalho de Conclusão de Curso em engenharia ambiental] Universidade Federal do Paraná, Londrina – PR 2012

EMBRAPA. **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, Sérgio Gomes Tôsto ... [et al.]**. – Brasília, DF: Embrapa, 2014.248 p. : il. – (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

EMBRAPA. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Embrapa Solos, UEP Recife, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos ... [et al.]**. – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

EVANGELISTA, J. M. S. **Ensaio de tratabilidade de água contaminada com nitrato por redução fotocatalítica via catalisadores de TiO₂**. [Trabalho de Conclusão de curso em Química Industrial] Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, Goiás, 2014 38p.

FERNANDES, M.A.B; SANTIAGO, M.M.F; GOMES FILHO, J.M; FRISCHKORN, H; LIMA, J.O.G de. **Origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi – Ceará**. Águas Subterrâneas, v. 19, n. 1, p. 25-34, 2005

FEITOSA, E.C. – Programa de água subterrânea para a região Nordeste. **A exploração do aquífero Açú na região de Mossoró, RN** – Caracterização da situação atual e perspectivas de atendimento da demanda futura. Brasília: CPRM, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, D.B; SILVA JÚNIOR, J. A. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, 2009

FENZL, N. – (1988) – **Introdução a Hidrogeoquímica**. Universidade Federal do Pará.Belém. 188p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GIAMPÁ, C. E. Q. ; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2.ed. e atualizada – São Paulo: oficina de texto, 2013. 496p.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado. Direito de Águas. **Disciplina Jurídica das Águas Doces**. São Paulo: Atlas, 2001.

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. 2011.

Instituto De Desenvolvimento Sustentável E Meio Ambiente Do Rio Grande Do Norte – IDEMA. **Perfil do seu município – Mossoró**. Natal – RN 2008.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas** / editores, Salomão de Sousa Medeiros, Hans RajGheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 279p.

JAKOB, A. A. E. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Outro Preto – MG. 2002.

KOCH, T. and DENIKE, K. **Medical mapping: the revolution in teaching – and using -- maps for the analysis of medical issues**. Journal of Geography 103, 67- 85, 2004.

LEWIS, W. J. ; FOSTER, S.; DRASAR, B. S. (1986) - **O risco de poluição do Lençol freático por sistemas de disposição local de esgotos**. Trad. de André G.T.P. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 91p

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.

LOPES, M. M. ; , BRANCO, V. T. F. C.; SOARES, J. B. **Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação**. TRANSPORTES v. 21, n. 1 (2013) p. 59–66

MAGALHÃES, V. S. **Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas bacias dos Córrego Águas Santas e Palmeiras, municípios de Coronel Murta (MG)**. Dissertação 118 f. (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MANASSÉS, F. **Caracterização Hidroquímica da Água Subterrânea da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009

MARCUZZO, F. F. N; ANDRADE, L. R. de; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física 04 (2011) 793-804.

MARQUES, M. A. **Qualidade de Vida no Município de Macaé – RJ**: Análise por Geoprocessamento / Miriam Aparecida Marques. – 2008. 300p.

MARTINS NETTO, J.P.G; DINIZ, H.N; ANDRADE, T.S de; SILVA, C.B da. **Problemas associado à cloração de água de poço para atendimento da portaria 518, e soluções aplicada**. Anais de XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo 2006.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SRH-SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **PNRH-Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília, ISBN 85-7738-013-0, 2006. 135p

MIRANDA, J. I. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p.

MITAS L, MITASOVA H. **Multivariate approximation by regularized spline with tension**. Urbana, National Center for Supercomputing Applications 1997: 1–5.

MOSSORÓ - **Plano de Desenvolvimento para o Sistema de Saneamento Básico do Município de Mossoró**. Produto II – Relatório Técnico I - Diagnóstico da Situação Atual do Sistema de Saneamento Básico do Município, Rio de Janeiro, 26 de abril de 2010, 54p.

NAIR, P. N.; STEPHANE, H.; CANO, V.; VERA, J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 99, p. 231-52, 2005.

NELSON, D. **Natural Variations in the Composition of Groundwater**. Drinking Water Program. Presented at Groundwater Foundation Annual Meeting Oregon. Department of Human Services. Springfield, Oregon. November, 2002. Disponível em: <<http://www.oregon.gov/DHS/ph/dwp/docs/gwater/chem.pdf>>. Acesso em: 10mar. 2010.

PALUDO, D. **Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul**. [Trabalho de Conclusão de curso em Química Industrial] Centro Universitário. Lajeado, Rio Grande do Sul, 2010 75p.

PAULA, S.C de; PICCILLI, D.G.A; LORENZINI NETO, F; TASSI, R. Interpolador IDW aplicado a informações pluviométricas pontuais e estimadas por satélite para uso no modelo chuva-vazão IPH II. Anais.... **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília – DF 2015. P.01-08.

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**.4 o PDPETRO, 21-24 de outubro de 2007 Campinas, SP.

RIBEIRO, P. H. B. **Espacialização da vazão produzida por poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas no nordeste baiano**. Juazeiro, Bahia 2013.

RICHTER, C. A. ; AZEVEDO NETTO, J. M de. **Tratamento de águas: tecnologia atualizada**. São Paul: Edgard Blucher, 2002. 332 p.

REBOUÇAS, A.C. 1980. **Potencial hidrogeológico da Bacia do Paraná - Brasil**. I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife-PE, 1980. p. 35-47.

SALVATORI, R. U. **Determinação da presença de Salmonella Sp. em embutidos de carne suína**. 1999. 97 f. dissertação (mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SANTOS, S. C. C dos. ; SILVA, N. M da. ; GORAYEB, A. C. C. ; PEREIRA, L. **Condições ambientais da fonte hídrica do município de Bragança Amazônia Oriental – Brasil.** Caminhos de Geografia Uberlândia v. 11, n. 36 dez/2010 p. 100 – 112, 2009.

SANTOS, W. O.; BARRETO, H. B. F. ; COSTA, F. G. B. ; FREIRE, F. G. C. ; ESPINOLA SOBRINHO, J. ; COSTA NETO, C. M. da. . Caracterização da velocidade média dos ventos na região de Mossoró-RN. In: **I INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING & IV WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO - WINOTEC, 2012**, Fortaleza-CE. ANAIS DO I INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING & IV WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO - WINOTEC, 2012.

SCURACCHIO, P. A.; FARACHE FILHO, A. **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. 2011.

SILVA, P.C.M da; CHAVES, L.H.G. **Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.3, p.431-436, 2001

SILVA C.R.; QUINTAS M.C.L.; CENTENO J.A.S. **Estudo do Método de Interpolação do Inverso da Distância a Uma Potência.** Anais... II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. p. 057-062, 2007

SILVEIRA, Thyago Almeida. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTE URBANOS. [Monografia] João pessoa, 2006.

SOUSA, Israel de Macedo; ROCHA, V.A.G.M.R; ARAÚJO, John Kenedy. **Descrição do sistema de abastecimento de água da cidade de Mossoró-RN.** XVIII Simpósio Brasileiro de recursos hídricos. 2011. 13p.

SANTOS, W. O; SOUSA, G. M. M., de ; ESPINOLA SOBRINHO, JOSÉ; COSTA, D. O. ; SILVA, S. T. A. ; MANIÇOBA, R. M. . Caracterização da velocidade e direção do vento em Mossoró/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, p. 746-754, 2014.

STANDARD methods,for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington: APHA, 1985.

THOMPSON, S.K. **Sampling.** New York, Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.

TONON, L.A.C; BRANCO, I.G; PIERETTI, G.G; SELOIN, V.J; BERGAMASCO, R; MADRON, G.S; MOURA, M.M, SCAPIM, M.R.S. **Análise de parâmetros de qualidade da água para consumo humano.** Revista Tecnológica Maringá, v. 22, p. 35-41, 2013

TRIOLA, Mario F.. **Introdução à estatística.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC Ed., c2008. 696 p. : il. Título original: Elementary statistics (10. ed.). ISBN: 978-85-216-1586-6

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água.** Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 3ª edição, São Paulo – SP. 2006 643p.

VASCONCELOS, M.B. V. **Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar**: Trecho Upanema-Afonso Bezerra/ Mickaelon Belchior Vasconcelos- Natal, RN, UFRN, Centro de Ciências Exatas e da Terra, 2006 100 f.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field** In: **Hillel, D. Applications of soil physics**. New York: Academic. 1998, p.319-344.

ZUFFO, Catia Eliza; ABREU, Francisco de Assis Matos de; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno e NASCIMENTO, Gerson Flôres. **Águas subterrâneas em Rondônia: análise estatística de dados hidroquímicos, organolépticos e bacteriológicos**. *Rev. Inst. Geol.* [online]. 2009, vol.30, n.1-2, pp. 45-59. ISSN 0100-929X.

ANEXOS



PLANILHA DE MONITORAMENTO SEMESTRAL DA QUALIDADE DA ÁGUA
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS (2) E MICROBIOLÓGICAS (2,3 e 4)

UNIDADE ADMINISTRATIVA
ULCA/GQM

MÊS/ANO
ABRIL/2015

REQUISITANTE: GERÊNCIA DA QUALIDADE DO PRODUTO E DO MEIO AMBIENTE/REGIONAL MOSSORÓ

CIDADE ABASTECIDA: MOSSORÓ/RN

1 RESULTADOS

Nº da Amostra	ALCALINIDADE TOTAL (mg CaCO ₃)	CLORO RESIDUAL LIVRE (mg/L)	TEMPERATURA A (°C)	CONDUTIVIDADE DE (µcm)	CÁLCIO (mg/L Ca++)	CLORETO (mg/L Cl)	COR APARENTE (u.c)	DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	FERRO TOTAL (mg/L Fe...)	MAGNÉSIO (mg/L Mg)	NITRATO (mg/L N)	NÍTRITO (mg/L N)	SÓDIO (mg/L Na)	SÓL. TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)	SULFATOS (mg/L SO ₄)	POTÁSSIO (mg/L K)	PH	TURBIDEZ (NT)	COIFORMES TOTAIS (CFU)	Escherichia coli (E. coli)
801	154,11	0,0	55,0	557,7	11,95	65,29	3,9	46,34	<0,1 (°)	4,14	0,83	<0,01 (°)	102,56	274,6	21,52	9,62	7,60	0,10	AUSENCIA	AUSENCIA
802	147,58	0,0	55,0	512,9	9,58	59,95	4,8	31,90	<0,1 (°)	2,05	1,07	<0,01 (°)	117,00	254,3	18,57	7,40	7,51	0,26	AUSENCIA	AUSENCIA
803	162,75	0,0	45,0	658,3	41,45	85,43	4,3	160,58	<0,1 (°)	14,33	1,79	<0,01 (°)	95,56	357,9	57,84	13,90	7,45	0,32	AUSENCIA	AUSENCIA
804	146,11	1,5	50,0	537,1	20,50	76,06	7,5	76,33	<0,1 (°)	6,33	1,23	<0,01 (°)	102,56	290,8	21,43	4,56	7,77	0,89	AUSENCIA	AUSENCIA
805	158,12	2,0	51,0	455,5	36,13	58,03	5,3	135,71	<0,1 (°)	11,45	1,92	<0,01 (°)	62,22	244,2	23,51	11,30	7,60	0,64	AUSENCIA	AUSENCIA
806	164,86	1,0	53,0	500,0	42,60	53,63	5,1	147,24	<0,1 (°)	10,40	2,12	<0,01 (°)	56,67	265,7	23,77	19,09	7,55	0,44	AUSENCIA	AUSENCIA
807	91,12	0,5	32,0	378,2	15,71	67,35	11,4	74,02	0,15	8,62	0,83	<0,01 (°)	54,22	203,4	3,16	6,78	7,75	1,85	AUSENCIA	AUSENCIA

2 DADOS DA AMOSTRA

Nº da Amostra	COLETA		DATA DE ENTRADA	TIPO DE AMOSTRA	PONTO DE COLETA/ENEREÇO DE COLETA	MANANCIAL	CIDADA DA COLETA
	DATA	HORA					
801	14/04/15	11:05	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT 26 - COSTA E SILVA	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
802	13/04/15	15:00	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT 27 - ALTO DA PELONHA	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
803	14/04/15	11:15	15/04/15	TRATADA	RESERVATÓRIO 1.1 - BOM JARDIM	SUBTERRÂNEO/SUPERFÍCIE	MOSSORÓ/RN
804	14/04/15	10:20	15/04/15	TRATADA	RESERVATÓRIO 1.2 - ALTO XEREM	SUBTERRÂNEO/SUPERFÍCIE	MOSSORÓ/RN
805	13/04/15	10:35	15/04/15	TRATADA	RESERVATÓRIO 2.1 - ABOLIÇÃO I	SUBTERRÂNEO/SUPERFÍCIE	MOSSORÓ/RN
806	13/04/15	10:55	15/04/15	TRATADA	RESERVATÓRIO 3 - NOVA BETÂNIA	SUBTERRÂNEO/SUPERFÍCIE	MOSSORÓ/RN
807	13/04/15	14:25	15/04/15	TRATADA	RESERVATÓRIO 4.1 - PLANALTO 13 DE MAIO	SUPERFÍCIE	MOSSORÓ/RN

RESPONSÁVEL PELA COLETA: JOSÉ LEONARDO O. PEREIRA (RMO)

(1) Padrão estabelecido ou recomendado pela Portaria 2914/2011 do M.S. para água potável; (2) Metodologias Analíticas de acordo com o Standard methods, 21ª ed. 2005; (3) Método do substrato cromogênico (Os resultados são expressos em NMP/100 mL para o método quantitativo); (4) Análise realizada no Laboratório da Regional (ND) limite não definido na legislação vigente; (5) Unidade de turbidez; (6) Menor do que o limite de detecção; (°) Análise realizada no local da coleta.

QUÍMICO:

CHEFE DA ULCA:

GERENTE DA GQM:

Luiz Belarmino Belarmino
Químico - DSc - CRQ 15-166-006

Edilson William de Figueiredo Nunes
Biólogo - CRBio 36-47305-D

José Afonso Aguiar de Araújo
Químico - GRQ 15-509636

Natal, 28 de abril de 2015.



PLANILHA DE MONITORAMENTO SEMESTRAL DA QUALIDADE DA ÁGUA
ANÁLISES FÍSICOS-QUÍMICAS (2) E MICROBIOLÓGICAS (2,3 e 4)

UNIDADE ADMINISTRATIVA: MESS/ANO
ULCA/GQM: ABRIL/2015

REQUISITANTE: GERÊNCIA DA QUALIDADE DO PRODUTO E DO MEIO AMBIENTE/REGIONAL MOSSORÓ

CIDADE ABASTECIDA: MOSSORÓ/RN

1. RESULTADOS

Nº da Amostra	ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	CLORO RESIDUAL LIVRE (mg/L Cl ₂)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE DE (µmS/cm)	DÁCIO (mg/L Ca ⁺⁺)	CLORITOS (mg/L Cl ₂)	COR APARENTE (PCU)	DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	FERRO TOTAL (mg/L Fe ⁺⁺)	MAGNÉSIO (mg/L Mg ⁺⁺)	NITRATO (mg/L N)	NÍTRITO (mg/L N)	SÓDIO (mg/L Na ⁺)	SÓL. TOTAIS DISSOLVÍVEIS (mg/L)	SULFATOS (mg/L SO ₄ ⁻²)	POTÁSSIO (mg/L K ⁺)	pH	TURBIDEZ (NT)	COLIFORMES TOTAIS (N ⁺)	Escherichia coli ⁽⁶⁾
PAURA ⁽¹⁾	ND	0,2 A 2,0	ND	ND	ND	250	15	500	0,3	ND	10,0	1,0	200	1000	250	ND	6,0 A 9,5	5	AUSENCIA/100 mL	AUSENCIA/100 mL
794	136,84		53,0	478,8	28,44	48,43	5,0	100,70	<0,1 ⁽²⁾	7,53	1,11	<0,01 ⁽²⁾	56,67	231,0	23,74	12,60	7,42	0,10	AUSENCIA	AUSENCIA
795	183,92		51,0	570,4	52,26	54,98	4,7	184,55	<0,1 ⁽²⁾	13,72	1,80	<0,01 ⁽²⁾	34,44	273,4	28,77	29,48	7,20	0,19	AUSENCIA	AUSENCIA
796	141,37		52,0	475,3	14,36	54,47	4,4	60,18	<0,1 ⁽²⁾	6,07	1,82	<0,01 ⁽²⁾	84,44	228,9	16,52	11,30	7,58	0,10	AUSENCIA	AUSENCIA
797	138,63		56,0	492,0	13,50	59,01	4,3	53,56	<0,1 ⁽²⁾	4,97	1,13	<0,01 ⁽²⁾	90,00	243,0	18,07	12,60	7,59	0,12	AUSENCIA	AUSENCIA
798	126,41		55,0	478,0	4,38	63,09	3,6	34,50	<0,1 ⁽²⁾	5,77	<0,1 ⁽²⁾	<0,01 ⁽²⁾	95,33	235,9	19,50	6,25	7,78	0,26	AUSENCIA	AUSENCIA
799	143,68		53,0	416,3	29,83	50,35	3,6	121,26	<0,1 ⁽²⁾	11,69	2,83	<0,01 ⁽²⁾	51,11	209,3	15,38	15,19	7,23	0,25	AUSENCIA	AUSENCIA
800	142,21		53,0	491,1	18,74	56,16	5,5	84,55	<0,1 ⁽²⁾	9,38	2,09	<0,01 ⁽²⁾	78,89	243,9	16,67	11,30	7,32	0,29	AUSENCIA	AUSENCIA

2. DADOS DA AMOSTRA

Nº da Amostra	COLETA		DATA DE ENTRADA	TIPO DE AMOSTRA	PONTO DE COLETA/ENEREÇO DE COLETA	MANANCIAL	CIDADA DA COLETA
	DATA	HORA					
794	13/04/15	09:10	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 18 - SANTO ANTÔNIO	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
795	13/04/15	09:40	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 19 - ABOLIÇÃO IV	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
796	14/04/15	10:45	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 20 - BELO HORIZONTE	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
797	13/04/15	13:40	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 21 - LIBERDADE	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
798	13/04/15	15:15	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 22 - COSTA E SILVA	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
799	13/04/15	13:15	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 23 - ASPETRO	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
800	13/04/15	13:55	15/04/15	BRUTA	SAÍDA DO POÇO PT. 24 - BOM JESUS	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN

RESPONSÁVEL PELA COLETA: JOSÉ LEONARDO O. PEREIRA (RMO)

(1) Padrão estabelecido ou recomendado pela Portaria 291/4/2011 do M.S. para água potável; (2) Metodologias Analíticas de acordo com o Standard methods, 21ª ed. 2005; (3) Método do substrato cromogênico (Os resultados são expressos em NMP/100 mL para o método quantitativo); (4) Análise realizada no Laboratório da Regional; (ND) Limite não definido na legislação vigente; (µ) Unidade de cor (mg Pt-Co/L); (U) Unidade de turbidez; (°) Menor de que o limite de detecção; (**) Análise realizada no local da coleta.

QUÍMICO:

Loilde Damasceno Belarmino
Química, DSC - CRQ 15-100/006

CHEFE DA ULCA:

Edson William de Figueiredo Nunes
Biólogo - CRBio 36.473/05-D

GERENTE DA GQM:

José Afonso Horta de Araújo
Químico - CRQ 15-200036
Natal, 28 de abril de 2015.



PLANILHA DE MONITORAMENTO SEMESTRAL DA QUALIDADE DA ÁGUA
 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS (2,3 e 4)
 UNIDADE ADMINISTRATIVA: ULÇA/GOM
 MÊS / ANO: ABRIL/2015

REQUISITANTE: GERÊNCIA DA QUALIDADE DO PRODUTO E DO MEIO AMBIENTE/REGIONAL MOSSORÓ
 CIDADE ABASTECIDA: MOSSORÓ/RN

Nº da Amostra	ALCALINIDADE (mg/L CaCO ₃)	CLORO RESIDUAL (mg/L Cl ₂)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µmS/cm)	CÁLCIO (mg/L Ca ⁺⁺)	CLORETOS (mg/L Cl ⁻)	COR APARENTE (u.c)	DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	FERRO TOTAL (mg/L Fe ⁺⁺⁺)	MAGNÊSIO (mg/L Mg ⁺⁺)	NITRATO (mg/L N)	NITRITO (mg/L N)	SÓCIO (mg/L Na ⁺)	SOL. TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)	SULFATOS (mg/L SO ₄ ⁻²)	POTÁSSIO (mg/L K ⁺)	pH	TURBIDEZ (u.t)	CONFORMES TOTAIS (u.t)	Escherichia coli ⁽⁶⁾
787	151,27	ND	53,0	540,5	20,13	62,43	4,6	75,73	<0,1 (1)	6,41	0,56	<0,01 (1)	80,89	247,2	29,18	9,62	7,43	0,31	AUSENCIA	AUSENCIA
788	167,91	ND	52,0	793,8	44,32	96,62	4,1	181,74	<0,1 (1)	17,76	2,04	<0,01 (1)	88,11	375,4	63,39	16,38	7,49	0,28	AUSENCIA	AUSENCIA
789	162,86	ND	54,0	520,9	43,38	53,02	4,1	134,40	<0,1 (1)	6,82	1,96	<0,01 (1)	62,22	246,8	22,95	20,39	7,74	0,36	AUSENCIA	AUSENCIA
790	150,32	ND	52,0	591,7	19,44	70,96	3,6	69,81	<0,1 (1)	5,38	1,27	<0,01 (1)	109,8	279,3	23,19	13,00	7,70	0,43	AUSENCIA	AUSENCIA
791	153,80	ND	52,0	500,1	36,09	53,53	3,9	121,96	<0,1 (1)	8,14	1,61	<0,01 (1)	56,67	241,0	23,16	16,49	7,36	0,42	AUSENCIA	AUSENCIA
792	158,54	ND	53,0	491,5	40,60	47,68	4,1	140,22	<0,1 (1)	9,89	1,93	<0,01 (1)	45,56	231,7	22,46	19,09	7,31	0,45	AUSENCIA	AUSENCIA
793	151,06	ND	53,0	553,2	33,60	57,84	4,5	124,67	<0,1 (1)	10,28	1,87	<0,01 (1)	62,22	265,3	25,32	16,49	7,31	0,10	AUSENCIA	AUSENCIA

RESPONSÁVEL PELA COLETA: JOSÉ LEONARDO O. PEREIRA (RMO)

Nº da Amostra	COLETA		TIPO DE AMOSTRA	PONTO DE COLETA/ENEREÇO DE COLETA	MANANCIAL	CIDADA DA COLETA
	DATA	HORA				
787	14/04/15	10:10	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 01 - CENTRO	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
788	13/04/15	08:30	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 02 - BOM JARDIM	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
789	13/04/15	10:50	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 06 - NOVA BETÂNIA	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
790	14/04/15	10:30	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 08 - ALTO XEREM	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
791	13/04/15	10:15	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 11 - ABOLIÇÃO I	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
792	13/04/15	08:55	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 14 - SANTO ANTONIO	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN
793	13/04/15	11:10	BRUTA	SAIDA DO POÇO PT 15 - NOVA BETÂNIA	SUBTERRÂNEO	MOSSORÓ/RN

(1) Padrão estabelecido ou recomendado pela Portaria 2914/2011 do M.S. para água potável; (2) Métodos Analíticos de acordo com o Standard Methods, 21ª ed. 2005; (3) Método do substrato cromogênico (Os resultados são expressos em NMP/100 mL para o método quantitativo); (4) Análise realizada no Laboratório da Regional; (ND) Limite não definido na legislação vigente; (u.c) Unidades de cor; (mg Pt/CoL) (u) Unidades de turbidez; (L) Menor do que o limite de detecção; (**) Análise realizada no local de coleta.

QUÍMICO: Loilde Domingues Belarmino
 Química, DSc. - CRQ 15.100.006
 CHEFE DA ULÇA: Ederson William de Figueiredo Nunes
 Biólogo - CRBio 36.47305-D
 GERENTE DA GOM: José Afonso da Almeida de Araújo
 Químico - CRQ 15.200036
 Natal, 28 de abril de 2015.

Unidade de Laboratório Central de Monitoramento da Água
 Av. Senador Salgado Filho, 1555 - Tirol - Natal/RN - CEP: 59015-000. Tel. 084 32325380