



Plano de Trabalho 173 – Apoio às Ações do Programa Água Doce.

Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.

Produto 4. Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela Coordenação Estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo **5 (cinco) sistemas**, inicialmente nos municípios de Apodi, Jardim do Seridó e Parelhas referente ao componente Sistemas de Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem recuperados ou implantados.

Esses municípios foram inicialmente indicados pela Coordenação estadual e estavam passando pela etapa de pré-diagnósticos, que, à exceção dos locais visitados no Município de Jardim do Seridó, posteriormente foram confirmados para receber a etapa de diagnósticos locais para terem a oportunidade de serem selecionados para a instalação de sistemas de dessalinização.

Desta forma, o município de Jardim do Seridó, em face de ter as suas comunidades não aprovadas para serem selecionadas pelo PAD/RN foi substituído por 2 (dois) locais nos Municípios de São José do Seridó – Caatinga Grande e Comunidade Badaruco e um 1 (um) local no município de Parazinho – Limão Limoeiro.

CARLOS ALBERTO MARTINS

NATAL, MAIO DE 2017

Identificação

Consultor (a) /Autor (a): Carlos Alberto Martins

Número do Contrato: 116182

Nome do Projeto

Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.

Oficial/Coordenadora Técnica Responsável: Romélia Moreira de Souza

Data: 30/05/2017 Local: Brasília

Classificação

Temas Prioritários do IICA

Agroenergia e Biocombustíveis		Sanidade Agropecuária	
Biotecnologia e Biossegurança		Tecnologia e Inovação	
Comércio e Agronegócio		Agroindústria Rural	
Desenvolvimento Rural		Recursos Naturais	X
Políticas e Comércio		Comunicação e Gestão do Conhecimento	
Agricultura Orgânica		Outros:	
Modernização Institucional			

Palavras-Chave:

Hidrogeologia, poços, sistemas de dessalinização

Resumo

Título do Produto:

Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações, dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela coordenação estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo 5 (cinco) sistemas nos municípios de Apodi, Parelhas, São José do Seridó e Parazinho referente ao componente Sistemas de Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem recuperados ou implantados.

Subtítulo do Produto:

Análise da documentação hidrogeológica disponível em escala municipal e local nas áreas rurais selecionadas pelo Programa Água Doce/RN, relacionadas ao componente Sistema de Dessalinização, para o melhor aproveitamento da água subterrânea na instalação do sistema de dessalinização.

Resumo do Produto:

Conhecimento hidrogeológico, com relação às características hidráulicas e hidroquímicas do poço tubular em comunidades selecionadas pelo Programa Água

Doce/RN, adequando-o, pelos cálculos da sua capacidade quantitativa e qualitativa, aos objetivos da demanda ditada pelos usos múltiplos adotados pela população local.

Qual Objetivo Primário do Produto?

Apoiar as ações do Programa Água Doce referente ao desenvolvimento e aplicação prática dos conhecimentos hidrogeológicos na implantação/recuperação de sistemas de dessalinização.

Que Problemas o Produto deve Resolver?

A correta aplicação do conhecimento geológico, hidrogeológico e hidroquímico, em escala municipal e local, da água subterrânea captada por poço tubular para o seu adequado aproveitamento na aplicação dos usos múltiplos, incluído processo de dessalinização, fornecendo aos usuários, técnicos e consultores a base técnica requerida para tal fim.

Como se Logrou Resolver os Problemas e Atingir os Objetivos?

Através da consulta bibliográfica especializada e experiência profissional do consultor, sobretudo na aplicação hidrogeológica prática de campo para o abastecimento por água subterrânea na área rural.

Quais Resultados mais Relevantes?

Aplicação prática dos conhecimentos técnicos da área da hidrogeologia em relação ao aproveitamento adequado da água subterrânea no dimensionamento dos

sistemas de dessalinização a serem implantados, considerados os usos múltiplos historicamente adquiridos pela população carente.

O Que se Deve Fazer com o Produto para Potencializar o seu Uso?

Disponibilizar o produto através da divulgação via internet, análise e a discussão no ambiente técnico do Programa Água Doce com consultores, técnicos e usuários.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 5.1 -	Mapa Geológico de Apodí – com Poços Tubulares	18
FIGURA 5.2 -	Mapa da Área do Assentamento Moacir Lucena	21
FIGURA 5.3 -	Assentamento Moacir Lucena – Perfil Geológico e Construtivo do Poço	25
FIGURA 5.4 -	Assentamento Moacir Lucena - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1963)	33
FIGURA 5.5 -	Assentamento Moacir Lucena - Diagrama Circular – Balanço Iônico, (Logan, 1965)	33
FIGURA 5.6 -	Assentamento Moacir Lucena – Diagrama Triangular de Piper	34
FIGURA 5.7 -	Assentamento Moacir Lucena – Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	34
FIGURA 6.1 -	Mapa Geológico de Parelhas com Poços Tubulares	36
FIGURA 6.2 -	Mapa da Área da Comunidade Várzea do Barro	38
FIGURA 6.3 -	Várzea do Barro - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	46
FIGURA 6.4 -	Várzea do Barro - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)	46
FIGURA 6.5 -	Várzea do Barro - Diagrama de Piper	47
FIGURA 6.6 -	Várzea do Barro - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	47
FIGURA 7.1 -	Mapa Geológico de São José do Seridó e Poços Tubulares	49
FIGURA 7.2 -	Mapa da Área de Caatinga Grande – S. J. do Seridó/RN	51
FIGURA 7.3 -	Assentamento Caatinga Grande – Diagrama Circular – Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	59
FIGURA 7.4 -	Assentamento Caatinga Grande - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)	59
FIGURA 7.5 -	Assentamento Caatinga Grande I – Diagrama Circular – Balanço Iônico (Logan, 1965)	60

FIGURA 7.6 -	Assentamento Caatinga Grande - Diagrama USSSL (United States Salinity Laboratory)	60
.....		
FIGURA 7.7 -	Mapa da Área da Comunidade Badaruco	61
FIGURA 7.8 -	Comunidade Badaruco - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	69
FIGURA 7.9 -	Comunidade Badaruco - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)	69
.....		
FIGURA 7.10 -	Comunidade Badaruco - Diagrama Triangular de Piper ..	70
FIGURA 7.11 -	Comunidade Badaruco - Diagrama USSSL (United States Salinity Laboratory)	70
.....		
FIGURA 8.1 -	Mapa Geológico de Parazinho e Poços Tubulares	72
FIGURA 8.2 -	Mapa da Área da Comunidade Limão Limoeiro	74
FIGURA 8.3 -	Limão Limoeiro - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	82
FIGURA 8.4 -	Limão Limoeiro - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)	82
FIGURA 8.5 -	Limão Limoeiro - Diagrama de Piper	83
FIGURA 8.6 -	Limão Limoeiro - Diagrama USSSL (United States Salinity Laboratory)	83
.....		

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – Assentamento Moacir Lucena – Características gerais do poço	24
TABELA 5.2 – Assentamento Moacir Lucena – teste de bombeamento ..	26
TABELA 5.3 - Assentamento Moacir Lucena – Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	30
TABELA 5.4 – Assentamento Moacir Lucena – Análise físico-química da água do poço	32
TABELA 6.1 – Várzea do Barro – Teste de Bombeamento	40
TABELA 6.2 – Várzea do Barro – Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	42
TABELA 6.3 – Várzea do Barro – Análise físico-química da água do poço.	45
TABELA 7.1 – Assentamento Caatinga Grande – Teste de Bombeamento	53
TABELA 7.2 – Assentamento Caatinga Grande – Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	56
TABELA 7.3 – Assentamento Caatinga Grande – Análise físico-química da água do poço	58
TABELA 7.4 – Comunidade Badaruco – Teste de Bombeamento	63
TABELA 7.5 – Comunidade Badaruco – Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	66
TABELA 7.6 – Comunidade Badaruco – Análise físico-química da água do poço	68
TABELA 8.1 – Limão/Limoeiro – Teste de Bombeamento	76
TABELA 8.2 – Limão/Limoeiro – Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	79
TAELA 8.3 – Limão/Limoeiro – Análise físico-química da água do poço	81

LISTAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1 – Assentamento Moacir Lucena - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	28
GRÁFICO 5.2 – Curva rebaixamento Δs (m) x Tempo T (m)	29
GRÁFICO 6.1 – Várzea do Barro – Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	41
GRÁFICO 7.1 – Assentamento Caatinga Grande – Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	54
GRÁFICO 7.2 – Assentamento Caatinga Grande – Curva final de recuperação de nível	54
GRÁFICO 7.3 – Comunidade Badaruco - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	64
GRÁFICO 8.1 – Limão/Limoeiro - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	76

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
3.	OBJETIVO	15
4.	METODOLOGIA	16
5.	MUNICÍPIO DE APODI	17
5.1	Caracterização Geográfica	17
5.2	Fisiografia	17
5.3	Geologia	17
5.4	Hidrogeologia	19
5.4.1	Cadastro de Poços	19
5.4.2	Comunidade Assentamento Moacir Lucena	20
5.4.2.1	O Poço Tubular	21
5.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	22
5.4.2.2.1	Vazão Máxima de Exploração – Qme/Vazão Recomendada	22
5.4.2.2.2	Vazão Recomendada	23
5.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	30
5.4.2.3	Hidroquímica	31
6.	MUNICÍPIO DE PARELHAS	35
6.1	Caracterização Geográfica	35
6.2	Fisiografia	35
6.3	Geologia	35
6.4	Hidrogeologia	36
6.4.1	Cadastro de Poços	37
6.4.2.	Comunidade Várzea Barro	37
6.4.2.1	O Poço Tubular	38
6.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	39
6.4.2.2.1	Vazão Máxima de exploração (Qme)	41
6.4.2.2.2	Vazão Recomendada do Poço (Qr)	42
6.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	43
6.4.2.3	Hidroquímica	44

7.	MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO SERIDÓ	48
7.1	Caracterização Geográfica	48
7.2	Fisiografia	48
7.3	Geologia	48
7.4	Hidrogeologia	49
7.4.1	Cadastro de Poços	50
7.4.2	Comunidade Assentamento Caatinga Grande	50
7.4.2.1	O Poço Tubular	52
7.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	52
7.4.2.2.1	Cálculo da Vazão Máxima de exploração (Qme)	55
7.4.2.2.2	Cálculo da Vazão Recomendada (Qr)	55
7.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	56
7.4.2.3	Hidroquímica	57
7.4.3	Comunidade Badaruco	61
7.4.3.1	O Poço Tubular	61
7.4.3.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	62
7.4.3.2.1	Vazão Máxima de Exploração Qme	64
7.4.3.2.2	Vazão Recomendada do Poço (Qr)	65
7.4.3.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	66
7.4.3.3	Hidroquímica	67
8.	MUNICÍPIO DE PARAZINHO	71
8.1	Caracterização Geográfica	71
8.2	Fisiografia	71
8.3	Geologia	71
8.4	Hidrogeologia	72
8.5	Cadastro de Poços	73
8.5.1	Comunidade Limão/Limoeiro	73
8.5.1.1	O Poço Tubular	74
8.5.1.2	Interpretação do teste de bombeamento	75
8.5.1.2.1	Vazão Máxima de Exploração - Qme	77
8.5.1.2.2	Vazão Recomendada do Poço (Qr)	78
8.5.1.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	79
8.5.2.1	Hidroquímica	80

9.	CONCLUSÕES	88
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água às populações carentes, principalmente no Nordeste do País, historicamente tem sido assunto prioritário de pauta para todos os dirigentes governamentais seja na escala municipal, estadual ou federal. As condições climáticas adversas, com cíclicos períodos de escassez pluviométrica tem levado o poder público à realização de inúmeras obras sejam elas de armazenamento, como os açudes ou a perfuração e instalação de poços no intuito de fornecer água, tanto às sedes municipais como à população difusa representada por uma quantidade grande de comunidades rurais espalhadas por todo o território do semiárido brasileiro.

De uma forma caracterizadamente obreira, tiveram prioridade a construção dos grandes açudes, a exemplo do Armando Ribeiro Gonçalves no Rio Grande do Norte, e os programas de construção de poços sob a regência da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) que acelerava a atividade de exploração da água subterrânea, desenvolvida desde o final do século 19 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), mais recentemente a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e economias mista estaduais como a Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte (CDM/RN), a Companhia Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba (CDRM/PB) e a Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), que, com o desenvolvimento do mercado de poços fora perdendo terreno para as atuais empresas particulares.

O século 20 para o Nordeste pode ser caracterizado pelo agravamento das condições de qualidade de vida resultante do intenso desmatamento combinado com a posterior lixiviação dos sais do solo através de chuvas, resultando na gradual salinização dos rios e riachos com consequências danosas ao meio ambiente, contribuindo substancialmente para o processo de desertificação antrópica de grandes áreas do semiárido. É fato incontestável a salinização das aluviões de rios que anteriormente armazenavam águas pluviais e serviam de fonte fornecimento de água de boa qualidade às populações, através da construção e captação por cacimbas e poços amazonas.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A partir do final da última década do século passado, com a evolução dos questionamentos técnicos e gerenciais para o enfrentamento da seca, agora não mais com a visão da construção pura e simples de obras hídricas, passa-se a considerar que as obras estão subordinadas à gestão dos recursos hídricos e que atualmente são resultantes de um conhecimento da realidade regional envolvendo os aspectos técnicos e sociais locais assim como o estabelecimento da aplicação de políticas públicas que viabilizam o acesso das populações historicamente desassistidas, à água de boa qualidade.

O Programa Água Doce, formulado em 2003, posto em ação em 2004, é uma das consequências benéficas, em termos gerenciais, dessa visão de aplicação de políticas públicas, cujos passos se iniciam em diagnósticos técnicos e sociais das comunidades carentes, passando pela recuperação ou implantação e chegando à manutenção e monitoramento de sistemas de dessalinização, como forma, em termos regionais, de diminuir os impactos da desertificação, respeitando o meio ambiente e respeitando, sobretudo, o direito a que esta população tem de se desenvolver com qualidade de vida a partir do insumo básico da vida que é a água de boa qualidade físico-química e bacteriológica.

3. OBJETIVO

Dentre os produtos referidos no Termo de Referência, parte integrante do Contrato de Prestação de Serviços de Consultoria n.º 116182, o Produto 3 tem como objetivo a elaboração de Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações, dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela coordenação estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo **5 (cinco) sistemas**, nos municípios de Apodi, Parelhas, São José do Seridó e Parazinho no Estado do Rio Grande do Norte, referente ao componente Sistemas de

Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem recuperados ou implantados.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração do presente produto teve como premissa a ideia básica o levantamento bibliográfico geológico e hidrogeológico em escala municipal, considerando que esta é a escala institucional do poder público, na prática, responsável pelo gerenciamento e administração da infraestrutura de fornecimento de água às comunidades rurais.

Desta forma, para os municípios escolhidos pela Coordenação Estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, ou seja, Apodi, Parelhas, São José do Seridó e Parazinho, foram levantados dados geográficos, fisiográficos, geológicos e hidrogeológicos

Os dados geográficos foram obtidos a partir das imagens atualizada do IBGE e Google Earth. Os dados da fisiografia e da geologia foram obtidos basicamente dos diagnósticos municipais elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Os dados de hidrogeologia foram obtidos tanto nos diagnósticos da CPRM como do Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH).

Com relação aos poços das comunidades selecionadas para a composição deste produto, foram levantados os dados sociais de população e usos da água, dos diagnósticos contratados pelo PAD/RN e averiguados pessoalmente pelo autor em viagens técnicas de campo, principalmente no que se refere aos dados de posicionamento geográfico dos poços e respectivos dados hidráulicos de níveis e qualidade da água pela condutividade elétrica apresentada pela água subterrânea.

De posse desse levantamento, para cada ponto selecionado foi analisada a qualidade da água por laudos laboratoriais (Programa Qualigraf) e realizado cálculos referentes à capacidade de cada poço através da interpretação dos testes de bombeamento realizado por empresa contratada pelo PAD/RN realizados pela equipe técnica da SEMARH.

Os cálculos da vazão recomendada levaram em conta os usos múltiplos considerados o consumo de água de beber e de gasto da população, água para escola, posto de saúde e água para o consumo animal.

5. MUNICÍPIO DE APODI

5.1- Caracterização Geográfica

O Município de Apodi, no IBGE sob o nº 2401008, com uma área de 1.549 km², está localizado no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mais precisamente na Mesorregião Oeste Potiguar, Microrregião Chapada do Apodi, inserido nas Folhas de Apodi (SB.24-X-C-VI), Iracema (SB.24-X-C-V) Quixeré (SB.24-X-C-III), da SUDENE na escala de 1:100.000, está limitado pelos municípios de Governador Dix Sept Rosado, Filipe Guerra, Umarizal, Itaú, Severiano Melo, Caraúbas e o Estado do Ceará.

5.2 - Fisiografia

Apodi tem um clima muito quente e semiárido com período chuvoso atrasando para o outono, com pluviometria média de 833,5 mm. A temperatura média anual é de 28,1°C e a humidade relativa média anual oscila no entorno de 68%, com 2400 horas anuais de insolação. Está inserido no Polígono das Secas. Topograficamente o município apresenta relevo com altitudes médias em torno de 67 metros.

5.3 - Geologia

O Município de Apodi se caracteriza, da base para o topo, pela ocorrência da sequência geológica do cristalino (Figura 5.1) que se inicia temporalmente no Paleoproterozóico (2.250 milhões de anos) do Complexo Jaguaretama - PP2j - constituído de ortognaisses granodioríticos a graníticos, migmatizados, com restos de metassedimentos, da Suite Poço da Cruz – PP3γpc - (1.934 milhões de anos) constituída de biotita augen gnaisses graníticos, da Formação Jucurutu – NP3sju - (628 milhões de anos) constituída predominantemente de biotita gnaisses e biotita-anfibólio gnaisses, da Suite Intrusiva Itaporanga - NP3γ2it - (580 a 555 milhões de anos) constituída de horblenda e/ou biotita monzogranitos granodioritos e quartzito

monzonítico e da Suite Intrusiva Umarizal – NP3 γ 4u – (entre 450 e 555 milhões de anos) constituída de fayallita-ferro hiperstênio sienogranitos e sienitos.

A sequência sedimentar se inicia com a Formação Pendências – K1pn – (entre 145 e 96 milhões de anos), passando a Formação Açú – K12a – (96,6 milhões de anos) constituída de arenitos, folhelho e argilito. Em sequência estão os calcários, calcarenitos, calcilutitos e folhelhos da Formação Jandaíra - K2j – (entre 96,6 e 65,5 milhões de anos), depósitos colúvio-eluviais - N23c – (menos de 23 milhões de anos) constituídos de cascalhos, areias e argilas e depósitos aluvionares recentes - N4a - (areias, cascalhos e argilas) do rio Piranhas Açú.

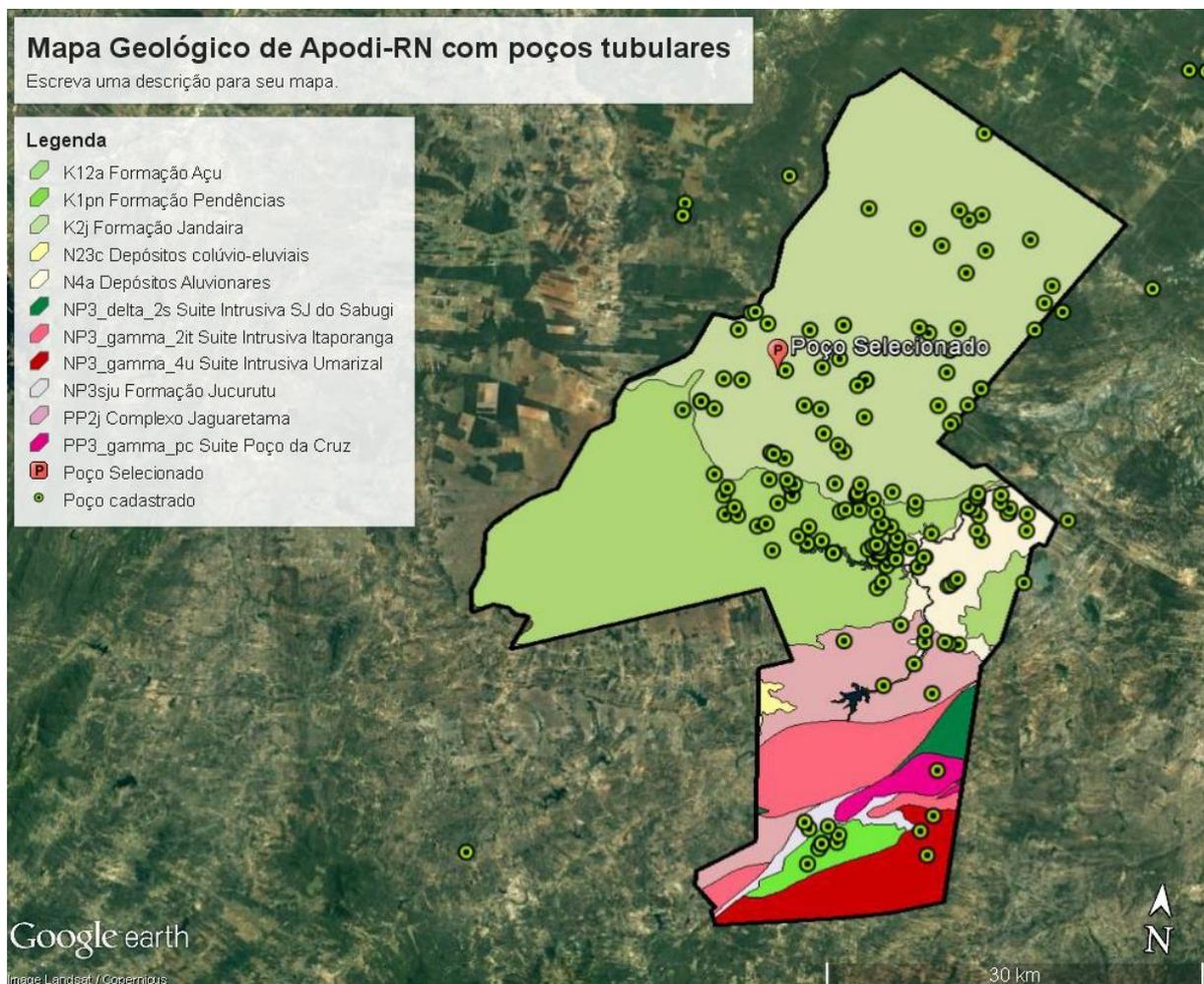


Figura 5.1 – Mapa Geológico de Apodi/RN – com Poços tubulares

5.4 - Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrogeológico, o Município de Apodi ao longo de sua superfície geográfica possui todos os tipos de aquíferos, ou seja:

- a) Fissural dos terrenos cristalinos, localizado na sua parte sul, com poços com profundidades variando entre 43 e 63 metros, caracterizadamente de vazões baixas (média de 1,5 m³/h e qualidade físico-química salobra e salina. Neste universo predominam salinidades inadequadas ao consumo humano, mas se prestam ao consumo animal até o limite de 10.000 mg/L e à irrigação de conformidade com o tipo de solo e cultivo que se quer explorar.
- b) Poroso dos terrenos sedimentares das formações Açú e Depósitos colúvio-eluviais e aluvionares, com poços de 40 a 122 metros de profundidades, com vazões de teste que chegam a ultrapassar 10 m³/h e, em geral, água de boa qualidade físico-química que produzem água para o consumo humano e para outras finalidades (consumo animal, indústria, irrigação).
- c) Cavernoso dos terrenos sedimentares da Formação Jandaíra com vazões variadas (de baixas a altas vazões) e qualidade geralmente salobra que se presta ao consumo animal e podem ser utilizadas na irrigação, de conformidade com as características de drenagem local e/ou tipo de cultivo a ser aplicado.

5.4.1 Cadastro de Poços

O município de Apodi, segundo o Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH) tem 225 poços dos quais 177 com coordenadas, Desse universo, 16 poços foi construído sobre terrenos cristalinos, 110 captam as águas nos arenitos da Formação Açú e Depósitos Aluvionares que o recobrem e aproximadamente 50 poços se situam sobre os terrenos calcários da Formação Jandaíra.

Da análise dos poços cadastrados pela SEMARH nas comunidades do Município de Apodi foi escolhida a comunidade denominada Assentamento Moacir Lucena para o detalhamento da hidrogeologia e o dimensionamento do equipamento de captação do respectivo poço que fornece água subterrânea.

Essa seleção teve como parâmetros a análise físico-química da água bruta coletada no poço e do teste de bombeamento para o cálculo da produção diária de água de beber, para o consumo animal e outros usos utilizados na comunidade.

5.4.2 - Comunidade Assentamento Moacir Lucena

O Assentamento Moacir Lucena, com aproximadamente 40 famílias, com energia elétrica trifásica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo queimado e enterrado. Essa comunidade não dispõe de posto de saúde. Possui a Escola isolada Sítio Planalto para alunos da 1ª a 4ª Série.



FIGURA 5.2 – Mapa da Área do Assentamento Moacir Lucena

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado por caminhões pipa do Exército sete vezes por mês em volumes de 12.000 litros por entrega. O fornecimento de água para a dessedentação animal e para gasto é

realizado através de rede de distribuição que vem do poço tubular da localidade que produz água de má qualidade físico-química.

5.4.2.1 - O Poço tubular

Poço tubular que abastece o Assentamento Moacir Lucena faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas do aquífero Açú, entre 65 e 121 metros de profundidade e tem como características;

- a) Geográficas – Coordenadas geográficas de latitude 5°32'38,52"S e longitude 37°52'59,54"W.
- b) Construtivas – O poço tem 121 metros de profundidade, revestido com tubulação de PVC com diâmetro de 6 polegadas e filtro geomecânico entre as profundidades de 65,00 a 81,00 m (16 metros), 85,00 a 101,00 m (16 metros) e 105,00 a 121 m (16 metros).
- c) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação no aquífero Açú. O nível estático é de 59,00 m, nível dinâmico de 60,00 m e rebaixamento de 1,00 m para uma vazão de 10,0 m³/h obtido no tempo de 24 horas de bombeamento.
- d) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 1.224,00 mg/L. (Tabela 5.3)

5.4.2.2 - Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 22/10/2016 – Tabela 5.1 - no poço da comunidade do Assentamento Moacir Lucena foi executado durante 24 horas e foi utilizado sistema *air-lift* (compressor).

Do ponto de vista hidráulico o teste de bombeamento mostra rebaixamento pequeno (1,00 m) do nível piezométrico para o tempo de 24 horas de bombeamento à vazão constante.

A Tabela 5.2 e o Gráfico 5.1 com dados da vazão específica versus tempo de bombeamento mostram uma variação também muito pequena de uma vazão específica alta que, após 12 horas, praticamente estabilizou em $q = 10,00 \text{ m}^3/\text{h/m}$,

5.4.2.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Qme/Vazão Recomendada

O conhecimento do tipo, abertura e posição dos filtros do poço recomenda que, nesses casos, no meio poroso, deve-se tomar a Vazão Máxima de Exploração como a Vazão Recomendada que é a menor vazão entre aquela que é produzida, considerando a permeabilidade do aquífero, ou seja, a vazão permissível do poço e aquela produzida pelas perdas de carga no poço, cujo rebaixamento não ultrapasse à profundidade do topo da primeira secção filtrante do poço, denominada vazão possível, considerando ainda a demanda de água da comunidade, ou seja, mantendo um bombeamento condizente com as necessidades mais prementes da população.

5.4.2.2.2 - Vazão Recomendada

O poço tubular que abastece o Assentamento Moacir Lucena está situado sobre terrenos de Calcário Jandaira, captando, no entanto, água do Arenito Açú a partir da profundidade de 65 metros, ou seja, todo perfil situado no calcário está seco e a água tem origem entre 65 e 121 metros do pacote poroso do aquífero Açú.

O perfil construtivo do poço mostra que foram colocados 48 metros de filtro geomecânico de 6 polegadas que tem 8% de área aberta para a passagem da água do aquífero ao poço.

Com o nível estático a uma profundidade de 59 metros e a camada de arenito iniciando-se aos 65 metros, poderia ser provável que o aquífero pudesse apresentar um comportamento de confinamento. O teste mostra que essa hipótese não tem base, considerando que o nível dinâmico passa a ser constante após 89 minutos, entrando em equilíbrio hidráulico.

Neste caso especificamente deve atentar para que se calcule a vazão recomendada de exploração do poço a partir da determinação da vazão permissível, considerando a permeabilidade do meio, ou seja, a raiz quadrada da permeabilidade do poço, e a vazão possível que é calculada considerando o rebaixamento máximo de 1 metro acima do topo da primeira secção filtrante, que neste poço está a profundidade de 65 metros.

Pelo Gráfico 5.2 – Curva Rebaixamento (s) x tempo (t) a linha de tendência resulta na fórmula $y = 0,2488.Ln(x) - 0,0842$ com o índice de correlação $R^2=0,9805$ e, para um ciclo logarítmico (10 e 100), chega-se a um rebaixamento $\Delta s=0,5731$.

Pela Fórmula T (transmissividade) = $0,183 \times Q$ (vazão constante de teste)

/ Δs se tem:

$$T = (0,183 \times 10 \text{ m}^3/\text{h}) / 0,5731 \text{ m} = 3,1932 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$T = K \text{ (permeabilidade)} \times b \text{ (espessura do aquífero)}$$

$$b = 57 \text{ m}$$

$$K = T/b = 3,1932 \text{ m}^2/\text{h} / 57 \text{ m} = 0,0560 \text{ m/h} = 1,55 \times 10\text{E-}5 \text{ m/seg}$$

$$K = 1,55 \times 10\text{E-}5 \text{ m/seg}$$

$$\sqrt{K} = 0,0039 \text{ m/seg}$$

Pela Formula da Vazão Permissível

$$Q = \eta \cdot d(\text{m}) \cdot n_c \cdot a_b(\text{m}) \cdot h_s(\text{m}) \cdot \sqrt{K} \cdot (3.600(\text{seg})) =$$

$$\eta = 3,14$$

$$d = \text{diâmetro do filtro} = 6 \text{ polegadas}$$

$$n_c = \text{obstrução do filtro pelo pré-filtro} = 50\% = 0,5$$

$$h_s = \text{comprimento total da secção filtrante} = 48\text{m}$$

$$K = \text{permeabilidade do meio} = 1,55 \times 10\text{E-}5$$

$$Q = 3,14 \times 6 \text{ pol} \times 0,0254 \text{ m/pol} \times 0,5 \times 0,08 \times 48 \text{ m} \times 0,003 \text{ m/seg} \times 3.600 \text{ seg}$$

Vazão Máxima permissível = Q_{mpe}

$$Q_{mpe} = 12,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão máxima possível = Q_{mpo}

$$Q_{mpo} = \text{RMD} \times q$$

$$\text{RMD} = \text{Rebaixamento máximo disponível} = 64 \text{ m} - 59 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

$$Q = \text{vazão específica} = 10 \text{ m}^3/\text{h/m}$$

Vazão Máxima Possível Q_{mpo}

$$Q_{mpo} = 5 \text{ m} \times 10 \text{ m}^3/\text{h/m} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

A Vazão Recomendada para o poço deve ser a menor, ou seja,

$$Q_{rec} = 12,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabela 5.1 – Assentamento Moacir Lucena – Características gerais do poço

 GEOPETRO PERFURAÇÕES						CARACTERÍSTICAS GERAIS DO POÇO		CÓDIGO DO POÇO: SML 01		
MUNICÍPIO	DISTRITO	LOCAL	ENERGIA:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	INÍCIO	CONCLUSÃO			
APODI - RN	ZONA RURAL	SÍTIO MOACIR LUCENA	TIPO: TRIF.	DIST: 50 M		21.10.2016	22.10.2016			
DADOS TÉCNICOS										
BASE CARTOGRÁFICA SUDENE		ALTITUDE	COORDENADAS X: 37°52'59,54 W Y: 5°32'38,52" S				ESCALA 1 : 100.000			
MÉTODO LOCAÇÃO LIVRE ESCOLHA DO PROPRIETÁRIO		AEROFOTO	RESPONSÁVEL PELA LOCAÇÃO O PROPRIETÁRIO		CREA.	REGIÃO				
BACIA HIDROGRÁFICA RIO APODI			SUB-BACIA		USO PREVISTO AGRICULTURA					
AQUIFEROS ARENITO ASSÚ				TIPO:	TOPO:	BASE:				
DADOS CONSTRUTIVOS										
EXECUTOR: GEOPETRO PERFURAÇÃO			TIPO DE SONDA: ROTOPNEUMÁTICA		PROPRIETÁRIO: PREFEITURA MUNICIPAL DE APODI					
RESPONSÁVEL PELA CONSTRUÇÃO: GEOL. FRANCISCO DE ASSIS BARRETO			CREA: 060334943-9		REGIÃO: 9ª					
PERFURAÇÃO					REVESTIMENTO: TUBO GEOMECÂNICO					
Ø (Pol.)	INTERVALO (m)	MÉTODO DE PERFURAÇÃO			Ø (Pol.)	INTERVALO (m)	EXTENSÃO (m)			
12 1/4	0,00 - 121,00	ROTOPNEUMÁTICO			6	0,00 - 65,00	65,00			
						81,00 - 85,00	4,00			
						101,00 - 105,00	4,00			
FILTROS FILTRO GEOMECÂNICO					ZONAS FENDILHADAS (CALCÁRIO)					
Ø (Pol.)	INTERVALO (m)	EXTENSÃO (m)	ABERTURA (mm)	INTERVALO (m)	EXTENSÃO (m)					
6	65,00 - 81,00	16,00								
6	85,00 - 101,00	16,00								
6	105,00 - 121,00	16,00								
					PROFUNDIDADE FINAL DO POÇO: 121,00 m					
PRÉ-FILTRO: CASCALHO FLUVIAL SELECIONADO			DESENVOLVIMENTO:			CIMENTAÇÃO:				
GRANULOMETRIA	VOLUME (m³)	MÉTODO		DURAÇÃO	INTERVALO (m)	VOLUME (m³)				
1,5 mm - 3,00 mm	5,0	AIR LIFT		24 HORAS						
TESTE DE PRODUÇÃO										
DATA	CRIVO BOMBA (m)	DURAÇÃO (hora)	VAZÃO (m³/h)	Q ESPECÍFICA (m³/h/m)	REB (m)	N.E. (m)	N.D. (m)			
24.10.2016	82,00	24,00	10,00	10,00	1,00	59,00	60,00			
PERFILAGEM: SIM () NÃO (X)		ANÁLISE QUÍMICA: SIM () NÃO (X)		SITUAÇÃO DO POÇO CONCLUÍDO						
INSTALAÇÃO										
RESPONSÁVEL PELA INSTALAÇÃO				MOTOR		MARCA	MODELO	POTÊNCIA		
						LEÃO		5,5 CV		
FONTE ENERGÉTICA ENERGIA TRIFÁSICA:				BOMBA						
TIPO:	MARCA:	MODELO:	DIÂM. NOMINAL	PROFUNDIDADE CRIVO	DIÂM. DESCARGA					
SUBMERSA	LEÃO	4SD-18	4"		2"					
OBSERVAÇÕES										

Figura 5.3 – Assentamento Moacir Lucena – Perfil Geológico e Construtivo do Poço

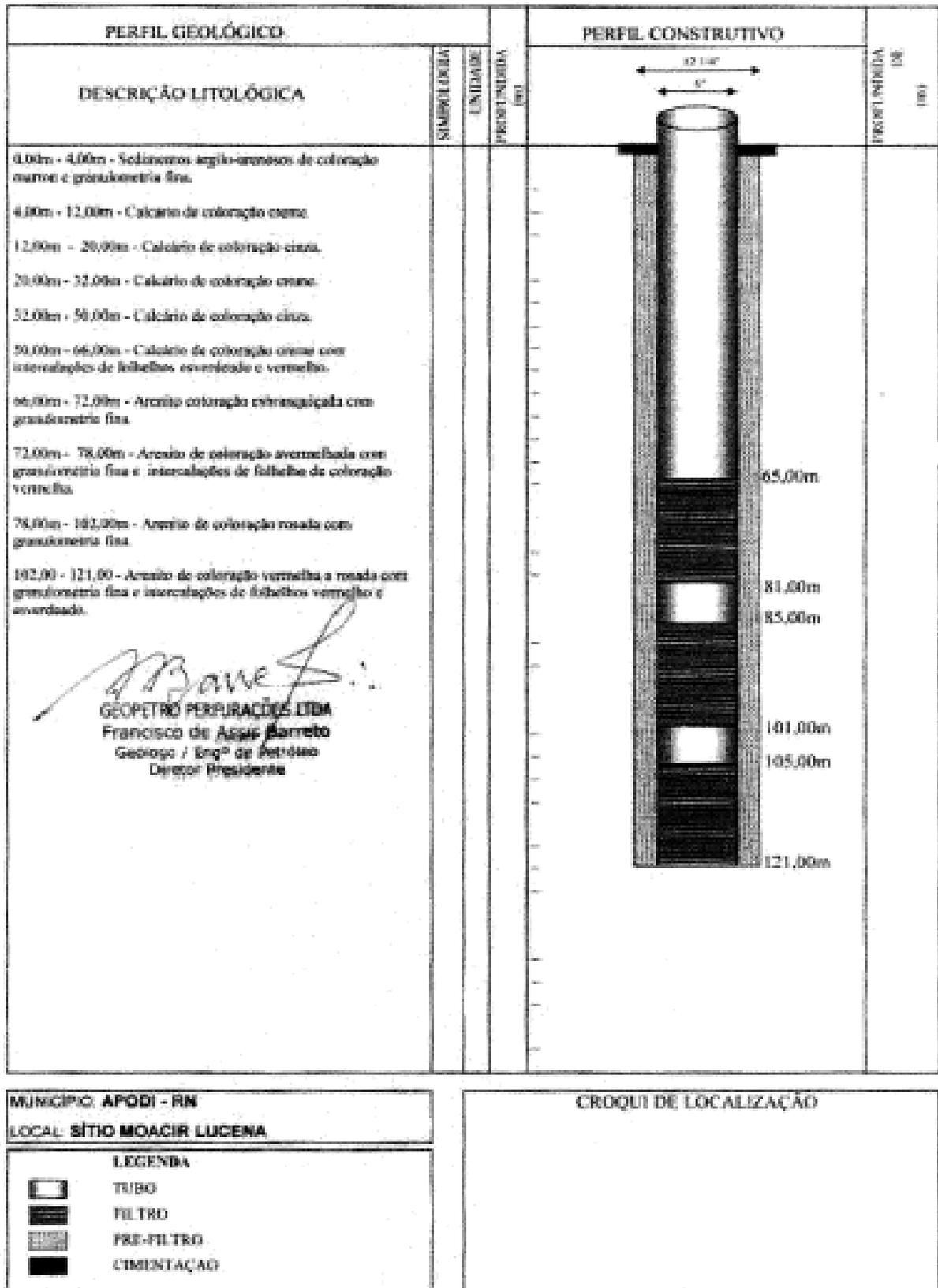


Tabela 5.2 – Assentamento Moacir Lucena – teste de bombeamento

MUNICÍPIO : APODI/RN			COORD UTM: LONG 623.701,55 m / LAT 9.387.082,08 m						
LOCAL : Assentamento Moacir Lucena			ZONA: 24						
CÓDIGO PAD:			COORD GEOG. 37°52'59,54" LONG W / 05°32'38,52 LAT S						
AQÜÍFERO: Poroso									
PROF. (m)	121,00	m	DATA: 24 DE OUTUBRO 2016			TB (min)=	1.140,00		
NE (m)	59,00		ND (m)	60,00		Q (m³/h)	10,00		
BOMBEAMENTO						RECUPERAÇÃO			
Hora	Tempo	ND	S	Q	q = Q/S	Tempo	ND'	S'	(TB/t')+1
(h)	(min)	(m)	(m)	(m³/h)	(m³/h)/m	(min)	(m)	(m)	(min)
	1	59,200	0,200	10,00	50,000	1	59,65	0,650	1.141,00
	2	59,230	0,230	10,00	43,478	2	59,46	0,460	571,00
	3	59,270	0,270	10,00	37,037	3	59,37	0,370	381,00
	4	59,300	0,300	10,00	33,333	4	59,25	0,250	286,00
	5	59,320	0,320	10,00	31,250	5	59,18	0,180	229,00
	6	59,370	0,370	10,00	27,027	6	59,14	0,140	191,00
	8	59,430	0,430	10,00	23,256	8	59,11	0,110	143,50
	10	59,480	0,480	10,00	20,833	10	59,06	0,060	115,00
	12	59,520	0,520	10,00	19,231	12	59,04	0,040	96,00
	15	59,570	0,570	10,00	17,544	15	59,02	0,020	77,00
	20	59,650	0,650	10,00	15,385	20	59,01	0,010	58,00
	25	59,720	0,720	10,00	13,889	25	59,01	0,010	46,60
	30	59,800	0,800	10,00	12,500	30	59,00	-	39,00
	40	59,860	0,860	10,00	11,628				
	50	59,920	0,920	10,00	10,870				
1	60	59,950	0,950	10,00	10,526				
	70	59,980	0,980	10,00	10,204				
	80	60,000	1,000	10,00	10,000				
	100	60,000	1,000	10,00	10,000				
2	120	60,000	1,000	10,00	10,000				
	150	60,000	1,000	10,00	10,000				
3	180	60,000	1,000	10,00	10,000				
4	240	60,000	1,000	10,00	10,000				
5	300	60,000	1,000	10,00	10,000				
6	360	60,000	1,000	10,00	10,000				
7	420	60,000	1,000	10,00	10,000				
8	480	60,000	1,000	10,00	10,000				
9	540	60,000	1,000	10,00	10,000				
10	600	60,000	1,000	10,00	10,000				
11	660	60,000	1,000	10,00	10,000				
12	720	60,000	1,000	10,00	10,000				
13	780	60,000	1,000	10,00	10,000				
14	840	60,000	1,000	10,00	10,000				
16	960	60,000	1,000	10,00	10,000				
18	1.080	60,000	1,000	10,00	10,000				
20	1.200	60,000	1,000	10,00	10,000				
22	1.320	60,000	1,000	10,00	10,000				
24	1.440	60,000	1,000	10,00	10,000				

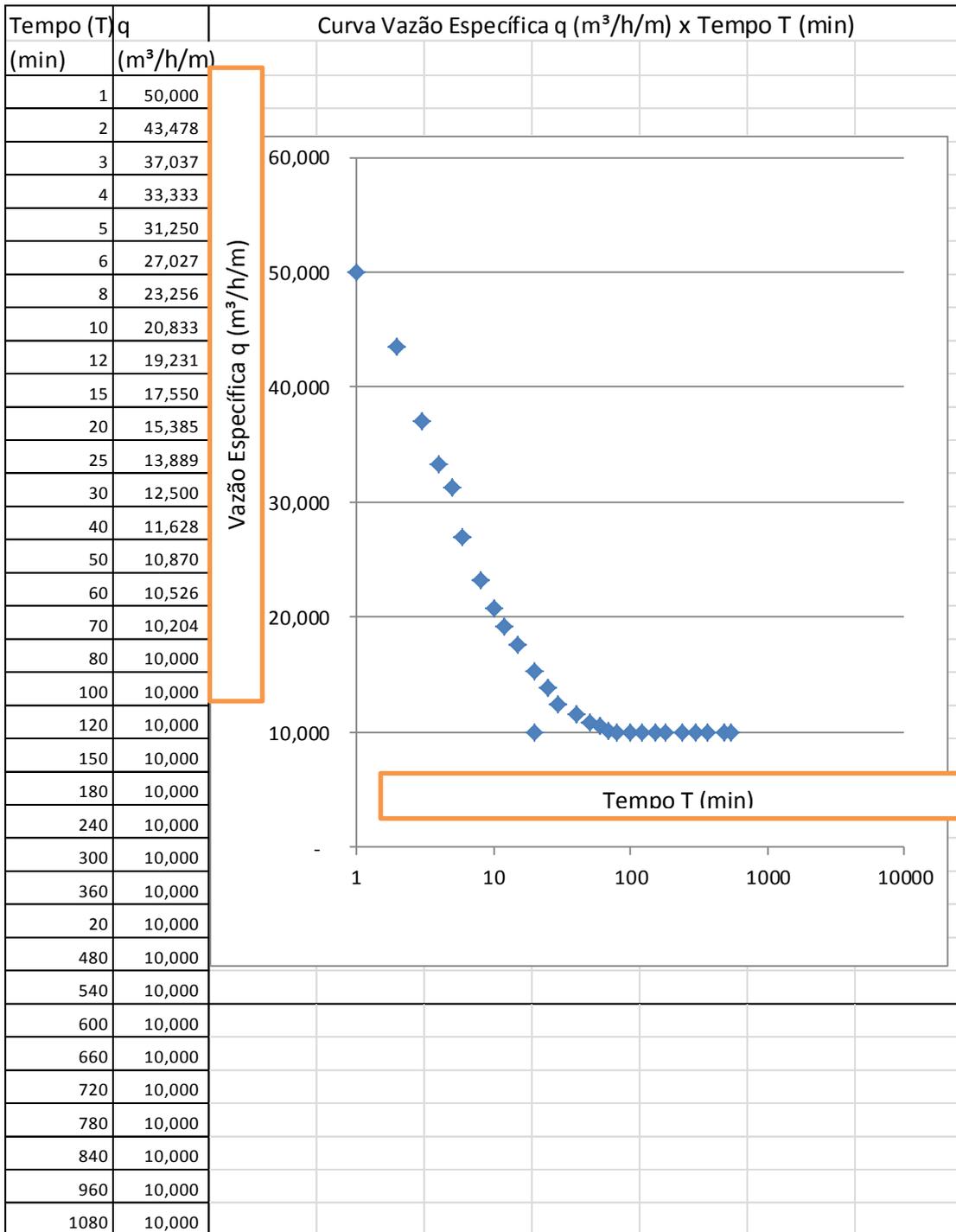


Gráfico 5.1 – Assentamento Moacir Lucena - Curva Vazão específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

Tabela 5.3 - Assentamento Moacir Lucena - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)	vazão poço (L/h)	tempo funcion poço
população (fam)	40	70	2.800					
Escola (alunos)		3	0					
P Saúde (atend)		10	0					
TOTAL ÁGUA BOA			2.800	0,3	9.333	6.533	12.900	0,72
pop (gado)	50	50				2.500		
pop (cap/ov)	200	18				3.600		
TOTAL						6.100		
SALDO PARA TANQUE						433		
água de gasto	40	200			8.000		12.900	0,62
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					17.333			
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO							12.900	1,34
Q (VAZÃO) (m ³ /h)	temp func poço	q (v Esp) (m ³ /h/m)	sw Rebaix	ne Nív Est	nd Niv Din	ΔS Variação Sazonal	PROF BOMBA	
12,900	1,34	10,000	1,29	59,00	60,29	12,00	72,29	

5.4.2.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

No caso do Assentamento Moacir Lucena já existe uma caixa d'água com 20 metros cúbicos de armazenamento.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'agua) = 12,00 m

ND (nível dinâmico) = 60,00 m

PB (profundidade da bomba) = 82,00 m

Neste caso específico, a profundidade da bomba deverá ficar entre a secção filtrante de 65,00 a 81,00 m e a secção filtrante 85,00 a 101,00 m, tendo em vista que não deve ficar no intervalo da primeira secção filtrante para não ficar exposta diretamente à formação geológica e assim poder absorver material de suspensão porventura contida na água. E assim foi

definido a profundidade de 82,00 (22 tubos de 4,00 m mais a própria bomba)

Dist (distancia entre poço/ cx. d'agua) = 5,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 72,00 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 99,00m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 3 “

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

AMT = 72,47 -- m (calculado com Programa AiOFlo v1.07)

SIMULAÇÃO VAZÃO Q = 12,90 m³/h

AMT (ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL) = 72,75 m

D (diâmetro do poço para cálculo da amt) = 4 polegadas

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4”, 4,5 CV, 13 estágios, AMT m, VAZÃO 10 m²/h modelo 4SD-13 350 – BOMBA LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

5.4.2.3 Hidroquímica

A água do poço do Assentamento Moacir Lucena tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 1.224,00 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 5.4 e 5.5), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 2,97% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 1,49% pelo método de Logan (1965), atestando que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens

percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 5.6) a água é considerada cálcica mista.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 5.7) apresentou uma água do tipo C3S1 isto é, um risco alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 5.4 – Assentamento Moacir Lucena - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO, AGUA E PLANTAS			
Endereço: Rua Eliza Branco dos Santos S/N - Parnamirim/RN - tel 84 3232-5864 ramal 211			
Amostra n.º 378/17		Data da entrada: 16/05/17 Data de entrega: 22/05/17	
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE			
Procedência: Assentamento Moacir Lucena - Apodi/RN			
Material	Água	Marca	
Coletor		Laboratório	X Cliente
COORD GEOG: 37° 52' 59,54" W / 05° 32' 38,52" S			
Determinação*		Valor Máximo Permitido**	Valor Encontrado
Temperatura ° C			24,00
Cor uH		15,00	0,00
Odor		não objetável	não objetável
Sabor		não objetável	não objetável
Turbidez, UT		5,00	0,00
pH		6 a 9,5	7,40
Condutividade elétrica, µS/cm			1.553,20
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L			1.224,00
Sólidos dissolvidos totais, mg/L		1.000,00	1.224,00
Sólidos em suspensão, mg/L			0,00
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃			396,36
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃			0,00
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃			0,00
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃			396,36
Dureza, mg/L CaCO ₃			786,78
Nitrogenio amoniacal, mg/L NH ₃		1,50	0,01
Nitrito. mg/L N		1,00	0,00
Nitrato. mg/L N		10,00	11,62
Cálcio, mg/L Ca ⁺²			192,07
Magnésio, mg/L Mg ⁺²			74,59
Sódio, mg/L Na ⁺		200,00	43,24
Potássio, mg/L K ⁺			5,48
Ferro, mg/L Fe		0,30	0,13
Carbonato, mg/L CO ₃ ⁻²			0,00
Bicarbonato, mg/L HCO ₃ ⁻			483,59
Sulfato, mg/L SO ₄ ⁻²		250,00	41,76
Cloreto, mg/L Cl ⁻		250,00	299,23
** Padrão de aceitação para o consumo humano (port. 2914 MS - 12/12/2011)			
*Metodologia de Análise Standard Methods for Examination of Water and Wastewater			

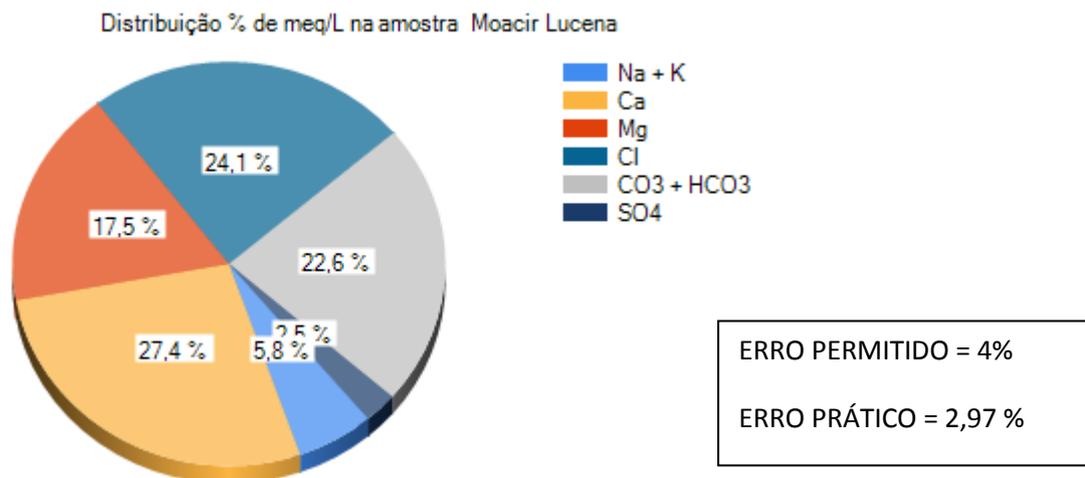


Figura 5.4 – Assentamento Moacir Lucena - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)

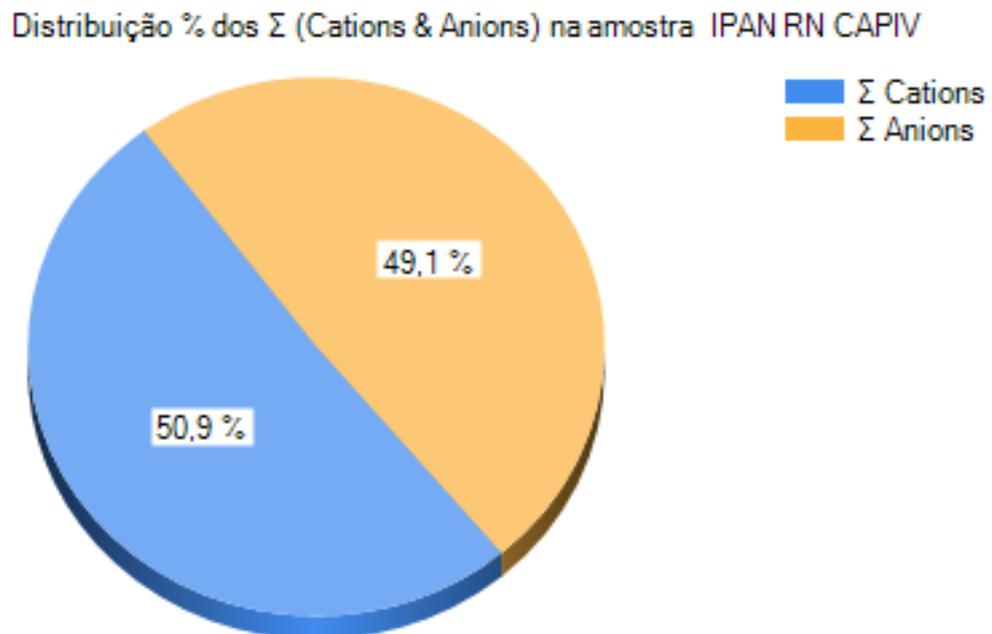


Figura 5.5 – Assentamento Moacir Lucena - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

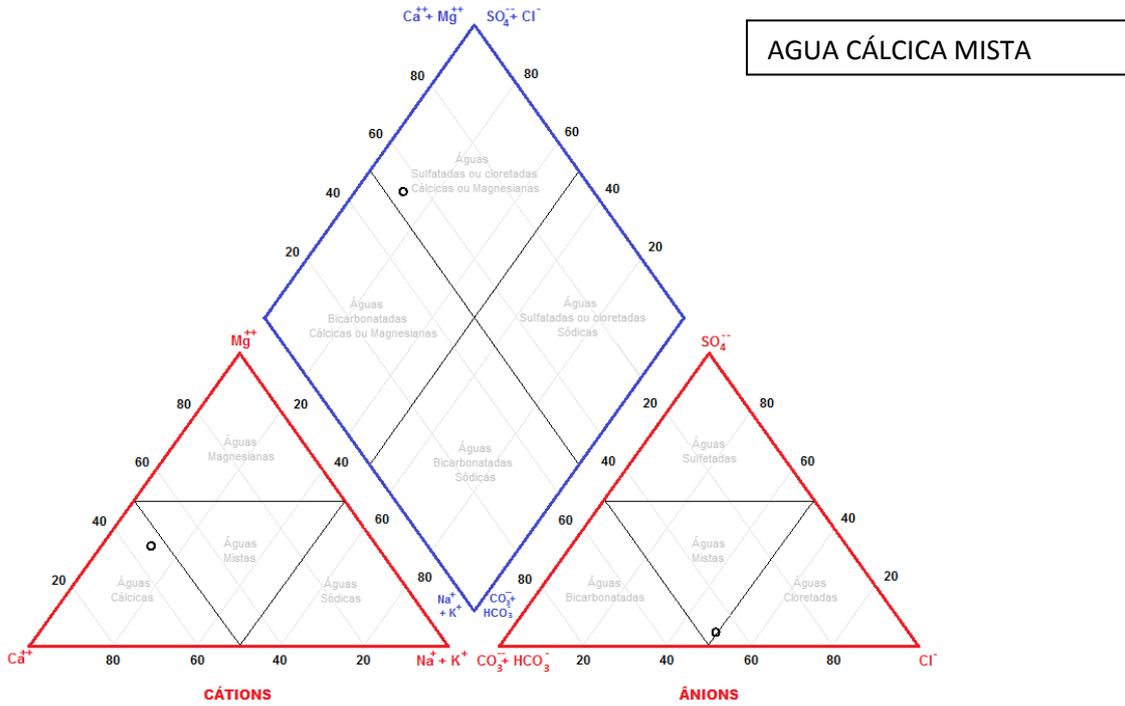


Figura 5.6 – Assentamento Moacir Lucena - Diagrama Triangular de Piper

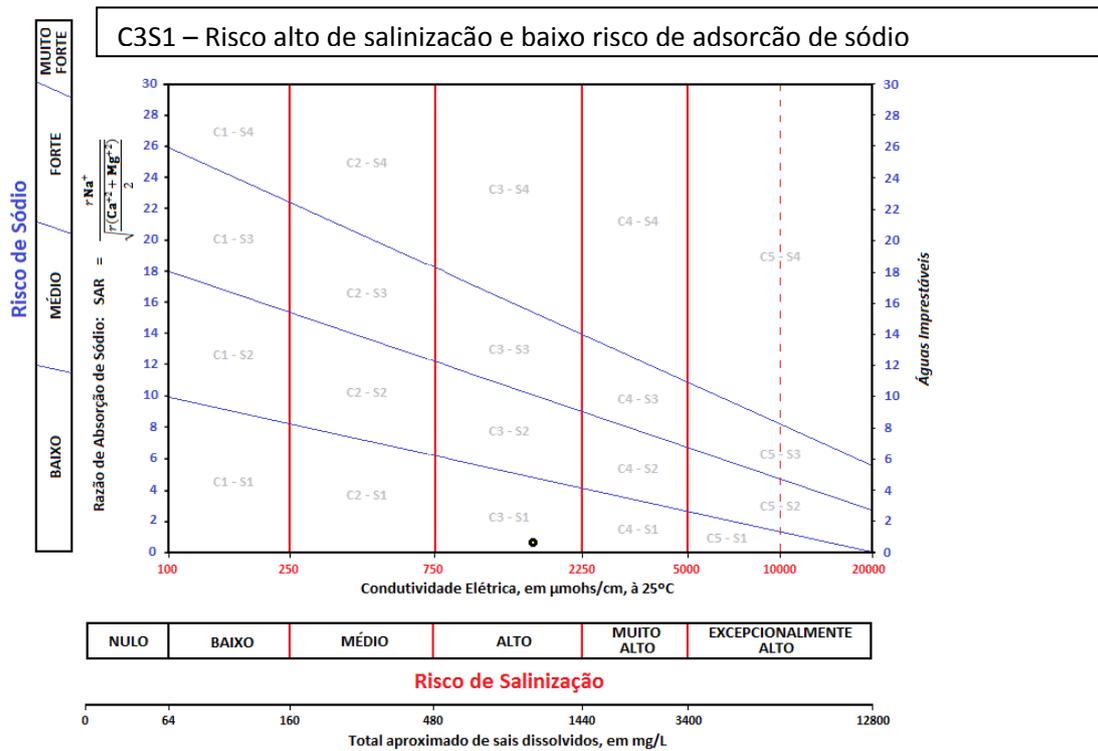


Figura 5.7 – Assentamento Moacir Lucena - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

6. MUNICÍPIO DE PARELHAS

6.1- Caracterização Geográfica

O Município de Parelhas no IBGE sob o nº 2408904, com uma área de 523 km², está localizado no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, na mesorregião Central Potiguar, microrregião Seridó Oriental, Folha de Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V), na escala de 1:100.000, limitado ao Norte pelos municípios de Carnaúba dos Dantas ao Norte, Equador ao Sul e aos municípios de Santana do Seridó e Jardim do Seridó à Leste. Dista da capital Natal 249 km e pode ser acessado pelas rodovias federais BR-226 e BR-427 e pela rodovia estadual RN-086.

6.2 - Fisiografia

Parelhas tem um clima muito quente e semiárido com estação chuvosa atrasando-se para o outono, com pluviometria média de 568,2 mm. A temperatura média anual é de 27,5°C e a humidade relativa média anual de 64% e 2400 horas anuais de insolação. Está inserido no Polígono das Secas. Topograficamente o município de Parelhas apresenta relevo com altitude variando entre 200 e 400 metros.

6.3 - Geologia

O Município de Parelhas está totalmente inserido no denominado embasamento cristalino. Em termos geocronológicos, da base ao topo, as formações geológicas são:

NP3sq - Complexo Serra dos Quintos: xisto, gnaisse, BIF, metamáfica metaultramáfica, mármore.

NP3sju – Formação Jucurutu: gnaisse, mármore, biotita - gnaisse, biotita - xisto, xisto, muscovita – quartzito. (634 milhões de anos)

NP3se – Formação Equador : muscovita – quartzito.

NP3secg – Formação Equador com metaconglomerado polimítico.

NP3ss – Formação Seridó : xisto - aluminoso(a), clorita - xisto, filito, biotita - quartzo - xisto, xisto.

NpP3y2it – Suite intrusiva Itaporanga: granodiorito, granito, diorito, monzonito e Sedimentos arenosos e areno-argilosos das aluviões do Rio Seridó.

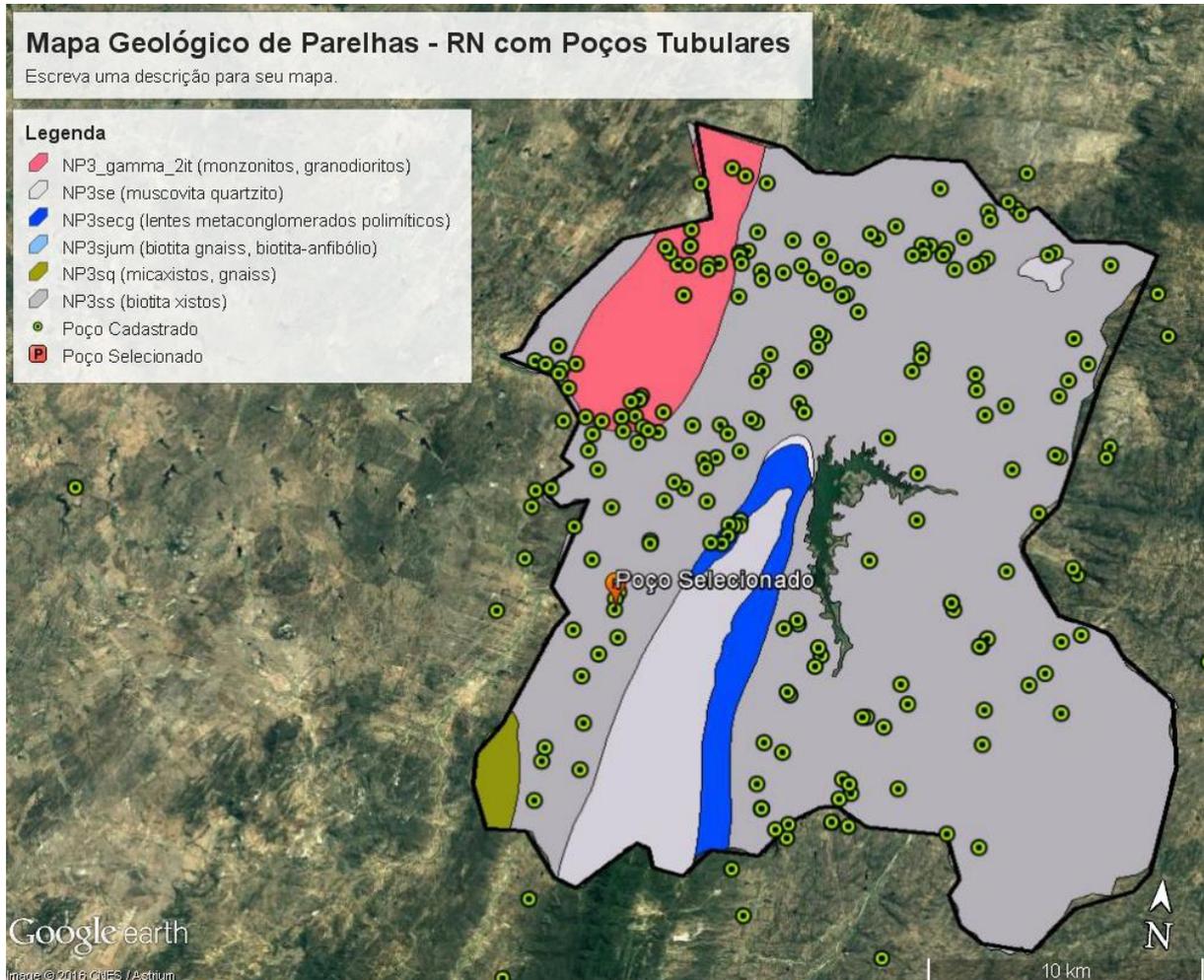


Figura 6.1 – Mapa Geológico de Parelhas com Poços Tubulares

6.4 - Hidrogeologia

Do ponto de vista da hidrogeologia, o município de Parelhas se caracteriza pela ocorrência de poços que captam as águas subterrâneas de rochas cristalinas e em pequena escala das aluviões do Rio Seridó que, por sua vez, recebe as águas superficiais do Açude Boqueirão. As profundidades na área de cristalino atingem 78,00 metros enquanto nos terrenos sedimentares das aluviões atingem 6,30 metros.

Com relação à salinidade, a água subterrânea de cristalino apresenta teores de TDS (total de sólidos dissolvidos), na quase totalidade acima de 1000 mg/L,

por essa razão não aproveitável para consumo humano, podendo ser processada pelo sistema de osmose reversa no processo de dessalinização após análise de seus parâmetros físico-químicos. Tanto a alta salinidade como possíveis contaminações de ordem bacteriológica são eliminadas, oferecendo a qualidade físico-química e bacteriológica adequada ao consumo humano.

6.4.1 Cadastro de Poços

O município de Parelhas, segundo o Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) tem 332 poços perfurados entre 1980 e 2012. Desse universo 231 poços têm coordenadas e somente 82 têm dados informativos básicos completos, ou seja, identificação, empresa perfuradora, coordenadas, data de perfuração, profundidade, vazão, níveis estático e dinâmico e resíduo seco (total de sólidos dissolvidos).

A profundidade dos poços varia entre 24 e 78 metros no cristalino e 2,80 a 10,50 metros nas áreas sedimentares das aluviões do Rio Seridó. As vazões variam de 200 L/h até 24.000 L/h com salinidade variando entre 600 e 1.500 mg/L de sais totais.

6.4.2 Comunidade de Várzea do Barro

A Comunidade de Várzea do Barro, com aproximadamente 50 famílias e energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo os resíduos sólidos em parte levado para reciclagem e parte queimado.

A comunidade não dispõe de posto de saúde sendo a população atendida uma vez pelo Programa de Saúde da família (PSF). Também não tem escola que foi fechada em 2009 por falta de alunos.

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado através de do aproveitamento de um poço tubular com vazão informada de 300 L/h que fornece água para um dessalinizador e um poço que fornece a água destinada a fins secundários, cujo teste realizado em 11/07/2014 confirmou uma vazão constante de 2,25 m³/h (Tabela 6.1)



Figura 6.2 - Mapa da Área da Comunidade Várzea do Barro.

6.4.2.1 O Poço tubular

Poço tubular que foi selecionado para fornecer água ao dessalinizador existente faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas cristalinas predominantes na região e tem como características;

- e) Geográficas – coordenadas geográficas latitude $6^{\circ}44'16,23''$ e longitude $36^{\circ}41'13,86''$.
- f) Construtivas – testado em 11/07/2014, o poço tem 30,00 metros de profundidade, revestido com diâmetro de 6 polegadas.
- g) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha cristalina no aquífero fissural livre. O nível estático é de 6,12 m, nível dinâmico de 11,205 m e rebaixamento de 0,39 m para uma vazão de $2,250 \text{ m}^3/\text{h}$ obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.

- h) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 10.985,00 mg/L.

6.4.2.2 Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 07/10/2014 (Tabela 6.1) no poço da comunidade de Várzea do Barro teve a duração de 12 horas e foi utilizado o sistema de bomba submersível.

O rebaixamento do poço, provocado pelas perdas de cargas no poço e no aquífero à vazão constante (Q) de 2,250 m³/h, foi 5,085 m e a vazão específica (q) de 0,442 (m³/h/m).

A recuperação do nível piezométrico após o teste de bombeamento é lenta, mostrando uma recuperação, após 2 horas, parcial, faltando ainda 0,13 m para atingir o nível estático.

Tabela 6.1 – Várzea do Barro - Teste de Bombeamento

MUNICÍPIO : PARELHAS			COORD UTM: LONG 755.661 m / LAT 9.254.622 m						
LOCAL : VÂRZEA DO BARRO			ZONA: 24						
CÓDIGO PAD:			COORD GEOG. 36°41'13,86"LONG W / 06°44'16,36 LAT S						
AQÜÍFERO: Fissural									
PROF. (m)	30,00	m	DATA: 11/07/2014				TB (min)= 720,00		
NE (m)	6,120		ND (m)	11,205		Q (m³/h)	2,250		
BOMBEAMENTO						RECUPERAÇÃO			
Hora (h)	Tempo (min)	ND (m)	S (m)	Q (m³/h)	q = Q/S (m³/h)/m	TR (min)	ND' (m)	S' (m)	(TB/TR)+1
09:30	0	6,120	-			-			
09:31:00	1	7,550	1,430	2,250	1,573	1	9,125	3,01	721,00
09:32:00	2	7,850	1,730	2,250	1,301	2	8,875	2,76	361,00
09:33:00	3	8,000	1,880	2,250	1,197	3	8,680	2,56	241,00
09:34:00	4	8,190	2,070	2,250	1,087	4	8,540	2,42	181,00
09:35:00	5	8,340	2,220	2,250	1,014	5	8,480	2,36	145,00
09:36:00	6	8,410	2,290	2,250	0,983	6	8,355	2,24	121,00
09:38:00	8	8,545	2,425	2,250	0,928	8	8,260	2,14	91,00
09:40:00	10	8,830	2,710	2,250	0,830	10	8,140	2,02	73,00
09:45:00	15	9,340	3,220	2,250	0,699	15	8,000	1,88	49,00
09:50:00	20	9,300	3,180	2,250	0,708	20	7,830	1,71	37,00
09:55:00	25	9,420	3,300	2,250	0,682	25	7,730	1,61	29,80
10:00:00	30	9,575	3,455	2,250	0,651	30	7,640	1,52	25,00
10:10:00	40	9,720	3,600	2,250	0,625	40	7,520	1,40	19,00
10:20:00	50	9,850	3,730	2,250	0,603	50	7,410	1,29	15,40
10:30:00	60	9,960	3,840	2,250	0,586	60	7,320	1,20	13,00
10:40:00	70	10,300	4,180	2,250	0,538	70	7,251	1,13	11,29
10:50:00	80	10,115	3,995	2,250	0,563	80	7,163	1,04	10,00
11:10:00	100	10,200	4,080	2,250	0,551	100	7,030	0,91	8,20
11:30:00	120	10,280	4,160	2,250	0,541	120	6,245	0,13	7,00
12:00:00	150	10,385	4,265	2,250	0,528				
12:30:00	180	10,510	4,390	2,250	0,513				
13:30:00	240	10,630	4,510	2,250	0,499				
14:30:00	300	10,680	4,560	2,250	0,493				
15:30:00	360	10,820	4,700	2,250	0,479				
17:30:00	480	11,000	4,880	2,250	0,461				
19:30:00	600	11,125	5,005	2,250	0,450				
21:30:00	720	11,205	5,085	2,250	0,442				

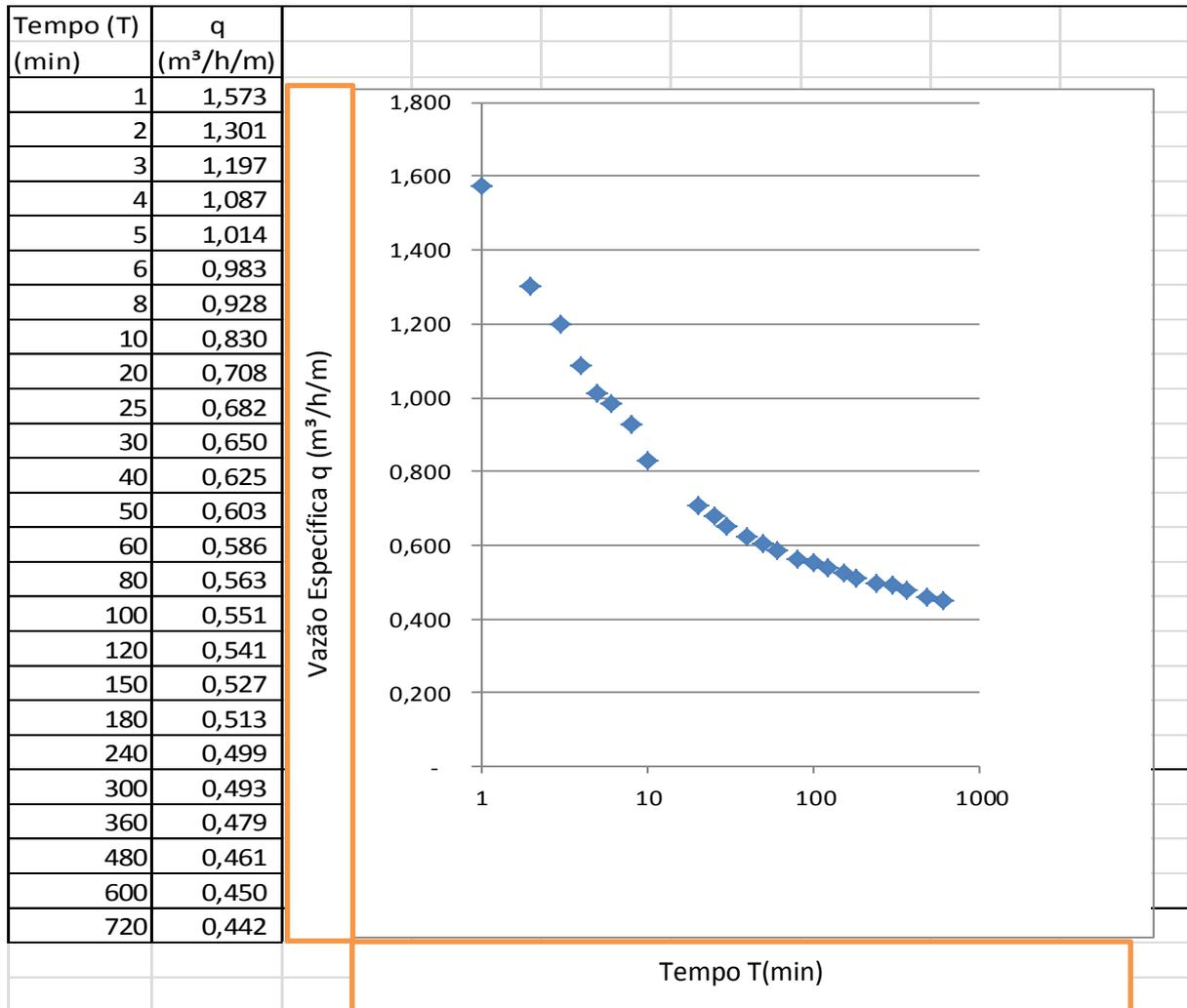


Gráfico 6.1 – Várzea do Barro - Curva Vazão Específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

6.4.2.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Q_{me}

A vazão máxima de exploração é a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA), que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 30,00 \text{ m}$$

$$NE = 6,12 \text{ m}$$

$$ELA = 23,88 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 23,88 \times 0,40 = 9,55 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 6.2 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 0,442 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração Q_{me} será

$$Q_{me} = RMD \times q = 9,55 \text{ m} \times 0,442 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 4,222 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.4.2.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Qr)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade pelos diversos usos.

A Simulação – TABELA 6.2, foi executada a partir dos dados de população humana de 50 famílias, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em outubro de 2015. Animais (gado) não foram considerados considerando que a água bruta do poço, em termos de salinidade, está com teor de sais totais acima do limite permitido de 8.000 mg/L de TDS. Caprinos e ovinos foram considerados no consumo da água de gasto de 200 litros por família / dia.

Tabela 6.2 - Várzea do Barro - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)	vazão poço (L/h)	tempo funcion poço	
população (fam)	50	40	2.000						
Escola (alunos)		3	0						
Posto de Saúde (atend)		20	0						
TOTAL ÁGUA BOA			2.000	0,3	6.667	4.667	2.250	2,96	
pop (gado)		50				0			
pop (cap/ov)	250	18				4.500			
TOTAL						4.500			
SALDO PARA TANQUE						167			
água de gasto	50	200			10.000		2.250	4,44	
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					16.667				
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO								-	7,41
Q (VAZÃO) (m ³ /h)	temp func poço	q (v Esp) (m ³ /h/m)	sw Rebaix	ne Nív Est	nd Niv Din	ΔS Variação Sazonal	PROF BOMBA		
2,250	7,41	0,422	5,33	6,12	11,45	12,00		23,45	

Devido a que o poço tem pequena profundidade, por segurança foi considerada a vazão de teste e uma variação sazonal e por interferências de 12 metros. Neste caso chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de

7,41 horas por dia para a vazão de teste $Q_t = 2,250 \text{ m}^3/\text{h}$, e para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação, considerada a salinidade da água do poço.

6.4.2.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 8,00 m

ND (nível dinâmico) = 11,45 m

PB (profundidade da bomba) = 23,45 m

Dist. (distancia entre poço/ cx. d'água) = 252,89 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 19,45 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 284,34 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 1.1/2 "

Curvas de $90^\circ = 5$

Tê de $90^\circ = 1$

Válvula esfera = 1

AMT = 21,60m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Dimensionamento da Bomba

VAZÃO $Q = 2,25 \text{ m}^3/\text{h}$

D (diâmetro do poço) = 4" = 100,16 mm

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 0,5 CV, 3 estágios, AMT 22,25 m, VAZÃO $2,25 \text{ m}^3/\text{h}$, modelo 4BPS-3 – BOMBAS EBARA.

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, LEÃO, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

6.4.2.3 - Hidroquímica

A água do poço de Várzea do Barro tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 10.995,00 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo humano e que não pode ser consumida por gado, podendo ser consumida caprinos e ovinos. Neste caso é de se esperar que o concentrado provocado pelo processo de dessalinização não tenha qualquer serventia.

O Balanço Iônico (Figuras 6.3 e 6.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 2,59% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 1,29% pelo método de Logan (1965), conferindo que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 6.5) a água é considerada mista cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 6.6) apresentou uma água do tipo C5S4, isto é, de risco excepcionalmente alto de salinização e muito forte risco de adsorção de sódio.

Tabela 6.3 – Várzea do Barro - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLOS, ÁGUA E PLANTA EMPARN			
Endereço: Rua Eliza Branco dos Santos S/N - Parnamirim/RN - tel 84 3232-5864 ramal 211			
Certificado de análise n.º 282/17			
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE			
Procedência: Várzea do Barro - Parelhas - RN			
Material	Água	Marca	
Coletor		Laboratório	X Cliente
COORD GEOG: 36° 41' 13,86" W / 06° 44' 16,23" S			
Determinação*		Valor Máximo Permitido**	Valor Encontrado
Temperatura ° C			24,00
Cor uH		15,00	2,50
Odor		não objetável	não objetável
Sabor		não objetável	não objetável
Turbidez, UT		5,00	0,33
pH		6 a 9,5	7,90
Condutividade elétrica, µS/cm			13.899,00
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L			11.305,00
Sólidos dissolvidos totais, mg/L		1.000,00	10.995,00
Sólidos em suspensão, mg/L			0,00
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃			395,29
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃			0,00
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃			0,00
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃			395,29
Dureza, mg/L CaCO ₃			3.654,72
Nitrogenio amoniacal, mg/L NH ₃		1,50	0,11
Nitrito. mg/L N		1,00	0,00
Nitrito. mg/L N		10,00	22,33
Cálcio, mg/L Ca ⁺²			471,54
Magnésio, mg/L Mg ⁺²			601,66
Sódio, mg/L Na ⁺		200,00	1.493,00
Potássio, mg/L K ⁺			49,12
Ferro, mg/L Fe		0,30	0,37
Carbonato, mg/L CO ₃ ⁻²			0,00
Bicarbonato, mg/L HCO ₃ ⁻			482,26
Sulfato, mg/L SO ₄ ⁻²		250,00	50,05
Cloreto, mg/L Cl ⁻		250,00	4.748,59
Sílica, mg/l SiO ₂			67,07
** Padrão de aceitação para o consumo humano (port. 2914 MS - 12/12/2011)			
*Metodologia de Análise Standard Methods for Examination of Water and Wastewater			

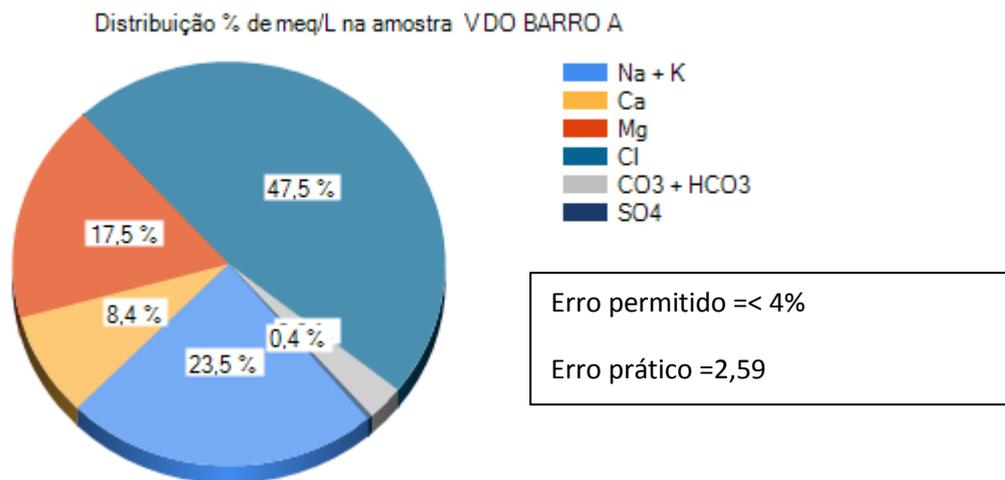


Figura 6.3 – Várzea do Barro – Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983).

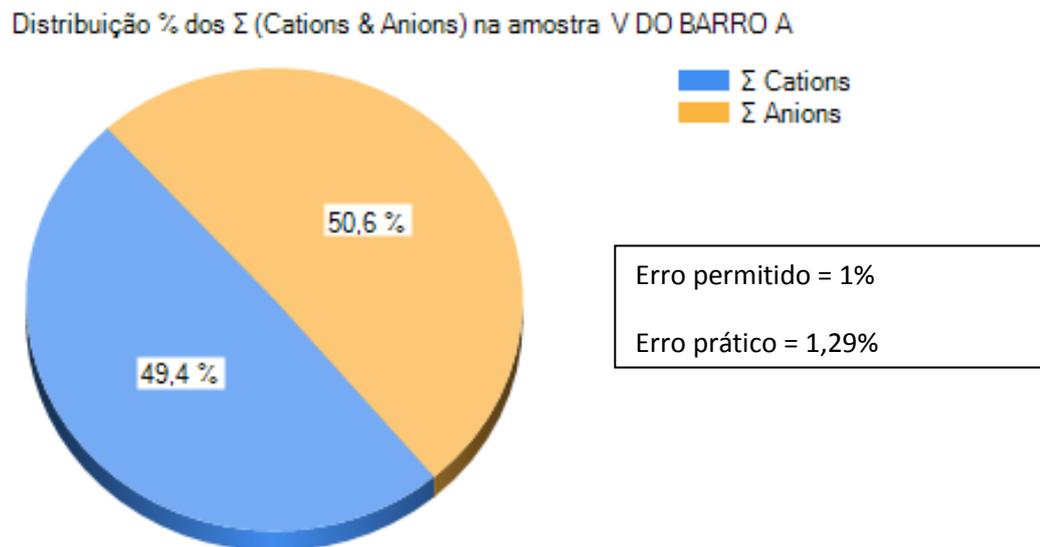


Figura 6.4 – Várzea do Barro - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

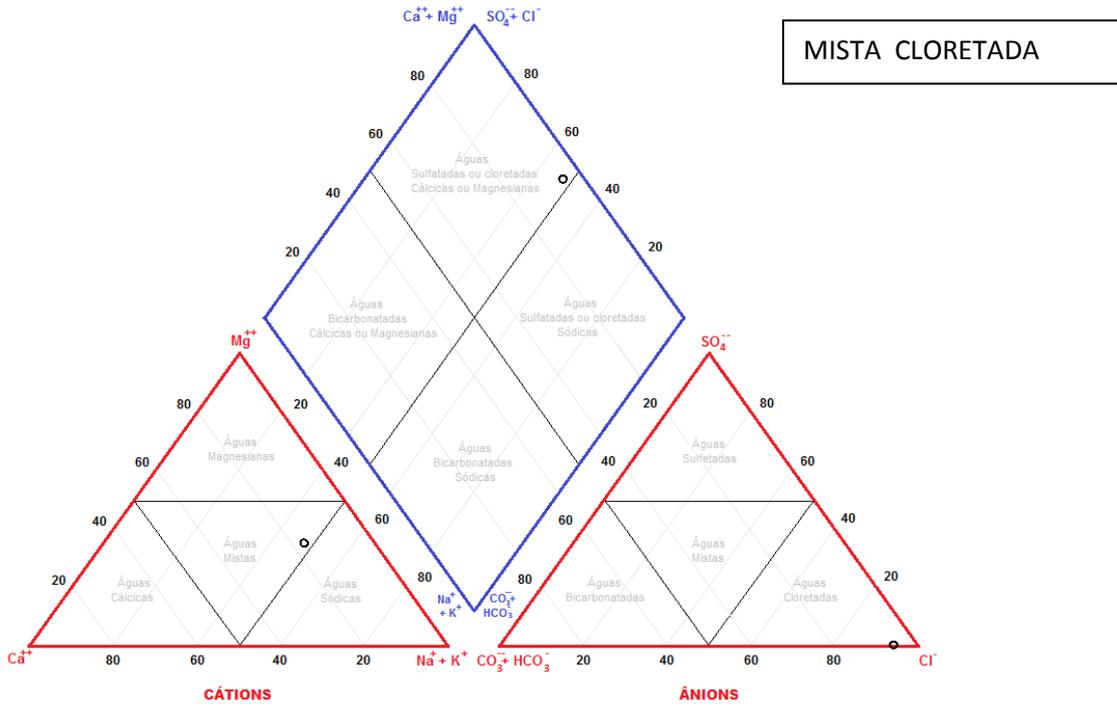


Figura 6.5 – Várzea do Barro - Diagrama de Piper

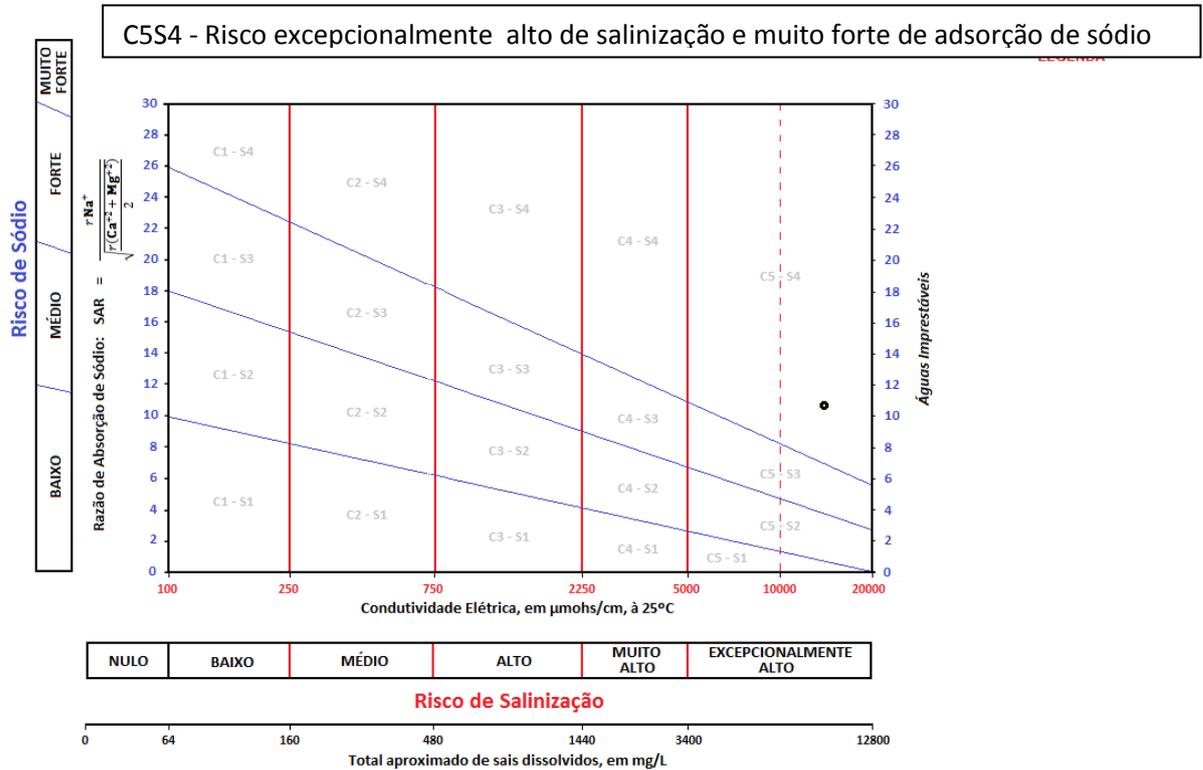


Figura 6.6 – Várzea do Barro - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

7. MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO SERIDÓ

O município de São José do Seridó está substituindo comunidades do município de Jardim do Seridó, inicialmente indicado para receber sistemas de dessalinização, em face da não aprovação pelo PAD/RN quando do pré-diagnóstico, pois as comunidades no referido município não atendiam às condições básicas da metodologia do Programa Água Doce

7.1- Caracterização Geográfica

Com uma área de 194 Km², o município de São José do Seridó, codificado no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sob o n.º 2412401 está situado no Rio Grande do Norte, mesorregião Central Potiguar, microregião Seridó Oriental, inserido nas folhas Currais Novos (SB.24-Z-B-II) e Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V) da SUDENE. Está ligada a capital Natal pelas rodovias BR-226, BR-427 e RN-228 numa distância de aproximadamente 248 km.

7.2- Fisiologia

Com uma humidade relativa média anual de 62% e 2.400 horas de insolação, São José do Seridó tem um clima muito quente e semiárido, com período chuvoso entre fevereiro e abril e uma temperatura média anual de 27,5º C. A pluviometria média anual é da ordem de 617 mm.

7.3- Geologia

Geologicamente o município de São José do Seridó se caracteriza por estar assentado sobre as rochas do embasamento cristalino datadas de 540 a 647 milhões de anos e que engloba uma área correspondente a 14% de sua área geográfica de material resultante da decomposição físico-química dessas rochas – depósitos colúvio-eluviais datado de menos que 23 milhões de anos. A geologia do município é constituída da seguinte sequência das rochas mais antigas para as mais recentes:

NP3sju – Formação Jucurutu: gnaiss, biotita - gnaiss, biotita - xisto, xisto, muscovita – quartzito.

NP3sjum – Formação Jucurutu com lente de mármore

NP3se – Formação Equador : muscovita – quartzito

NP3 ss – Formação Seridó (ss): biotita xisto,

NP3 ssc – Formação Seridó com clorita-sericita xisto

N23C – Depósitos colúvio-eluviais, arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos

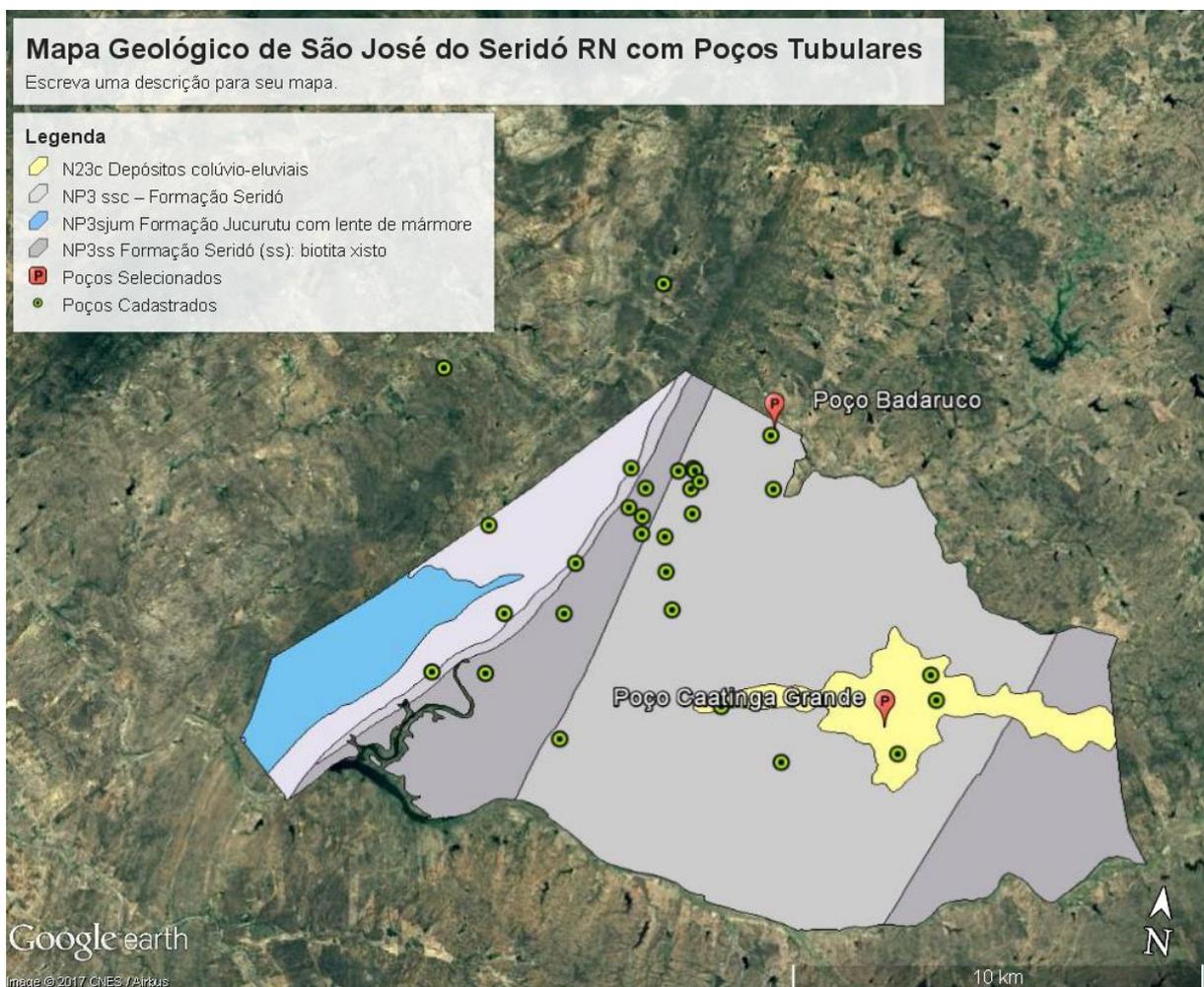


Figura 7.1 – Mapa Geológico de São José do Seridó - RN e Poços Tubulares

7.4 Hidrogeologia

Geologicamente o município de São José do Seridó está situado sobre as rochas do embasamento cristalino cujo armazenamento da água se dá nas fraturas e fissuras que as rochas apresentam, como resultado dos esforços tectônicos terrestres e que produzem baixas vazões menores que a 1.000 L/h em poços cujas profundidades não ultrapassam 60 m.

Com relação à salinidade, a água subterrânea apresenta teores de TDS (total de sólidos dissolvidos), em percentual de 75% acima de 1.000 mg/l e abaixo de 10.000 mg/L, sendo por essa razão não aproveitável para consumo humano, devendo ser processada pelo sistema de osmose reversa no processo de dessalinização. Tanto a alta salinidade como possíveis contaminações de ordem bacteriológica são eliminadas, oferecendo a qualidade físico-química e bacteriológica adequada ao consumo humano.

A parte deste universo de rochas cristalinas são se encontra as rochas cristalinas decompostas – elúvios - que chegam a 23 m de profundidade em média, com vazões que chegam a 3.000 L/h por conta do aumento de porosidade original que fazem com que haja um acréscimo da capacidade de armazenamento da água subterrânea. Por conta dessa decomposição e o tempo de estadia da água na rocha as taxas de salinidade são altas como encontradas na água dos poços de Caatinga Grande.

Este universo onde predomina salinidades inadequadas ao consumo humano, todavia pode se prestar ao consumo animal e à irrigação, de conformidade com o tipo de solo e cultivo que se quer explorar.

7.4.1 Cadastro de Poços

O município de São José do Seridó, segundo o Cadastro de Poços da SEMARH tem 44 poços perfurados entre 1983 e 2016.

A profundidade dos poços varia entre 15,30 e 60 metros, com predominância na faixa de 30 a 60. As vazões variam de 100 até 36.000 L/h com salinidade variando entre 1.000,00 e 4.866,00 mg/L de sais totais. A totalidade dos poços capta água das rochas são do embasamento cristalino e dos depósitos colúvio-eluviais.

7.4.2 Assentamento Caatinga Grande

O Assentamento Caatinga Grande, com aproximadamente 76 famílias e energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo recolhido quinzenalmente.

Com relação à saúde a comunidade dispõe de posto de saúde que funciona duas vezes por semana e, no tocante à educação, dispõe de uma escola denominada Escola Municipal José Cirilo Alves que atende 29 crianças.

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado através de um dessalinizador instalado na comunidade.

O abastecimento de água para fins secundários (água de gasto e dessedentação animal) é realizado através de dois açudes que têm a água bombeada para um reservatório elevado de 50 m³ e distribuídas para as residências. A comunidade utiliza também a água das chuvas que armazena em cisternas residenciais. Em alguns lotes existem poços tubulares que é utilizado para dessedentação animal e pequenas irrigações.

A captação de água subterrânea para o dessalinizador instalado é feita através do poço tubular (Figura 7.2) nas proximidades da comunidade.



Figura 7.2 – Mapa da Área do Assentamento Caatinga Grande – São José do Seridó/RN

7.4.2.1 O Poço tubular

O Poço tubular que abastece o dessalinizador do Assentamento Caatinga Grande faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas dos depósitos colúvio-aluviais e tem como características;

- a) Geográficas – coordenadas geográficas: latitude $6^{\circ}29'30,91''$ S e longitude $36^{\circ}49'18,62''$ W.
- b) Construtivas – testado em 11/03/2014, o poço tem 30,00 metros de profundidade, revestido com diâmetro de 6 polegadas.
- c) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha colúvio-eluvial (aquífero poroso livre). O nível estático é de 9,00 m, nível dinâmico de

13,725 m e rebaixamento de 4,73 m para uma vazão de 3,086 m³/h obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.

- d) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 4.295,00 mg/L

7.4.2.2 Interpretação do teste de bombeamento

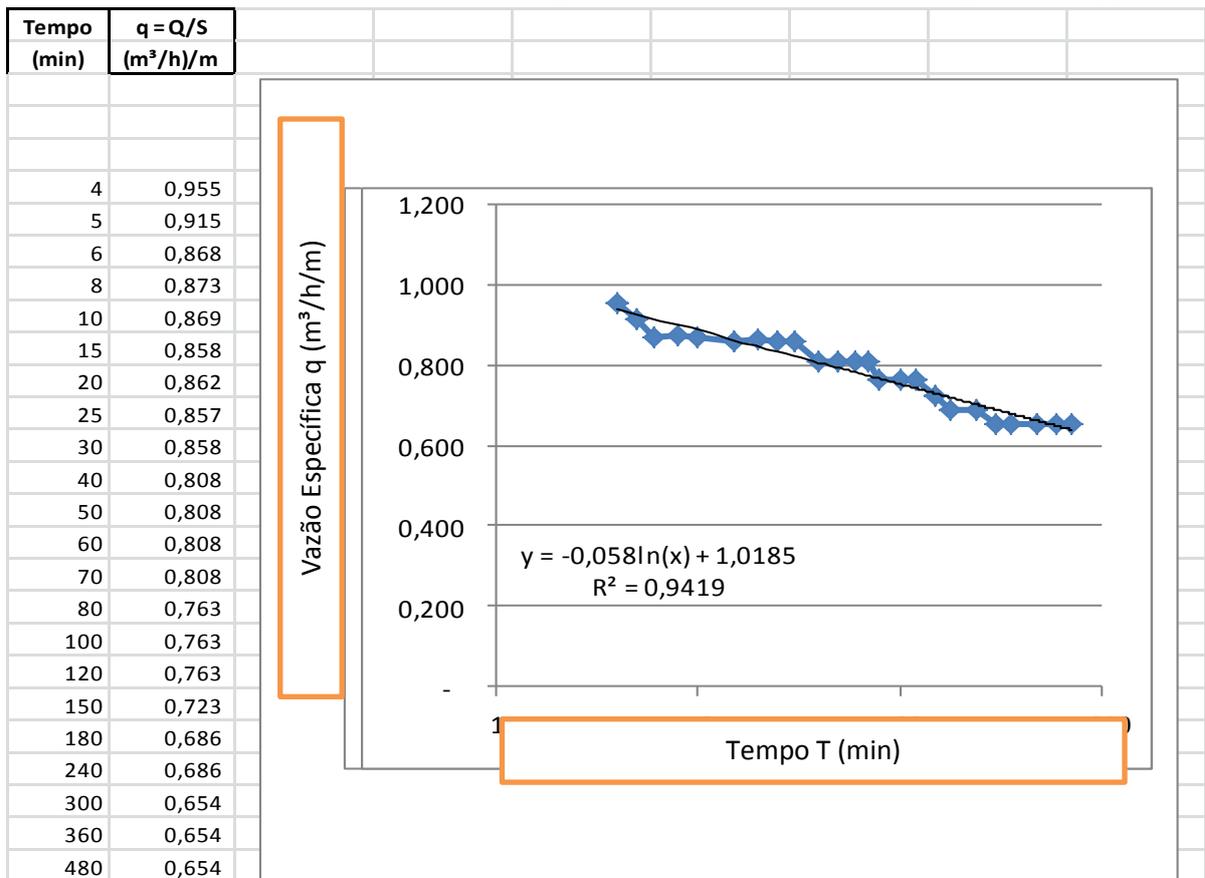
O teste de bombeamento (Tabela 7.1) revelou uma vazão com pequenas quedas em intervalos de tempo diferentes durante o teste. Isto pode ser atribuído a que a rocha armazenadora da água tem origem na decomposição intempérica do embasamento cristalino, e dessa forma, uma maior homogeneidade intrínseca, mantém níveis preferenciais de armazenamento das fraturas originais e que são afetadas pelo constante rebaixamento dos níveis piezométricos. Semelhante comportamento se pode observar no Gráfico 7.1 que mostra esse escalonamento de queda para as vazões específicas com o tempo de bombeamento.

A curva do gráfico 7.1 – vazão específica q (m³/h/m) x tempo t (min) mostra evolução normal das perdas de carga com o tempo, deixando entrever uma tendência matemática do nível dinâmico nas últimas horas do teste, para uma vazão específica $q = 0,6369$ m³/h/m, considerada a curva logarítmica obtida $y = - 0,058\ln(x) + 1,0185$ e índice de correlação $R^2 = 0,9419$ para o tempo de 12 horas de bombeamento.

O teste de recuperação do nível mostra que o poço após 7 horas recupera o seu nível estático, considerada a linha de tendência das quatro últimas medições dos níveis de recuperação do teste de recuperação, pela fórmula $y = - 0,336\ln(x) + 11,037$ e índice de correlação de 0,98 como mostra o Gráfico 7.2

MUNICÍPIO : São José do Seridó/RN		COORD UTM: LONG 740.887,875 m / LAT 9.281.899,204 m							
LOCAL : Assentamento Caatinga Grande		ZONA: 24							
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 36°49'18,62" LONG W / 06°29'30,91 LATS							
AQÜÍFERO: Poroso									
PROF.	30,00 m	DATA: 11 DE MARÇO 2014				TB (min)= 720			
NE (m)	9,000	ND (m)	13,725	Q (m³/h)		3,086			
BOMBEAMENTO						RECUPERAÇÃO			
Hora	Tempo	ND	S	Q	q = Q/S	Tempo	ND'	S'	(TB/t')+1
(h)	(min)	(m)	(m)	(m³/h)	(m³/h)/m	(min)	(m)	(m)	(min)
	1	11,919	2,919	4,050	1,3875	1	13,025	4,025	721,00
	2	12,199	3,199	4,050	1,2660	2	12,180	3,180	361,00
	3	13,840	4,840	4,050	0,8368	3	10,765	1,765	241,00
	4	13,240	4,240	4,050	0,9552	4	10,455	1,455	181,00
	5	13,425	4,425	4,050	0,9153	5	10,330	1,330	145,00
	6	13,665	4,665	4,050	0,8682	6	10,235	1,235	121,00
	8	13,640	4,640	4,050	0,8728	8	10,100	1,100	91,00
	10	13,662	4,662	4,050	0,8687	10	10,050	1,050	73,00
	15	13,720	4,720	4,050	0,8581	15	9,840	0,840	49,00
	20	13,700	4,700	4,050	0,8617	20	9,760	0,760	37,00
	25	13,725	4,725	4,050	0,8571	25	9,700	0,700	29,80
	30	13,720	4,720	4,050	0,8581	30	9,785	0,785	25,00
	40	13,720	4,720	3,812	0,8076	40	9,680	0,680	19,00
	50	13,720	4,720	3,812	0,8076	50	9,642	0,642	15,40
1	60	13,720	4,720	3,812	0,8076	60	9,590	0,590	13,00
	70	13,720	4,720	3,812	0,8076	70	9,600	0,600	11,29
	80	13,720	4,720	3,600	0,7627	80	9,570	0,570	10,00
	100	13,720	4,720	3,600	0,7627	100	9,495	0,495	8,20
2	120	13,720	4,720	3,600	0,7627	120	9,420	0,420	7,00
	150	13,720	4,720	3,411	0,7227				
3	180	13,720	4,720	3,240	0,6864				
4	240	13,720	4,720	3,240	0,6864				
5	300	13,720	4,720	3,086	0,6538				
6	360	13,720	4,720	3,086	0,6538				
7	480	13,720	4,720	3,086	0,6538				
10	600	13,725	4,725	3,086	0,6531				
12	720	13,725	4,725	3,086	0,6531				

Gráfico 7.1 – Assentamento Caatinga Grande - Curva Vazão Específica q (m³/h/m)



x Tempo t (min).

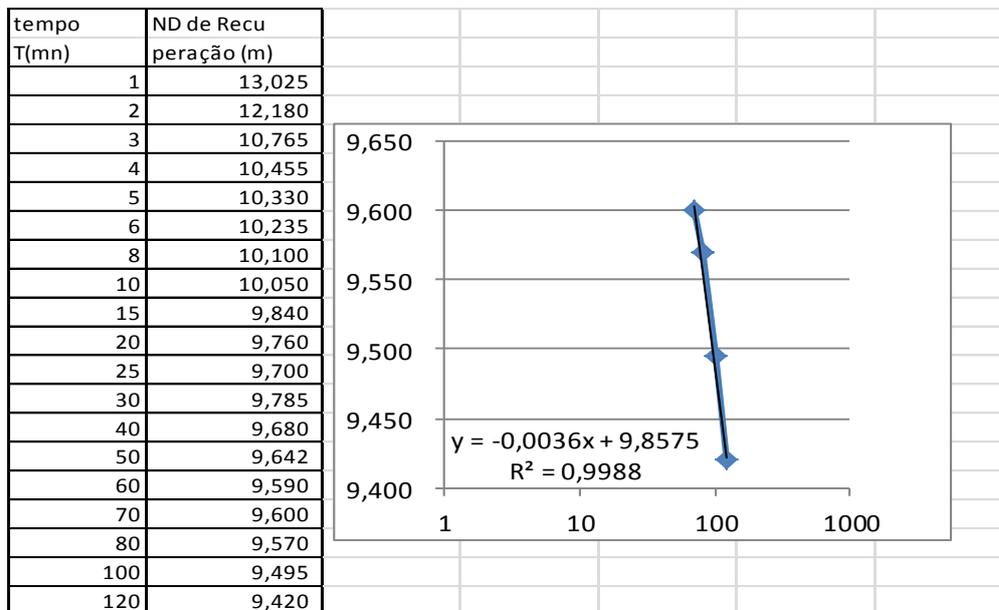


Gráfico 7.2 – Assentamento Caatinga Grande - Curva final de recuperação de nível

7.4.2.2.1 Vazão Máxima de Exploração – Qme

A vazão máxima de exploração é a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA), que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 30,00 \text{ m}$$

$$NE = 9,00 \text{ m}$$

$$ELA = 21,00 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 21,00 \times 0,40 = 8,40 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 7.1 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 0,6369 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração Q_{me} será

$$Q_{me} = RMD \times q = 8,4 \text{ m} \times 0,6369 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 5,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.4.2.2.2. Vazão Recomendada do Poço (Q_r)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade pelos diversos usos.

A Simulação – TABELA 7.2, foi executada a partir dos dados de população humana de 76 famílias, obtidos em visita técnica pelo autor. Foi considerado ademais, que a escola existente tivesse pelo menos dois filhos em cada família que estariam estudando e para o posto de saúde o número referente à de 10% do número de famílias da comunidade, gastando 20 litros por cada atendimento. Animais não foram considerados considerando que se abastecem do outro poço da comunidade.

Tabela 7.2 – Assentamento Caatinga Grande - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)	vazão poço (L/h)	tempo funcion poço
população (fam)	76	40	3.040					
Escola (alunos)	152	3	456					
P Saúde (atend)	12	20	240					
TOTAL ÁGUA BOA			3.736	0,3	12.453	8.717	5.350	2,33
pop (gado)		50				0		
pop (cap/ov)		18				0		
TOTAL						0		
SALDO PARA TANQUE						8.717		
água de gasto	76	200			15.200			1,21
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					27.653			
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO							5.350	3,54
Q (VAZÃO)	temp	q (v Esp)	sw	ne	nd	ΔS	PROF	
(m ³ /h)	func poço	(m ³ /h/m)	Rebaix	Nív Est	Niv Din	Variação Sazonal	BOMBA	
5,350	3,54	0,637	8,40	5,63	14,03	6,00	20,03	

Neste caso chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 3,54 horas por dia para a vazão de teste $Q_t = 5,350 \text{ m}^3/\text{h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

7.4.2.2.3 Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 3,00 m

ND (nível dinâmico) = 10,48 m

PB (profundidade da bomba) = 16,48 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 621,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 13,48 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 640,48 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 2 “

Curvas de 90° = 5

Tê de 90° = 1

AMT = 16,02 m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Dimensionamento da Bomba

VAZÃO Q = 5,350 m³/h

D (diâmetro do poço) = 4” = 100,16 mm

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4”, 0,75 CV, 3 estágios, AMT 18,00 m, VAZÃO de 5,0 m³/h, modelo 4BPS5-03 – BOMBAS EBARA;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, LEÃO, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

7.4.2.3. Hidroquímica

A água do poço do Assentamento Caatinga Grande tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 4.295,00 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 7.3 e 7.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 7,17% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 3,58% pelo método de Logan (1965), conferindo que a análise da amostra de água pode ser correta, em função do erro permitido pelo método de Logan. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 3,98%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 7.6) a água é considerada mista cloreada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 6.5) apresentou uma água do tipo C5S2, isto é, de risco excepcionalmente alto de salinização e um médio risco de adsorção de sódio.

Tabela 7.3 – Assentamento Caatinga Grande - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO, ÁGUA E PLANTA - EMPARN						
Endereço: Rua Eliza Branco dos Santos, S/N, Parnamirim, RN						
Certificado de análise - amostra n.º 95/17					Data da entrada: 13/02/2017	
Solicitante: PAD/RN						
Procedência: Assentamento Caaatinga, São José do Seridó, RN						
Material	Água	Marca	Poço dessalinizador			
Coletor		Laboratório	X	Cliente		
COORD GEOG: latitude 6°29'30,91" S e longitude 36°49'18,62" W.						
Determinação*					Valor Máximo	Valor
					Permitido**	Encontrado
Temperatura °C						
Cor uH					15,00	-
Odor					não objetável	
Sabor					não objetável	
Turbidez, UT					5,00	-
pH					6 a 9,5	7,20
Condutividade elétrica, µS/cm						6.526,00
Sólidos totais a 105 °C, mg/L						4.562,00
Sólidos dissolvidos totais, mg/L					1.000,00	4.295,00
Sólidos em suspensão, mg/L						267,00
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃						139,06
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃						-
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃						-
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃						139,06
Dureza, mg/L CaCO ₃						2.324,81
Nitrogenio amoniacal, mg/L NH ₃					1,50	0,08
Nitrito, mg/L N					1,00	-
Nitrato, mg/L N					10,00	32,03
Cálcio, mg/L Ca ⁺²						416,66
Magnésio, mg/L Mg ⁺²						311,93
Sódio, mg/L Na ⁺					200,00	387,50
Potássio, mg/L K ⁺						48,21
Ferro, mg/L Fe					0,30	0,04
Carbonato, mg/L CO ₃ ⁻²						-
Bicarbonato, mg/L HCO ₃ ⁻						169,65
Sulfato, mg/L SO ₄ ⁻²					250,00	20,97
Cloreto, mg/L Cl ⁻					250,00	2.016,52
** Padrão de aceitação para o consumo humano (port. 2914 MS - 12/12/2011)						
*Metodologia de Análise Standard Methods for Examination of Water and Wastewater						

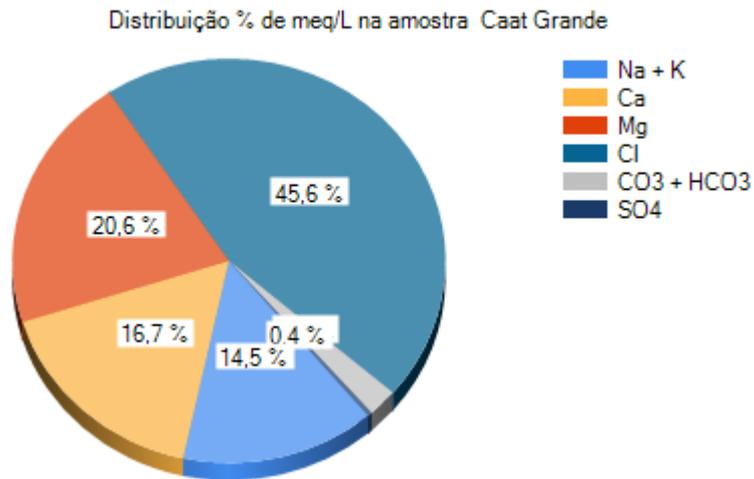


Figura 7.3 – Assentamento Caatinga Grande - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983).

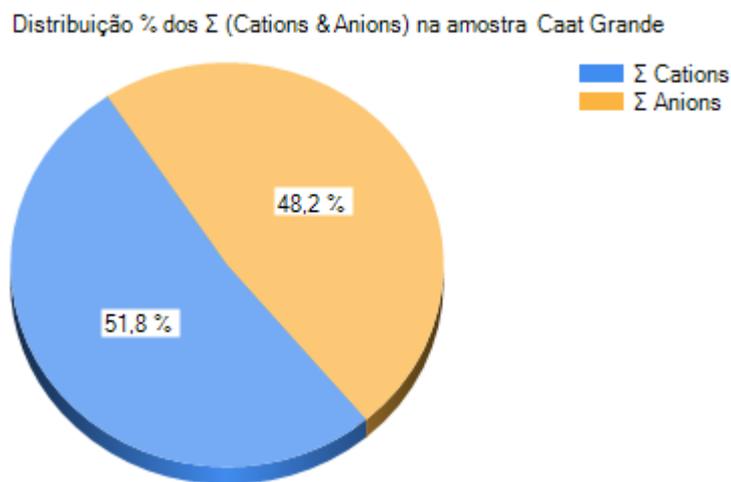


Figura 7.4 – Assentamento Caatinga Grande - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

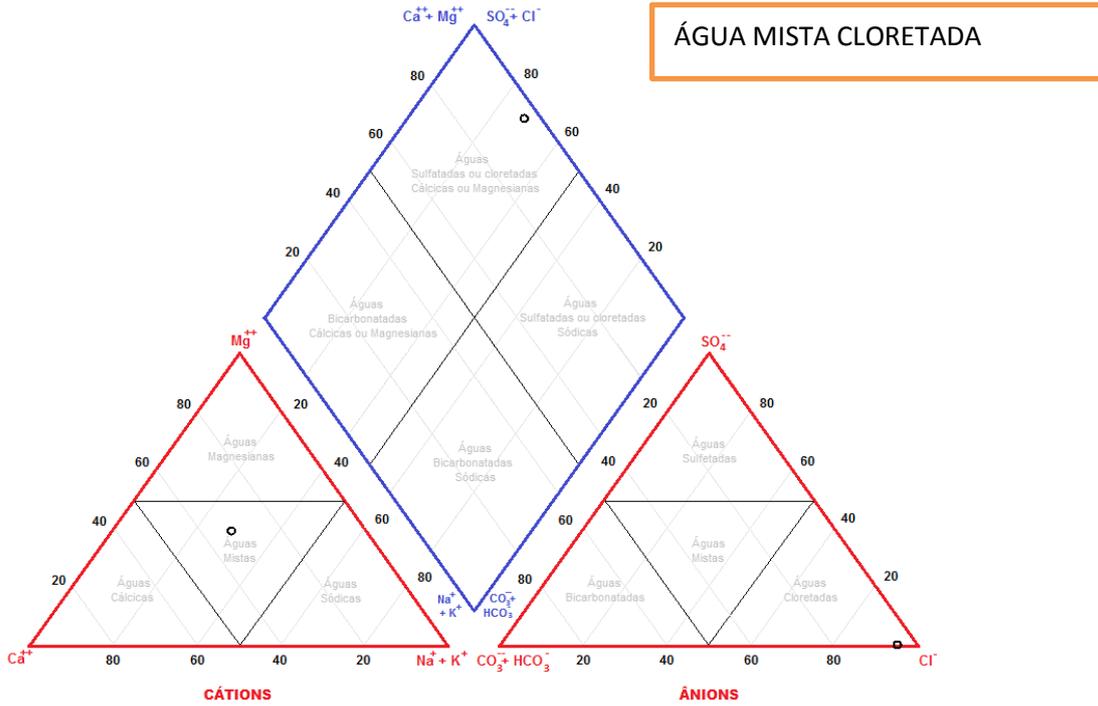


Figura 7.5 – Assentamento Caatinga Grande I - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

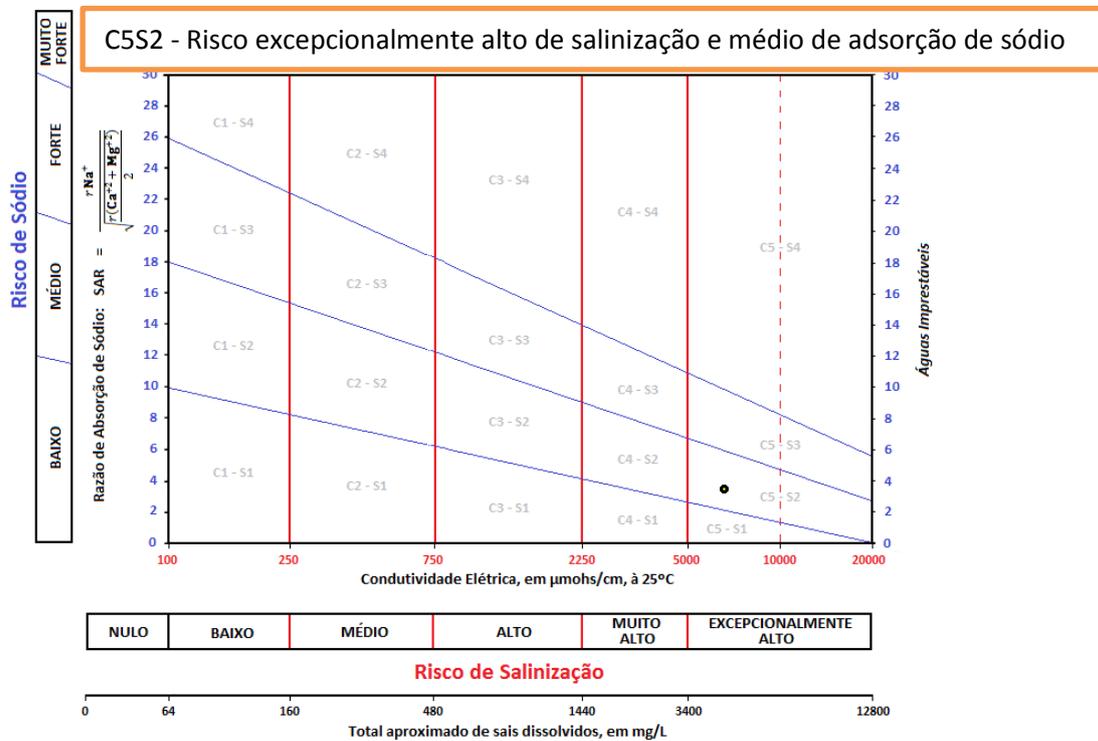


Figura 7.6 – Assentamento Caatinga Grande - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

7.4.3 – Comunidade de Badaruco

A comunidade de Badaruco, com aproximadamente 24 famílias, com energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas. Essa comunidade não dispõe de posto de saúde e escola.



Figura 7.7 – Mapa da Área da Comunidade Badaruco

7.4.3.1 - O Poço tubular

O poço tubular que abastece da Comunidade de Badaruco tem a sua captação na água subterrânea proveniente do armazenamento em meio fissural de rochas cristalinas predominantes na região e tem como características;

- i) Geográficas – Coordenadas geográficas de latitude $6^{\circ}25'46,01''S$ e longitude $36^{\circ}51'11,67''W$.
- j) Construtivas – O poço tem 51,00 metros de profundidade, revestido com tubulação de diâmetro de 6 polegadas.
- k) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas –. O nível estático é de 12,65 m, nível dinâmico de 21,64 m e rebaixamento de 9,84 m para uma vazão de teste de $0,395 \text{ m}^3/\text{h}$ obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- l) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 760 mg/L . (Tabela 5.9)

7.4.3.2 - Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 09/05/2017 – Tabela 5.7 - no poço da Comunidade Badaruco foi executado durante 12 horas e foi utilizada bomba submersível.

Do ponto de vista hidráulico o teste de bombeamento mostra um rebaixamento do nível piezométrico de 9,84 m para o tempo de 12 horas de bombeamento à vazão variável, sem estabilização.

O Gráfico 5.3 com dados da vazão específica versus tempo de bombeamento, mostram razoável variação da vazão específica – de 21,366 para $0,395 \text{ m}^3/\text{h/m}$ em 12 horas de bombeamento do poço.

TABELA 7.4 – Comunidade Badaruco - Teste de Bombeamento

MUNICÍPIO : SÃO JOSÉ DO SERI			COORD UTM: LONG 737.442,51 m / LAT 9.288.824,73,00						
LOCAL : COMUNIDADE BADARUCO			ZONA: 24						
CÓDIGO PAD:			COORD GEOG. 36°51'11,67" LONG W / 06°25'46,01 LAT S						
AQÚÍFERO: FISSURAL									
PROF. (m)	51,00	m	DATA: 09/05/2017			TB (min)	720		
NE (m)	12,650		ND (m)	21,640		Q (m³/h)	0,395		
BOMBEAMENTO						RECUPERAÇÃO			
Hora (h)	Tempo (min)	ND (m)	S (m)	Q (m³/h)	q = Q/S (m³/h)/m	Tempo (min)	ND' (m)	S' (m)	(TB/t') + 1 (min)
	1	12,680	0,030	0,641	21,367	1	21,190	8,540	721,00
	2	12,780	0,130	0,641	4,931	2	20,445	7,795	361,00
	3	12,800	0,150	0,641	4,273	3	20,085	7,435	241,00
	4	12,820	0,170	0,641	3,771	4	19,835	7,185	181,00
	5	12,840	0,190	0,641	3,374	5	18,455	5,805	145,00
	6	12,880	0,230	0,641	2,787	6	18,150	5,500	121,00
	8	12,920	0,270	0,641	2,374	8	17,795	5,145	91,00
	10	12,950	0,300	0,641	2,137	10	17,530	4,880	73,00
	15	13,335	0,685	0,641	0,936	15	16,330	3,680	49,00
	20	13,345	0,695	0,641	0,922	20	14,940	2,290	37,00
	25	13,480	0,830	0,641	0,772	25	14,530	1,880	29,80
	30	13,510	0,860	0,458	0,533	30	14,390	1,740	25,00
	40	13,700	1,050	0,458	0,436	40	14,050	1,400	19,00
	50	13,830	1,180	0,458	0,388	50	13,910	1,260	15,40
1	60	13,970	1,320	0,458	0,347	60	13,850	1,200	13,00
	70	14,140	1,490	0,458	0,307	70	13,760	1,110	11,29
	80	14,320	1,670	0,447	0,268	80	13,670	1,020	10,00
	100	14,500	1,850	0,447	0,242	100	13,370	0,720	8,20
2	120	14,920	2,270	0,447	0,197	120	13,030	0,380	7,00
	150	16,090	3,440	0,447	0,130	150	12,810	0,160	5,80
3	180	16,810	4,160	0,447	0,107	180	12,650	0	5,00
4	240	17,510	4,860	0,447	0,092				
5	300	18,375	5,725	0,426	0,074				
6	360	19,175	6,525	0,426	0,065				
7	480	20,320	7,670	0,426	0,056				
10	600	21,030	8,380	0,395	0,047				
12	720	21,640	8,990	0,395	0,044				

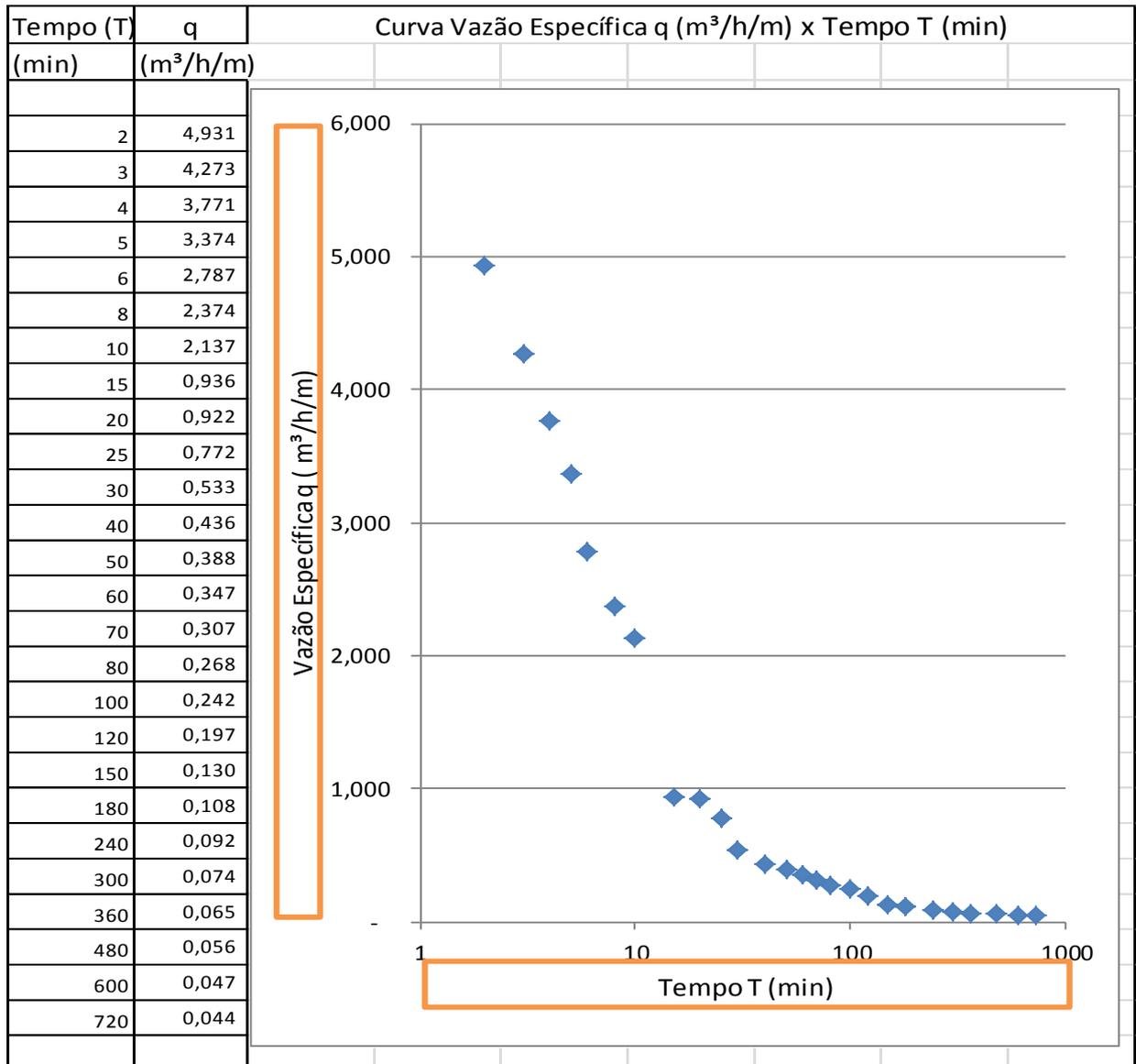


Gráfico 7.3 – Comunidade Badaruco - Curva Vazão Específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

7.4.3.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Q_{me}

Para o cálculo da vazão máxima de exploração a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA) que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 51,00 \text{ m}$$

$$NE = 12,64 \text{ m}$$

$$ELA = 38,36 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 38,36 \times 0,40 = 15,34 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 5.3 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 0,044 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração será

$$Q_{me} = RMD \times q = 15,44 \text{ m} \times 0,044 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 0,675 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q_{me} = 0,675 \text{ m}^3/\text{h}}$$

7.4.3.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Qr)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade, distância e desnível entre o poço e o ponto onde deve se instalar a caixa d'água do sistema.

Na Simulação – TABELA 5.8, executada a partir dos dados obtidos pelo autor em campo, de população humana e animal respectivamente de 24 famílias e 30 caprinos e ovinos, foi utilizada a vazão máxima de exploração do poço que é de 0,675 m³/h.

O resultado da simulação é um tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 4,74 horas por dia para a vazão de teste $Q = 675 \text{ L}/\text{h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

A vazão do poço só permite a sua utilização para a dessalinização da água do poço e o respectivo fornecimento de água de boa qualidade para o consumo das 24 famílias e a utilização do concentrado para o rebanho de caprinos e ovinos, sobrando água ainda para 34 cabeças de gado, caso venha a compor a população animal da comunidade.

Caso a comunidade queira usar a água bruta do poço, o tempo de funcionamento da bomba passaria a ser de 8,30 horas/dia, ou seja, mais 3,56 horas para a produção diária de 2400 litros de água bruta por dia. O tempo de recuperação total dos níveis piezométricos é de 180 minutos (3 Horas), permitindo assim um tempo de funcionamento da bomba de 8,30 horas/dia.

Tabela 7.5 Comunidade Badaruco - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)	vazão poço (L/h)	tempo funcion poço
população (fam)	24	40	960					
Escola (alunos)		3	0					
P Saúde (atend)		20	0					
TOTAL ÁGUA BOA			960	0,3	3.200	2.240	675	4,74
pop (gado)	34	50				1.700		
pop (cap/ov)	30	18				540		
TOTAL						2.240		
SALDO PARA TANQUE						0		
água de gasto	24	100			2.400		675	3,56
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					5.600			
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO							675	8,30
Q (VAZÃO) (m ³ /h)	temp func poço	q (v Esp) (m ³ /h/m)	sw Rebaix	ne Nív Est	nd Niv Din	ΔS Variação Sazonal	PROF BOMBA	
0,675	8,30	0,044	15,34	12,64	27,98	6,00	33,98	

7.4.3.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água. No Caso de Badaruco como ainda não foi decidido a respeito da localização da Caixa D'água de recepção e distribuição da água, o cálculo será considerado a vazão da bomba para a caixa d'água de 3,00 m da altura, junto ao poço.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ND (nível dinâmico) = 27,99 m

PB (profundidade da bomba) = 33,98 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 30,99

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 36,99m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = ½ "

Curvas de 90° = 1

Tê de 90° = 1

SIMULAÇÃO VAZÃO Q = 0,675 m³/h

D (diâmetro do poço para cálculo da amt) = 4 polegadas

AMT = 34,09 (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 0,5 CV, 6 estágios, AMT 34,99 m, VAZÃO 0,675 m³/h modelo 4RI IA 06 230 – BOMBAS LEÃO. Ao fazer a instalação do poço, deve-se acompanhar o nível dinâmico por aproximadamente 8 horas com a bomba estrangulada para 0,675 m³/h

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

7.4.3.3 - Hidroquímica

A água do poço da Comunidade Badaruco tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 760,00 mg/L, teoricamente boa para o consumo humano, porém apresenta as concentrações de dureza total de 513,60 mg/L e 334,06 mg/L de cloreto acima dos limites permitidos ao consumo humano, respectivamente 500 mg/L e 250 mg/L., e a assim não recomendada ao consumo humano.. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer pequenos animais domésticos, gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 5.13 e 5.14), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 11,98% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 5,99 pelo método de Logan (1965). Em que pese o erro prático ser maior que o erro permitido pelo método Custódio & Llamas, o programa mostra que no método de Logan o erro prático está compatível com o erro permitido, atestando assim que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, o erro prático está dentro do percentual de erro permitido considerada pelo somatório de cátions ou ânions.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 5.15) a água é considerada mista cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 5.16) apresentou uma água do tipo C3S1, isto é, um risco alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 7.6 – Comunidade Badaruco - Análise físico-química da água do poço

NÚCLEO DE ANÁLISES DE ÁGUA, ALIMENTOS E EFLUENTES - NAAE - FUNCERN			
Endereço: Av. Salgado Filho, 1559, NATAL, RN			
Amostra n.º	OS0372	Data da entrada: 15/05/2017 Data de entrega: 23/05/2017	
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE			
Procedência: Badaruco - São José do Seridó / RN			
Material	Água	Marca	AM 20
Coletor		Laboratório	X
Cliente			
COORD GEOG: 36° 51' 11,07" W / 06°25'46,01" S			
Determinação*		Valor Máximo Permitido**	Valor Encontrado
Temperatura ° C			26,00
Cor uH		15,00	0,00
Odor		não objetável	não objetável
Sabor		não objetável	não objetável
Turbidez, UT		5,00	0,01
pH		6 a 9,5	7,44
Condutividade elétrica, µS/cm			1.551,00
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L			760,00
Sólidos dissolvidos totais, mg/L		1.000,00	761,00
Sólidos em suspensão, mg/L			1,00
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃			273,60
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃			0,50
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃			0,50
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃			273,60
Dureza, mg/L CaCO ₃			331,27
Nitrogenio amoniacal, mg/L NH ₃		1,50	0,01
Nitrito. mg/L N		1,00	0,01
Nitrato. mg/L N		10,00	1,54
Cálcio, mg/L Ca ⁺²			124,42
Magnésio, mg/L Mg ⁺²			50,28
Sódio, mg/L Na ⁺		200,00	143,00
Potássio, mg/L K ⁺			14,50
Ferro, mg/L Fe		0,30	0,05
Carbonato, mg/L CO ₃ ⁻²			0,01
Bicarbonato, mg/L HCO ₃ ⁻			333,29
Sulfato, mg/L SO ₄ ⁻²		250,00	6,92
Cloreto, mg/L Cl ⁻		250,00	334,06
Sílica, mg/l SiO ₂			28,36
** Padrão de aceitação para o consumo humano (port. 2914 MS - 12/12/2011)			
*Metodologia de Análise Standard Methods for Examination of Water and Wastewater			

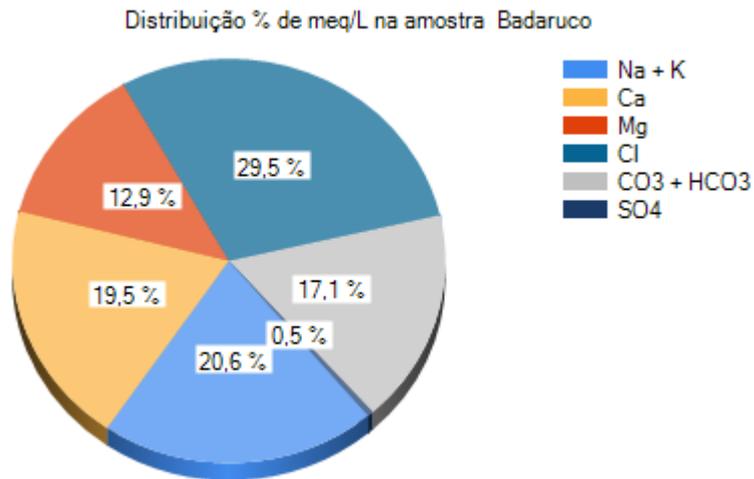


Figura 7.8 – Comunidade Badaruco - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)

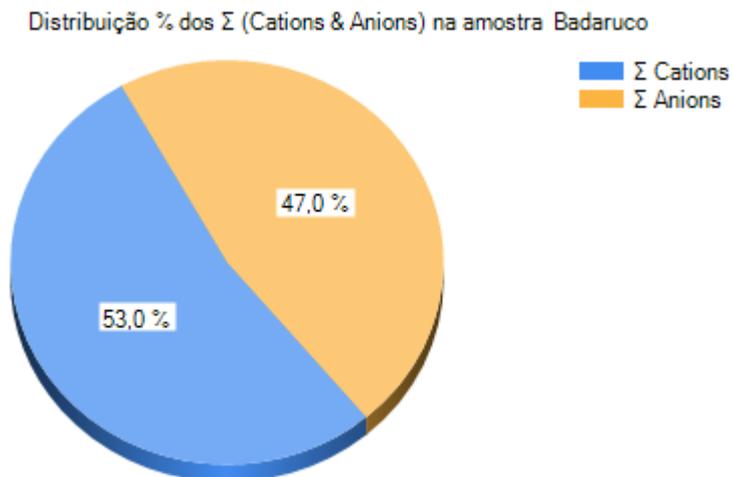


Figura 7.9 – Comunidade Badaruco - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

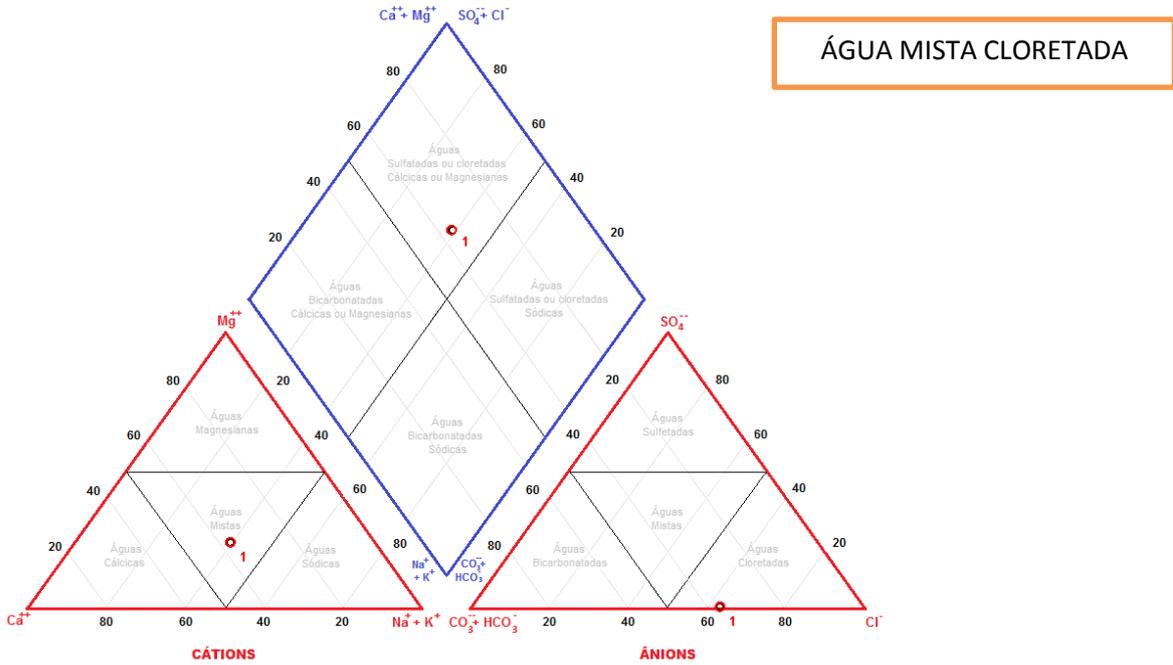


Figura 7.10 – Comunidade Badarucu - Diagrama Triangular de Piper

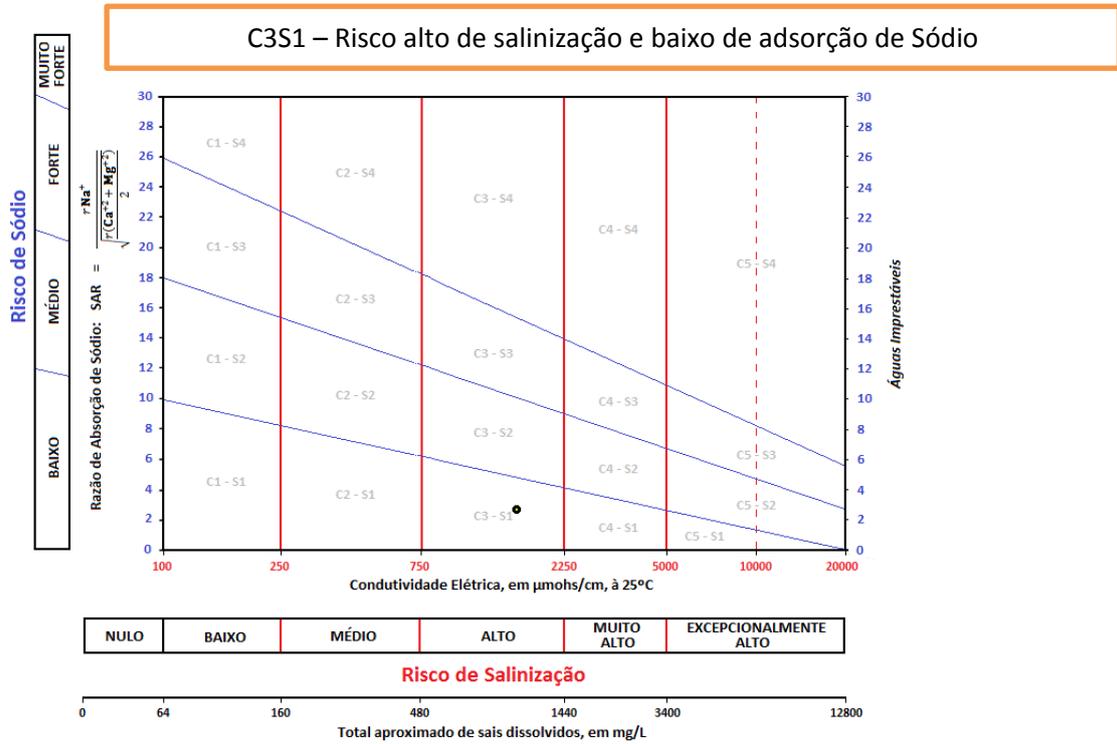


Figura 7.11 – Comunidade Badarucu - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

8 MUNICIPIO DE PARAZINHO

O município de Parazinho está substituindo comunidades do municípios de Jardim do Seridó, inicialmente indicado para receber sistemas de dessalinização, em face da não aprovação pelo PAD/RN quando do pré diagnóstico, pois as comunidades no referido município não atendiam às condições básicas da metodologia do Programa Água Doce

8.1- Caracterização Geográfica

O Município de Parazinho, no IBGE sob o nº 2408805, com uma área de 274 km², está localizado no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mais precisamente na Mesorregião Agreste Potiguar, Microrregião Baixa Verde, Folhas de Jandaíra (SB.24-X-D-III) e Pureza (SB.25-V-C-I), limitando-se com os municípios de Caiçara do Norte, São Bento do Norte, Pedra Grande, São Miguel de Touros, Touros, João Câmara e Jandaíra.

8.2 - Fisiografia

Parazinho tem um clima muito quente e semiárido com estação chuvosa atrasando-se para o outono e pluviometria média anual de 281,8 mm. A temperatura média anual é de 25,5°C e a humidade relativa média anual oscila no entorno de 74%, com 2700 horas anuais de insolação. Está inserido no Polígono das Secas. Topograficamente a sede municipal apresenta relevo com altitude de menos de 100 metros.

8.3 - Geologia

O Município de Parazinho se caracteriza pela ocorrência de Formação Jandaíra (Figura 8.1) em quase a totalidade da sua extensão geográfica. É uma formação geológica composta predominantemente de rochas calcárias que mostram em seus perfis horizontes de folhelhos. Recobrimdo, numa pequena área ao noroeste,

norte e sul encontra-se a Formação Barreiras constituída de sedimentos arenosos, areno-argilosos e siltosos.

A Formação Jandaíra se situa sobre a Formação Açú (constituída de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos). O conjunto dessas formações geológicas compõe a denominada Bacia Potiguar.

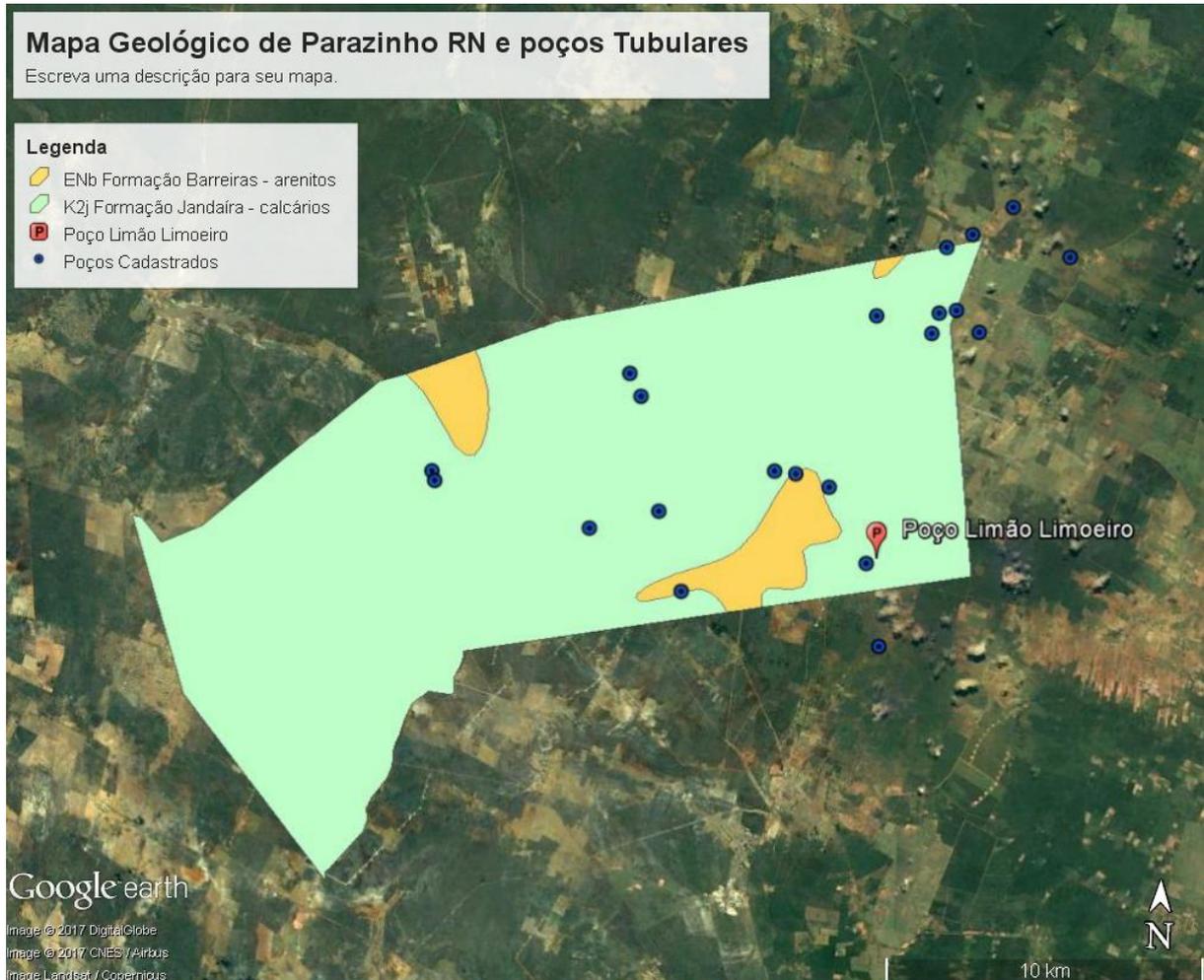


Figura 8.1 – Mapa Geológico de Parazinho e Poços Tubulares

8.4 - Hidrogeologia

Do ponto de vista da hidrogeologia, o município de Parazinho se caracteriza pela ocorrência de poços que captam quase que totalmente as águas subterrâneas de rochas calcárias. As profundidades variam entre 53 a 250 metros com vazões que atingem 13.000 litros por hora.

Com relação à salinidade, a água subterrânea apresenta teores de TDS (total de sólidos dissolvidos), na quase totalidade numa faixa entre 800 e 5.000 mg/L

e por essa razão não aproveitável para consumo humano, devendo ser processada pelo sistema de osmose reversa no processo de dessalinização. Tanto a alta salinidade como possíveis contaminações de ordem bacteriológica são eliminadas, oferecendo a qualidade físico-química e bacteriológica adequada ao consumo humano.

Menos representativas, a geologia sedimentar dos sedimentos arenosos da Formação Barreiras, estão presentes em três áreas de alguns km² na parte noroeste/norte e sul da área geográfica do município, que fazem parte do meio poroso e normalmente produzem água de boa qualidade físico-química para o consumo humano e para outras finalidades a exemplo do consumo animal, da indústria e da irrigação.

8.5 Cadastro de Poços

O município de Jandaíra, segundo o Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) tem 54 poços perfurados entre 1972 e 2009.

A profundidade dos poços varia entre 53 e 250 metros. As vazões variam de seco L/h até 13.000 L/h com salinidade variando entre 800 e 5.000 mg/L de sais totais.

8.5.1 Comunidade Limão/Limoeiro

A Comunidade de Limão/Limoeiro, com aproximadamente 25 famílias e energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo queimado.

Com relação à saúde a comunidade não dispõe de posto de saúde e, no tocante à educação, não possui escola.

O abastecimento de água é realizado através de dois poços tubulares e cisternas que são abastecidas por caminhões-pipa do Exército. Os poços fornecem a água destinada a fins secundários.

A água para o consumo humano chega por caminhão-pipa da adutora de Parazinho, retirada do Rio Boqueirão. Na comunidade de Limão ela é depositada em cisterna pública enquanto em Limoeiro a água é depositada em cisternas cadastradas.



Figura 8.2 - Mapa da Área da Comunidades Limão Limoeirol.

8.5.1.1 O Poço tubular

Poço tubular que abastece as comunidades de Limão/Limoeiro faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas calcárias predominantes na região e tem como características;

- m) Geográficas – coordenadas geográficas latitude $5^{\circ}18'6,783''$ e longitude $35^{\circ}51'32,400''$.
- n) Construtivas – testado em 29/10/2014, o poço tem 100,00 metros de profundidade, revestido com diâmetro de 6 polegadas.
- o) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha cárstica, no aquífero Jandaíra livre. O nível estático é de 79,875 m, nível dinâmico de 80,560 m e rebaixamento de 0,69 m para uma vazão de $1,88 \text{ m}^3/\text{h}$ obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.

- p) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 2.797,60 mg/L.

8.5.1.2 Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 09/01/2014 (Tabela 6.1) no poço das comunidades Limão/Limoeiro teve a duração de 12 horas e foi utilizado o sistema de bomba submersível.

O rebaixamento do poço, provocado pelas perdas de cargas no poço e no aquífero à vazão não constante, que variou entre (Q) de 2,110 m³/h até 1,880 m³/h foi 0,69 m e a vazão específica (q) de 2,7445 (m³/h/m).

A recuperação do nível piezométrico após o teste de bombeamento é praticamente 2 horas e mostra, tal como no pequeno rebaixamento provocado pela descarga, características de carga e recarga de um aquífero formado por cavernas, como o aquífero Jandaíra.

A Tabela 8.1 e o Gráfico 8.1, em que pese ser pequena a variação da vazão específica q – de 3,4876 para 2,7445 (m³/h/m), mostram que houve variações não somente da vazão como no rebaixamento dos níveis piezométricos que ora subiam ora desciam desde o início do teste. Isso pode ser creditado à variação local de tensão na rede elétrica local. De qualquer forma, pode-se tomar por segurança a vazão específica mínima estabelecida no tempo 480 minutos q = 2,3210 m³/h/m para um tempo de funcionamento diário de 12 horas.

Tabela 8.1 – Limão/Limoeiro - Teste de Bombeamento

MUNICÍPIO : Parazinho		COORD UTM: LONG 180.086,74 m / LAT 9.413.234,66 m								
LOCAL : Limão/Limoeiro		ZONA: 25								
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 35°51'32,4"LONG W / 05°18'6783 LAT S								
AQÜÍFERO: Cárstico										
PROF.	100,00	m	DATA: 09/01/ 2014				TB (min)=		720,000	
NE (m)	79,875		ND (m)	80,560		Q (m³/h)	1,880			
BOMBEAMENTO						RECUPERAÇÃO				
Hora (h)	Tempo (min)	ND (m)	S (m)	Q (m³/h)	q = Q/S (m³/h)/m	Tempo (min)	ND' (m)	S' (m)	(TB/TR)+1 (min)	
	1	80,480	0,605	2,110	3,488	1	80,535	0,660	721,0	
	2	80,455	0,580	2,110	3,638	2	80,530	0,655	361,0	
	3	80,455	0,580	2,110	3,638	3	80,525	0,650	241,0	
	4	80,440	0,565	2,110	3,735	4	80,530	0,655	181,0	
	5	80,440	0,565	2,110	3,735	5	80,530	0,655	145,0	
	6	80,440	0,565	2,110	3,735	6	80,550	0,675	121,0	
	8	80,445	0,570	2,110	3,702	8	80,570	0,695	91,0	
	10	80,445	0,570	2,110	3,702	10	80,535	0,660	73,0	
	15	80,445	0,570	2,110	3,702	15	80,550	0,675	49,0	
	20	80,435	0,560	2,110	3,768	20	80,545	0,670	37,0	
	25	80,435	0,560	2,110	3,768	25	80,575	0,700	29,8	
30	30	80,470	0,595	2,110	3,546	30	80,530	0,655	25,0	
	40	80,535	0,660	2,110	3,197	40	80,550	0,675	19,0	
	50	80,450	0,575	2,110	3,670	50	80,550	0,675	15,4	
1	60	80,445	0,570	2,110	3,702	60	80,385	0,510	13,0	
	70	80,545	0,670	2,110	3,149	70	80,305	0,430	11,3	
	80	80,545	0,670	2,110	3,149	80	80,250	0,375	10,0	
	100	80,570	0,695	2,110	3,036	100	80,220	0,345	8,2	
2	120	80,670	0,795	2,110	2,654	120	80,170	0,295	7,0	
	150	80,445	0,570	2,110	3,702					
3	180	80,580	0,705	2,110	2,993					
4	240	80,475	0,600	2,110	3,517					
5	300	80,570	0,695	1,880	2,705					
6	360	80,625	0,750	1,880	2,507					
8	480	80,685	0,810	1,880	2,321					
10	600	80,560	0,685	1,880	2,745					

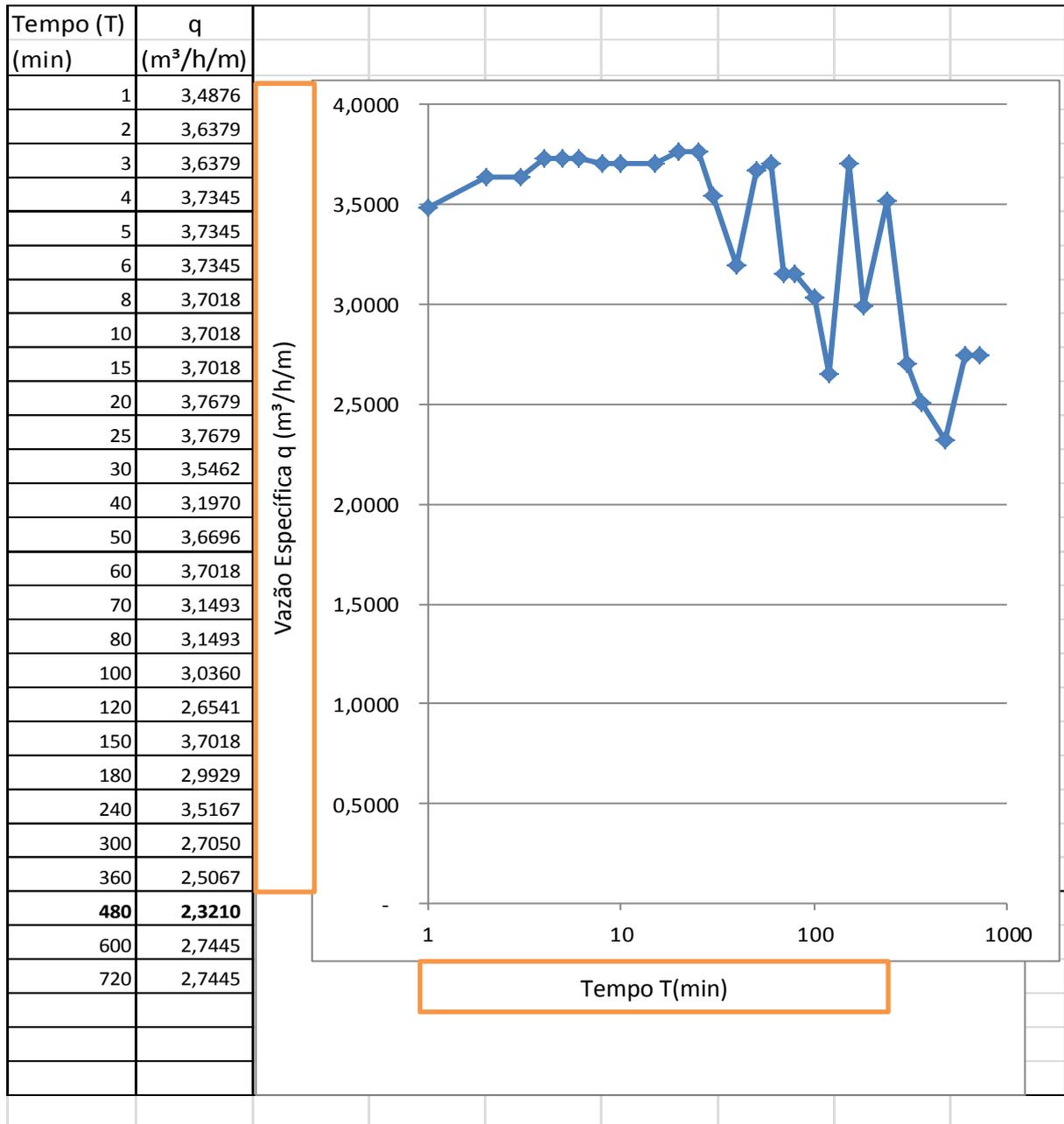


Gráfico 8.1 – Limão/Limoeiro - Curva Vazão Específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

8.5.1.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Q_{me}

A vazão máxima de exploração é a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA), que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

ELA = P-NE em que

$P = 100,00 \text{ m}$

$NE = 79,875 \text{ m}$

$ELA = 20,125 \text{ m}$

$RMD = ELA \times 0,40 = 20,125 \times 0,40 = 8,05 \text{ m}$

Pelo Gráfico 8.1 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$q = 2,3210 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$

A vazão máxima de exploração Q_{me} será

$Q_{me} = RMD \times q = 8,05 \text{ m} \times 2,3210 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 18,684 \text{ m}^3/\text{h}$

8.5.1.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Q_r)

O não conhecimento do tipo, abertura e posição dos filtros do poço recomenda, nesses casos, tomar após análise e interpretação do teste, a Vazão Recomendada como a vazão de teste, considerando a profundidade e a pequena espessura saturada (20,125) em um poço no calcário que pode sofrer substanciais rebaixamentos em tempos de seca prolongada. Deve-se considerar ainda a demanda de água da comunidade, ou seja, que mantenha um bombeamento condizente com as necessidades mais prementes da população.

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade pelos diversos usos.

A Simulação – TABELA 6.2, foi executada a partir dos dados de população humana de 25 famílias, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2014. Animais não foram considerados considerando que se abastecem do outro poço da comunidade.

Neste caso chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 1,77 horas por dia para a vazão de teste $Q_t = 1,88 \text{ m}^3/\text{h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

Tabela 8.2 Limão/Limoeiro - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)	vazão poço (L/h)	tempo funcion poço
população (fam)	25	40	1.000					
Escola (alunos)		3	0					
Posto de Saúde (atend)		20	0					
TOTAL ÁGUA BOA			1.000	0,3	3.333	2.333	1.880	1,77
pop (gado)		50				0		
pop (cap/ov)		18				0		
TOTAL						0		
SALDO PARA TANQUE						2.333		
água de gasto		40				0	1.880	-
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					3.333			
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO							-	1,77
Q (VAZÃO) (m ³ /h)	temp func poço	q (v Esp) (m ³ /h/m)	sw Rebaix	ne Nív Est	nd Niv Din	ΔS Variação Sazonal	PROF BOMBA	
1,880	1,77	2,321	0,81	79,88	80,68	6,00	86,68	

8.5.1.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água. Neste caso foi considerada a vazão de exploração de 1,88 m³/h na boca do poço a altura da caixa d'água de 3 m em cima do poço.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 3,00 m

ND (nível dinâmico) = 80,68 m

PB (profundidade da bomba) = 86,68 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 0,00

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 83,68 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 89,68 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 1 “

Curvas de 90° = 5

Tê de 90° = 1

Válvula de esfera passagem plena = 1

AMT = 87,62 m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Dimensionamento da Bomba

VAZÃO $Q = 1,88 \text{ m}^3/\text{h}$

D (diâmetro do poço) = 4" = 100,16 mm

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 1,0 CV, 13 estágios, AMT 89,00 m, VAZÃO 71,8 m^3/h e para AMT, modelo 4R3RPA-13 360 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

8.5.1.3 Hidroquímica

A água do poço de Limão/Limoeiro tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 2.797,60 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 8.3 e 8.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 1,66% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 0,34% pelo método de Logan (1965), conferindo que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 8.5) a água é considerada cálcica sulfatada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 8.6) apresentou uma água do tipo C4S1, isto é, de risco muito alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 8.3 – Limão Limoeiro - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO, ÁGUA E PLANTA - EMPARN				
Endereço: Rua Eliza Branco dos Santos, S/N, Parnamirim, RN				
Certificado de análise - amostra n.º 32 Data da entrada: 21/03/2014				
Solicitante: PAD/RN				
Procedência: Assentamento Caaatinga, São José do Seridó, RN				
Material	Água	Marca	Poço dessalinizador	
Coletor		Laboratório	X	Cliente
COORD GEOG: latitude 5°18'6,783" S e longitude 35°51'32,4" W.				
Determinação*			Valor Máximo	Valor
			Permitido**	Encontrado
Temperatura °C				
Cor uH			15,00	5,00
Odor			não objetável	não objetável
Sabor			não objetável	salobro
Turbidez, UT			5,00	1,28
pH			6 a 9,5	6,90
Condutividade elétrica, µS/cm				
Sólidos totais a 105 °C, mg/L				
Sólidos dissolvidos totais, mg/L				
Sólidos em suspensão, mg/L				
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃				
Dureza, mg/L CaCO ₃				
Nitrogenio amoniacal, mg/L NH ₃				
Nitrito. mg/L N				
Nitrato. mg/L N				
Cálcio, mg/L Ca ⁺²				
Magnésio, mg/L Mg ⁺²				
Sódio, mg/L Na ⁺				
Potássio, mg/L K ⁺				
Ferro, mg/L Fe				
Carbonato, mg/L CO ₃ ⁻²				
Bicarbonato, mg/L HCO ₃ ⁻				
Sulfato, mg/L SO ₄ ⁻²				
Cloreto, mg/L Cl ⁻				
** Padrão de aceitação para o consumo humano (port. 2914 MS - 12/12/2011)				
*Metodologia de Análise Standard Methods for Examination of Water and Wastewater				

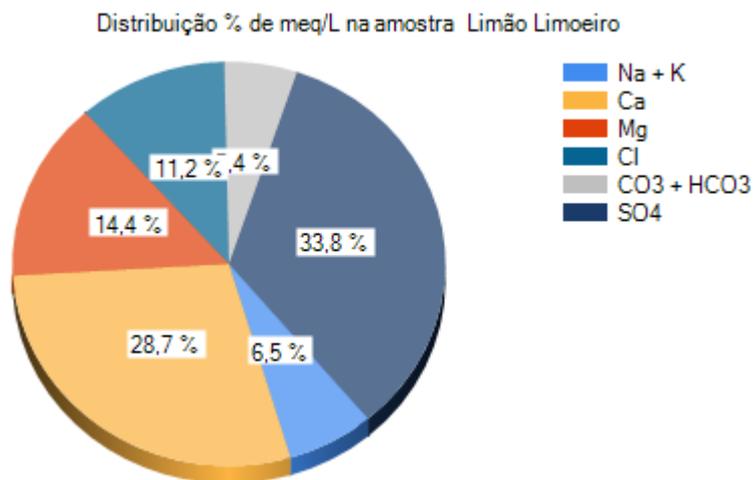


Figura 8.3 – Limão Limoeiro – Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983).

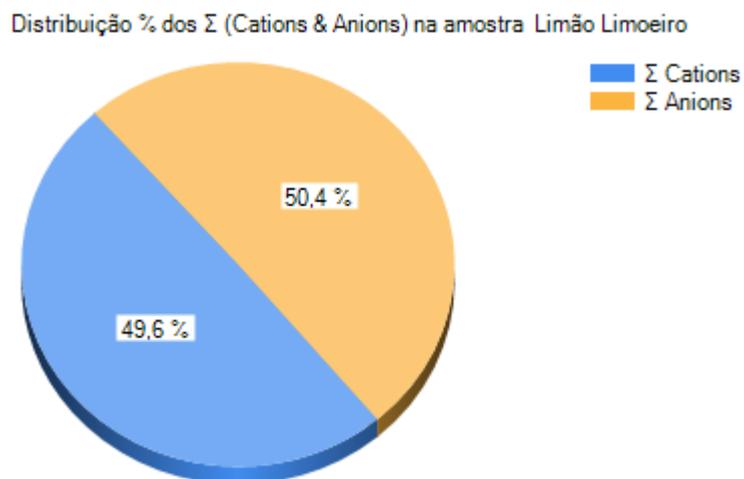


Figura 8.4 – Limão Limoeiro - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

9 CONCLUSÕES

O trabalho ora apresentado é o resultado do trabalho de escritório e campo e respectiva levantamento geológico regional e análise hidrogeológica local dos poços construídos para o abastecimento de água nos municípios norte-riograndenses de Apodi, Parelhas, São José do Seridó e Parazinho.

O município Apodi geograficamente esta posicionado sobre os aquíferos da Formação Açu, compostas basicamente de arenitos, sobrepostos pelo aquífero da Formação Jandaíra constituídos predominante de rochas calcárias. A comunidade selecionada – Assentamento Moacir Lucena é abastecida por poço captando num pacote de 55 metros de espessura água do Arenito Açu Superior, em meio poroso com o potencial hidrogeológico excelente do ponto de vista de vazão (12 m³/h) em que pese a não tão alta salinidade da água do poço (1.224,00 mg/L de TDS) e, como água bruta, se presta ao consumo animal, sendo usada em abundancia como água de gasto.

A mesma sequencia geológica se pode verificar no município de Parazinho, ou seja, o arenito Açu coberto pelo calcário Jandaira e este, em pequenas proporções, recoberto por arenitos pertencentes à Formação Barreiras. O Poço de Limão Limoeiro, no entanto capta a água subterrânea do calcário em meio cárstico, com boa vazão.

Os poços situados nos municípios de Parelhas e São José do Seridó se situam sobre as rochas cristalinas do meio fissural, caracterizadas pela existência de poços que fornecem baixas vazões e mostram salinidade alta.

A complementação prática para o correto funcionamento dos poços, após a instalação dos sistemas de dessalinização é a manutenção e o monitoramento de níveis e qualidade da água.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Documento Base do Programa Água Doce. 2010. Disponível em <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce> Acesso 26/06/2016.
- CUSTÓDIO, E., Hidroquímica, Sección 10, Hidrologia Subterránea, Ediciones Omega, 2ª Edición, 1983.
- Diagnóstico do Município de Apodi/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico do Município de Parelhas/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico do Município de São José do Seridó/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico do Município de Parazinho/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico técnico, social e ambiental de comunidades do semiárido potiguar do Município de Parelhas/RN - VERITAS ENGENHARIA AMBIENTAL, 2015.
- Diagnóstico técnico, social e ambiental de comunidades do semiárido potiguar do Município de Parazinho/RN - VERITAS ENGENHARIA AMBIENTAL, 2014.
- DNOCS, História. Disponível em <http://www.dnocs.gov.br/comunicacao/registros> Acesso 26/06/2016.
- FEITOSA, F.A.C., Testes de Bombeamento em Poços Tubulares, DNPM/ABAS, 1996.
- FILHO, M.J., Evolução Histórica do Conhecimento, Hidrologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.
- MENTE, A. A Água Subterránea no Brasil, Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.
- PORTARIA 2914, Ministério da Saúde, 2011.
- RESOLUÇÃO 257, Coordenação Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2005.
- RESOLUÇÃO 386, Coordenação Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2008.
- SANTOS, A.C., Noções de Hidroquímica, Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.