



## Rede Cooperativa de Pesquisa

# COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO



## *“HIDROGEOLOGIA DO AQÜÍFERO AÇU NA BORDA LESTE DA BACIA POTIGUAR: TRECHO UPANEMA-AFONSO BEZERRA”*

### Relatório Integrado

Outubro / 2007

Ministério de  
Minas e Energia

Ministério da  
Ciência e Tecnologia



**Rede Cooperativa de Pesquisa**

**COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO  
SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

***“HIDROGEOLOGIA DO Aqüífero Açú na Borda  
Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-  
Afonso Bezerra”***

**Relatório Integrado**

Execução:

**Serviço Geológico do Brasil - CPRM**

**Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN**

Outubro / 2007

## **REDE COOPERATIVA DE PESQUISA**

### ***COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO***

#### **Coordenação**

Período 2004/2005 – Dr. *Waldir Duarte Costa*

Período 2006/2007 – MSc *Fernando A. C. Feitosa*

#### **Instituições Participantes**

##### **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**

Coordenação: MSc *Fernando Antonio Carneiro Feitosa*

MSc *Jaime Quintas dos Santos Colares*

##### **Universidade Federal da Bahia – UFBA**

Coordenadora: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz

##### **Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**

Coordenador: Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

##### **Universidade Federal do Ceará – UFC**

Coordenadora: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago

##### **Universidade Federal de Pernambuco – UFPE**

Coordenador: Dr. José Geilson Alves Demetrio

##### **Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN**

Coordenador: Dr. José Geraldo de Melo

---

---

#### **Bacia Sedimentar Potiguar**

##### ***Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-Afonso Bezerra***

#### **Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte**

Dr. José Geraldo de Melo - UFRN

MSc José Ivan de Medeiros - UFRN

MSc Franklin de Moraes - CPRM

MSc Waldir Duarte Costa Filho - CPRM

MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN

Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) - UFRN

## **Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos**

### **Item 1 – Revisão Geológica**

MSc Dunaldson Eliezer G. A. da Rocha - CPRM  
MSc Cristiano de Andrade Amaral - CPRM  
Dr. José Geraldo de Melo - UFRN  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) - UFRN

### **Item 2 – Levantamento Geofísico por Eletorresistividade e Gravimetria**

Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco - UFC  
Dr. David Lopes de Castro – UFC  
Dr. Enéas Louzada - UFC  
MSc Mauro Lisboa Souza - UFC  
MSc Tércyo Rinaldo Gonçalves Pinéo - UFC

## **Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos**

### **Itens 1.1, 1.2, 1.3: 1.4,, 1.6, 1.7, 1.8 e 1.10**

Dr. José Geraldo de Melo - UFRN  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
MSc Waldir Duarte Costa Filho - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) – UFRN  
José Walquer Roque da Costa - CPRM

### **Item 1.5 – Nivelamento dos poços**

Dr. José Geraldo de Melo – UFRN  
Jorge de Vasconcelos Oliveira – CPRM  
Julimar de Araújo - CPRM  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos – UFRN  
Carlos Alberto Ramos - CPRM  
Armando Arruda Câmara Filho - CPRM  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) – UFRN

### **Item 1.9 – Modelagem das águas subterrâneas**

Dr. João Manoel Filho - Consultor

## **Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade**

### **Item 1 – Estudos Hidroquímicos e Isotópicos**

Dr. José Geraldo de Melo - UFRN  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
José Walquer Roque da Costa - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) - UFRN

### **Item 2 – Estudos de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação**

Dr. Dr. José Geraldo de Melo - UFRN  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) - UFRN

## **Meta E – Suporte ao Planejamento e a Gestão das Águas Subterrâneas**

Dr. José Geraldo de Melo - UFRN  
MSc José Ivan de Medeiros - UFRN  
MSc Franklin de Moraes - CPRM  
MSc Michaelon Belchior de Vasconcelos - UFRN  
Sâmara Daniele Oliveira de Moraes (estagiária) - UFRN

## **Meta F – Estruturação e Alimentação da Base de Dados em SIG**

Coordenação: Francisco Edson Mendonça Gomes – CPRM  
Eriveldo da Silva Mendonça - CPRM  
Érika Gomes Brito - CPRM  
Antônio Celso Rodrigues de Melo - CPRM  
Vicente Calixto Duarte Neto - CPRM

---

---

# SUMÁRIO RELATÓRIO INTEGRADO

## METAS B, C, D e E

<b>1. Introdução</b>	01
1.1 – Localização e acesso	02
1.2 – Objetivos	03
1.3 – Importância das águas subterrâneas	04
1.4 – Aspectos populacionais e demográficos	04
1.5 – Metodologia	05
<b>2. Balanço hídrico e condicionantes fisiográficos</b>	10
2.1 – Precipitação pluviométrica	10
2.2 – Balanço hidroclimatológico	11
2.2.1 – Cálculo da evapotranspiração potencial	12
2.2.2 – Estabelecimento do balanço hidroclimatológico	13
2.3 – Hidrografia	15
2.4 - Geomorfologia	18
<b>META B – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMÉTRICA DOS AQUÍFEROS</b>	22
<b>3. Geologia</b>	22
3.1 – Geologia regional	22
3.1.1 – Embasamento cristalino	22
3.1.2 – Bacia Potiguar	24
3.1.2.1 – Evolução tectono-estrutural	25
3.1.2.2 – Arcabouço estrutural	27
3.1.2.3 – Sequências tectono-sedimentares	28
3.1.2.4 - Estratigrafia	29
3.2 – Geologia e estrutura da área de estudo	33
3.2.1 - Geologia	33
3.2.2 – Estrutura geológica	36
3.2.2.1 – Análise de imagens de RADAR, satélite e observações de campo	36
3.2.2.2 – Correlação de perfis de poços	39
3.2.2.3 – Resultados dos estudos geofísicos	44
<b>META C – CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA</b>	48
<b>4. Caracterização hidrogeológica</b>	48
4.1 – Resultados do cadastro de poços	48
4.1.1 – Características dos poços perfurados no aquífero Açú	50
4.1.2 - Características dos poços perfurados no aquífero Jandaíra	51
4.1.3 - Características dos poços perfurados no aquífero cristalino	51
4.1.4 - Características dos poços perfurados no aquífero aluvial	52
4.1.5 - Características dos poços perfurados no aquífero aluvião Açú	52
4.2 – Dimensões do aquífero Açú	55
4.3 – Parâmetros hidrodinâmicos	61
4.3.1 – Testes de bombeamento e metodologia	62
4.3.2 – Resultados dos testes de bombeamento	67
4.3.3 – Interpretação dos resultados dos testes de bombeamento	69
4.3.4 – Relação da transmissividade com a capacidade específica	79

4.4 – Rede de monitoramento	80
4.4.1 – Definição e operação da rede para monitoramento das águas subterrâneas	80
4.4.2 – Características dos poços da rede de monitoramento	85
4.5 – Nivelamento dos poços	89
4.6 – Instalação de equipamentos de medição hidrológica	90
4.6.1 – Instalação de pluviômetros	90
4.6.2 – Instalação de infiltrômetros	91
4.7 – Comportamento do fluxo das águas subterrâneas	92
4.8 – Recarga das águas subterrâneas	100
4.8.1 – Balanço hídrico	101
4.8.2 – Lei de Darcy	101
4.8.3 – Variação sazonal do nível potenciométrico	102
4.8.4 – Balanço de cloreto	105
4.8.5 – Discussão geral quanto aos valores de recarga obtidos pela aplicação dos diferentes métodos	108
4.9 – Reservas e recursos explotáveis	109
4.9.1 – Avaliação das reservas do aquífero Açu	110
4.9.1.1 – Reservas reguladoras	110
4.9.1.2 – Reservas permanentes	111
4.9.1.3 – Reservas totais	111
4.9.2 – Reservas explotáveis	111
<b>META D – CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E DE VULNERABILIDADE</b>	112
<b>5. Características hidroquímicas e de qualidades das águas</b>	112
5.1 – Aspectos gerais	112
5.2 – Amostragem, resultados das análises e técnicas utilizadas	113
5.3 – Balanço de massas	117
5.4 – Avaliação estatística dos resultados das análises químicas das águas do aquífero Açu	121
5.5 – Origem e mecanismos da salinização das águas do aquífero Açu	126
5.5.1 – Correlação entre parâmetros hidroquímicos	126
5.5.2 – Modificações hidrogeoquímicas na direção do fluxo subterrâneo ao longo do tempo	127
5.5.3 – Fácies hidroquímicas e processos geoquímicos atuantes	138
5.6 – Qualidade das águas	145
5.6.1 – Qualidade das águas para consumo humano	145
5.6.2 – Qualidade das águas para irrigação	148
5.6.2.1 – Classes de água quanto ao risco de salinidade	148
5.6.2.2 – Classes de água quanto ao risco de sodicidade	150
5.6.2.3 – Classes de água quanto ao risco de toxicidade	153
5.6.2.4 – Classificação das águas do aquífero Açu para irrigação	153
<b>6. Vulnerabilidade e riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas do aquífero Açu</b>	159
6.1 – Conceitos fundamentais	159
6.2 – Avaliação da vulnerabilidade	160
6.3 – Caracterização dos riscos de contaminação	165

<b>META E – SUPORTE AO PLANEJAMENTO E A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>	168
<b>7. Subsídios ao planejamento e a gestão das águas subterrâneas do aquífero Açú na borda sul da bacia Potiguar: Trecho Apodi-Upanema</b>	168
7.1 – Zoneamento explotável	168
7.2 – Obras hídricas subterrâneas recomendadas	170
7.3 – Avaliação da eficiência operacional da rede de monitoramento instalada	176
7.4 – Operação e manutenção de poços	177
<b>8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	178
	181
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	
1 – Modelagem numérica do aquífero Açú-Jandaíra	
2 – Groundwater salinization in the Upanema-Afonso Bezerra semi-arid region, RN, Brazil	
3 – Cadastro de poços	
4 – Mapa da rede de poços cadastrados	
5 – Mapa da rede poços monitorados	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
Figura 1.1: Localização da área de estudo.	03
2.1 - Precipitação pluviométrica (mm) dos municípios da área de estudo e adjacências (obtido a partir de dados da EMPARN).	10
Figura 2.2: Temperatura mínima, média e máxima (°C) do município de Ipanguaçu	11
Figura 2.3 Representação gráfica do balanço hídrico estabelecido para a região de Açú-Ipanguaçu (Período 1910-1990).	14
Figura 2.4 Rede Hidrográfica, mostrando os divisores hidrográficos.	17
Figura 2.5 Perfis do relevo utilizando informações de SRTM (2003).	19
Figura 2.6 Localização dos perfis do relevo na área de estudo.	19
Figura 2.7 Perfil do relevo A-B	20
Figura 2.8: Perfil do relevo C-D.	20
Figura 2.9 Perfil do relevo E-F.	20
Figura 2.10 Perfil do relevo G-H.	20
Figura 2.11 Vista panorâmica da escarpa formada pelo contato da Formação Jandaíra (parte elevada) e Formação Açú; área localizada a NE da cidade de Upanema.	21
Figura 3.1: Mapa geológico simplificado da Província Borborema.	23
Figura 3.2 Compartimentação da Bacia Potiguar. (Apoluceno, 1995)	24
Figura 3.3 Separação continental: continentes sul-americano e africano e evolução da Bacia Potiguar (Françolin & Szatmari, 1987)	25
Figura 3.4 Estratigrafia da Bacia Potiguar (Araripe & Feijó (1994).	29
Figura 3.5 Geologia da área de estudo	34



Figura 3.6 Arenito maciço fino a médio com matriz argilosa, possuindo um cimento ferruginoso, com seixos angulosos a subangulosos dispersos.	35
Figura 3.7 Estruturação geológica da área de estudo	37
Figura 3.8. Diagrama de rosetas	38
Figura 3.9 Seixos de rochas carbonáticas silicificadas evidenciando a atividade de falhas.	38
Figura 3.10 Perfil geológico A1A2	40
Figura 3.11 Perfil geológico B1B2	41
Figura 3.12 Perfil geológico C1C2	42
Figura 3.13 Perfil geológico D1D2	43
Figura 3.14 Localização dos perfis de resistividade e das SEV's (Branco, R. M. G, 2006)	45
Figura 3.15 Mapa de isopacas da Formação Açú (Branco, R. M. G, 2006)	45
Figura 3.16 Perfil de resistividade AB e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, 2006)	46
Figura 3.17 Perfil de resistividade CD e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)	46
Figura 3.18 Perfil de resistividade EF e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)	47
Figura 3.19 Perfil de resistividade GH e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)	47
Figura 4.1 Distribuição espacial dos poços cadastrados	53
Figura 4.2 Vazão específica dos poços penetrando o aquífero Açú.	54
Figura 4.3 Distribuição dos poços penetrando o aquífero Açú com perfis litológicos.	59
Figura 4.4 Poços com penetração total no aquífero Açú	60
Figura 4.5 Escoador de orifício circular. Fonte: Custodio & Llamas,1983	63
Figura 4.6 Nivelando coluna suporte vertical contendo mangueira e a escala métrica usada para medição da carga hidráulica (Arq. DSC0012)	64
Figura 4.7 Nivelamento da coluna suporte vertical em detalhe (Arq. DSC 0013)	64
Figura 4.8 Nivelando o tubo escoador de orifício circular (Arq. DSC0017)	65
4.9 Tubos de PVC usados como receptor e condutor da água que sai do tubo escoador de orifício circular, evitando-se, assim, o acúmulo e infiltração de água no local do teste (Arq. DSC0028)	65
Figura 4.10 Descarga efetuada diretamente do tubo nos tubos de PVC para evitar acúmulo e infiltração de água no local do teste (Arq.DSC030)	66
Figura 4.11 Visão do conjunto tubo escoador de orifício circular e rede auxiliar de tubos de PVC auxiliar usada para conduzir a água que sai do tubo escoador evitando, assim, acúmulo e infiltração no local do teste(Arq. DSC0033).	66
Figura 4.12 Visão global do conjunto poço bombeado, tubo escoador de orifício circular com coluna suporte vertical contendo mangueira e escala métrica, e tubos de PVC (Arq.DSC004)	67
Figura 4.13 Curva rebaixamento x tempo durante o bombeamento e recuperação.	67
Figura 4.14 Distribuição dos valores de transmissividade do aquífero Açú	78
Figura 4.15 Distribuição dos poços da rede de monitoramento	83
Figura 4.16A Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento.	86
Figura 4.16B Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento.	87
Figura 4.16C Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento	88
Figura 4.17 Curvas isotopociométricas do aquífero Açú obtidas com base em imagens de Radar (Dezembro 2005)	95
Figura 4.18 Curvas isotopociométricas do aquífero Açú (Setembro 2005)	96
Figura 4.19 Curvas isotopociométricas do aquífero Açú (Dez 2005)	97
Figura 4.20 Curvas isotopociométricas do aquífero Açú (Maio 2006)	98

Figura 4.21 Curvas isopotenciométricas do aquífero Açú (Março 2007)	99
Figura 4.22 Recarga das águas subterrâneas pelo Método do Balanço de Cloreto.	107
Figura 5.1 Mapa de localização dos pontos de amostragem.	114
Figura 5.2 Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Novembro 2001)	129
Figura 5.3 Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Dezembro 2005)	130
Figura 5.4 Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Março 2007)	131
Figura 5.5 Sólidos Totais dissolvidos nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	132
Figura 5.6 Cloreto nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	133
Figura 5.7 Sódio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	134
Figura 5.8 Distribuição do Cálcio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	135
Figura 5.9 Magnésio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	136
Figura 5.10 Bicarbonato nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)	137
Figura 5.11 Representação dos resultados das análises químicas das amostras de águas subterrâneas e superficiais em termos percentuais de cátions e ânions no Diagrama de Piper	139
Figura 5.12 Representação dos resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea no Diagrama de Piper, mostrando as modificações hidrogeoquímicas na direção do fluxo subterrâneo.	139
Figura 5.13 Diagrama de Durov expandido	144
Figura 5.14: Classificação das águas para irrigação	155
Figura 6.1 Índice de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero Açú (Foster et al. 2002)	161
Figura 6.2 Profundidade do Nível das Águas Subterrâneas	163
Figura 6.3 Vulnerabilidade das águas subterrâneas do aquífero Açú	164
Figura 6.4 Ocupação do solo e fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas	167
Figura 7.1 Zoneamento explotável do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-Afonso Bezerra.	169
Figura 7.2 Projeto de poços de produção na Zona A	173
Figura 7.3 Projeto poços de produção na Zona B	174
Figura 7.4 Projeto poços de produção na Zona C	175

## LISTA DE TABELA

Tabela 1.1 População e Densidade Demográfica dos Municípios da área de estudo.	05
Tabela 2.1: Média pluviométrica anual na região de estudo	10
Tabela 2.2 Valores obtidos para evapotranspiração potencial (ETp), Região Açú-Ipangaçu (Método de Turc).	12
2.3 – Balanço hídrico da região Açú-Ipangaçu (1910-1990)	13
Tabela 2.4 – Classificação climática segundo o índice global (I)	15
Tabela 2.5 Classificação climática quanto eficiência térmica (mm)	15
Tabela 4.1 Síntese dos resultados do cadastramento de poços	48
Tabela 4.2 Espessura penetrada no aquífero Açú (Poços parcialmente penetrantes e poços totalmente penetrantes)	56
Tabela 4.3 Espessuras totais do aquífero Açú com base nos perfis litológicos dos poços	58
Tabela 4.4 Resumo dos resultados dos testes de bombeamento	69
Tabela 4.5 Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos com base na interpretação dos testes de bombeamento de poços	76
Tabela 4.6 Relação dos pontos de água que compõem a rede de monitoramento	81
Tabela 4.7 Números de poços da rede de monitoramento por município	82
Tabela 4.8 Resumo dos parâmetros construtivos dos poços da rede de monitoramento.	85

Tabela 4.9 Resultados do nivelamento dos poços	89
Tabela 4.10 Variações de cargas potenciométricas em poços do aquífero Açú, obtidos ao final das estações seca (Dezembro 2005) e chuvosa (maio 2006).	104
Tabela 4.11 - Recarga das águas subterrâneas	108
Tabela 5.1 Relação dos pontos de amostragem de água e datas de coleta.	115
Tabela 5.2 Resultado dos parâmetros químicos das amostras de água coletadas na região de Upanema-Afonso Bezerra, RN.	118
Tabela 5.3 Técnicas analíticas utilizadas	120
Tabela 5.4 Balanço iônico e avaliação da precisão dos resultados das análises químicas de água	122
Tabela 5.5 Parâmetros estatísticos dos resultados das análises químicas das águas do aquífero Açú	124
Tabela 5.6 Correlação entre parâmetros hidroquímicos.	127
Tabela 5.7 Coeficiente de variação (r) e os respectivos graus de correlação	127
Tabela 5.8 Tipos de água segundo os íons dominantes e Minerais dissolvidos	141
Tabela 5.9 Normas de potabilidade química (mg/L, quando não indicado)	146
Tabela 5.10 Potabilidade das águas dos aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar: Trecho Upanema - Afonso Bezerra	147
Tabela 5.11 Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade. Tabela 5.12: Riscos de problemas de infiltração no solo devido sodicidade da água.	150
Tabela 5.13 Concentração de cálcio (Ca) contida na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ e $\text{CE}^{1,2,3}$	151
Tabela 5.14: Concentrações de íons em água e riscos de toxicidade às plantas.	152
Tabela 5.15 Classificação das águas do aquífero Açú para irrigação	153
Tabela 5.15 Classificação das águas do aquífero Açú para irrigação	156
Tabela 7.1 – Características técnicas do poço padrão no aquífero Açú na borda sul da Bacia Potiguar – Trecho Upanema/Afonso Bezerra	172

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Norte possui aproximadamente 57% de sua área representada por rochas do embasamento cristalino e 43% por rochas sedimentares onde as condições climáticas do semi-árido, e, geológicas favorecem a escassez de água tanto superficial quanto subterrânea. A área de estudo está inserida no contexto do semi-árido em uma região frágil do ponto de vista econômico que enfrenta graves adversidades decorrentes principalmente da vulnerabilidade às sucessivas estiagens. Na região de estudo (Bacia Potiguar), a presença de aquíferos regionais intergranulares e cársticos, respectivamente os aquíferos Açu e Jandaíra, desempenham um papel importante no abastecimento de água das populações e desenvolvimento da região.

Os principais fatores limitantes a utilização das águas subterrâneas na área de estudo são:

- Ocorrência de águas com salinidade elevada em alguns setores;
- Baixas vazões dos poços em muitas situações;
- Custos operacionais elevados.

O aquífero Açu na sua zona principal de recarga (zona de afloramento da Formação Açu na Borda Sul da Bacia Potiguar), entre Afonso Bezerra e Upanema, constitui o objeto principal deste trabalho.

As águas do aquífero Açu no domínio da área de estudo abastecem quase que completamente os municípios de Upanema, Açu, Ipanguaçu, Afonso Bezerra e Angicos. Diversas comunidades rurais são abastecidas unicamente com as águas subterrâneas. Nesta região as águas subterrâneas possuem também uma importância como reserva estratégica, podendo estar disponível em situações adversas, período de grandes estiagens e problemas de contaminação de reservatórios superficiais.

Ao sul da parte central da área de estudo, no rio Piranhas/Açu, inserido em rochas cristalinas, está localizada a Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, com capacidade para 2,5 bilhões de m<sup>3</sup>. As águas desta barragem são utilizadas no abastecimento da cidade de Mossoró (fora da área de estudo) e várias cidades da

região semi-árida através de sistemas de adutoras. O rio Piranhas/Açu corta a área de estudo numa extensão de cerca de 20 km no sentido de sul para norte com um fluxo superficial perene recarregando os aluviões da Planície aluvial do rio Açu e o próprio aquífero Açu. No domínio da área de estudo as águas de superficiais do sistema Açu suprem parcialmente demandas de projetos de irrigação no vale do Açu e abastecem a cidade de Açu, neste caso, dispondo de uma complexa estação de tratamento. A cidade de Ipanguaçu e distritos são em geral, por conseguinte supridas por águas subterrâneas, ressaltando-se que neste caso o tratamento de água quando necessário é simplificado. As áreas rurais por não possuírem um sistema de abastecimento de água em rede, dependem diretamente da captação das águas subterrâneas.

Será apresentada neste trabalho uma caracterização hidrogeológica, e hidrogeoquímica e de qualidade das águas da área da área de estudo, abordando aspectos do uso das águas e de suas potencialidades e de fatores naturais e antrópicos que limitam a sua utilização. As informações obtidas neste trabalho constituem subsídios para um aproveitamento mais equilibrado dos recursos explotáveis, de conformidade com as demandas requeridas para suprimento urbano e desenvolvimento agrícola, o que demanda grande interesse no desenvolvimento sócio-econômico da região.

### **1.1 - Localização, dimensões e vias de acesso.**

Os estudos foram executados na borda sul da Bacia Potiguar, no Estado do Rio Grande do Norte, numa faixa de cerca de 90 km de extensão (este - oeste) por 30 km de largura (norte-sul), portanto com superfície total de 2.700 km<sup>2</sup> (Figura 1). A área efetiva de trabalho, de fato, corresponde à região de afloramento da Formação Açu, cuja superfície é da ordem de 1100 km<sup>2</sup>. Porém para uma melhor compreensão da hidrogeologia do sistema aquífero Açu, a área de estudo extrapola esses limites, incluindo parte dos calcários, ao norte e o cristalino, ao sul.

A área de estudo abrange total ou parcialmente os municípios de Upanema, Açu, Ipanguaçu, Afonso Bezerra, Itajá e Anjicos, estando a sede dos municípios de Upanema, Açu, Ipanguaçu e Afonso Bezerra situadas no interior da mesma.

O acesso à área de estudo partindo de Natal é efetuado através da BR-204, no sentido aproximado leste-oeste, num percurso total de cerca de 250km.



Figura 1.1 - Localização da área de estudo, com destaque da zona de afloramento da Formação Açú nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

## 1.2 - Objetivos

O trabalho foi desenvolvido visando avaliar as potencialidades e condições para a exploração das águas subterrâneas do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar no trecho compreendido entre Afonso Bezerra e Upanema. Nesta avaliação são considerados, além dos aspectos hidrogeológicos propriamente ditos, fatores de ordem hidrogeoquímica e ambientais envolvidos.

Neste contexto, pretende-se verificar as possibilidades de manutenção das descargas bombeadas atualmente, bem como, dentro do possível, contribuir para a elaboração de projetos que contemple a maximização da oferta de água, como também servir de apoio para a gestão do aquífero Açú. As condições de sustentabilidade hídrica são observadas durante as avaliações dos recursos exploráveis.

Com o desenvolvimento deste trabalho serão definidas zonas segundo o potencial hidrogeológico e a qualidade das águas para os diversos fins, em especial para o uso humano, permitindo desta feita a adequação e a exploração do manancial subterrâneo, garantindo o uso racional dos recursos disponíveis.

### **1.3 - Importância das águas subterrâneas**

A área em apreço está situada no domínio do semi-árido nordestino, numa região marcada pela escassez de recursos hídricos e com limitação de uso tanto em termos quantitativo como qualitativo. Convém ressaltar que na área correspondente a Borda Sul da Bacia Potiguar, mais especificamente na faixa de afloramento do arenito Açú, os recursos hídricos subterrâneos são reconhecidos como expressivos pelo uso atual que se faz do mesmo. Porém as condições reais de disponibilidade desses recursos até então eram desconhecidos e precisavam ser avaliados, pelo menos em uma primeira aproximação, para garantir a manutenção da exploração atual e uma possível maximização do uso da água no atendimento às demandas locais e da região do embasamento cristalino, onde os recursos hídricos são escassos.

Este trabalho é apresentado diante da perspectiva de aumentar a oferta de água de forma segura tanto no suprimento hídrico de comunidades urbanas e rurais, como para a irrigação de culturas, através da perfuração de poços, o que demanda grande interesse no desenvolvimento sócio-econômico da região.

### **1.4 - Aspectos populacionais e demográficos**

Conforme já citado anteriormente a área de estudo compreende total ou parcialmente os municípios Açú, Ipanguaçu, Afonso Bezerra, Upanema, Itajá e Angicos, sendo que as sedes municipais das quatro primeiras estão situadas no interior da área.

O município de Açú é o mais populoso, cuja população urbana é de 34.646 e população rural de 13.259, o que mostra que no domínio urbano se concentra 72% da população total do município. As populações dos municípios de Afonso Bezerra e Upanema são muito próximas, da ordem de 10.867 e 10.991 habitantes, respectivamente, sendo que na cidade de Afonso Bezerra, com 6500 habitantes está concentrada quase 60% da população. A cidade de Upanema com 5043 habitantes, chega a exceder a população rural. No caso de Ipanguaçu a população do município é de 11.924, com 7562 habitantes distribuídos na zona rural, o que corresponde a 63%.

A população total dos municípios atinge 99561 habitantes (incluindo os domínios fora da área de estudo), enquanto que na zonas urbanas no contexto geral da área de estudo estão concentrados cerca de 50% da população ou seja 50541 habitantes. Não se sabe, entretanto, a população efetiva da zona rural, o que dificulta uma avaliação precisa da demanda d'água para consumo humano no contexto geral da área de estudo. Os municípios de Itaja e Anjicos têm pouca influência na área de estudo.

No que se refere a densidade demográfica, o município de Açú é o que apresenta maior densidade demográfica com 37,74 hab/km<sup>2</sup> seguido Ipanguaçu com 31,86 hab/km<sup>2</sup>. O município de Upanema é o de densidade demográfica mais baixa com 12,46 hab/km<sup>2</sup> seguido do município de Angicos com 15,67 hab/km<sup>2</sup> (Tabela.1.1) .

**Tabela 1.1 - População e Densidade Demográfica dos Municípios da área de estudo.**

<b>Município</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>População</b>	<b>População Urbana</b>	<b>População urbana (%)</b>	<b>População rural</b>	<b>População rural (%)</b>	<b>Densidade demográfica (km<sup>2</sup>)</b>
Açú	1.291	47.904	34.646	72	13.259	28	37,74
Afonso							
Bezerra	558	10.867	6.500	60	4.367	40	18,86
Angicos	806	11.626	9.391	81	2.235	19	15,67
Ipanguaçu	374	11.924	4.352	36	7.562	63	31,86
Itaja	203	6.249	5.128	82	1.121	18	30,69
Upanema	853	10.991	5.043	46	5.948	54	12,46

A economia da região é embasada em atividades do setor primário como a agropecuária e agricultura, seguindo-se as atividades referentes ao setor de serviços e ao setor secundário.

### **1.5 - Metodologia**

O trabalho foi desenvolvido segundo as seguintes atividades metodológicas:

**- Levantamento bibliográfico e coleta de dados.**

Foram inicialmente levantadas informações de caráter bibliográfico de natureza técnica e científica e de dados existentes nos arquivos de entidades



governamentais e empresas privadas que se mostraram de interesse ao desenvolvimento do estudo. Neste contexto foram obtidas informações que incluem aspectos referentes a geologia e hidrogeologia regional, dados de postos de medições pluviométricas, cadastro de pontos d'água, perfis construtivos e litológicos de poços, resultados de análises físico-químicas de águas, aquisição de imagens de satélites e dados de parâmetros hidrodinâmicos de poços.

#### **- Caracterização geométrica e geológica do aquífero Açú**

A caracterização geológica e estrutural da área foi obtida com base nos seguintes recursos:

- Interpretação de fotografias aéreas, imagens de radar e de Satélite, que permitiram em associação com mapa regional existente (CPRM, 2006) a elaboração de um mapa geológico e estrutural preliminar;
- Mapeamento Geológico de superfície com a checagem em campo do mapa geológico preliminar;
- Prospecção geofísica, com a utilização dos métodos de resistividade e gravimétricos;
- Correlação de perfis de poços.

#### **- Revisão e atualização do cadastro de pontos de água**

O conhecimento da infraestrutura hídrica no domínio da área de estudo foi obtido mediante a homogeneização e atualização dos cadastros de poços já existente nos seguintes órgãos: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID). A homogeneização das informações dos poços foi realizada da seguinte forma:

- Seleção de poços que poderiam possuir mais de um registro;
- Visitas *in loco* para verificação das informações;
- Atualização do cadastro através da adição de informações obtidas no campo.

O cadastro de poços efetivamente efetuado na área de estudo, abrangeu total ou parcialmente os municípios de Afonso Bezerra, Angicos, Ipanguaçu, Açu e Upanema. O referido cadastro foi concentrado principalmente na zona de afloramento da Formação Açu, porém por questões de interpretação hidrogeológica e hidrogeoquímica, esta atividade extrapolaram os limites da Formação Açu, com o levantamento de alguns poços penetrando a Formação Jandaira e as rochas do embasamento cristalino.

#### **- *Definição e operação da rede de monitoramento***

Foi definida uma rede de monitoramento de natureza qualitativa e quantitativa, obedecendo a critérios estabelecidos em função das peculiaridades hidrogeológicas e hidrogeoquímicas identificadas na fase de cadastramento dos poços.

O monitoramento qualitativo ficou restrito a uma campanha de coleta de amostras de água para análise em laboratório para avaliação dos parâmetros hidroquímicos: cátions principais sódio, potássio, cálcio e magnésio e os ânions cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato, e, compostos da série nitrogenada (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal) além dos parâmetros condutividade elétrica, dureza, alcalinidade, pH, Eh e Fe. O monitoramento hidroquímico prosseguiu concomitantemente com o monitoramento dos níveis de água dos poços nos meses subseqüentes com observação “in situ” da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, Eh e pH.

#### **- *Nivelamento de pontos da rede de monitoramento***

Os poços da rede de monitoramento foram nivelados utilizando sistema de GPS Geodésico.

#### **- *Instalação de pluviografos, infiltrometros e piezômetro***

Foram instaladas duas estações de medição chuva precipitada sobre a superfície do solo e infiltrada no terreno, uma delas no setor oriental da área, na região de Afonso Bezerra-Ipanguaçu e uma outra no setor ocidental, na região Açu-Upanema. Cada estação ficou constituída de um infiltrometro de gaveta e de um

pluviografo. No caso da estação Açú-Upanema foi instalado também um piezômetro para observação de níveis de água subterrânea no local.

#### **- Características do fluxo subterrâneo**

Foram a partir da interpretação de mapas potenciométricos elaborados com base nos dados do monitoramento e valores das cotas topográficas de cada ponto da rede.

#### **- Balanço hídrico**

Foi elaborado o balanço hidroclimatológico da área utilizando o método de Thornthwate elaborado com base em dados mensais.

#### **- Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero**

Foram avaliados com base na interpretação de resultados de teste de produção de poço obtidos dos arquivos de dados das empresas e instituições. Apenas resultados de um teste de aquífero com dispositivo de poço observado, realizado no âmbito deste trabalho, foi utilizado.

Na interpretação dos resultados foi utilizado o software AquiferTest da Schlumberger Water Services.

#### **- Recarga das águas subterrâneas**

A recarga das águas subterrâneas foi avaliada com a aplicação de diferentes metodologias que se adequassem as condições de semi-aridez da área.

#### **- Zoneamento das potencialidades**

O zoneamento das potencialidades é apresentado com base nos resultados dos estudos hidrogeológico e hidroquímicos empreendidos no âmbito deste trabalho.

#### **- Caracterização hidrogeoquímica e qualidade das águas**

Toda a caracterização hidroquímica é efetuada com base nos dados de monitoramento de qualidade das águas e nos resultados das análises de água

efetuadas em laboratório. Os resultados das análises de águas foram submetidos a um balanço de massas para avaliar a precisão dos resultados.

A origem e mecanismos da salinização das águas é avaliada com base nos resultados das análises, mediante tratamento estatístico dos resultados e utilização de diagramas específicos de interpretação: Piper e Durov expandido. A classificação das águas quanto a potabilidade é efetuada utilizando as normas estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e a classificação segundo estabelece a resolução CONAMA 2005. A classificação das águas para irrigação é estabelecida segundo os conceitos de salinidade, sodicidade e toxicidade

Na interpretação geral dos resultados é utilizado o software Aquachem da Schlumberger Water Services.

#### **- Vulnerabilidade e riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas**

O panorama de riscos de contaminação das águas subterrâneas é apresentado com base no levantamento das fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas e no caráter de vulnerabilidade do sistema aquífero ser afetado pelas cargas contaminantes dispostas sobre ou sob o terreno.

A vulnerabilidade do sistema aquífero é avaliada com base na metodologia GOD aplicável a situações regionais e principalmente quando se dispõe de poucos parâmetros, como é o caso em apreço.

## **2. BALANÇO HÍDRICO E CONDICIONANTES FISIAGRÁFICOS**

### **2.1 - Precipitação pluviométrica**

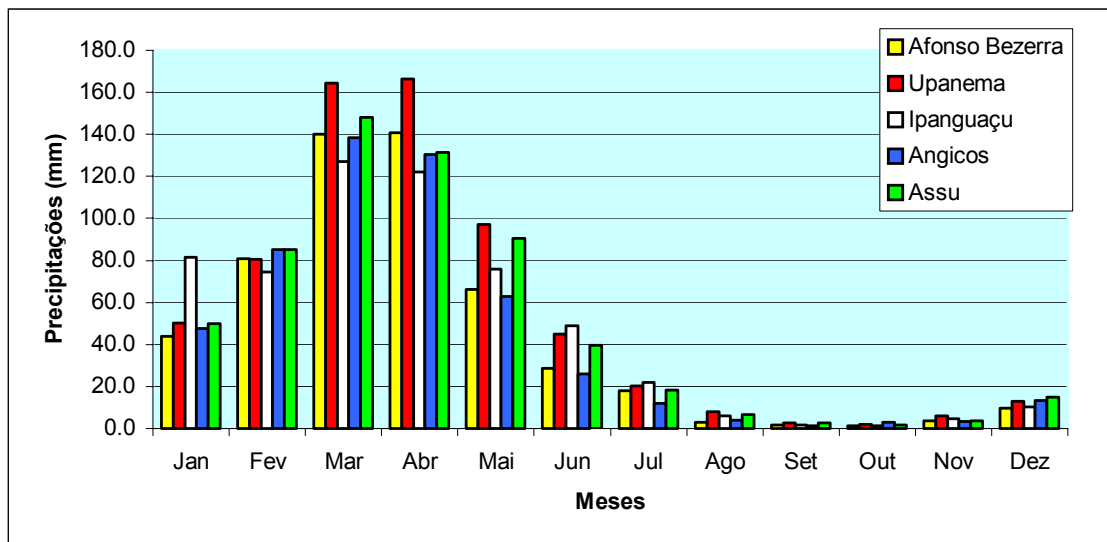
As informações sobre precipitação pluviométrica da área de estudo são apresentadas com base em dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), conforme Tabela 2.1, que inclui informações de postos pluviométricos no interior da área e nas imediações. O posto pluviométrico de Upanema apresenta uma precipitação anual média de 666 mm em uma série histórica de 1931-2004; Ipanguaçu com 595 mm, série histórica 1992-2004; Açú com 585 mm anuais em uma série histórica de 1910-2004; Afonso

Bezerra com 536 mm, série histórica 1934-2004. Os dados do posto pluviométrico de Angicos indicam uma precipitação média anual de 530 mm em uma série histórica de 1911-2004. Observando os dados da Tabela 2.1 verifica-se que há uma tendência a aumento das precipitações pluviométricas de leste para oeste. Este comportamento também foi observado no trecho entre Upanema e Apodi (MELO & STEIN, 2003).

**Tabela 2.1 - Média pluviométrica anual na região de estudo**

Município	Média (mm)	Série histórica	Dados incompletos
Upanema	666	1931-2004	1978-1992;1994;1997-1999; 2001; 2002; 2004.
Ipanguaçu	595	1992-2004	1992
Açu	585	1910-2004	1910;1961;1962;1976;1986-1990.
Afonso Bezerra	536	1934-2004	1990-1995.
Angicos	530	1911-2004	1988-1994;1996;2001;2002.

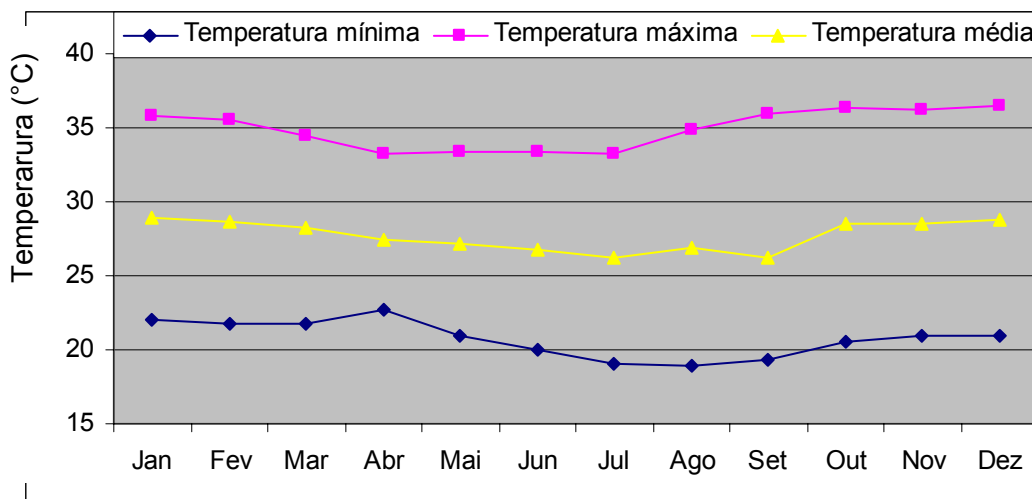
Na Figura 2.1 pode-se observar o comportamento da precipitação pluviométrica ao longo do tempo nas diversas áreas ou municípios, no qual se visualiza certa homogeneidade na distribuição das chuvas.



**Figura 2.1 - Precipitação pluviométrica (mm) dos municípios da área de estudo e adjacências (obtido a partir de dados da EMPARN).**

Todos os municípios possuem uma estação chuvosa concentrada entre os meses de janeiro a junho, com uma maior ocorrência das chuvas nos meses de março e abril, correspondendo a quase metade das chuvas que precipitam todo o ano. O mês de julho marca o início do período seco que vai até o mês de dezembro, neste período as chuvas excedem pouco mais do que 10% do total das precipitações anuais.

A EMPARN dispõe apenas de um posto de coleta de dados de temperatura, o qual se localiza no município de Ipanguaçu, no centro da área de estudo. A temperatura média mínima é de 20,7°C, a temperatura média máxima é de 34,9°C e a temperatura média geral é de 27,7°C. A Figura 2.2 apresenta o comportamento da temperatura ao longo do tempo. As maiores temperaturas são observadas no mês de dezembro com 36,5°C, e a menor no mês de agosto com 18,9°C.



**Figura 2.2 - Temperatura mínima, média e máxima (°C) do município de Ipanguaçu**

## 2.2 - Balanço Hidroclimatológico

O balanço hidroclimatológico foi estabelecido com base em dados da estação meteorológica de Ipanguaçu (1910-1990). Foi inicialmente avaliada a evapotranspiração potencial (ETp) para cada mês e a ETp média anual para o período considerado, utilizando o Método de Turc. Em seguida, a evapotranspiração real (ETr) mensal e anual foi avaliada aplicando o método de Thornthwaite. Os resultados obtidos permitiram o estabelecimento do balanço hídrico com a obtenção

de informações sobre o “déficit” e excedente hídrico anual, conforme descrição e discussão a seguir.

### 2.2.1 - Cálculo da Evapotranspiração potencial

Para o cálculo da evapotranspiração potencial é necessário o conhecimento das coordenadas do lugar, da umidade relativa do ar e das temperaturas correspondentes. Quando a umidade relativa do ar é superior a 50%, como é o caso, e o suprimento de água do solo é suficiente (hipóteses de definição), a ETp mensal pode ser avaliada pela equação de Turc conforme segue:

$$ETp = 0,40(Ig + 50) \frac{t}{t+15} \quad (2.1)$$

Para o mês de fevereiro substituir 0,40 por 0,37.

Ig=Índice Global de Radiação (Cal/cm<sup>2</sup>/dia); t=Temperatura média mensal (° C).

A Tabela 2.2 apresenta os valores de ETp mensal obtidos para a região Açuplanguaçu. Com base nos valores de ETp mensais, foi obtida a EPp anual de 1499,4 mm.

**Tabela 2.2 - Valores obtidos para evapotranspiração potencial (ETp), Região Açuplanguaçu (Método de Turc).**

Mês	T °C	Ig(Cal/cm2/dia)	Etp(mm)
Jan	28,9	430	126,4
Fev	28,7	400	109,3
Mar	28,2	425	124,0
Abr	27,4	340	100,8
Mai	27,2	380	110,9
Jun	26,7	450	128,1
Jul	26,2	430	122,1
Ago	26,9	450	128,4
Set	26,2	480	134,8
Out	28,5	510	146,8
Nov	28,5	460	133,7
Dez	28,8	460	134,1

## 2.2.2 - Estabelecimento do Balanço Hidroclimatológico

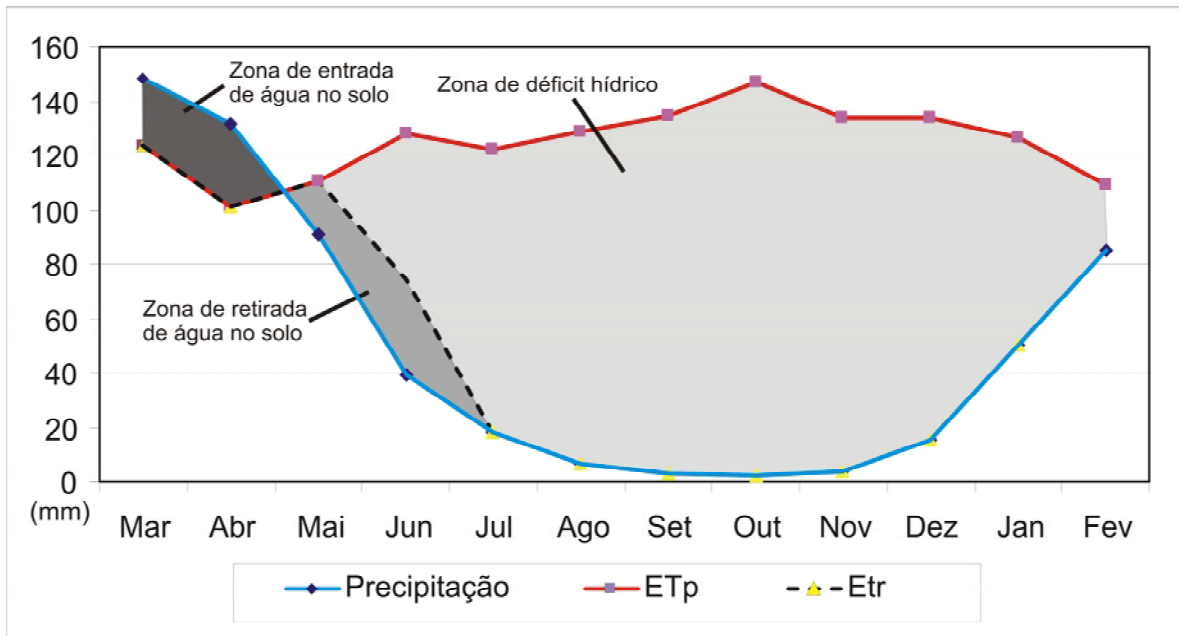
O balanço hídrico foi estabelecido pelo método de Thornthwaite para o período 1910-1990. A Tabela 2.3 apresenta os parâmetros hidroclimatológicos considerados no balanço e os respectivos valores obtidos com base nos dados de P e ETp mensais. Verificou-se a ocorrência de “déficit” hídrico na maioria dos meses (9 meses) com um total anual de 593,6 mm, e, não foi registrado excedente hídrico. A Figura 2.3 é uma representação gráfica do balanço na região em apreço, na qual se pode observar que existe entrada de água no solo nos meses de março e abril, seguido da retirada de água nos dois ou três meses subsequente, e, a partir daí o déficit hídrico é estabelecido. Como não houve excedente hídrico, o montante potencial de água infiltrada não chegou a ser avaliado, sugerindo, entretanto que o mesmo deva ser baixo.

**Tabela 2.3 – Balanço hídrico da Região Açu-Ipangaçu (1910-1990) – valores em mm de altura de lâmina de água**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
<b>P</b>	50,1	85,1	148,2	131,5	90,7	39,6	18,4	6,5	2,7	1,9	3,9	15,1	593,5
<b>ETp</b>	126,4	109,3	124,0	100,8	110,9	128,1	122,1	128,4	134,8	146,8	133,7	134,1	1499,4
<b>P-ETp</b>	-76,3	-24,2	24,2	30,7	-20,3	-88,5	-103,7	-121,9	-132,1	144,9	129,8	-119,0	
$\Delta$	0	0	24,1	30,68	-20,3	-34,6	0	0	0	0	0	0	
<b>Ru</b>	0,0	0,0	24,1	54,9	34,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>ETr</b>	50,1	85,1	124	100,8	110,9	74,2	18,4	6,5	2,7	1,9	3,9	15,1	593,6
<b>D</b>	76,3	24,2	0	0	0,0	53,9	103,7	121,9	132,1	144,9	129,8	119,0	905,8
<b>S</b>	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
<b>R</b>	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

P: precipitação; ETp: evapotranspiração potencial;  $\Delta$ : variação da reserva de água no solo; Ru: reserva de água útil; ETr: evapotranspiração real; D: déficit; S: excedente; R: escoamento.





**Figura 2.3 Representação gráfica do balanço hídrico estabelecido para a região de Açulpanguaçu (Período 1910-1990).**

### 2.2.3 Classificação climática

Visando estabelecer uma classificação climática para a região em apreço, foram utilizados os resultados obtidos no balanço hídrico, fundamentados no sistema de classificação de Thornthwaite. Desta forma, obtiveram-se os seguintes resultados:

-Índice de umidade (Ih):

$$Ih = 100 \frac{S}{ETp} \quad (2.2)$$

Onde:

S é o excedente e ETp é a evapotranspiração potencial;

-Índice de aridez (Ia):

$$Ia = 100 \frac{D}{ETp} \quad (2.3)$$

Onde D é o déficit;

-Índice global (I):

$$I = \left( \frac{S - 0,6D}{ETp} \right) * 100 \quad (2.4)$$

Para a região Açu-Ipanguaçu os índices de umidade (Ih), de aridez (Ia) e de índice global (I) são de 0,0; 60% e -36%, respectivamente. Comparando os valores do índice global obtido com as informações da Tabela 2.4, classifica-se o clima como semi-árido.

**Tabela 2.4 – Classificação climática segundo o índice global (I)**

<b>Tipo C.limático</b>	<b>i</b>
Muito úmido	i>100
Sub-úmido úmido	20 a 100
Sub-úmido seco	0 a 20
Semi-árido	-20 a 0
Árido	-60 a -40
Hiper-Árido	I <-60

O clima também pode ser classificado segundo o valor da ETp anual, que define a eficiência térmica do clima de conformidade coma a Tabela 2.5. O valor obtido para a ETp foi de 1499,4 mm, portanto, segundo esta classificação, o clima é megatérmico.

**Tabela 2.5 - Classificação climática quanto eficiência térmica (mm)**

<b>Tipo Climático</b>	<b>ETp</b>
Megatérmico	>1140
Mesotérmico	1140 a 570
Microtérmico	570 a 142
Gelo	<142

### **2.3 - Hidrografia**

A área de estudo está inserida em sua maior parte nas bacias hidrográficas do Rio do Carmo (Figura 2.4), na sua parte oeste; Bacia Piranhas-Açu, na porção central e centro-oeste e com pequena participação da sub- bacia do rio Potengí-Mulungu (Bacia Piranhas-Açu), à nordeste. A área é cortada pelos cursos dos Rios

principais no sentido de sul para norte segundo um trajeto de 10 a 15 km no domínio da Formação Açú.

A bacia do Rio do Carmo é representada pela sub-bacia do riacho das Carnaúbas. Com relação a bacia do Rio Açú, as principais sub-bacias identificadas na área são as bacias do Rio Pataxós e as sub-bacias que alimentam as lagoas do Piató e da Ponta Grande. No caso do Rio Mulungu, o riacho Salgadinho é a unidade hidrográfica de maior influência.

A Lagoa do Piató está situada ao norte no município de Açú, distanciada de cerca de 6 km desta cidade e a Lagoa da Ponta Grande está situada no município de Ipanguaçu, distanciada de 6 km a oeste de sua sede municipal, ambas na parte central da área. Ao sul da área de estudo, já no domínio das rochas cristalinas está situada Barragem Armando Ribeiro Gonçalves com capacidade de acumulação de água de 2,4 bilhões de m<sup>3</sup> com uma provável influência no contexto hidrogeológico. Em situação similar, porém com dimensões bem mais reduzidas está o açude Mendubim com capacidade de 76.349.000 m<sup>3</sup> no município do Açú.

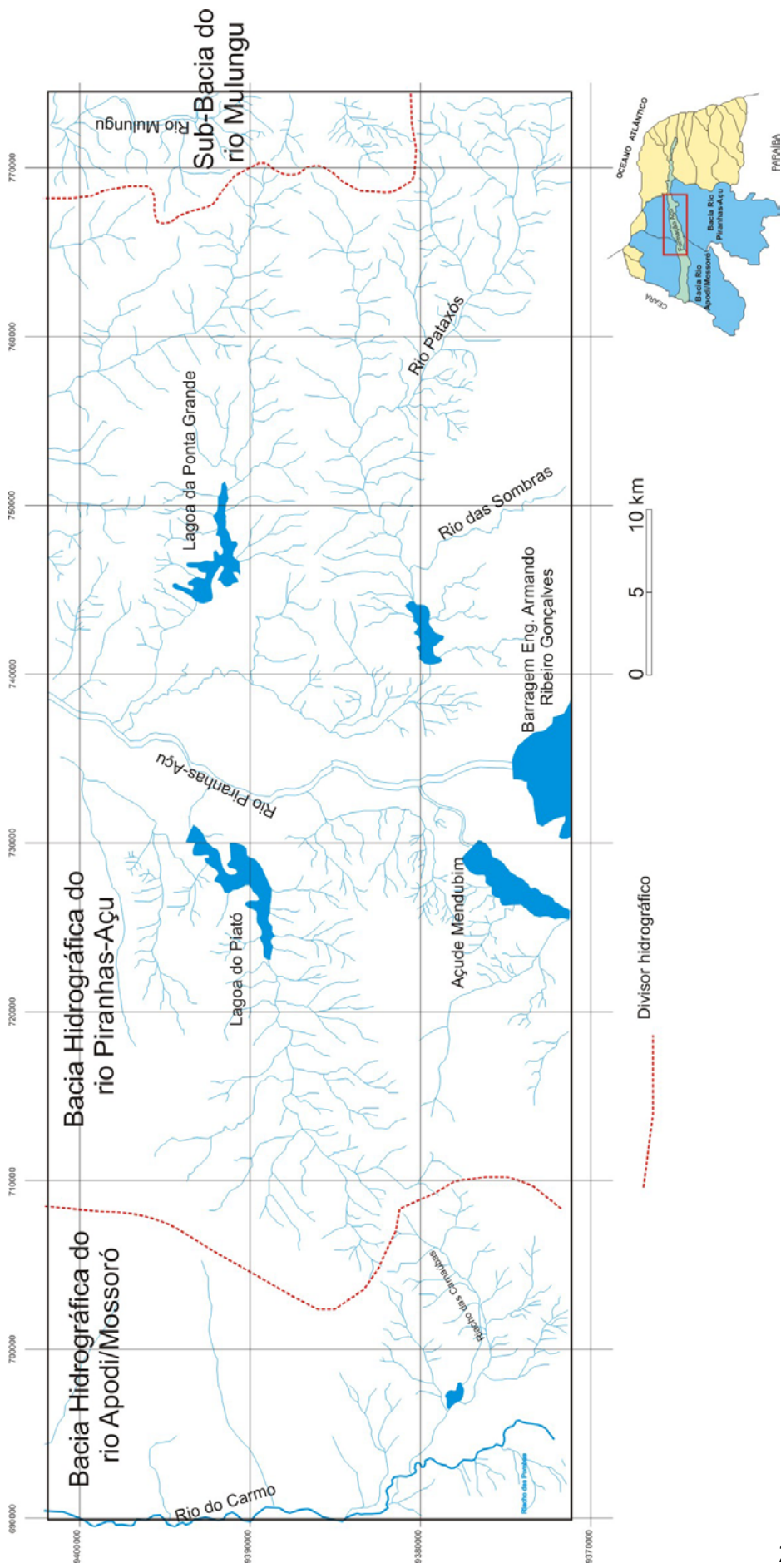


Figura 2.4 Rede Hidrográfica, mostrando os divisores hidrográficos.

## 2.4 - Geomorfologia

O relevo da área apresenta três feições morfológicas distintas: a primeira, ao sul, onde ocorrem as rochas cristalinas, com relevo bastante movimentado, com cotas variando entre 90 à 230 metros; a segunda, na área de ocorrência dos sedimentos das Formações Açú, onde o relevo apresenta-se suavemente ondulado e a terceira corresponde ao domínio de ocorrência da Formação Jandaira, no qual o relevo apresenta-se plano. As cotas topográficas, considerando estes dois últimos domínios, varia de 10 a 150 m.

O contato da Formação Açú com a Formação Jandaira é bem evidenciado por uma escarpa de cuesta, que limita todo o setor norte da área. Já no setor sul da área, o limite da área corresponde a uma proeminente superfície erosional das rochas do embasamento cristalino.

Através da interpretação dos dados de Radar pode-se analisar em detalhe o relevo da área de estudo (Figura 2.5). Foram identificadas sete (7) classes de relevo na área que permitem a visualização das planícies aluviais dos principais rios, com destaque para a planície aluvial do rio Açú cujas cotas topográficas são inferiores a 20 m com relação ao nível do mar. Convém destacar também as faixas de 100 a mais de 120 m que ocorrem em grandes extensões notadamente no setor ocidental ao vale do rio Açú entre Açú e Upanema, com grande influência no contexto hidrogeológico, pela elevada profundidades do nível das águas subterrâneas.

Foram realizados perfis do relevo para visualização das formas ou configuração do relevo numa determinada direção. Duas seções norte-sul (AB e EF) e duas seções leste-oeste (CD e GH) foram definidas (Figura 2.6). O exagero vertical adotado na apresentação das seções lamentavelmente dificulta uma interpretação geomorfológica. A apresentação dos perfis, entretanto, é mantida como forma de visualização e eventuais considerações que se fizerem posteriormente necessárias (figuras 2.7 a 2.10).

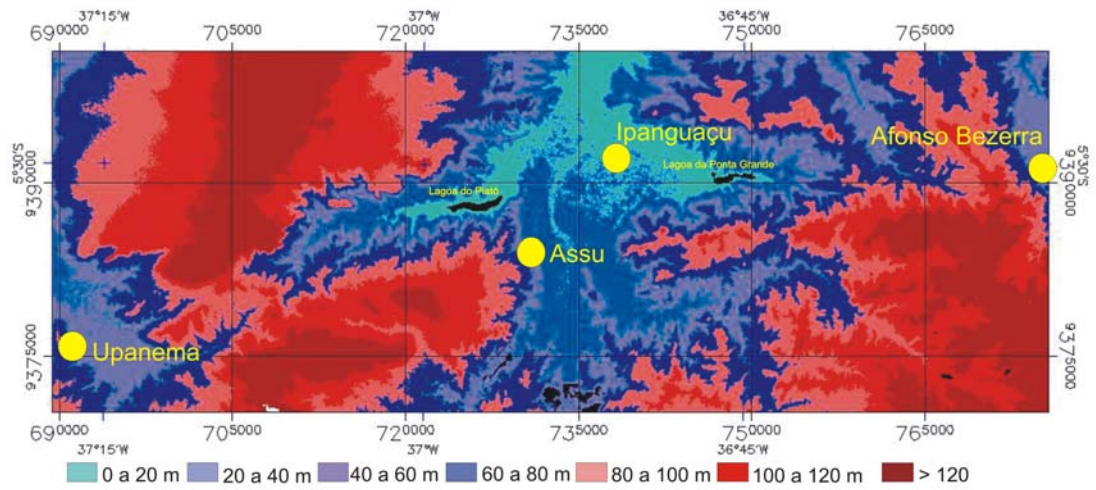


Figura 2.5 - Perfis do relevo utilizando informações de SRTM (2003).

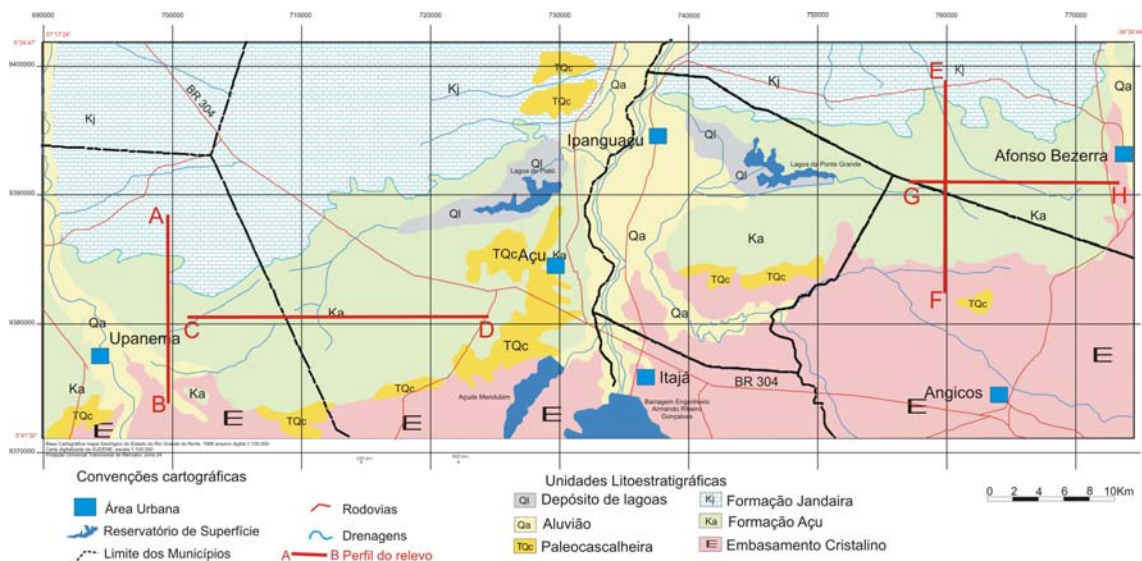
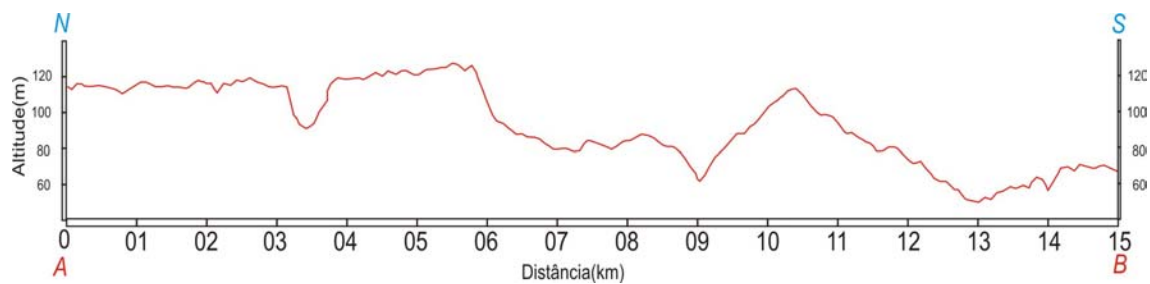
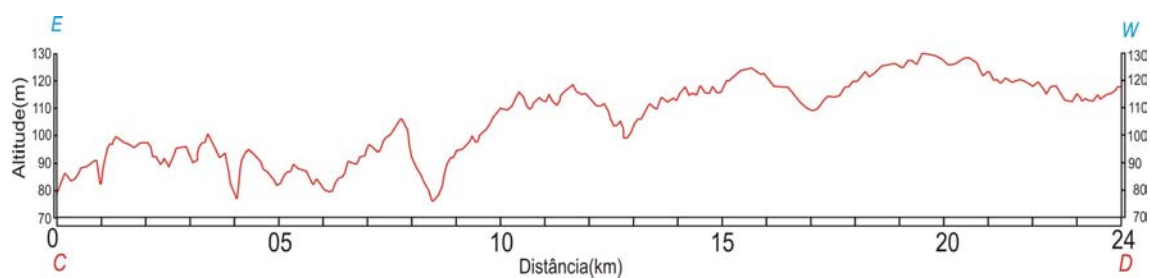


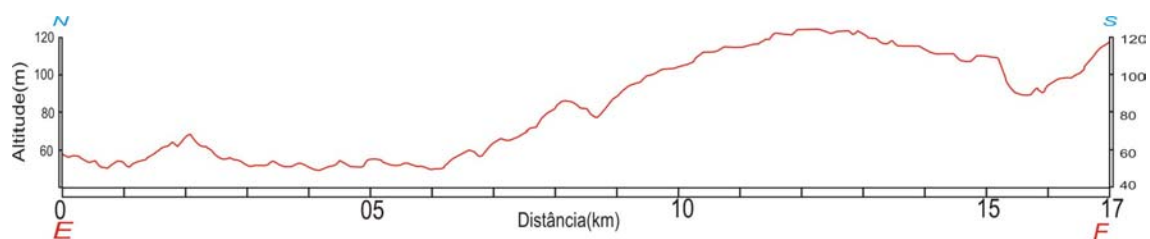
Figura 2.6 - Localização dos perfis do relevo na área de estudo.



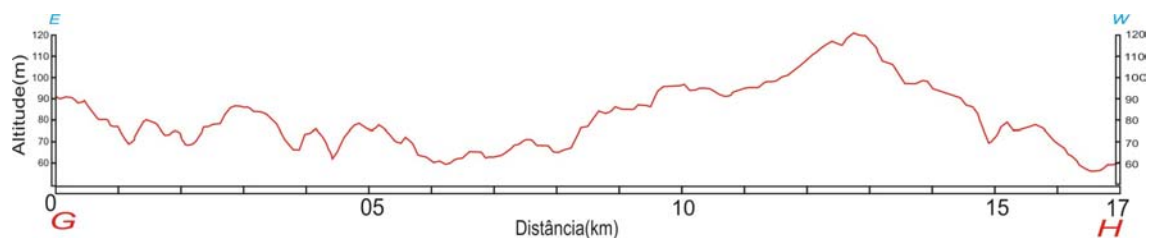
**Figura 2.7 - Perfil do relevo A-B.**



**Figura 2.8 - Perfil do relevo C-D.**



**Figura 2.9 - Perfil do relevo E-F.**



**Figura 2.10 - Perfil do relevo G-H.**

Na Figura 2.11 é apresentado uma vista panorâmica da feição de relevo “escarpa” característica do limite norte da área que é formado pelo contato da Formação Açu com a Formação Jandaira.



Figura 2.11 - Vista panorâmica da escarpa formada pelo contato da Formação Jandaíra (parte elevada) e Formação Açú; área localizada a NE da cidade de Upanema.



## **META B**

### **3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMÉTRICA**

#### **3.1 - Geologia regional**

No contexto geológico regional, ocorrem as rochas do embasamento cristalino e as rochas sedimentares da Bacia Potiguar, as quais são descritas a seguir em ordem crono-estratigráfica.

##### **3.1.1 - Embasamento Cristalino**

O embasamento cristalino constitui o substrato rochoso de todo o pacote sedimentar, no caso a Bacia Potiguar. Compreende a Faixa Seridó, que está incluída entre um dos diversos cinturões orogênicos que compõem a Província Borborema (ALMEIDA et al., 1977). Tal Faixa é limitada ao norte com a Bacia Potiguar, a leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba, a sul pela Zona de Cisalhamento de Patos e a oeste com a Zona de Cisalhamento Portalegre (Figura 3.1).

A faixa Seridó é composta por duas unidades lito-estratigráficas: o Complexo Caicó e o Grupo Seridó. As unidades a cima citadas, são intrudidas por granitóides brasileiros (G3) e transamazônicos (G2), e estão afetadas por deformações do tipo dúctil a dúctil frágil a frágil. Portanto, quatro unidades tectono-estratigráficas podem ser identificadas na Faixa Seridó (Jardim de Sá et al., 1995).

- Um embasamento gnáissico-migmatítico de idade paleoproterozóica (2,23 – 2,15 Ga), de alto grau metamórfico, denominado Complexo Caicó. Pode-se ressaltar a presença de alguns núcleos arqueanos compostos por rochas metaplutônicas com supracrustais intercaladas;
- Uma seqüência de rochas supracrustais de idade paleoproterozóica pertencentes ao Grupo Seridó, que repousam discordantemente sobre o embasamento gnáissico migmatítico. Esta seqüência encontra-se subdividida da base para o topo nas seguintes formações: Jucurutu

(paragnaisses e mármore), Equador (quartzitos e metaconglomerados) e Seridó (micaxistos);

- Intrudindo os gnaisses do embasamento e localmente a Formação Jucurutu, tem-se a suíte de granitóides G2, de idade paleoproterozóica, composta por augen gnaisses granodioríticos a graníticos e metapegmatitos;
- Por fim, o Ciclo Brasileiro foi palco de um intenso magmatismo, compreendendo a suíte de granitóides G3, que são intrusivos as unidades anteriores.

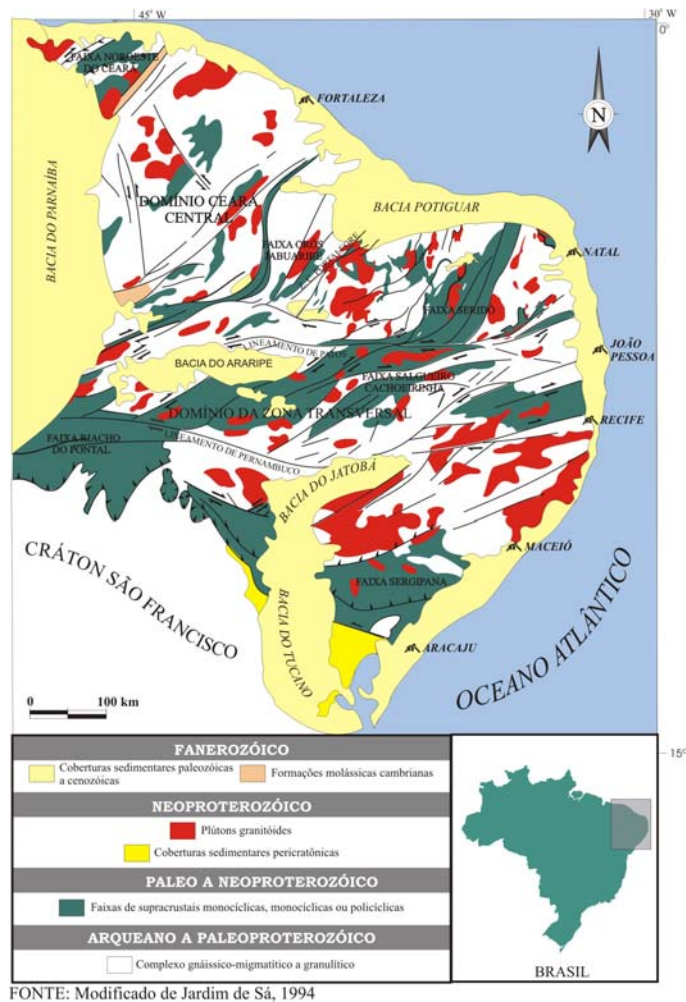


Figura 3.1 - Mapa geológico simplificado da Província Borborema, nordeste do Brasil.

A evolução do Grupo Seridó ainda é bastante controversa, alguns autores descrevem uma evolução monocíclica (Archanjo e Salim, 1986 e Caby et al., 1991), enquanto outros descrevem uma evolução policíclica (Jardim de Sá, 1994).

### 3.1.2 - Bacia Potiguar

A respeito da extensão total da Bacia Potiguar existem várias controvérsias, para Souza (1982) ela abrange uma área de cerca de 41.000 km<sup>2</sup>, desses 21.500 km<sup>2</sup> na parte emersa e 19.500 km<sup>2</sup> na porção submersa; Bertani et al., (1990) estima uma área total de 48.000 km<sup>2</sup> com aproximadamente 21.000 km<sup>2</sup> emersos e 27.000 km<sup>2</sup> na plataforma e talude continental; por fim, Araripe & Feijó (1994) inferem uma área total de cerca de 60.000 km<sup>2</sup>, sendo 40% localizados na porção emersa. A referida Bacia localiza-se na porção extremo nordeste do Brasil, mais precisamente na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará. Possui como limite oeste o Alto de Fortaleza; sudoeste e sul o embasamento cristalino da Faixa Seridó; e norte e nordeste a cota batimétrica de 200 m (Figura 3.2).

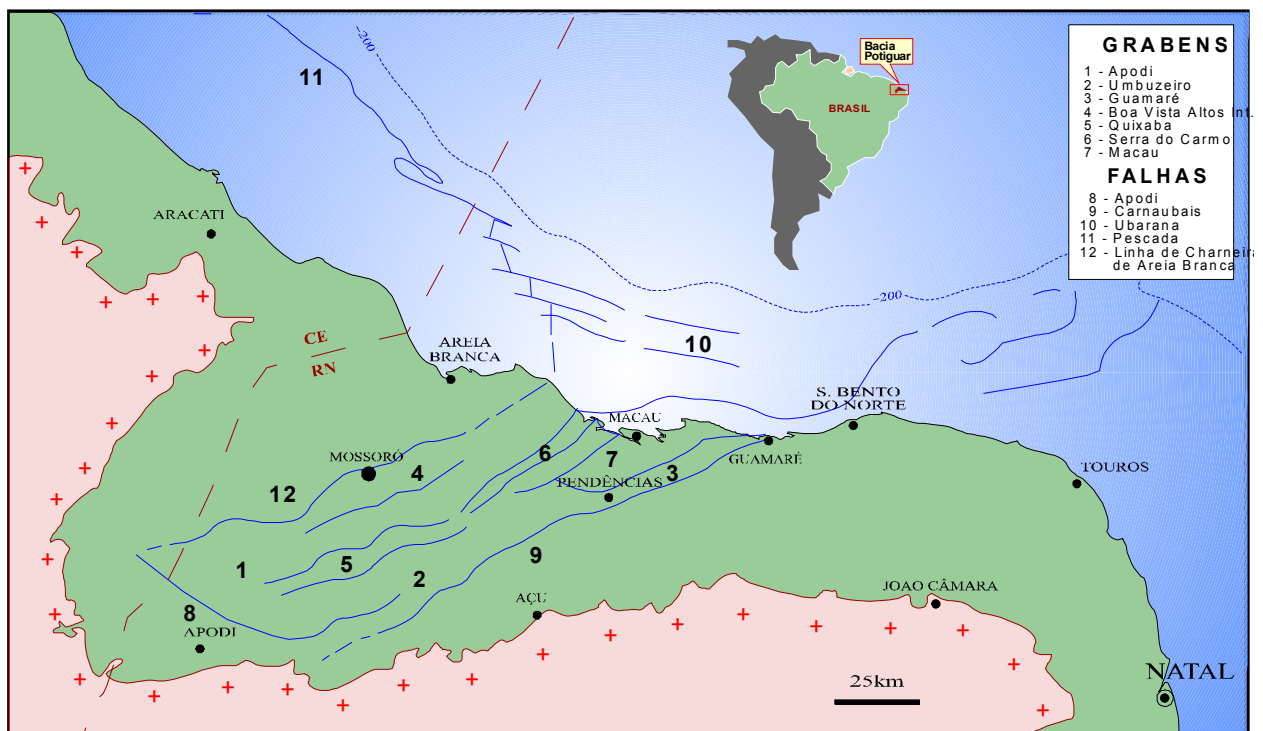


Figura 3.2 - Compartimentação da Bacia Potiguar. (Apoluceno, 1995)

### 3.1.2.1 - Evolução Tectono-Estrutural

A gênese da Bacia Potiguar também possui teorias controversas. Matos et al., (1987) afirma que a referida Bacia pode ser geneticamente correlacionada às Bacias do Recôncavo, Tucano, Jatobá, Rio do Peixe e Sergipe-Alagoas, tratando-se a Bacia Potiguar de uma evolução por rifteamento através de afinamento crustal durante a quebra do Gondwana, associada a Formação do oceano Atlântico.

Françolin & Szatmari (1987) propõem uma evolução a partir da separação dos continentes sul-americano e africano, com uma movimentação divergente de direção E-W, iniciada no Jurássico superior, quebrando o supercontinente Gondwana em dois blocos por uma fratura com extensão de milhares de quilômetros. Essa evolução transtensional é descrita a seguir na Figura 3.3:

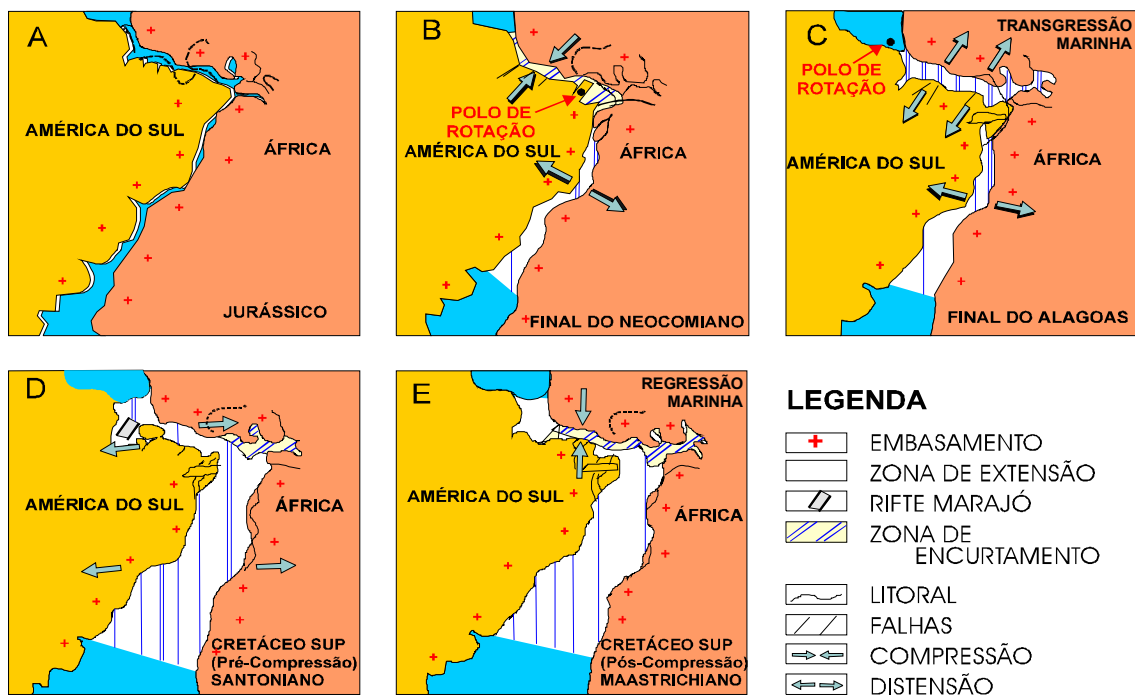


Figura 3.3 - Separação continental: continentes sul-americano e africano e evolução da Bacia Potiguar (Françolin & Szatmari, 1987)

A Figura 3.3 A mostra que essa separação, causada por uma extensa fratura originada na porção sul do super continente Gondwana, se propagou para o norte durante o cretáceo. Uma rotação de sentido horário na placa sul americana em relação à África ocorreu no início da separação, devido ao movimento divergente a sul ser mais intenso que ao norte. Na margem leste, tal rotação causava

compressão a norte e distensão a sul do polo (Figura 3.3 B). Dessa forma, a Província Borborema foi palco de uma intensa compressão E-W e distensão N-S. Durante a reativação da Bacia os seguintes falhamentos foram reativados:

- Falhas normais de direção E-W, as quais originaram os grábens da atual porção submersa da Bacia Potiguar;
- Falhamentos NE-SW gerando movimentações transtensional no extremo NE (próximo a linha de costa) e tranpressional nas porções SW (interior dos continentes)
- Falhamentos NW-SE, pouco representativos.

A sedimentação da referida Bacia teve início no Neocomiano, onde uma série de riftes foram estruturalmente controlados pelos falhamentos acima descritos, dentre os quais, a mais importante é a falha de Carnaubais-Portalegre, que delimitou o gráben Pendência.

Durante o aptiano, com a continuidade do movimento de rotação horária do continente sul-americano em relação ao africano, a Província Borborema é submetida a uma distensão de direção N-S (Figura 3.3 C). Tal distensão paralisou as transcorrências dextrais NE-SW, bem como a sedimentação da porção emersa da Bacia Potiguar, prosseguindo apenas um rifteamento através de falhas E-W e a deposição de sedimentos na porção submersa da referida Bacia.

No início do Albiano começa o movimento divergente E-W entre os continentes. Tal período também marca a entrada do mar no extremo norte da costa leste brasileira, causando uma grande transgressão marinha e gerando a sedimentação das formações Açú, Ponta do Mel, Membro Quebradas e Formação Jandaíra.

A figura 3.3 D ilustra os movimentos transcorrentes que ocorreram ao longo da margem equatorial brasileira, durante o Santoniano. No maestrichtiano (Figura 3.3 E) um evento compressivo N-S ocasiona um soerguimento da plataforma carbonática das formações Tibau, Guamaré e Ubarana que compõem a seqüência marinha regressiva.

### **3.1.2.2 - Arcabouço Estrutural**

A Bacia Potiguar, segundo Bertani et al. (1990), tem em seu arcabouço estrutural 3 unidades básicas, as quais são descritas a seguir e comportam seqüências sedimentares distintas (neocomianas a terciárias):

- Grábens: São preenchidos por seqüências sedimentares do cretáceo inferior. Na porção terrestre são representados pelos grábens do Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista, exibem feições lineares (direção NE-SW) e forma assimétrica. Na porção submersa mostram-se orientados sub-paralelamente à linha de costa atual;
- Altos internos: Os principais são os de Quixaba, Serra do Carmo e Macau, correspondem a cristas alongadas do embasamento e são compostos por blocos de gnaisses, migmatitos ou xistos soerguidos por falhas normais. Não são observadas seqüências sedimentares provavelmente devido a erosão;
- Plataformas do embasamento: Os grábens centrais estão delimitados a leste e oeste por plataformas rasas do embasamento, denominadas de Touros e Aracati. Elas geralmente são recobertas por sedimentos do aptiano e cretáceo superior, na porção emersa, e seqüências terciárias na porção marítima.

### **3.1.2.3 - Seqüências Tectono-Sedimentares**

Bertani et al., (1990) relaciona a sedimentação da bacia a três estágios tectônicos distintos:

- Estágio Rife: marcado pelo desenvolvimento de falhas normais e de transferência que deram origem a grábens assimétricos. A subsidência e sedimentação foram controladas por extensão e afinamento crustal. Constitui uma seqüência de Formação Pendência, onde sua sedimentação é flúvio-lacustre, com progradações de arenitos deltáicos, e fan deltas depositados ao longo das escarpas. A sedimentação lacustrina é composta por folhelhos ricos em matéria orgânica e turbiditos intercalados. O fim desse estágio é marcado por um soerguimento generalizado, com basculamento de blocos gerando uma discordância erosiva angular;

- Estágio Transicional: o resfriamento crustal resulta em uma subsidência, onde a sedimentação se dá em ambiente tectônico calmo. Neste estágio foi depositada a Formação Alagamar (aptiano), composta por folhelhos e carbonatos lagunares, com influência marinha, intercalados com arenitos deltáicos;
- Estágio Drifte: relacionado a uma ambiente tectônico de deriva continental, sob influência de mar aberto, onde a subsidência é controlada por mecanismos termais e isostáticos gerando falhamentos normais ao longo dos lineamentos mais antigos. Duas seqüências sedimentares foram depositadas: a primeira é uma unidade transgressiva, representada pela formações Açú, Ponta do mel, Jandaíra e Ubarana (membro Quebradas); e a segunda constituída por uma unidade marinha regressiva, englobando as formações Tibau, Guamaré e Ubarana.

#### 3.1.2.4 - Estratigrafia

Araripe & Feijó (1994) dividem as seqüências sedimentares da referida bacia em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha, representando a sedimentação do Neocomiano até o recente. Foram individualizadas também 3 grupos de rochas vulcânicas presentes na Bacia Potiguar: a Formação Rio Ceará-Mirim, Serra do Cuó, e Macau, além das cobertura tercio-quadernárias: Grupo Barreira. A figura 3.4 ilustra a litoestratigrafia da Bacia Potiguar.

**Formação Pendência:** esta seção recobre o embasamento cristalino nas partes mais profundas da Bacia, composta por intercalações de arenito fino, médio e grosso, cinza esbranquiçado com intercalações de folhelho e siltito cinza esverdeado. Ocorrem sotopostos em discordância com a Formação Alagamar. Seu ambiente deposicional é predominantemente flúvio-lacustre com existência de leques aluviais associados a falhamentos.

**Formação Pescada:** esta formação foi verificada apenas no bloco baixo da Falha da Pescada, cuja gênese está relacionada. Sua deposição ocorreu com um sistema de leques aluviais, havendo contribuições de sistemas flúvio-deltáicos, compõe-se principalmente por arenitos médio branco e arenito fino cinzento, com intercalações de folhelho e siltito. Mostra contato inferior e superior discordante com as formações Pendência e Alagamar, respectivamente.

**Formação Alagamar:** composta por dois membros, separados por uma seção pelítica: a Camada Ponta do Tubarão (conhecido como calcilito marco ou calcário capeador), de sistema deposicional lagunar. O Membro Upanema é basal, compreende arenitos finos e grossos de cor cinza e folhelhos esverdeados, relacionados a um sistema flúvio-deltáico. Acima da Camada Ponta do Tubarão encontra-se o Membro Galinhos, predominantemente pelítico, com folhelhos cinza escuros e calcilito cor creme claro, depositado em uma ambiente nerítico. O contato inferior dessa formação é sempre discordante, tanto sobre as formações Pescada, Pendência ou o embasamento cristalino.

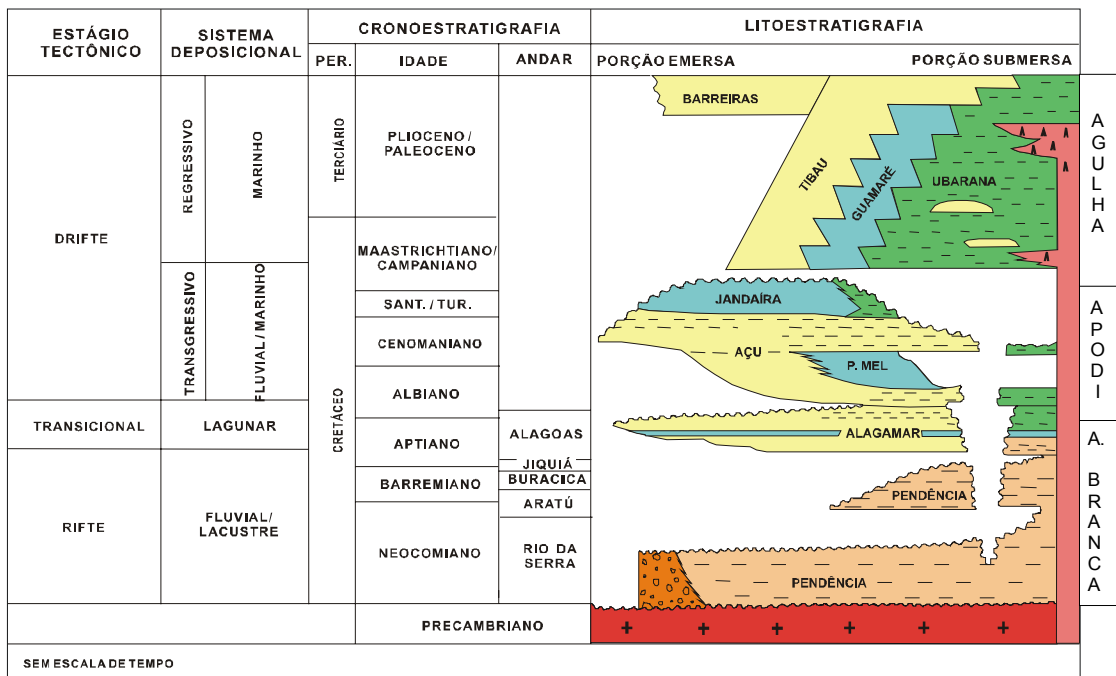


Figura 3.4 - Estratigrafia da Bacia Potiguar (Araújo & Feijó (1994).

O Grupo Apodi é consideravelmente composto por rochas carbonáticas, das formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e Quebradas:

**Formação Açú:** composto por espessas camadas, com até 1.000m, de arenito médio a grosso, esbranquiçado, intercalado com folhelho e argilito verde-claro e siltitos castanho-avermelhado. Tal formação exhibe contato inferior discordante e erosivo com a Formação Alagamar e com o embasamento cristalino, e em sua porção superior é concordante com a Formação Jandaíra, lateralmente, em direção



ao mar, interdigita-se com as formações Ponta do Mel e Quebradas. Foram individualizadas quatro unidades (Vasconcellos et al., 1990), a partir da análise de perfis elétricos, as quais seriam respostas a determinados eventos de caráter regional da bacia. A unidade Açú 1, localizada na base da seqüência, compreende um ambiente fluvial, com deposição iniciada após a reativação da área fonte por um evento tectônico de idade albiana. A unidade Açú 2 foi depositada em um sistema fluvial entrelaçado, que gradua para meandrante grosso e fino em direção ao topo. A unidade Açú 3 ocorre em resposta a nova atividade tectônica ou o rebaixamento do nível do mar, composta por rochas de origem fluvial entrelaçado que gradam em direção ao topo para um sistema fluvial meandrante grosso. Com o término deste evento transgressivo, e a implementação de um sistema litorâneo-estuarino, ocorre a unidade Açú 4, cuja localização é o topo de todas as unidades anteriores.

**Formação Ponta do Mel:** é composta por calcarenito oolítico creme, doloespartito castanho claro e calcilutito branco com camadas de folhelho verde claro. Interdigita-se lateralmente e recobre concordantemente a Formação Açú, sendo recoberta pela Formação Quebradas por uma discordância. Sua deposição se dá em ambiente de plataforma rasa, associada a planície de maré e mar aberto.

**Formação Quebradas:** compreende arenitos fino de cor cinza, folhelhos e siltitos esverdeados, localiza-se entre as formações Açú e Ubarana, interdigitando-se com esta última. Depositado em um ambiente de plataforma e talude, com presença de turbiditos. Pode ser subdividida por 2 membros. O membro Redonda é formado por intercalações de arenito fino cinza-claro e siltito cinza esverdeado, e o membro Ponta do Mangue, que encontra-se no topo, é composto por folhelho e arenito subordinado. Exibe contato inferior discordante com a Formação Ponta do mel e superior concordante com a Formação Jandaíra.

**Formação Jandaíra:** Compreende calcarenito com bioclastos de moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides, também ocorre calcilutito com marcas de raízes, dismicrito e gretas de contração. O ambiente deposicional é descrito como uma planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto. O contato superior da Formação é concordante com a Formação Açú ou Quebradas, já a porção superior mostra-se discordante com o Grupo Agulha. Ocorre uma interdigitação lateral com a parte superior da Formação Ubarana.

O Grupo Agulha abrange as formações Ubarana, Guamaré e Tibau, compreende rochas clásticas e carbonáticas de alta e baixa energia.

**Formação Ubarana:** corresponde a uma espessa camada de folhelho e argilito cinza, intercalado por camadas delgadas de arenito grosso a fino esbranquiçado depositados em ambiente tipo talude continental e planície Bacia. Lateralmente interdigita-se, em direção ao continente, com o Grupo Apodi e Formação Guamaré, onde o contato superior da mesma com a última pode ser concordante ou discordante.

**Formação Guamaré:** seqüência carbonática, compostas por calcarenito creme-acastanhado, bioclástico, com intercalação de calcilutito, folhelho e arenito, depositados em plataforma e talude carbonático. Seu contato superior com as formações Tibau e Ubarana é gradacional ou discordante.

**Formação Tibau:** depositada em leques costeiros é composta por sedimentos clásticos, arenito quartzoso grosso a conglomerático, sobrepostos aos carbonatos da Formação Guamaré. Seu contato inferior é discordante com a Formação Jandaíra (porção emersa) e concordante, por vezes aparece interdigitando-se, com a Formação Guamaré (porção submersa). Seu contato com o Grupo Barreiras é de difícil definição.

São individualizados três episódios vulcânicos relacionados à evolução da Bacia Potiguar, os quais compõem as seguintes formações:

**Formação Rio Ceará-Mirim:** localizada na borda da referida Bacia, compreende diques de diabásio toleítico de orientação E-W, datados em 120-140ma.

**Formação Serra do Cuó:** ocorre na parte sul da Bacia Potiguar, na serra de mesmo nome, é formado por diques de diabásio com tendência alcalina e datados em 53ma.

**Formação Macau:** compreende derrames de olivina basalto afanítico e intercalados por rochas sedimentares das formações Tibau, Guamaré e Ubarana, datações K-Ar sugerem idades da ordem de 29 a 45ma.

Os sedimentos terció-quadernários são representados pelo Grupo Barreiras, que engloba as seguintes formações:

**Formação Serra do Martins:** constitui a seqüência inferior, composta por fácies arenosa a conglomerática, com sedimentos altamente ferruginosos e silicificados sugerindo uma forte diagênese.

**Formação Guararapes:** composta por sedimentos arenosos com fácies argilosas e níveis de seixos de quartzo compõem a unidade intermediária do grupo.

**Formação Macaíba:** É a unidade de topo, formada por sedimentos areno-argilosos, com seixos na base, e coloração esbranquiçada.

## **3.2 - Geologia e estrutura da área de estudo**

### **3.2.1 - Geologia**

A área de estudo localiza-se na Borda Sul da Bacia Potiguar, representada por sedimentos da Formação Açu do Cretáceo Inferior (Figura 3.5). Esta formação está limitada ao sul e leste por rochas do embasamento cristalino Pré-cambriano, e, ao norte pelos calcários da Formação Jandaira do Cretáceo Superior. Ocorre também no domínio da área sedimentos aluviais de idade quaternária, no vale do Rio Açu na parte central da área e nos vales dos rios do Carmo e Angicos, nos extremos leste e oeste, respectivamente.

A Formação Jandaira, as rochas do embasamento cristalino e as coberturas aluviais também são consideradas no presente estudo, porém, os dados a serem obtidos de tais unidades servirão apenas como subsídio para uma melhor compreensão do sistema aquífero Açu.

O embasamento cristalino compreende ortognáisses mesocráticos correlacionados ao Complexo Gnáissico Migmatítico. Tais rochas apresentam composição granítica a granodiorítica, compostos por K-feldspatos, quartzo, plagioclásio e minerais máficos, com foliação principal de direção NE-SW. Frequentemente observam-se veios de quartzo e pegmatíticos com direção NW-SE.

Sua granulometria diminui da base para o topo, e apresentam-se moderadamente selecionados. Por vezes, observam-se fraturas, com direção SE-NW. Normalmente, estes arenitos encontram-se bastante fraturados, exibindo fraturas de direção NW-SE.

A Formação Açu na área de estudo é composta em geral por arenitos finos a grossos até conglomerados, além de siltitos, argilitos, folhelhos esverdeados a avermelhados e arenitos calcíferos. Correlacionando essas ocorrências da base para o topo com as unidades Açu 1 a Açu 4, definidas por VASCONCELOS et al, 1990, verifica-se que as mesmas são correlacionadas principalmente a unidade 3 e com ocorrência pouco expressiva da unidade 4.

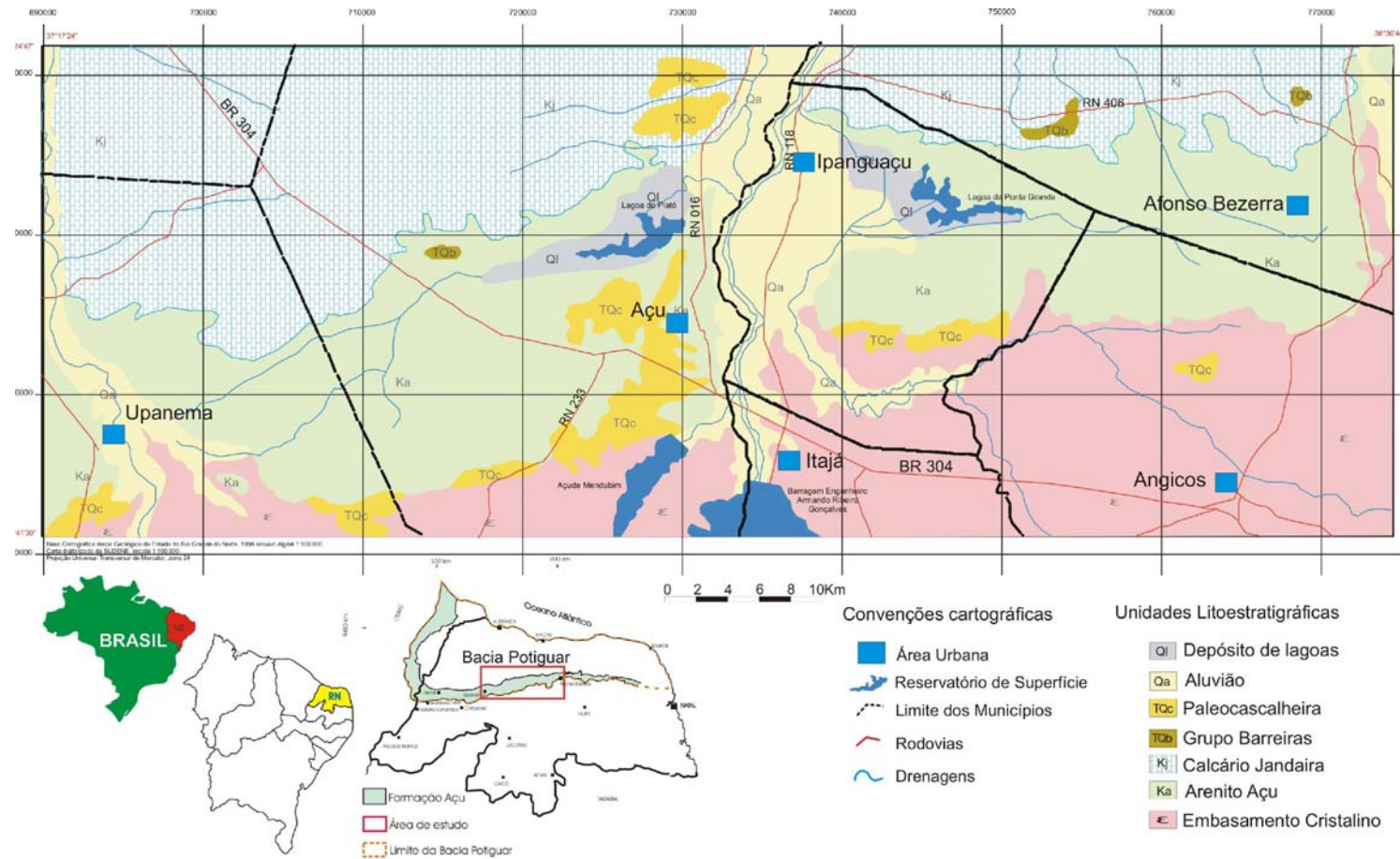


Figura 3.5 - Geologia da área de estudo

A unidade Açú 3, compreende arenitos arcoseanos médios, grossos a conglomeráticos de coloração predominantemente avermelhada , por vezes esbranquiçados, dispostos em matriz silte-argilosa. Ver figura 3.6.



**Figura 3.6** - Arenito maciço fino a médio com matriz argilosa, possuindo um cimento ferruginoso, com seixos angulosos a subangulosos dispersos.

*A unidade Açú 4 é composta por arenitos calcíferos de granulometria grossa e coloração esbranquiçada a amarelada, que ocorrem na zona de transição dos arenitos da Formação Açú com os calcários da Formação Jandaíra.*

*Os calcários da Formação Jandaíra encontram-se sobrepostos aos arenitos da Formação Açú. Regionalmente esta unidade compreende calcarenitos e calcilutitos bioclásticos. Os calcarenitos apresentam coloração creme a cinza, granulometria média a grossa e apresentam-se bastante compactados.*

*Os depósitos aluvionares compreendem sedimentos finos a grossos, inconsolidados, moderadamente a pobremente selecionados e de coloração esbranquiçada a amarronzada ou acinzentada, formando extensas áreas de planícies aluviais (relevo plano), com destaque para as aluviões do Rio Açú que se desenvolvem de forma bem mais expressiva.*

### 3.2.2 - Estrutura Geológica

A caracterização estrutural da área é apresentada com base em mapas geológicos-estruturais preexistentes, na interpretação de imagens de RADAR, resultados dos estudos geofísicos (eletroresistividade e gravimetria) e correlação de perfis de poços.

#### 3.2.2.1 - Análise de imagens de RADAR, Satélite e observações de campo

A imagens de RADAR permitiram inferir o traçado de lineamentos que podem estar associados a fraturas ou falhas. Usou-se a ferramenta *Shaded Relief* (sombra de relevo) para que os lineamentos fossem realçados. Os lineamentos geológicos foram extraídos principalmente através da expressão no relevo, aspectos texturais, coloração e sistema de drenagem.

Com a evolução dos conhecimentos através da integração das informações foi possível estabelecer em uma primeira aproximação a estruturação geológica da área de estudo (Figura 3.7), no qual sugere a presença de falhamentos verticais, direcionais, blocos rebaixados e elevados. Este comportamento estrutural é possivelmente responsável pelas feições geradas no relevo da área.

A Figura 3.8 apresenta o diagrama de rosetas com as direções dos lineamentos identificados através da interpretação dos dados de radar e imagens de satélite e, no qual se observa a predominância de lineamentos de direção **NE**.

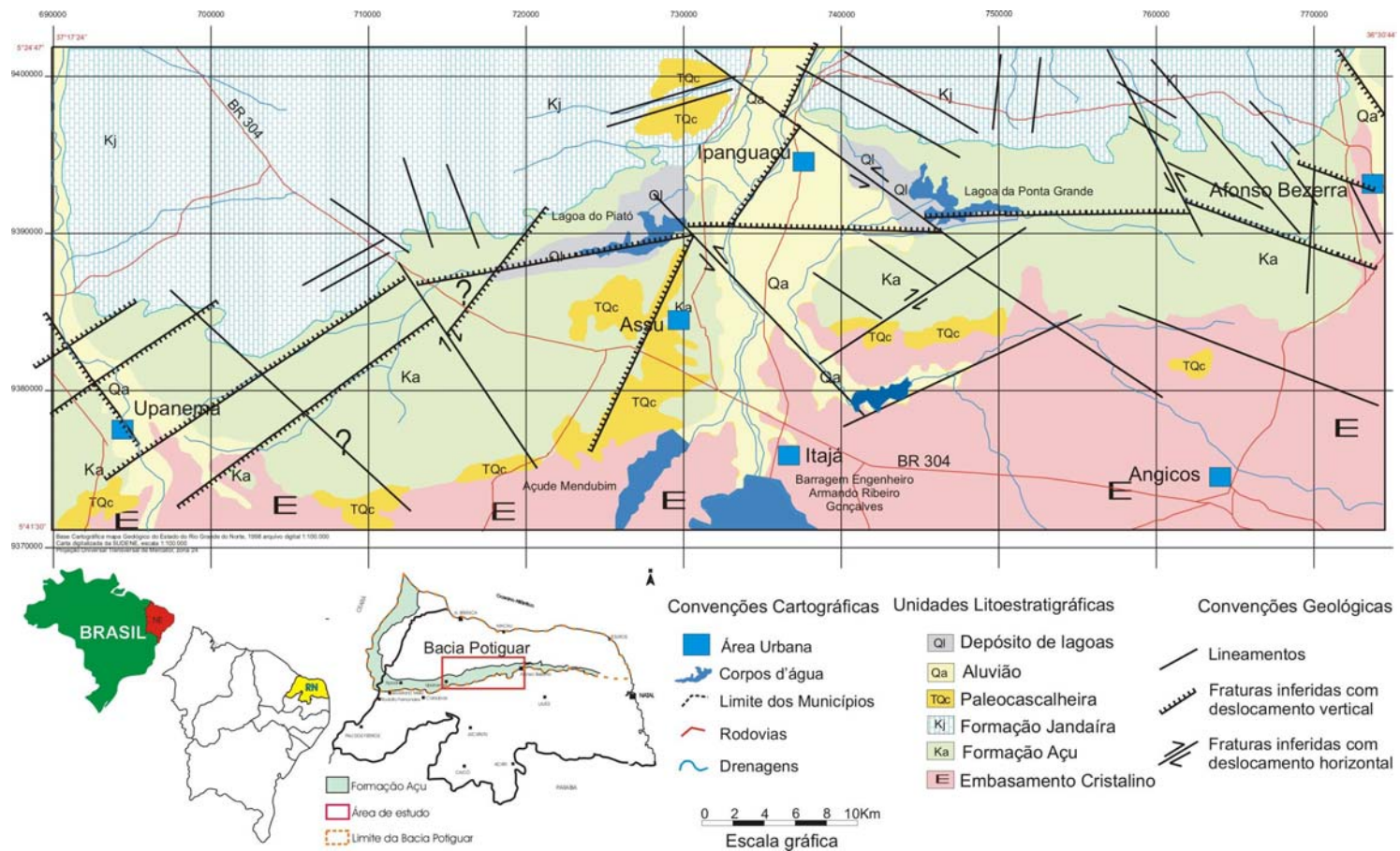
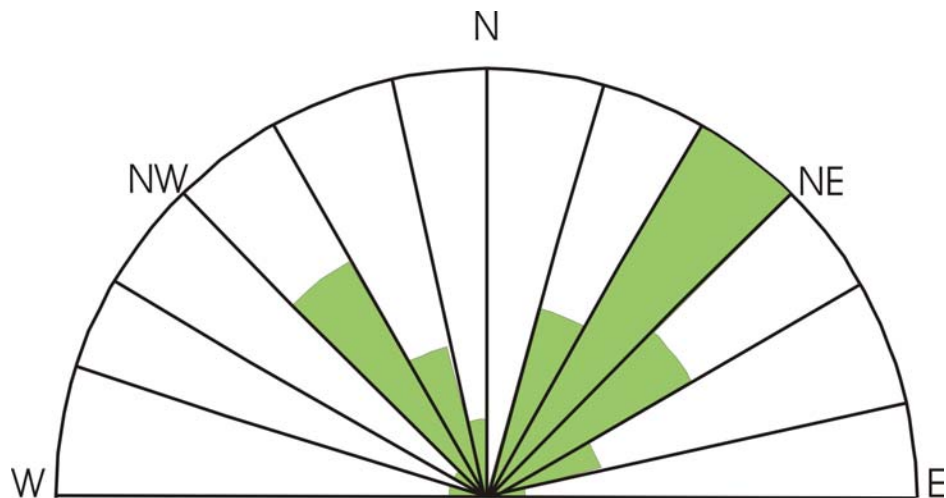


Figura 3.7 - Estruturação geológica da área de estudo





**Figura 3.8. Diagrama de rosetas: 41 lineamentos extraídos a partir da interpretação das imagens de satélite Landsat-7 e tratamento de dados de RADAR.**

No domínio de ocorrência da Formação Jandaira, na região de Afonso Bezerra, verifica-se a ocorrência de seixos silicificados, sugerindo a ocorrência de atividades tectônicas (falhamentos), conforme apresentado na Figura 3.9 a seguir.



**Figura 3.9 - Seixos de rochas carbonáticas silicificadas evidenciando a atividade de falhas.**

### **3.2.2.2 - Correlação de perfis de poços**

Foi elaborada a correlação de perfis de poços com a obtenção de quatro seções geológicas em diferentes situações e direções que permitem visualizar diferentes contextos geológicos e estruturais que influenciam no comportamento hidrogeológico (figuras 3.10 a 3.13).

#### **Seção A1A2**

É de direção SW-NE, no setor oeste da área. O poço 0571 situado a cerca de 5 km das rochas cristalinas em direção aos calcários da Formação Jandaira, atingiu o cristalino a uma profundidade de 102 m. O poço 0358, com 73 m de profundidade, já próximo ao limite superior com os calcários na atingiu o embasamento cristalino. O perfil sugere variação lateral de fácies, com arenitos grossos passando para arenitos finos e argilosos. Denota-se de forma singular que o topo dos perfis é mais argiloso com relação aos níveis mais inferiores.

#### **Seção B1B2**

Perfil de direção aproximada N-S cruzando o riacho que drena em direção a Lagoa de Piató. O poço 0693 situado a oeste da cidade de Açú, distanciado de 8 km das rocas cristalinas atingiu o cristalino a uma profundidade de 114 m, enquanto que o poço 0704 já relativamente próximo dos calcários (limite norte da área) atingiu o cristalino a uma profundidade de 54 m, indicando, por conseguinte, uma descontinuidade geológica, já que a tendência geral é a espessura da Formação Açú aumentar nessa direção.

#### **Seção C1C2**

Perfil de direção aproximada SW-NE cruzando a planície aluvial do Açú. Observa-se que a parte superior dos perfis é formada por arenitos argilosos e na parte mais inferior, por arenitos finos e grossos. O poço 0352 com 88 m de profundidade, próximo aos calcários, não atingiu o embasamento cristalino. O poço 0175 com 25 m, situado a sudeste da cidade de Açú, já bem próximo do cristalino também não atingiu o embasamento pré-Cambriano.

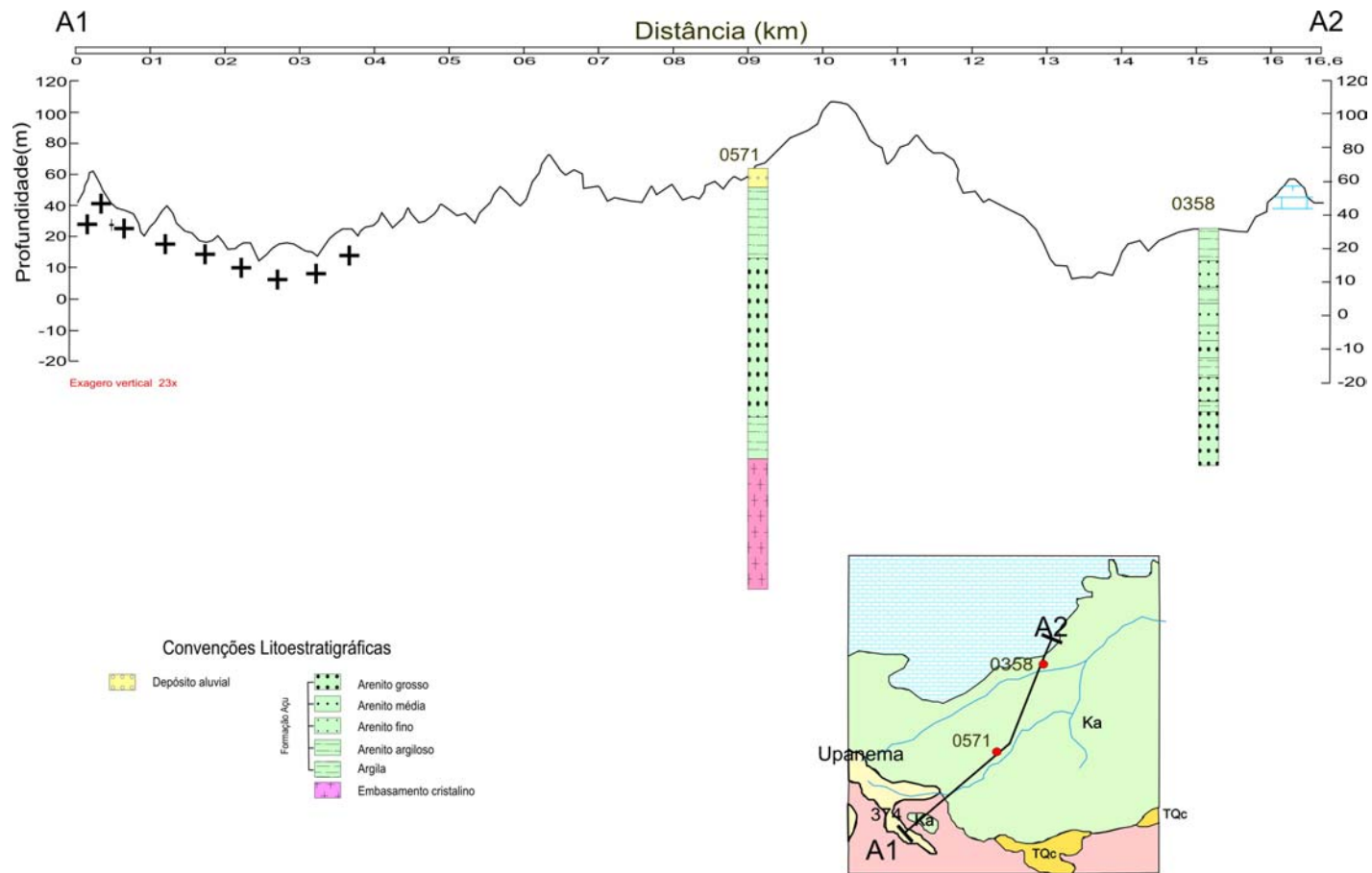


Figura 3.10 - Perfil geológico A1A2

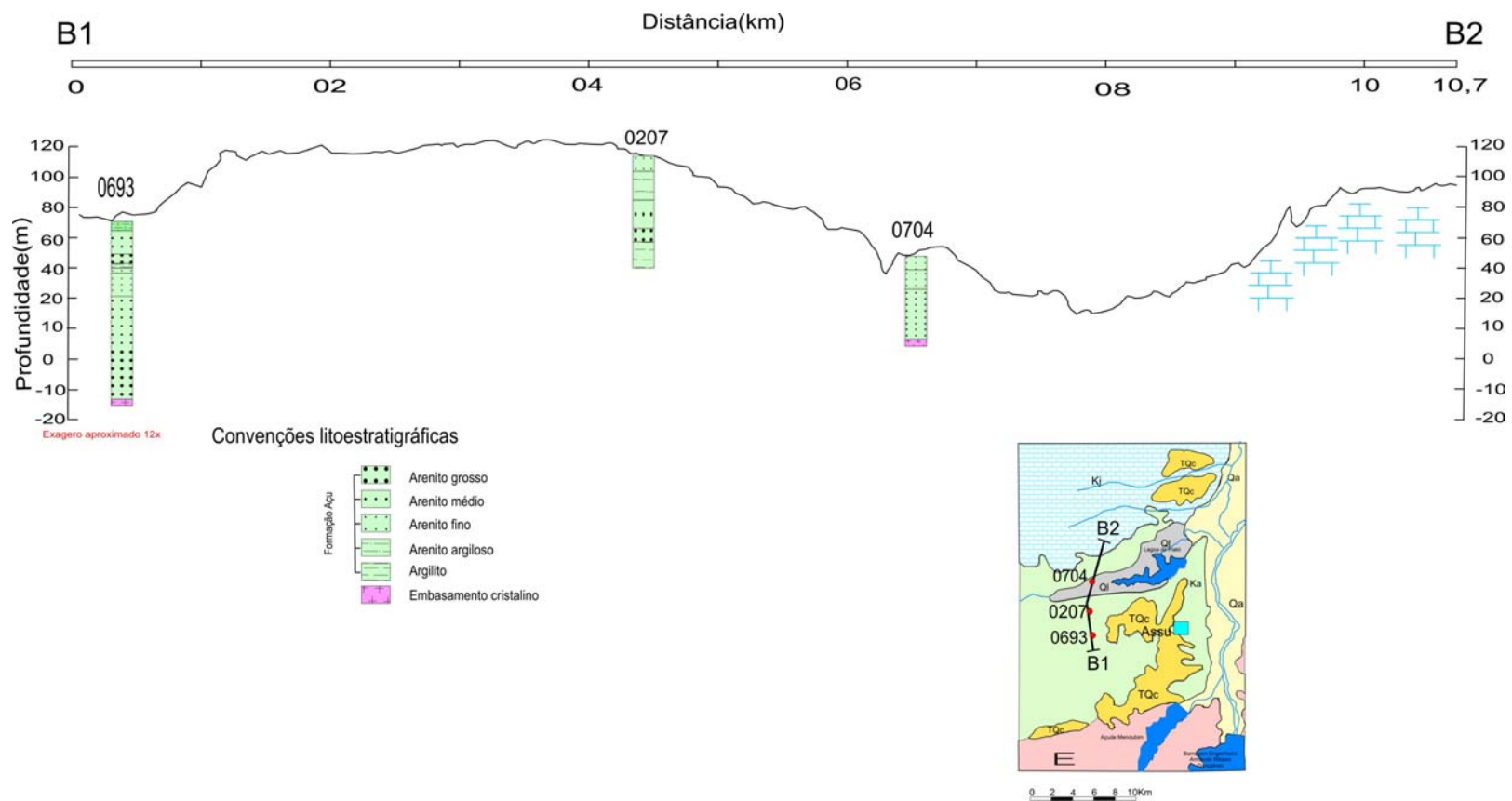


Figura 3.11 - Perfil geológico B1B2

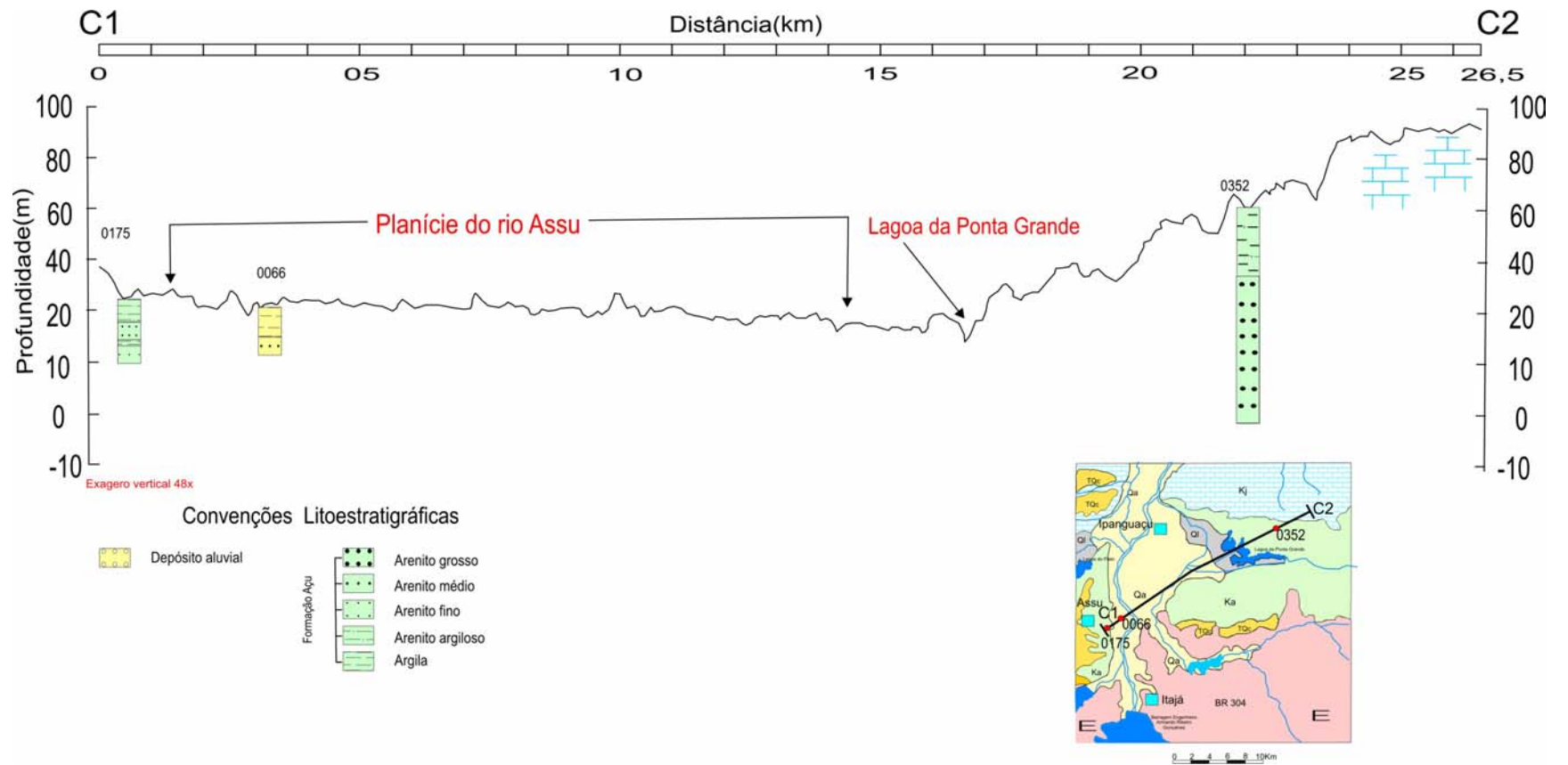


Figura 3.12 - Perfil geológico C1C2

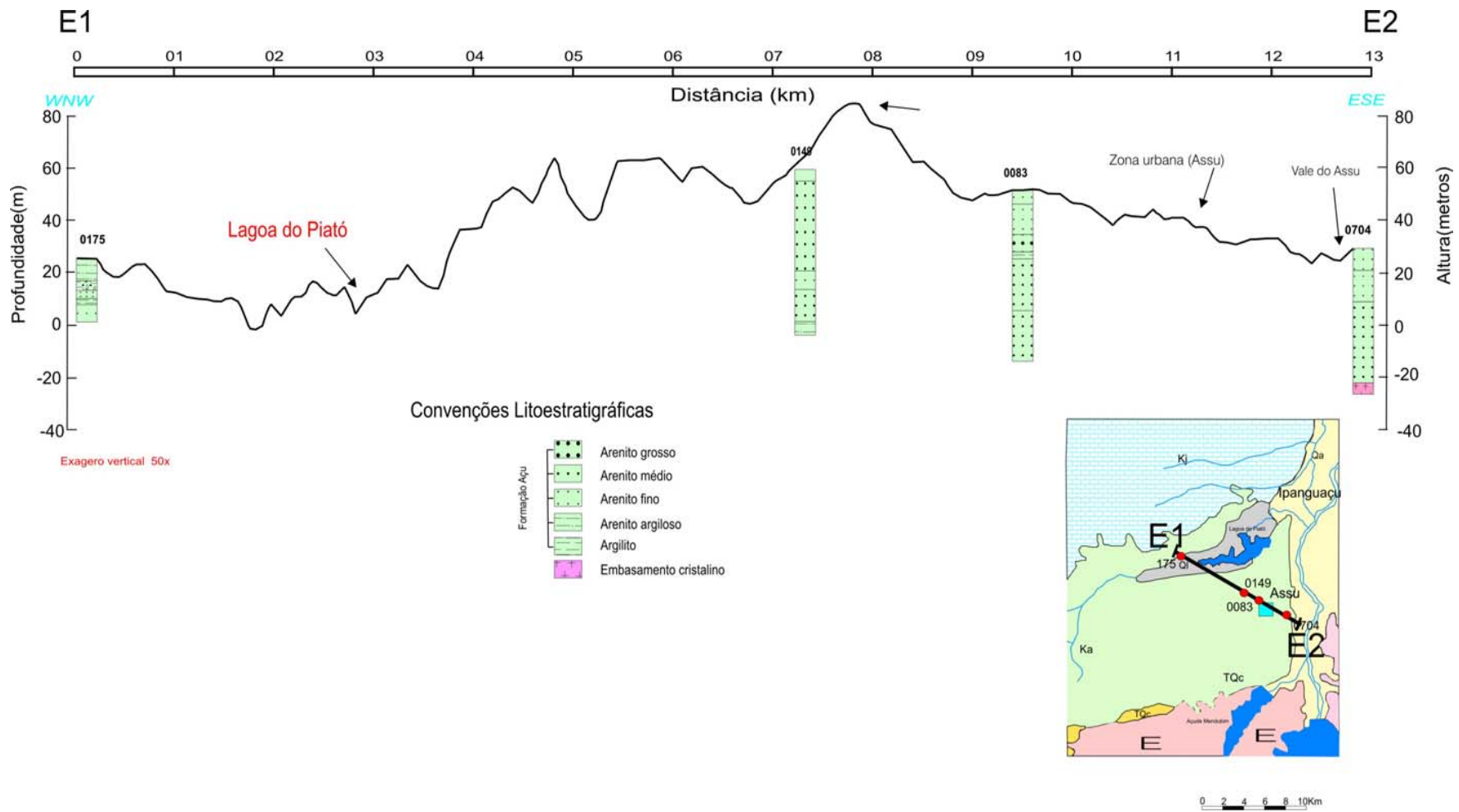


Figura 3.13 - Perfil geológico D1D2

### 3.2.2.3 - Resultados dos estudos geofísicos

Visando definir a estrutura geológica da área de estudo foram realizados na área de estudos geofísicos com a aplicação dos métodos gravimétricos e eletroresistividade. Os relatórios relativos a essas atividades, fazem parte de estudos contratados pela CPRM. e serão apresentados a FINEP separadamente, fazendo parte de estudos específicos de apoio as avaliações hidrogeológicas.

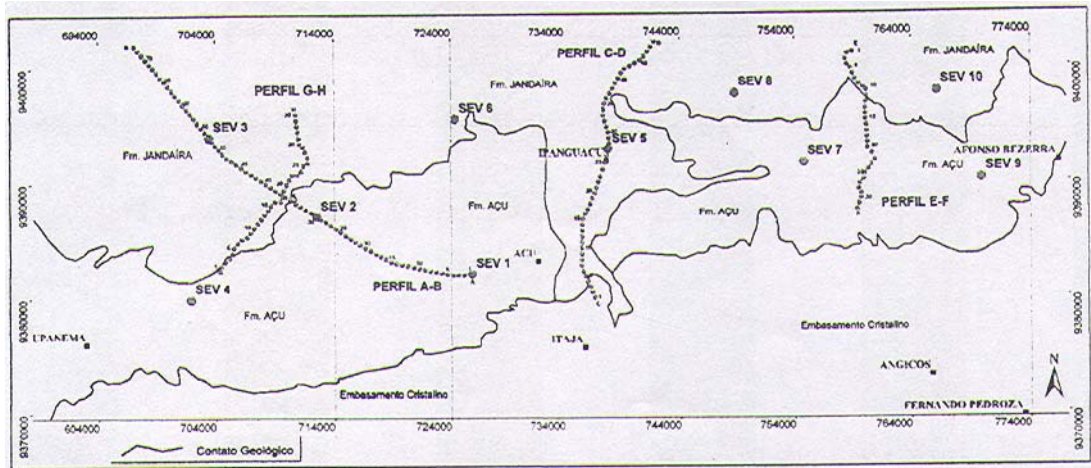
Os estudos gravimétricos (Castro, D L. et al,2006) não contribuíram diretamente com o conhecimento da estrutura geológica no domínio de afloramento da formação Açú, fornece, entretanto, informações de caráter regional que mostram aspectos lito-estruturais do embasamento cristalino no setor à NE a da área de estudo.

Os levantamentos geofísicos por eletroresistividade (Branco, R. M.G. C., 2006), mediante a elaboração de perfis de resistividade e das SEV's (Figura 3.14) conduziram a obtenção de resultados que permitiram a elaboração do mapa de isopacas (Figura 3.15) e modelos lito-estruturais) da Formação Açú na sua zona de afloramento no trecho entre Upanema e Afonso Bezerra (Figuras 3.16 a 3.19).

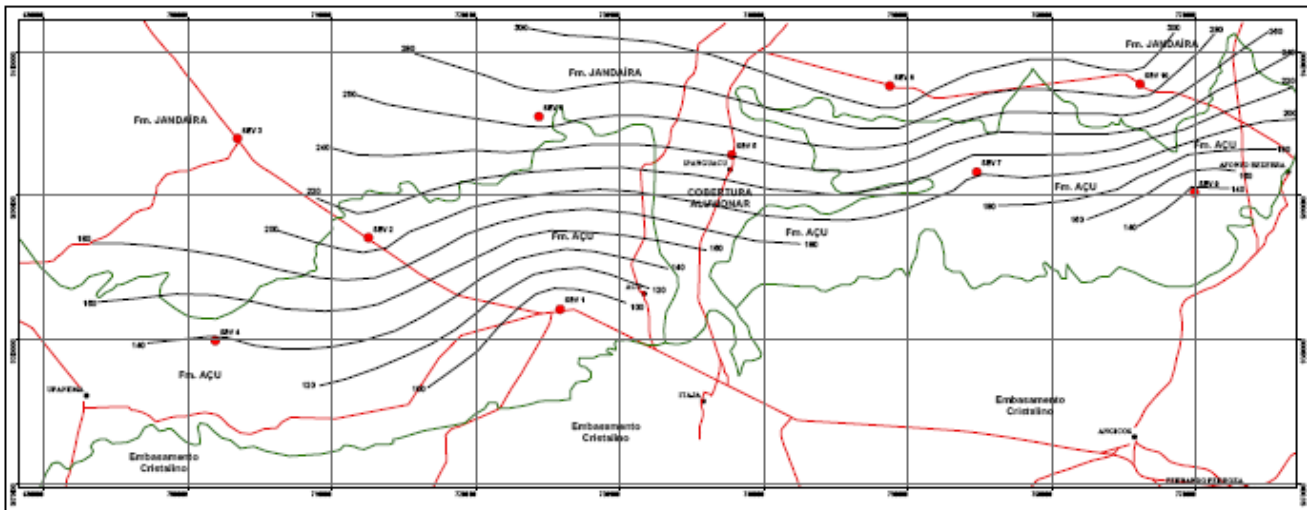
De conformidade com os estudos de eletroresistividade, no setor oriental da área a espessura da formação Açú varia de 140 m, próxima ao contato com o cristalino, a 280 m, próximo ao limite com a Formação Jandaira; no domínio da planície aluvial do rio Açú, as espessuras variam de 160 a 260 m; enquanto que na porção ocidental da área as espessuras da Formação Açú crescem de um mínimo de 100 m no setor sul da área a um máximo de pouco mais de 240 m no setor norte, próximo aos calcários. A configuração apresentada no mapa de isopacas, portanto indica um aumento contínuo das espessuras da Formação Açú a partir das rochas cristalinas no setor sul da área até os calcários da formação Jandaira, no setor norte, não indicando a existência de descontinuidades geológicas. Convém ressaltar, que os estudos não contemplaram o extremo oeste da área de estudo na região de Upanema.

As figuras 3.16 a 3.19 apresentam o modelo lito-estrutural, bidimensional, da Formação Açú na área de estudo em diferentes direções, que segue o

comportamento observado no mapa de isopacas ou seja as espessuras da formação Açú aumentam de sul (a partir do cristalino), para norte (até o limite com os calcários da Formação Jandaira). A configuração apresentada nas secções mostra a superfície do embasamento com relevo plano e ligeiramente inclinado sem ocorrência de ondulações topográficas ou ocorrências estruturais (falhas).



**Figura 3.14 - Localização dos perfis de resistividade e das SEV's (Branco, R. M. G, C., 2006)**



**Figura 3.15 - Mapa de isopacas da Formação Açú (Branco, 2006)**



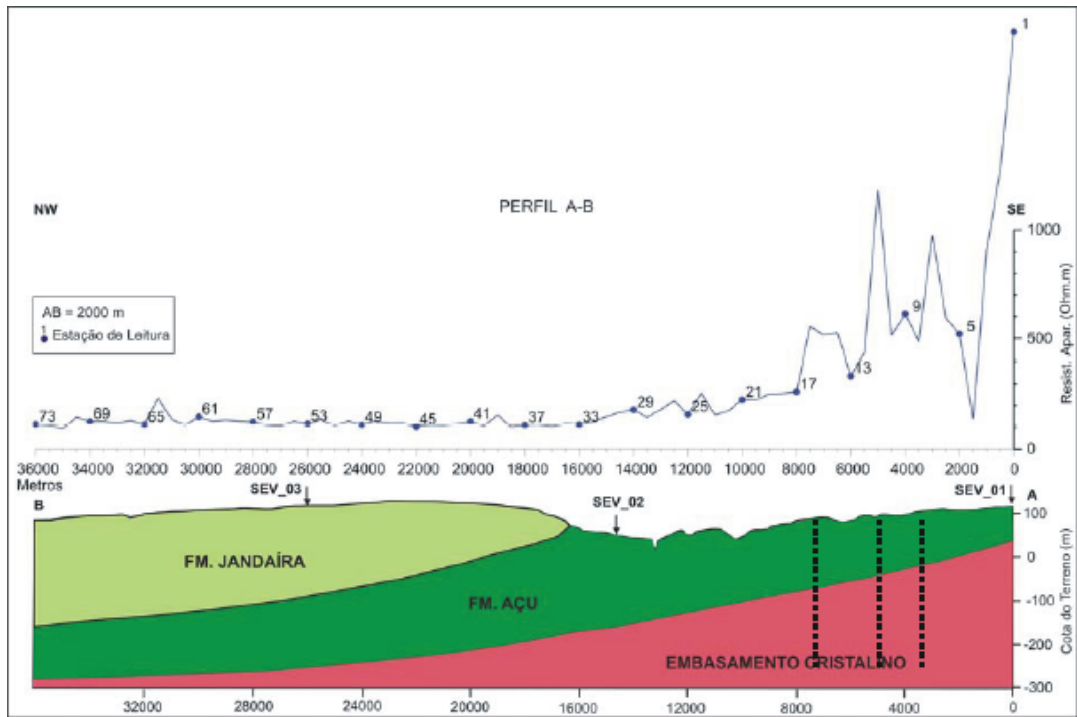


Figura 3.16 - Perfil de resistividade AB e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, 2006)

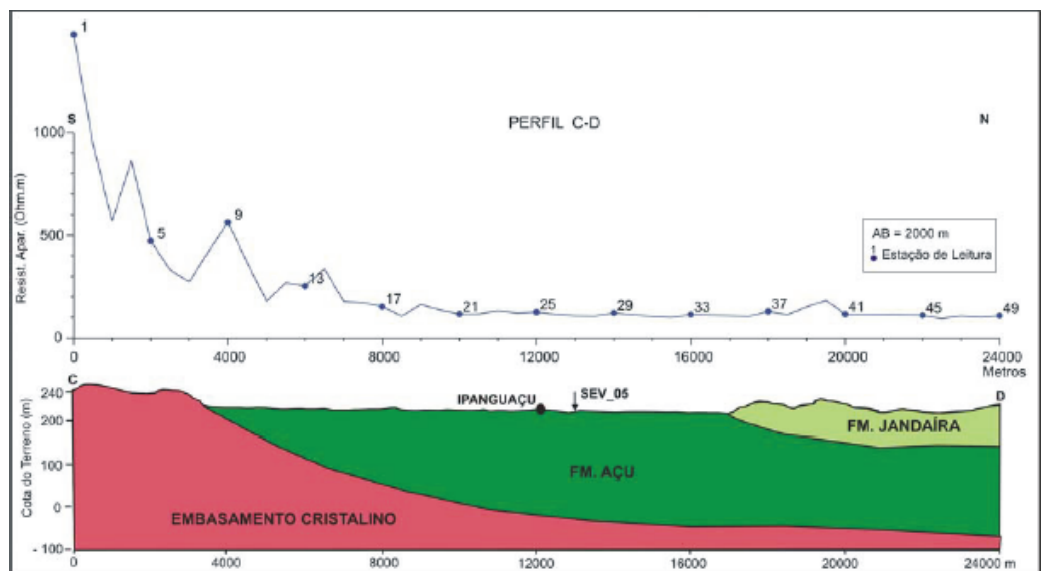


Figura 3.17 - Perfil de resistividade CD e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)

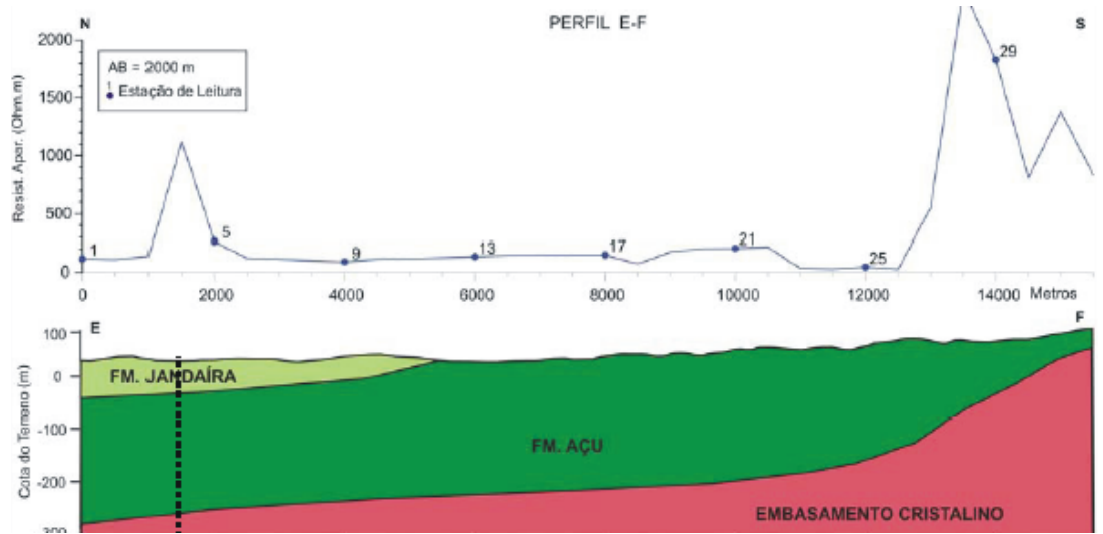


Figura 3.18 - Perfil de resistividade EF e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)

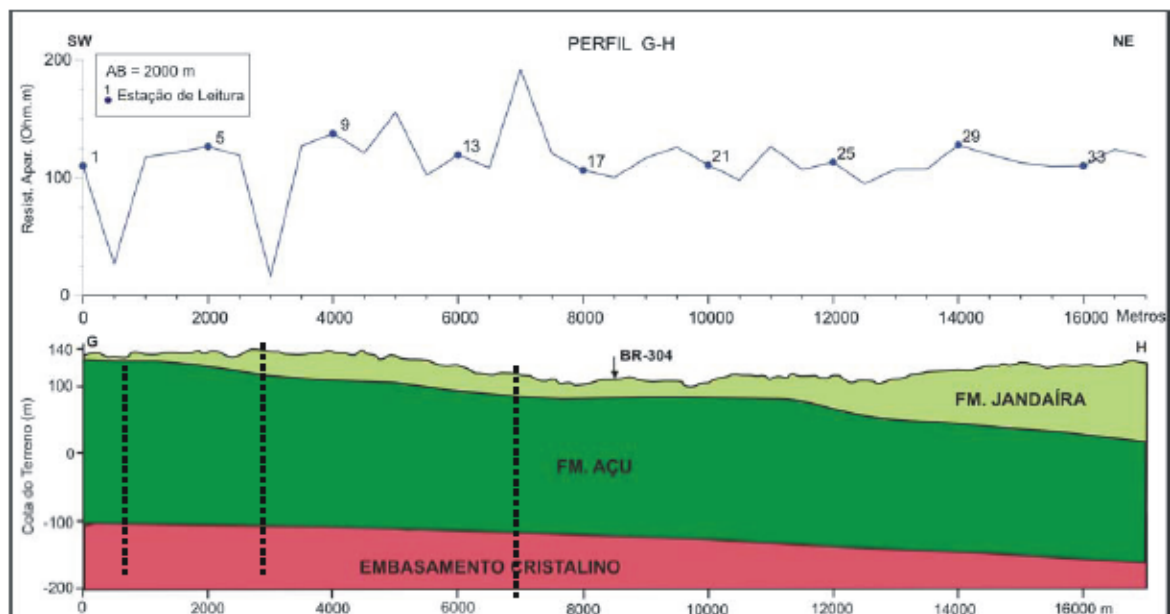


Figura 3.19 - Perfil de resistividade GH e uma possível seção geológica esquemática (Branco, R. M. G, C., 2006)

## **META C**

### **4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA**

Conforme assinalado anteriormente, a área efetiva de trabalho corresponde a zona de ocorrência da Formação Açú entre Upanema e Afonso Bezerra, que se desenvolve numa superfície aproximada de 1100 km<sup>2</sup>. Neste caso, estão incluídas também as áreas de ocorrências das planícies aluviais e as coberturas terciárias identificadas como cascalheiras (Figura 3.5). As características hidrogeológicas regionais da área estão contidas no “Relatório Síntese com Análise Bibliográfica” apresentado à FINEP em Maio de 2005.

A seguir são apresentados os resultados dos estudos hidrogeológicos realizados na área de estudo, seguido da interpretação dos resultados e a definição de parâmetros que permitiram, dentro do conhecimento empreendido, a concepção do sistema em termos potenciais e de explotabilidade, tendo em vista o desenvolvimento dos recursos hídricos da região.

#### **4.1 Resultados do cadastramento de poços**

No Anexo 10.1 são apresentados os resultados do cadastramento dos poços na área de estudo sob a forma de tabelas, no qual constam principalmente poços do aquífero Açú, com uma pequena amostragem de poços dos aquíferos cristalino, Jandaira e aluvial.

O cadastramento consistiu na identificação e localização de cada unidade com posterior definição de seus parâmetros construtivos (profundidade, diâmetro e altura da boca e material), hidráulicos (nível estático, nível dinâmico e vazão) e hidroquímicos (condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura).

Foi cadastrado um total de 493 pontos de água. O número de poços tubulares cadastrados situados na zona de afloramento da Formação Açú e captando águas do aquífero Açú é de 351 unidades; situados sobre o domínio das coberturas aluviais foram cadastrados 124 poços que captam águas tanto do aquífero Açú como também do aquífero aluvial; no domínio da Formação Jandaíra, captando águas do aquífero Jandaira foram cadastrados 7 poços, e

sobre o embasamento cristalino, captando águas deste aquífero fissural, 11 poços.

A distribuição espacial dos pontos inventariados é apresentada na Figura 4.1 e no Anexo 10.4, onde se pode observar que a maioria dos poços estão situados sobre a Formação Açú e captando águas do aquífero Açú, concentra-se na faixa Norte da Formação Açú, incluindo aqueles situados no domínio das aluviões. Na faixa Sul da área, contígua as rochas do embasamento cristalino, o número de poços existentes penetrando o aquífero Açú é relativamente pequeno, notadamente no setor Oriental da área.

Considerando a distribuição dos poços cadastrados por município, no total de 493 poços cadastrados, verifica-se que no Município de Açú foram cadastradas 248 unidades; em Afonso Bezerra, 81 unidades; Ipangaçu, 85; Upanema, 71; e, Angicos, 8 poços.

Uma síntese dos resultados do cadastramento dos poços é apresentada na Tabela 4.1, com base na qual é feita a seguir uma caracterização hidráulica e de reconhecimento da salinidade das águas dos mesmos no âmbito de cada unidade hidrogeológica.

Tabela 4.1 - Síntese dos resultados do cadastramento de poços

Sistema /Parâmetros	Aquífero	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo	N
Embasamento – Prof (m)		42,8	18,0	71,0	7
.....NE (m)		12,2	6,0	19,0	6
.....Q (m <sup>3</sup> /h)		3,0	0,3	5,5	5
.....Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)		0,5	0,02	1,6	4
..... STD(mg/L)		1771,0	317,2	2870,0	8
Açú - .....Prof (m)		44,9	15,0	148,0	269
.....NE (m)		25,7	4,0	138,0	156
.....Q (m <sup>3</sup> /h)		10,2	0,3	60,0	139
.....Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)		2,8	0,08	23,2	57
..... STD (mg/L)		764,7	109,7	4712,5	201
Jandaíra – .....Prof (m)		110,0	80,0	120,0	6
Aluviões/Açú- Prof (m)		68,2	5,1	192,0	86
.....NE (m)		14,3	4,6	42,0	29
.....Q (m <sup>3</sup> /h)		12,7	1,5	50,0	15
.....Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)		6,3	0,04	81,9	13
..... STD (mg/L)		703,6,0	106,0	2717,0	24

Prof: profundidade; NE: nível estático; Q: vazão; Q/s: vazão específica; STD: sólidos totais dissolvidos; N: número de informações.

#### **4.1.1 - Características dos poços perfurados no aquífero Açú**

Os poços tubulares que captam água do aquífero Açú apresentam uma profundidade que varia de um mínimo de 15,00 m e um máximo de 148,00 m, com média de 44,9 m; a vazão mínima de referência é de 0,3m<sup>3</sup>/h e a máxima de 60 m<sup>3</sup>/h, com média de 10,2 m<sup>3</sup>/h; o nível estático varia de um mínimo de 4,0 m e um máximo de 138,00 m, com media de 25,7 m; a vazão específica dos poços variou de 0,08 a 23,2 m<sup>3</sup>/h/m, com media de 2,8 m<sup>3</sup>/h/m, sem considerar o poço que abastece a cidade de Ipanguaçu.

A distribuição espacial dos valores de capacidade específica (Figura 4.2) mostra que este parâmetro cresce de sul para norte. Na faixa contígua as rochas cristalinas a capacidade específica dos poços é da ordem de 1,0 m<sup>3</sup>/h/m e próximo aos calcários, 6,0 m<sup>3</sup>/h/m. Na Planície aluvial do Açú, entretanto, a vazão específica dos poços são muito mais elevadas com valores da ordem de 20,0; 23,0 e até 52, 3 m<sup>3</sup>/h/m no poço que abastece a cidade de Ipanguaçu.

Os sólidos totais dissolvidos das águas do aquífero Açú apresentam valor mínimo de 109,7,0 mg/L e máximo de 4712,5 mg/L, com média de 764,7 mg/L. Os poços são em geral equipados com bomba submersa.

A avaliação global das condições de exploração das águas subterrâneas do aquífero Açú permitiu estimar um volume anual de água explorado da ordem de 3,0 milhões de m<sup>3</sup>, que se constitui na disponibilidade efetiva de água de suprimento. Esta estimativa foi efetuada tomando por base um regime médio de 4 h de bombeamento para os poços de particulares. Os poços do Sistema Público de abastecimento que suprem as cidades de Upanema, Ipanguaçu e Afonso Bezerra operam em geral em regime contínuo de bombeamento e capta um volume de água da ordem de 4440 m<sup>3</sup>/dia, o que corresponde a 1,6 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Nestas condições, o volume de água explorado para o abastecimento urbano corresponde a pouco mais de 53% do volume total de suprimento da área de estudo.

Dentre os poços penetrando o aquífero Açú, dispõe-se dos perfis litológicos e construtivos de 73 unidades, o que corresponde a apenas 15% do total de poços cadastrados. Os poços são em geral perfurados em diâmetros de 10 polegadas e revestidos com tubos cego e filtros de PVC Geomecânico em 6 polegadas, com poucos casos de poços com revestimento de 4 e 8 polegadas. Os poços do Sistema Público de Abastecimento de Upanema, Ipangaçu e Afonso Bezerra são perfurados em diâmetro de 12 polegadas e revestidos em 6 e 8 polegadas de diâmetro.

#### **4.1.2 - Características dos poços perfurados no aquífero Jandaira**

Foram cadastrados apenas 7 poços penetrando o aquífero Jandaira e mesmo assim dispõe-se apenas da profundidade dos mesmos. Os poços tubulares captando água do aquífero Jandaira apresentam um valor mínimo de 80,0 m de profundidade e máximo de 120,0 m, com média de 97,7 m.

O cadastro de poços executado pela CPRM em 2002 apresentam as seguintes características para o aquífero Jandaira:

A vazão varia de um mínimo de  $1\text{m}^3/\text{h}$  e a máximo de  $11,00\text{ m}^3/\text{h}$ , com média é de  $6,00\text{ m}^3/\text{h}$ ; o nível estático apresentou valor mínimo de 10,00 e máximo de 59,00 m, com média 33,00 m; os sólidos totais dissolvidos da água varia de um valor mínimo de 1048,00 mg/L a um máximo de 4397mg/L, com média de 2142mg/L.

O diâmetro dos poços é geralmente de 5 e 6 polegadas. A captação da água é efetuada através de compressores, catavento ou com menor frequência bombas submersas.

#### **4.1.3 - Características dos poços perfurados no aquífero cristalino**

Os poços tubulares perfurados no embasamento cristalino apresentam profundidades que variam de 18,0 a 71,0, com média de 42,8 m; as vazões variam de 0,3 a  $5,5\text{ m}^3/\text{h}$ , com média de  $3,0\text{ m}^3/\text{h}$  e nível estático de 6,0 a 19,0 m, com média de 12,2 m. As águas dos poços apresentaram sólidos totais dissolvidos variando de 317,2 a 2870,0 mg/L, com média de 1771,2 mg/l. A maior parte da água é captada é usada geralmente para o uso de animais,

sendo considerada ruim para o consumo humano, com potabilidade medíocre a má, e, seu uso para a irrigação é restrito.

O diâmetro dos poços perfurados no embasamento cristalino, é geralmente de 5 polegadas. O sistema de bombeamento dos poços mais comum é o catavento, haja vista a baixa produtividade dos poços.

#### **4.1.4 - Características dos poços perfurados no aquífero Aluvial**

Não foram cadastrados poços captando águas do aquífero aluvial. As informações apresentadas são baseadas no cadastro da CPRM executado em 2002, que permitiu a obtenção dos seguintes resultados:

A profundidade dos poços perfurados no aquífero aluvial varia de um mínimo de 5,00 m a um máximo de 50,0, com média de 23,0 m; os níveis estáticos variam de 1,0 m e 13,0 m, com uma média de 5,0 m; a vazão variou de 4,0 a 46,0 m<sup>3</sup>/h, com uma média de 14,0 m<sup>3</sup>/h; a vazão específica variou de 0,2 a 7,1 m<sup>3</sup>/h/m, com uma média de 1,75 m<sup>3</sup>/h/m. Os sólidos totais dissolvidos variaram de 141,00 a 2281,00 mg/L, com uma média de 689,00 mg/L. As águas dos poços perfurados no aquífero alluvial são muito utilizadas na irrigação de culturas, principalmente no vale do Açu.

O diâmetro dos poços é de 2 a 5 metros, quando se trata de poços escavados (cacimbões) ou de 4 a 5 polegadas, quando se trata de poços tubulares.

#### **4.1.5 - Características dos poços perfurados aquífero aluvião/Açu.**

Os poços tubulares perfurados sistema aluvião/Açu apresentam profundidades que variam de 51,0 a 192,0; com média de 68,2 m; as vazões variam de 1,5 a 50,0 m<sup>3</sup>/h, com média de 12,7 m<sup>3</sup>/h e nível estático de 4,6 a 42,0 m, com média de 14,3 m. As águas dos poços apresentaram sólidos totais dissolvidos variando de 60,0 a 2717 mg/L, com média de 703,0 mg/L.

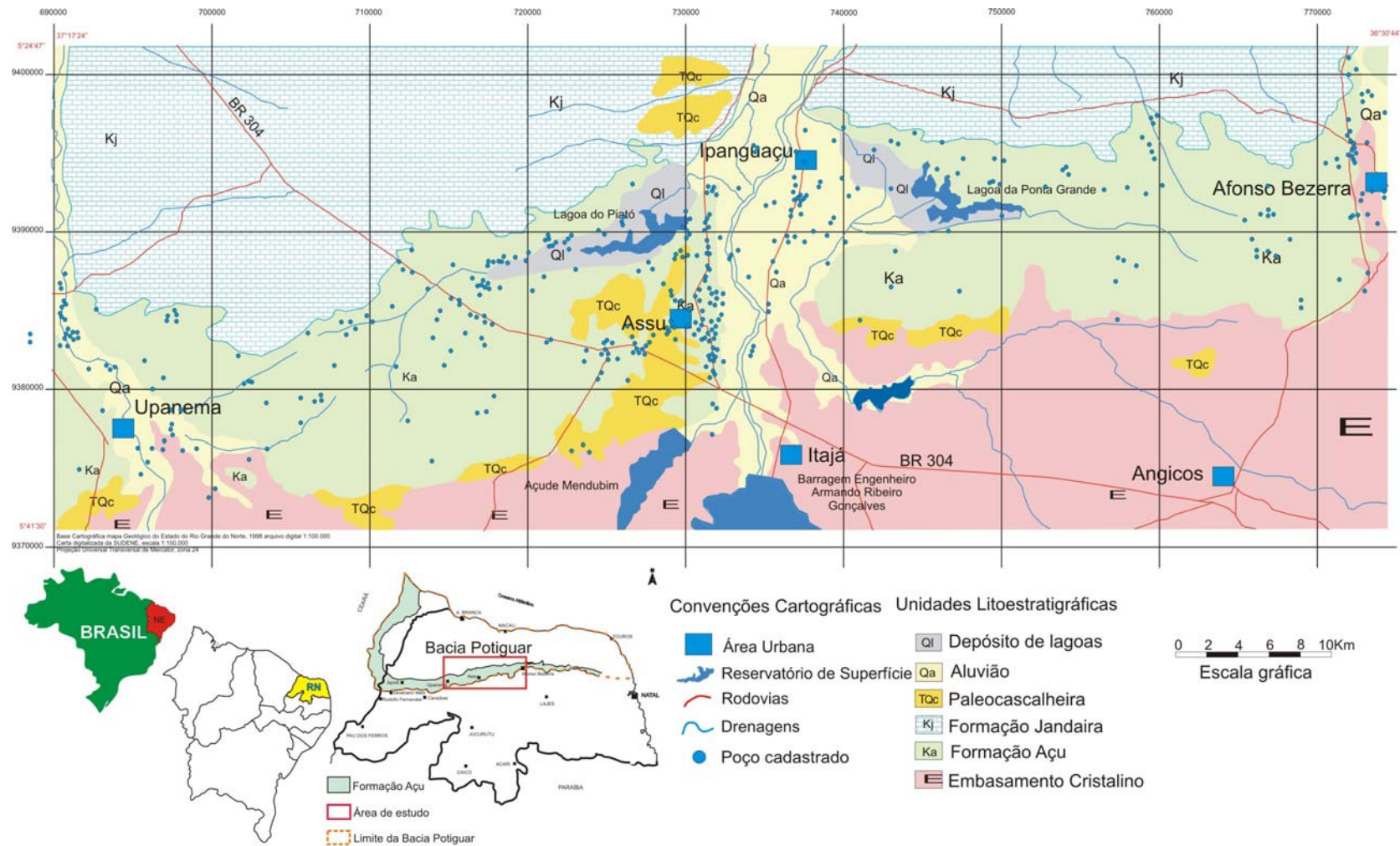


Figura 4.1 - Distribuição espacial dos poços cadastrados



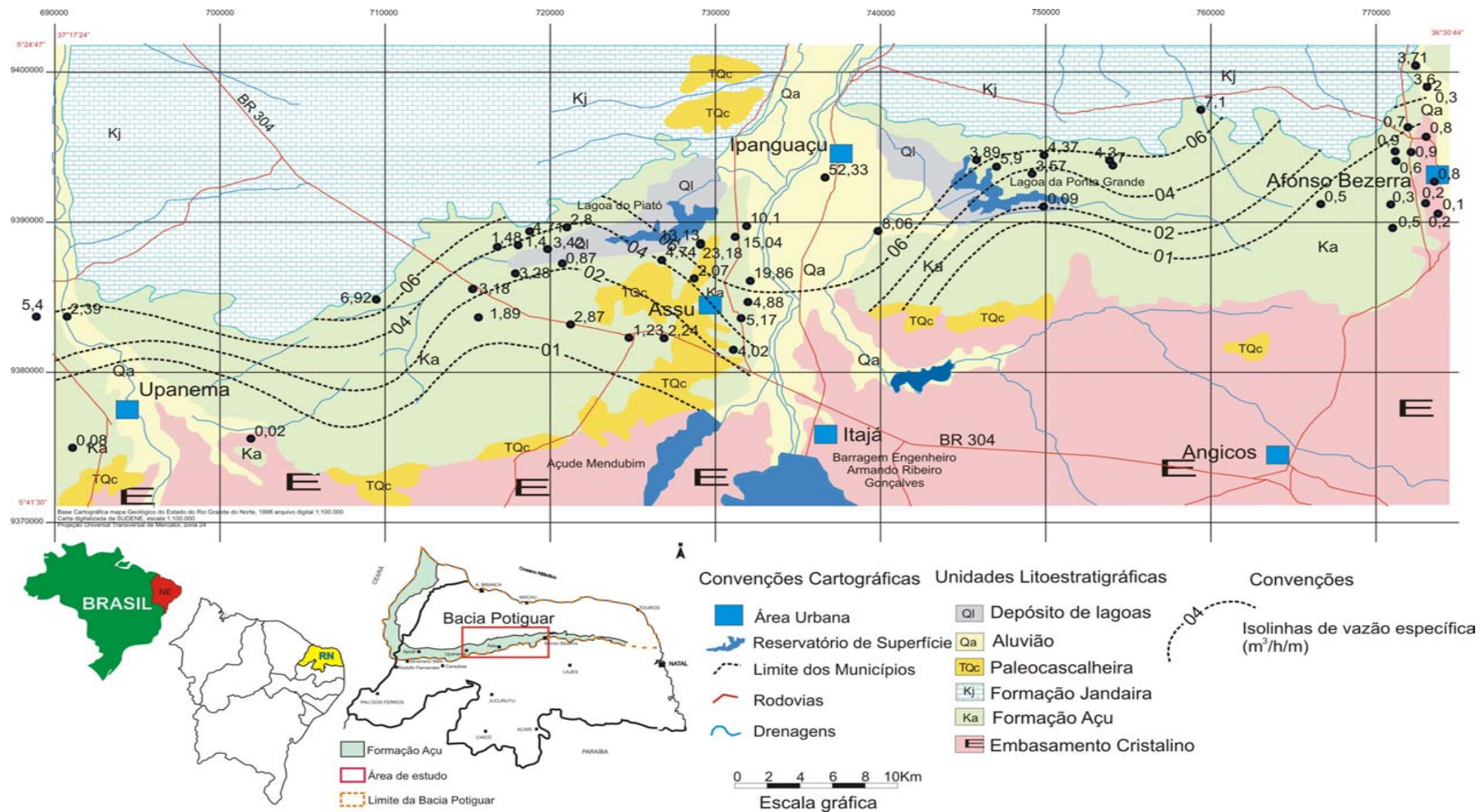


Figura 4.2 - Vazão específica dos poços penetrando o aquífero Açu.

## 4.2 - Dimensões do aquífero Açu

As dimensões do aquífero Açu foram avaliadas no domínio da área efetiva de trabalho, que inclui a faixa de afloramento da Formação Açu e a ocorrência deste aquífero em sub-superfície sob o domínio das coberturas aluviais e coberturas Tercio-Quaternárias identificadas como paleocascalheiras (Figura 3.5). Assim sendo, o aquífero Açu é avaliado numa extensão de pouco mais de 90 km entre Afonso Bezerra e Upanema, no sentido leste-oeste, por uma largura média de 12 km (varia de 9,0 a 15,0 km).

Nestas condições, o aquífero Açu abrange uma superfície total de aproximadamente 1100 km<sup>2</sup>, da qual 925 km<sup>2</sup> corresponde a área de exposição do aquífero Açu (incluindo as coberturas de cascalheira) e 155 km<sup>2</sup>, a área em que o aquífero Açu está sotoposto ao aquífero freático aluvial.

Os estudos geofísicos por eletroresistividade apresentam um mapa de isopacas da Formação Açu (Figura 3.15) indicando espessuras que variam de forma crescente e contínua, de sul para norte, de 140,0 a 300,0 m, no setor Oriental da aérea (entre Afonso Bezerra e Ipanguaçu) e espessuras que vão de 100,0 m a 260,0 m, no setor Ocidental da área (entre Ipanguaçu e Upanema). As seções geológicas apresentadas (figuras 3.16 a 3.19) em diferentes direções permitem uma visualização do modelo geológico concebido nos estudos geofísicos exploratórios.

Conforme já assinalado anteriormente, dispõe-se dos perfis litológicos de 72 poços perfurados na área (Figura 4.3), entre os quais apenas 20 deles são totalmente penetrantes (Figura 4.4). A distribuição espacial desses poços que penetram totalmente o aquífero Açu é feita de forma bastante irregular e concentrada em alguns locais, o que dificulta uma interpretação em termos da estrutura geológica. A Tabela 4.2 apresenta as espessuras penetradas no aquífero Açu, a espessura saturada penetrada e a espessura efetiva penetrada (neste caso retirando os argilitos e folhelhos). Na avaliação geral, as espessuras penetradas no aquífero Açu variaram de 18,0 a 154,0 m, e, as espessuras penetradas saturadas, de 9,8 a 140,1 m. Retirando as camadas constituídas de argilitos resultou numa variação de espessura saturada penetrada efetiva de 8,0 a 154,0 m (Tabela 4.2). Considerando os poços que penetraram totalmente o aquífero Açu (Tabela 4.3), verifica-se uma variação de

espessura de 27,0 m (poço PS-0581) a 114,0 (poço PS-0693), espessura saturada de 9,9 m (poço PS-1192) a 84,3 m (poço OS-0506), e, espessura saturada efetiva de 6,0 (poço OS-0195) m a 70,0 m (poço OS-0506).

A correlação dos perfis de poços (Figuras 3.11 a 3.13) indica a ocorrência de descontinuidades geológicas evidenciadas com a perfuração dos poços 0704, nas proximidades da Lagoa de Piató, com o topo do embasamento cristalino a 54,0 m de profundidade. Este comportamento não foi detectado nos estudos geofísicos provavelmente devido ao caráter exploratório ou de âmbito regional da prospecção empreendida.

**Tabela 4.2 - Espessura penetrada no aquífero Açú (Poços parcialmente penetrantes e poços totalmente penetrantes)**

Poço	Lon	Lat	Prof. (m)	NE (m)	e <sub>p</sub> (m)	e <sub>sp</sub> (m)	e <sub>ef</sub> (m)
			(20,0-154,0)	(3,18-79,3)	(18-154)	(9,8-140,1)	(8-154)
PS-0042	733789	9375159	22,0	6,6	22,0	15,4	20,0
PS-0083	727210	9387030	68,0	21,5	68,0	46,5	65,0
PS-0149	729200	9385800	66,0	14,2	66,0	51,9	60,0
PS-0175	732070	9383100	25,0	4,5	25,0	20,5	13,0
PS-0207	721090	9386790	72,0	11,8	72,0	60,2	55,0
PS-0208	717490	9387640	75,0	13,6	75,0	61,4	63,0
PS-0278	721090	9386790	30,0		30,0		30,0
PS-0358	709690	9384380	73,0	39,4	73,0	33,6	73,0
PS-0362	715950	9383160	96,0	59,6	96,0	36,4	96,0
PS-0421	718219	9386125	75,0	24,0	75,0	51,0	65,0
PS-0480	716972	9385657	52,0	10,1	52,0	36,2	23,0
PS-0592*	727350	9381760	87,0	67,2	84,0	16,8	84,0
PS-0599*	725220	9381300	106,0		99,0		33,0
PS-0626	716500	9386700	100,0	72,2	100,0	27,9	100,0
PS-0674	716420	9384260	90,0	41,0	90,0	49,0	90,0
PS-0677	716420	9384260	92,0	52,0	92,0	40,0	86,0
PS-0680	714180	9384152	87,0	44,9	87,0	42,1	45,0
PS-0684	715600	9385070	85,0	40,8	85,0	44,2	85,0
PS-0686	718390	9387560	65,0	16,2	65,0	48,8	65,0
PS-0689	714360	9384560	92,0	44,1	92,0	47,9	56,0
PS-0693*	721600	9382700	118,0	79,3	114,0	34,7	104,0
PS-0701	718390	9388030	52,0	13,4	52,0	38,6	37,0
PS-0704*	721600	9388800	58,0	14,8	54,0	39,2	50,0
PS-0839	733846	9399520	22,0	3,2	22,0	18,8	22,0
PS-0066	735540	9385200	20,0		20,0		8,0
PS-0352	750650	9394100	88,0	49,5	88,0	38,5	80,0
PS-0766*	747130	9389706	56,0	9,0	52,0	47,0	50,0
PS-0017	689900	9384400	88,0	12,3	88,0	75,7	36,0
PS-0374*	699850	9373140	54,0		48,0		8,0
PS-0422	690136	9385060	82,0	21,1	82,0	60,9	82,0
PS-0426	692252	9378250	52,0	13,2	52,0	38,8	49,0
PS-0431*	689867	9386290	82,0	19,1	39,0	19,9	39,0
PS-0440	690978	9383124	120,0	38,3	120,0	81,7	120,0

PS-0506	690710	9383220	95,0	8,7	93,0	84,3	73,0
PS-0571*	706700	9379100	130,0		90,0		56,0
PS-0631	690790	9388230	154,0	13,9	154,0	140,1	154,0
PS-0640	696860	9384200	145,0	44,2	145,0	100,8	128,0
PS-0120	760280	9397150	90,0	28,5	90,0	61,5	36,0
PS-0124	754890	9393410	100,0	26,1	100,0	73,9	78,0
PS-0130	753450	9392560	78,0	24,8	78,0	53,2	24,0
PS-0131	773030	9395470	76,0	18,0	76,0	58,0	35,0
PS-0135	768470	9397470	97,0	53,2	97,0	43,8	29,0
PS-0136	767630	9390800	115,0	60,0	115,0	55,0	37,0
PS-0152	774110	9395330	61,0	14,0	61,0	47,0	51,0
PS-0153	772980	9395980	80,0	20,5	80,0	59,5	52,0
PS-0154	773170	9394300	78,0	20,0	78,0	58,0	68,0
PS-0155*	773210	9390530	70,0	12,6	64,0	51,4	58,0
PS-0157	772240	9393980	88,0	39,0	88,0	49,0	57,0
PS-0158*	773530	9390750	60,0	20,0	54,0	34,0	25,0
PS-0163	773450	9400130	110,0	6,5	110,0	103,5	81,0
PS-0165*	772200	9394360	70,0	17,3	63,0	45,7	56,0
PS-0195*	774270	9390790	48,0	11,6	42,0	30,4	15,0
PS-0198*	773200	9395000	58,0	16,2	48,0	31,8	48,0
PS-0435	773140	9394880	64,0	20,0	64,0	44,0	64,0
PS-0469	772940	9400960	100,0	15,8	100,0	84,2	100,0
PS-0511	761280	9397150	78,0	14,5	78,0	63,5	76,0
PS-0528*	769790	9384860	40,0	9,7	36,0	26,3	36,0
PS-0548	774610	9392320	31,0	7,1	31,0	23,9	25,0
PS-0561	774158	9398680	46,0	10,3	46,0	35,7	19,0
PS-0581*	774880	9390260	33,0	14,8	27,0	12,2	21,0
PS-0672	767000	9400320	103,0	35,8	103,0	67,2	56,0
PS-0357*	717980	9347110	107,0		98,0		98,0
PS-1199*	705111	9372811	32,0	18,2	28,0	9,9	11,5
PS-0197*	773150	9390540	65,0	15,3	55,0	39,7	31,0
PS-0430*	689300	9385300	64,0	8,2	60,0	51,8	45,0
15-in	747745	9393310	87,0	30,8	87,0	56,2	81,0
18-in	746515	9393771	102,0	30,0	102,0	72,0	70,0
16-in	749913	9392844	83,0	26,0	83,0	57,0	63,0
20-in	759543	9395743	76,0	23,0	76,0	53,0	56,0
19-in	750463	9392747	98,0	16,0	98,0	82,0	90,0
06-inA	691060	9374388	41,0	4,0	41,0	37,0	23,0
17-in	760134	9394746	77,0	24,0	77,0	53,0	45,0

\* Poços totalmente penetrantes no aquífero Açú; Prof: profundidade; NE: nível estático;  $e_p$ : espessura penetrada;  $e_{sp}$ : espessura saturada penetrada;  $e_{ef}$ : espessura penetrada efetiva

**Tabela 4.3 - Espessuras totais do aquífero Açú com base nos perfis litológicos dos poços**

Poço	Lon	Lat	Prof. (m)	NE (m)	e (m)	e <sub>ef</sub> (m)	e <sub>s</sub> (m)	e <sub>sef</sub> (m)
PS-0592	727350	9381760	87	67,2	84,0	84,0	16,8	16,8
PS-0599	725220	9381300	106		99,0	96,0		
PS-0693	721600	9382700	118	79,3	114,0	108,0	34,7	34,7
PS-0704	721600	9388800	58	14,8	54,0	50,0	39,2	39,2
PS-0766	747130	9389706	56	9,0	52,0		47,0	47,0
PS-0374	699850	9373140	54		48,0	14,0		
PS-0431	689867	9386290	82	19,1	39,0	39,0	19,9	10,0
PS-0506	690710	9383220	95	8,7	93,0	75,0	84,3	70,0
PS-0571	706700	9379100	130		90,0	96,0		
PS-0155	773210	9390530	70	12,6	64,0	64,0	51,4	51,4
PS-0158	773530	9390750	60	20,0	54,0	31,0	34,0	19,0
PS-0165	772200	9394360	70	17,3	63,0	63,0	45,7	45,7
PS-0195	774270	9390790	48	11,6	42,0	21,0	30,4	6,0
PS-0198	773200	9395000	58	16,2	48,0	48,0	31,8	31,8
PS-0528	769790	9384860	40	9,7	36,0	36,0	26,3	30,0
PS-0581	774880	9390260	33	14,8	27,0	27,0	12,2	12,2
PS-0357	717980	9347110	107		98,0	98,0		
PS-1199	705111	9372811	32	18,2	28,0	11,5	9,9	9,9
PS-0197	773150	9390540	65	15,3	55,0	41,0	39,7	20,7
PS-430	689300	9385300	64	8,2	60,0	49,0	51,8	36,8

Prof.: profundidade; NE: nível estático; e: espessura; e<sub>ef</sub>: espessura efetiva; e<sub>s</sub>: espessura saturada; e<sub>sef</sub>: espessura saturada efetiva.

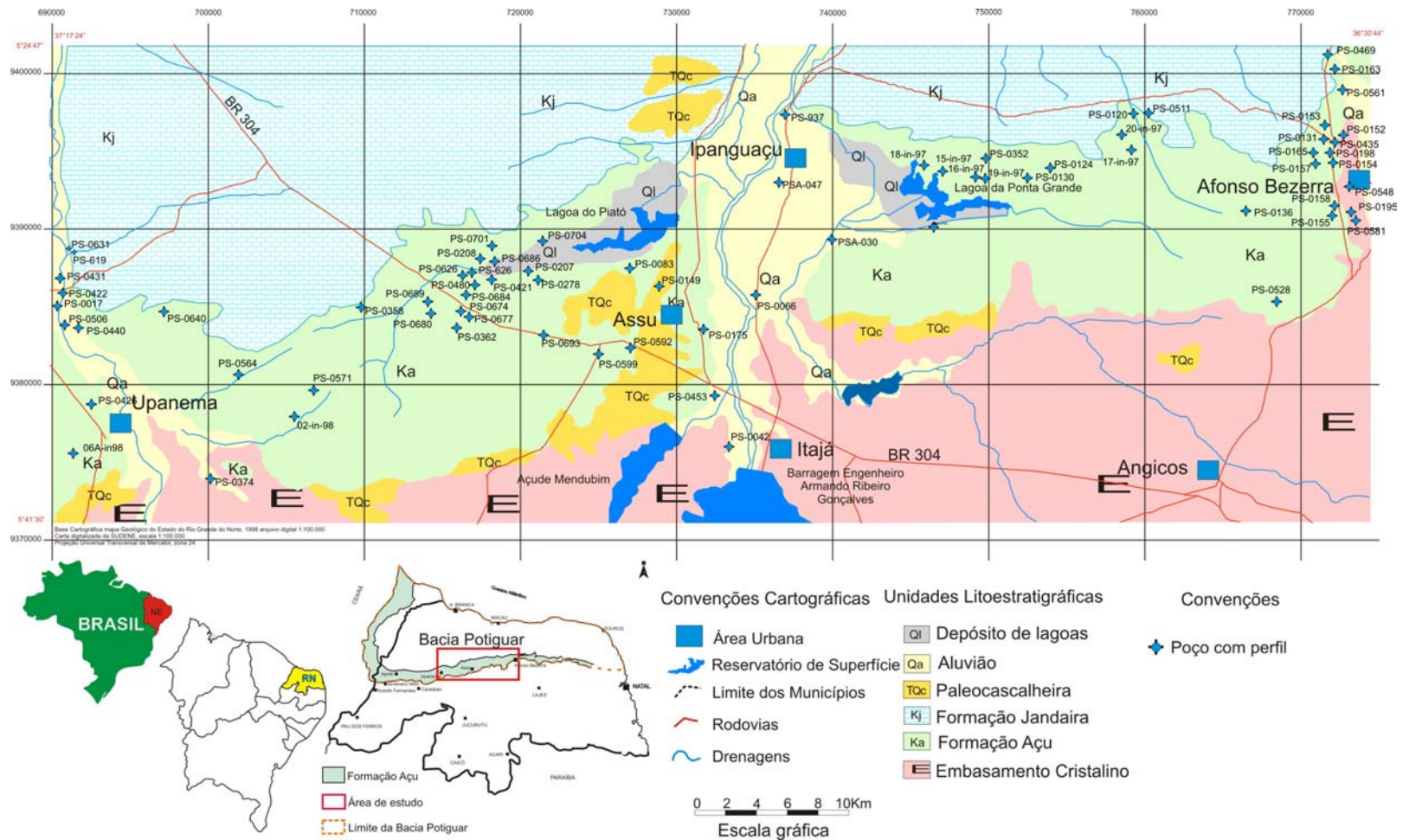
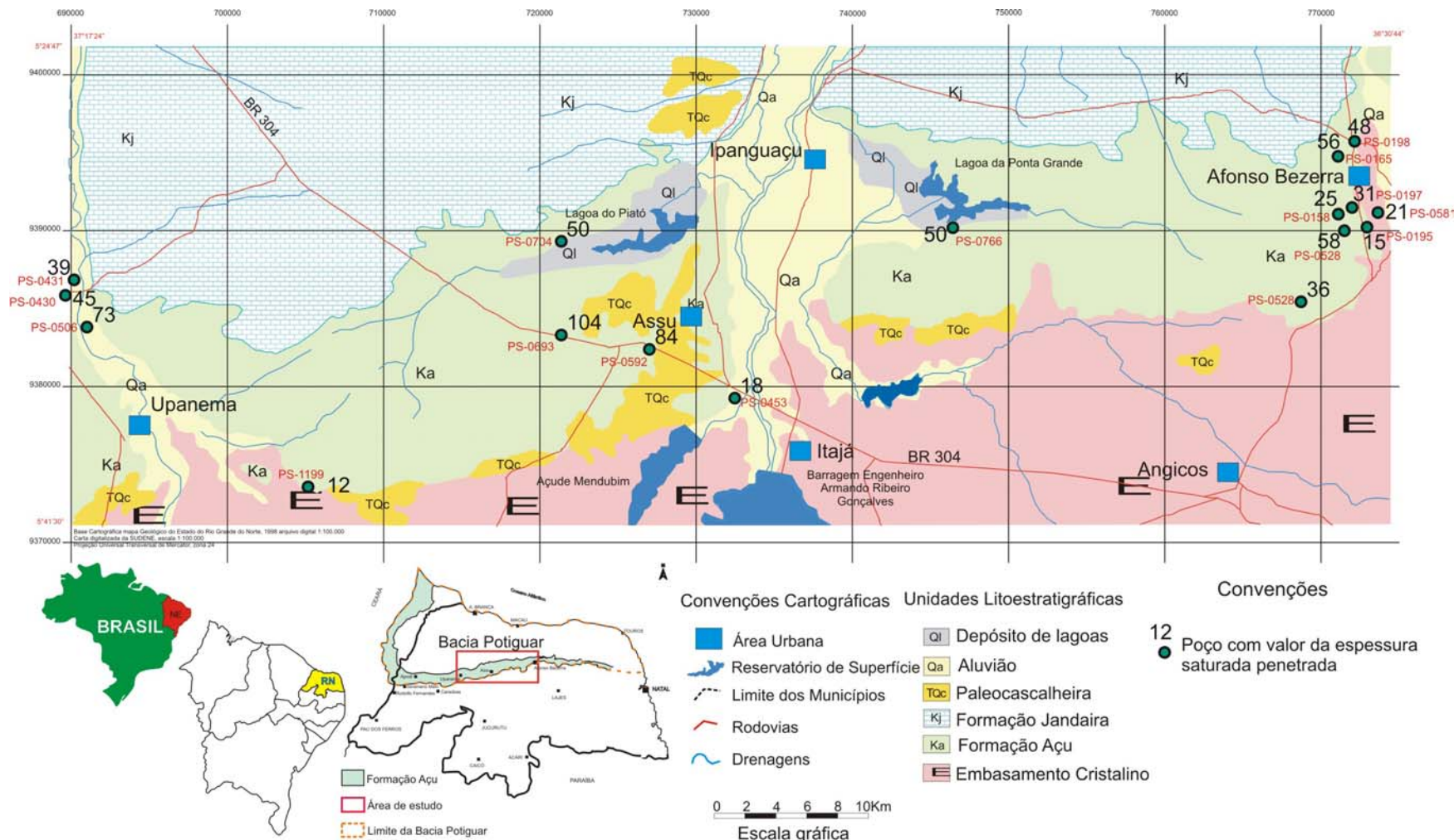


Figura 4.3 - Distribuição dos poços penetrando o aquífero Açú com perfis litológicos.



**Figura 4.4 - Poços com penetração total no aquífero Açu**

### 4.3 - Parâmetros hidrodinâmicos

Os parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero são fundamentais nas avaliações dos recursos hídricos subterrâneos de uma determinada região. Estes parâmetros correspondem fundamentalmente a condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento e/ou porosidade efetiva, os quais são avaliados a partir da interpretação de resultados de testes de aquífero. A conceituação de cada um desses parâmetros é apresentada a seguir:

- **Condutividade Hidráulica:** é a menor ou maior facilidade com que a água se move através dos interstícios da rocha. Tem a dimensão de uma velocidade, e, é expresso em m/s ou m/d.
- **Transmissividade:** é a capacidade de transmissão de água através de toda a espessura saturada do aquífero, podendo ser expressa em  $m^2/s$  ou  $m^2/d$ . Corresponde ao produto da condutividade hidráulica pela espessura saturada do aquífero (b);
- **Coeficiente de Armazenamento:** é definido como o volume de água que pode ser liberado ou armazenado dentro de um aquífero confinado por variação unitária do nível potenciométrico. No caso de aquíferos livres corresponde à porosidade efetiva, ou seja, corresponde ao volume de água drenável ou gravitativa de uma camada aquífera com relação ao volume total da camada. Os aquíferos confinados apresentam coeficientes de armazenamento entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ , enquanto que em aquíferos livres, a porosidade efetiva pode variar de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ .

Nos estudos em escala regional, o aquífero Açu, na Borda Sul da Bacia Potiguar, é considerado como tipicamente livre, conforme descrito anteriormente. Na área específica deste trabalho, o aquífero Açu é também reconhecido como um sistema livre, porém denota-se em muitas situações condições de semi-confinamento, graças a presença de sedimentos argilosos na parte superior dos perfis, notadamente próximo ao contato com os calcários da Formação Jandaíra.



Vale ressaltar, que os poços testados na área atingem profundidades de no máximo 154 m (poço PS-0631). Na realidade, a Formação Açú pode apresentar na área de estudo espessuras bem mais elevadas na sua faixa Norte (contígua aos calcários) conforme sugerem os estudos geofísicos descrito anteriormente. De acordo com a estratigrafia da Bacia Potiguar, a parte basal da Formação Açú é formada por clásticos grosseiros, constituindo o melhor nível aquífero. Convém ressaltar que um poço perfurado pela PETROBRAS na área de Caraúbas (oeste de Upanema, fora da área de estudo) atesta esta informação, com a indicação de melhores níveis aquíferos a profundidades situadas entre 110 e 185 m (Melo & Stein, 2002). Assim sendo, a faixa Norte (contíguo aos calcários), é possível que venha apresentar transmissividades bem mais elevadas do que as obtidas no âmbito deste trabalho.

#### **4.3.1 - Testes de bombeamento e metodologia**

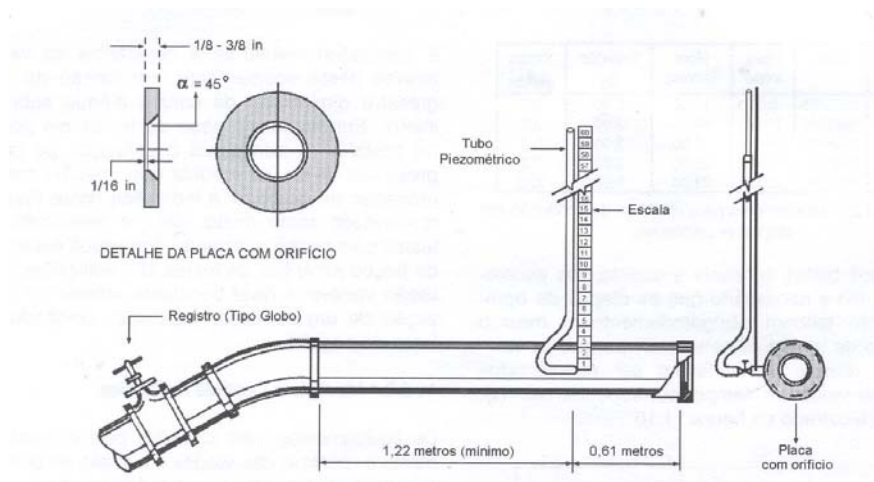
Os parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero são avaliados a partir da análise de dados de testes de aquífero, executados em campo, segundo um dispositivo de poços bombeados e observados, com a obtenção de informações sobre o rebaixamento do nível potenciométrico durante a operação de bombeamento. No caso da ausência de poços observados, os rebaixamentos do nível da água são obtidos no próprio poço de bombeamento, e se procede a interpretação dos resultados com a obtenção de valores aproximados.

Os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Açú foram obtidos a partir da interpretação de testes de bombeamentos realizados e fornecidos pela CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte), SERHID/RN (Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte), INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e empresas de Perfuração de poços (PROPOÇO-Perfuração de Poços SA e PROSENG). Os dados foram fornecidos por estas empresas sob a forma de fichas técnicas, contendo as tabelas de bombeamento. Dois testes de bombeamento (P-203 e P-472, Tabela 4.4) foram realizados pela CPRM no âmbito deste projeto. No caso do Teste no poço P-203 foi utilizado dispositivo de poço de observação.

## Testes de Bombeamento executados pela CPRM

Os testes de bombeamento executados pela CPRM foram realizados com bombas submersas e em regime de bombeamento com vazão constante utilizando-se para o monitoramento e controle da vazão o escoador de orifício circular. A vantagem deste método é a boa precisão e a possibilidade de se assegurar uma vazão constante, requisito básico para a interpretação dos resultados que levam a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, no caso o Açu.

Este recurso usado consiste de um tubo de descarga horizontal que é conectado ao tubo de saída da bomba através de um joelho. O tubo dispõe de um registro, uma placa de aço ou PVC circular perfurada estrangulando a saída e uma tomada piezométrica. A placa circular deve ser lisa e sem irregularidades, assim como as paredes do perímetro do orifício. Suas arestas, entretanto, devem ser agudas. A tomada piezométrica deve ser obtida mediante um furo de 1/8" de diâmetro, na intersecção da parede do tubo de descarga com o plano horizontal que contém o eixo longitudinal. Em seguida, é conectado ao tubo, um niple ou bocal metálico ou de PVC e acoplada uma mangueira transparente e flexível destinada a medição das cargas hidráulicas. Esta medição é feita através de uma escala métrica com precisão milimétrica que deve ser fixada a um suporte na vertical, de forma que o zero da escala coincida com o plano horizontal que corta o eixo do tubo (Figuras 4.5 a 4.12).



**Figura 4.5 - Escoador de orifício circular. Fonte: Custodio & Llamas, 1983**



**Figura 4.6 - Nivelando coluna suporte vertical contendo mangueira e a escala métrica usada para medição da carga hidráulica (Arq. DSC0012)**



**Figura 4.7 - Nivelamento da coluna suporte vertical em detalhe (Arq. DSC 0013)**



**Figura 4.8 - Nivelando o tubo escoador de orifício circular (Arq. DSC0017)**



**Figura 4.9 - Tubos de PVC usados como recptador e condutor da água que sai do tubo escoador de orifício circular, evitando-se, assim, o acúmulo e infiltração de água no local do teste (Arq. DSC0028)**



**Figura 4.10 - Descarga efetuada diretamente do tubo nos tubos de PVC para evitar acúmulo e infiltração de água no local do teste (Arq.DSC030)**



**Figura 4.11 - Visão do conjunto tubo escoador de orifício circular e rede auxiliar de tubos de PVC auxiliar usada para conduzir a água que sai do tubo escoador evitando, assim, acúmulo e infiltração no local do teste(Arq. DSC0033).**



**Figura 4.12 - Visão global do conjunto poço bombeado, tubo escoador de orifício circular com coluna suporte vertical contendo mangueira e escala métrica, e tubos de PVC (Arq.DSC004)**

Na área de estudo foram executados 2 ensaios de bombeamento pela CPRM. Um deles, no poço tubular P-203(DN-104), município de Açu, usando-se o piezômetro construído pela CPRM com profundidade de 90 metros, penetração o Aquífero Açu, situado a uma distância de 53 metros do poço de bombeamento. O outro teste foi executado no poço P-472 (PS0124B) usando-se como piezômetro um poço tubular já existente P-471 (PS0124A), município de Afonso Bezerra, com profundidade de 94 metros, penetração no aquífero Açu, situado a uma distancia de 67metros do poço bombeado.

#### **4.3.2 - Resultados dos testes de bombeamento**

Dispõe-se dos resultados de 18 testes de bombeamento executados no âmbito da área, os quais são apresentados no Anexo 10.2. A distribuição dos poços testados está contida na Figura 4.14. Os dados de rebaixamento foram obtidos nos próprios poços de bombeamento. Sabe-se, entretanto, que a água

ao entrar no poço durante o bombeamento está sujeita a perda de carga, causando um rebaixamento adicional no mesmo, muitas vezes bem maior que o rebaixamento no aquífero. Assim sendo, é possível que os dados de rebaixamento x tempo utilizados resultem em valores subestimados da transmissividade do aquífero.

A Tabela 4.4 apresenta um resumo dos resultados dos testes de bombeamento realizados no aquífero Açu. Observa-se que os tempos de bombeamento variaram de 12 a 36 horas, com apenas um caso de poço observado ( $r = 50$  m). As vazões específicas dos poços no final dos bombeamentos variaram de  $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  a  $12,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , com valores extremos e anômalos de  $0,01 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e  $65,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . No primeiro caso devido a baixa penetração do poço do aquífero Açu e no segundo, devido a contribuição de águas do aquífero aluvial da Planície aluvial do Açu. Conforme pode ser verificado no Anexo 10.2, de um modo geral não houve estabilização dos níveis potenciométricos durante os bombeamentos.

Durante os bombeamentos as vazões se mantiveram em geral constantes e ao serem interrompidos os bombeamentos, foram observados a recuperação dos níveis (Anexo 10.2).

**Tabela 4.4 - Resumo dos resultados dos testes de bombeamento**

Poço	Município	Prof	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	tb (h)
185	Afonso Bezerra	88,0	49,5	50,2	0,7	3,3	4,3	12
120	Açu	78,0	36,9	37,63	0,68	8,5	12,4	10
583	Upanema	112,0	61,5	67,4	5,9	6,0	1,0	12
564	Ipanguaçu	40,0	5,1	5,8	0,66	7,9	11,9	12
323	Afonso Bezerra	74,0	34,1	34,9	0,79	4,8	6,0	12
400	Ipanguaçu	150,0	27,0	30,6	3,6	25,0	6,9	12
afb	Afonso Bezerra	85,0	22,1	27,5	5,4	37,8	6,9	12
6in	Upanema	40,0	4,0	25,0	21,0	1,72	0,01	24
15in	Ipanguaçu	87,0	30,8	35,0	4,2	25,0	5,9	24
18in	Ipanguaçu	102,0	30,1	42,9	12,8	50,0	3,9	24
19in	Ipanguaçu	98,0	16,2	27,3	11,1	36,0	3,3	12
20in	Afonso Bezerra	76,0	19,7	31,3	11,6	36,0	3,1	12
UP2	Upanema	142,0	15,1	22,4	7,3	37,8	5,2	12
1A	Ipanguaçu	73,9	4,07	4,4	0,3	21,1	65,1	2
P-203*	Açu	90,0	41,2	45,7	4,4 3	15,84	3,5	36
p-472*	Afonso Bezerra	94	28,2	32,6	4,4	18,0	4,1	36
PS0704	Açu	58,0	14,8	18,5	3,7	17,4	4,7	6
PS0592	Açu	87,0	67,1	68,7	1,6	3,5	2,2	10

Obs.: Prof.: profundidade; NE: Nível estático; ND: Nível dinâmico; s: rebaixamento; Q: vazão; Q/s: Vazão específica; tb: Tempo de bombeamento; \* : Teste de bombeamento executado pela CPRM durante execução do projeto.

Dispõe-se de resultados de testes de bombeamento no município de Upanema, com 3 testes; Açu, 4 testes; Ipanguaçu, 7 testes; Afonso Bezerra, 5 testes; e, Angicos, 1 teste.

#### 4.3.3 - Interpretação dos resultados dos testes de bombeamento

A interpretação dos resultados dos testes foi realizada utilizando o *software Aquifer Test* da *Waterloo Hydrogeologyc* (Thomas Röhrich and *Waterloo Hydrogeologyc*, 2002), onde as soluções para as equações em direção a um poço que está sendo bombeado foram obtidas na maioria dos casos através do Método Rebaixamento-tempo de Cooper & Jacob (com correção dos rebaixamentos, no caso de aquíferos livres) e pelo Método de Recuperação de Theis & Jacob. Em apenas um caso, os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero foram estimados aplicando o método de superposição de curvas, cujos dados se ajustaram melhor a curva de Theis.



## Método de Theis

Theis (1935) desenvolveu a seguinte equação para descrever os rebaixamentos em um aquífero confinado a uma determinada distância  $r$  de um poço que está sendo bombeado:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (4.1)$$

onde:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$r$  = distância do poço bombeado ao observado (m)

$s$  = rebaixamento a uma distância  $r$  do poço bombeado (m)

$Q$  = vazão de bombeamento ( $m^3/s$  ou  $m^3/d$ )

$T$  = transmissividade ( $m^2/s$  ou  $m^2/d$ )

$S$  = coeficiente de armazenamento (adimensional)

$t$  = tempo a partir do início do bombeamento (s)

Nesta equação a função exponencial integral pode ser desenvolvida como indicado a seguir:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} + \dots \right) \quad (4.2)$$

A equação de Theis de forma simplificada pode ser escrita:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (4.3)$$

As condições admitidas para aplicação dos métodos de Theis são as seguintes:

- -O aquífero é confinado;
- Poços com penetração total, onde a sua zona filtrante abrange a totalidade da espessura do aquífero;

- Aquífero homogêneo, isotrópico (onde em todas as direções o aquífero possui condutividade hidráulica iguais) e com espessura uniforme sobre a área de influência do bombeamento;
- Aquíferos infinitamente extensos, ou seja, não sendo limitados por barreiras hidrogeológicas impermeáveis (falha, maciço impermeável, etc.) ou limites de recarga (rios, lagos ou o mar);
- Superfície potenciométrica horizontal antes do bombeamento;
- Poço bombeado a vazão constante;
- A água removida do armazenamento é descarregada instantaneamente com a diminuição de carga;
- Diâmetro do poço pequeno de modo que o armazenamento seja negligenciável;

### Método de Cooper & Jacob

O método de Cooper & Jacob é baseado na equação de Theis (equação de não-equilíbrio). As condições para aplicação desse método, entretanto, são bem mais restritas que o método de Theis..

Observe na equação de Theis (4.2) que o valor de “u” decresce quando o tempo de bombeamento “t” aumenta (da equação  $u = r^2S/4Tt$ ). Nestas condições, para grandes valores de “t” e subsequentemente pequenos valores de “r”, o valor de u torna-se muito pequeno, e, portanto, desprezível para fins práticos.

Com base nisso, Jacob mostrou que a equação Theis pode ser simplificada para:

$$s = \frac{Q}{4\pi T}(-\ln u - 0.57772) \quad (4.4)$$

Substituindo u pelo seu valor ( $r^2S/4Tt$ ) e fazendo a transformação de logaritmo neperiano para logaritmo de base decimal e operando, obtêm-se:

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S} \quad (4.5)$$

Para um mesmo ponto de observação, situado a uma distância  $r$ , tomando diferentes tempos  $t_1$  e  $t_2$ , obtêm-se os rebaixamentos  $s_1$  e  $s_2$ , respectivamente. Assim:

$$s_1 = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt_1}{r^2S} \quad \text{e}$$

$$s_2 = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt_2}{r^2S}$$

Subtraindo-se  $s_2$  de  $s_1$ , obtêm-se:

$$s_1 - s_2 = \Delta s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (4.6)$$

Esta é a equação conhecida como “equação do rebaixamento”.

No ponto de rebaixamento nulo ( $s = 0$ ), tem-se que:

$$\frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S} = 0$$

e, desde que  $T$ ,  $Q$ ,  $r$  e  $S$  são constantes, a condição necessária e suficiente é que:

$$\log \frac{2.25Tt_0}{r^2S} = 0$$

Ou

$$\frac{2.25Tt_0}{r^2S} = 1$$

e, portanto, o coeficiente de armazenamento ( $S$ ) é:

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

Além das condições limite apresentadas para o Método de Theis, o Método de Jacob-Theis estabelece que o valor de  $u$  deve ser pequeno ( $u < 0.01$ ), isto é, “ $r$ ” é pequeno e “ $t$ ” é grande.

### **Método de Recuperação de Theis & Jacob**

Os resultados de testes de recuperação de poços bombeados são em geral considerados mais adequados na estimativa da transmissividade do aquífero do que os dados de rebaixamento devido as condições de fluxo mais favoráveis. Neste caso os dados de rebaixamento residual ou recuperação são lançados com uma disposição dos rebaixamentos sobre o eixo do  $y$  em escala numérica, e a taxa  $t/t'$  (tempo inicial de bombeamento pelo tempo final) no eixo  $x$ , em escala logarítmica e a transmissividade do aquífero estimada.

De acordo com Theis o rebaixamento residual após o bombeamento é:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} W(u) - W(u') \quad (4.7)$$

sendo que:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{e} \quad u' = \frac{r^2 S'}{4Tt'}$$

Onde:

$s'$  = rebaixamento residual (m);

$r$  = distância do poço bombeado ao observado (m);

$T$  = transmissividade do aquífero ( $m^2/s$ );

$S$  a  $S'$  são os valores de armazenamento durante o bombeamento e recuperação respectivamente;

$t$  e  $t'$  representam o espaço de tempo entre o início e o final do bombeamento respectivamente.

Usando a aproximação para a função poço  $w(u)$ , mostrado no método de Cooper & Jacob, essa equação torna-se:

$$s' = \left( \frac{Q}{4\pi T} \right) \left( \ln \frac{4Tt}{r^2 S} - \ln \frac{4Tt'}{r^2 S'} \right)$$

Quando S e S' são constantes e iguais, e o tempo é constante, esta equação pode ser reduzida para:

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left( \frac{t}{t'} \right) \quad (4.8)$$

A Figura 4.13 apresenta o comportamento da curva rebaixamento x tempo durante o bombeamento de um poço e sua respectiva recuperação.

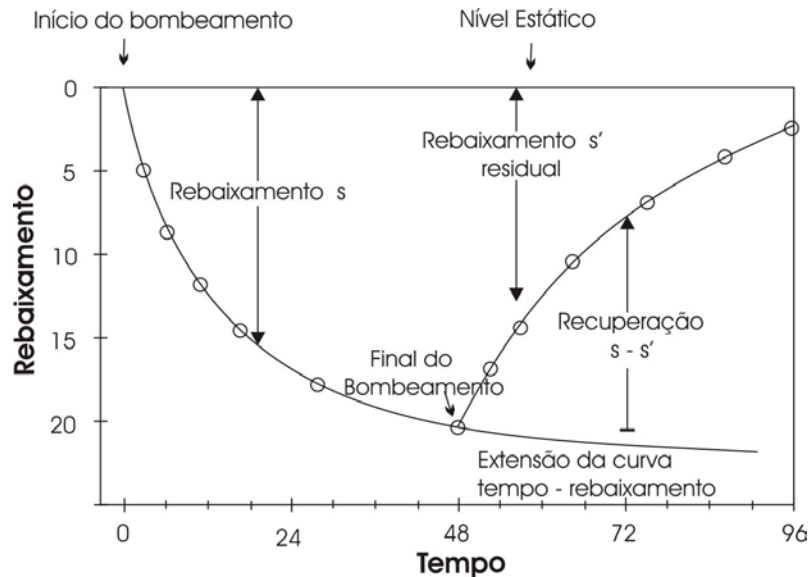


Figura 4.13 Curva rebaixamento x tempo durante o bombeamento e recuperação.

### Correção de Jacob para aquífero livre

As equações apresentadas para o aquífero confinado podem ser aplicadas no caso de aquífero livre mediante a correção de rebaixamento proposta por Jacob:

$$s' = s - \left( \frac{s^2}{2h_0} \right) \quad (4.9)$$

Onde,

$s'$  = rebaixamento corrigido (m);

$s$  = rebaixamento medido (m);

$h_0$  = espessura saturada efetiva do aquífero (m).

A Tabela 4.5 apresenta um resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos com base na interpretação dos resultados dos respectivos ensaios realizados.

Os ensaios realizados permitiram avaliar principalmente a transmissividade (T) e a condutividade hidráulica (K) do aquífero Açú, já que em geral foram utilizados dados de rebaixamento obtidos dos próprios poços de bombeamento. Apenas um teste foi realizado com dispositivo de poço de observação, e, neste foi feita uma estimativa do coeficiente de armazenamento (S) ou porosidade efetiva ( $\mu$ ).

Para efeito de interpretação e avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos foram selecionados os melhores testes de bombeamento, assim considerados: bombeamento com vazão constante; maior número de informações sobre rebaixamento e tempo; disponibilidade de perfis litológicos e construtivos dos poços.

As curvas interpretativas dos testes de bombeamento são apresentadas no Anexo 10.3.

A Figura 4.14 apresenta a distribuição espacial dos poços testados com os respectivos valores das transmissividades obtidas com base na interpretação dos testes. Como pode ser observado, o número de informações obtidas é muito pequeno com grandes espaços vazios no mapa, principalmente na faixa sul da área na direção das rochas do embasamento cristalino.

**Tabela 4.5 - Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos com base na interpretação dos testes de bombeamento de poços**

Poço	Município	UTM-E	UTM-N	T (m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /d)	K (m/s)	K (m/d)	S
185	Afonso							
120	Bezerra	750706	9394238	3,04*10-3	263	7,90*10-5	6,82	
583	Açu	729420	9385460	5,10*10-3	441	1,24*10-3	107,13	
564	Upanema	702675	9379913	1,04*10-3	90	2,97*10-5	2,56	
323	Ipanguaçu	737600	9391761	4,48*10-3	387	1,28*10-4	11,1	
400	Afonso							
afb	Bezerra	757059	9392330	5,0*10-3	432	1,26*10-4	10,8	
6in	Ipanguaçu	737978	9396965	5,03*10-3	435	4,19*10-5	3,54	
15in	Afonso							
18in	Bezerra	760020	9395220	3,6*10-3	311	1,09*10-4	9,43	
19in	Upanema	691060	9374388	1,43*10-5	1,23	1,43*10-6	0,12	
20in	Ipanguaçu	747745	9393310	2,68*10-3	231,5	7,94*10-5	6,86	
UP2	Ipanguaçu	746515	9393771	9,64*10-4	83,2	2,68*10-5	2,31	
1A	Ipanguaçu	750463	9392747	9,23*10-4	79,7	2,56*10-5	2,21	
CPRM1	Afonso							
CPRM2	Bezerra	759543	9395743	1,3*10-3	97,6	1,79*10-5	1,54	
PS-0404	Upanema	687847	9382512	1,97*10-3	171	2,33*10-5	2,01	
DN-286	Ipanguaçu	736991	9390728	2,39*10-2	2065	4,59*10-4	39,65	8,1*10-2
	Açu	715626	9385088	1,72*10-3	149	3,83*10-5	149	
	Bezerra	754577	9393690	2,40*10-3	211	4,79*10-5	4,13	
	Açu	721600	9388800	4,19*10-3	362	1,27*10-4	10,96	
	Angicos	770045	9385323	3,4*10-4	30			

A transmissividade do aquífero variou de um mínimo de 1,43x10-5 m/s (1,23 m<sup>2</sup>/dia) a um máximo de 2,39x10-2 m<sup>2</sup>/s (2065 m<sup>2</sup>/dia). A condutividade hidráulica do aquífero variou de um mínimo de 1,43x10-6 m/s (0,12 m/d) a 1,24x10-3 m/s (107,13 m/dia).

O maior número de informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Açu está situada na faixa Norte da área, principalmente do Setor Oriental da área. Neste domínio, os valores de transmissividade obtidos do aquífero variaram de 79,7 m<sup>2</sup>/dia a 432,0 m<sup>2</sup>/dia. Na faixa Norte do setor Ocidental da área, apesar de se dispor de muito pouca informação, percebe-se uma tendência geral de que as transmissividades são elevadas, cujos valores variam de 90,0 m<sup>2</sup>/dia a 441,0 m<sup>2</sup>/dia. Na parte Central da área os valores de transmissividade se apresentam relativamente muito elevados, com valores compreendidos entre 387,0 m<sup>2</sup>/dia e 2065 m<sup>2</sup>/dia, provavelmente por influência de contribuições do aquífero aluvial durante o bombeamento dos poços. Na

faixa Sul da área de estudo, entre Upanema e Afonso Bezerra (faixa contígua as rochas do embasamento cristalino) existem informações de apenas dois poços, indicando para o setor Oriental da área uma transmissividade de 30,0 m<sup>2</sup>/dia e no setor Ocidental de 1,23 m<sup>2</sup>/dia. Essas informações apesar de bastante reduzidas, corroboram com os dados de espessura do aquífero Açú, de que na faixa Sul da área as espessuras são inferiores quando comparadas com as espessuras da faixa Norte (contígua aos calcários). Este comportamento é similar ao comportamento observado com relação a capacidade específica dos poços.

Tomando por base os parâmetros obtidos, para efeito de avaliação hidrogeológica, será tomada para o aquífero Açú na faixa Norte da área uma transmissividade média de 224 m<sup>2</sup>/dia (média entre os valores obtidos) e na faixa sul como referência um valor médio de 15,0 m<sup>2</sup>/dia (média entre os valores obtidos). No setor Central da área de influência das coberturas aluviais, com recarga permanente de água superficial do rio Açú, o qual é alimentado pela Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, a transmissividade média obtida foi de 962,0 m<sup>2</sup>/dia.

As informações sobre transmissividade do aquífero Açú foram obtidas com base em resultados de testes de bombeamento de poços parcialmente penetrantes. Assim sendo, provavelmente a os dados apresentados são inferiores aos que poderão ser obtidos em condições de penetração total no aquífero Barreiras.



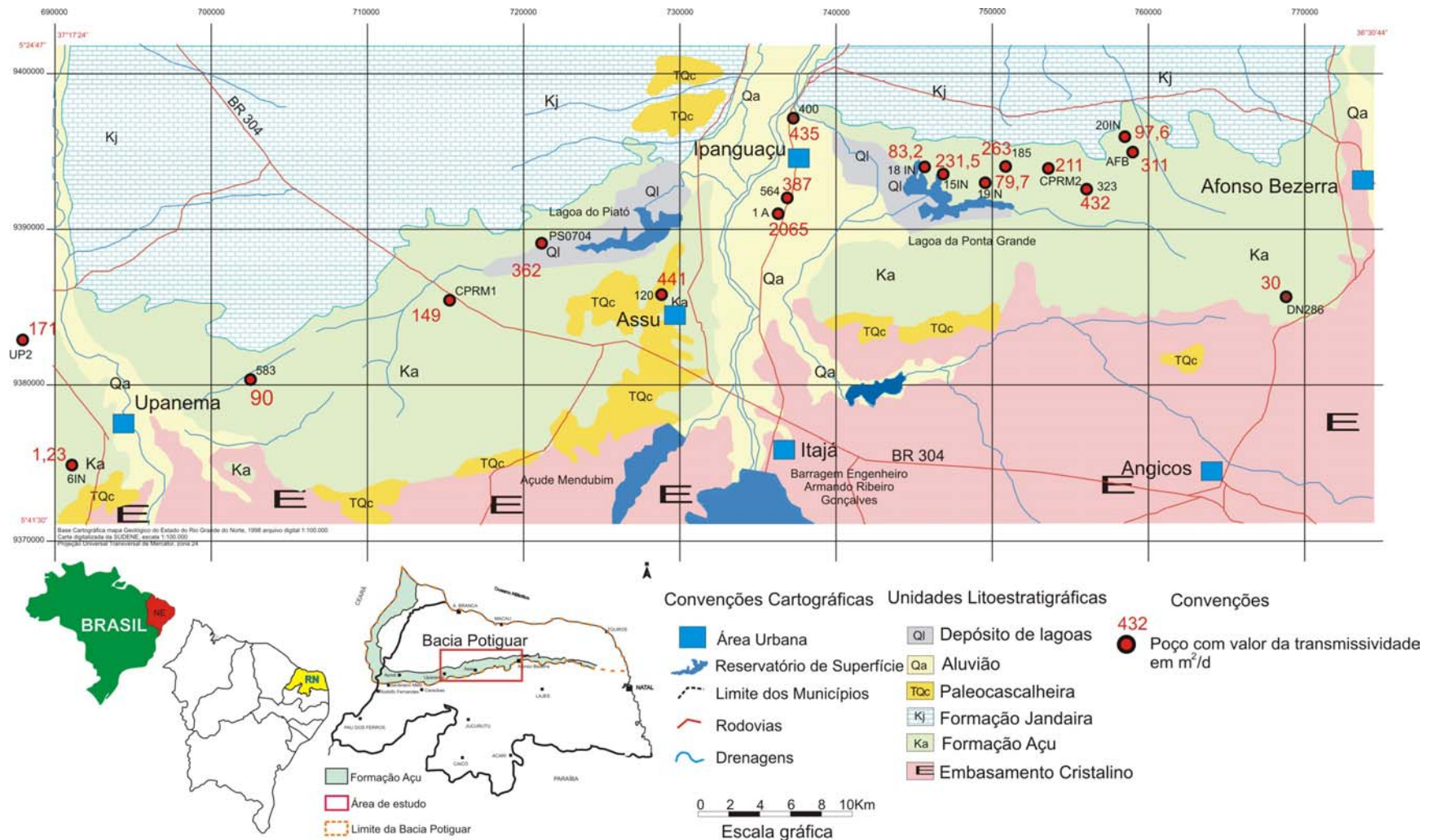


Figura 4.14 - Distribuição dos valores de transmissividade do aquífero Açú

#### 4.3.4 - Relação da transmissividade com a capacidade específica

Tentativas têm sido feitas para avaliar a transmissividade de um aquífero com base na capacidade específica. A equação abaixo, atribuída a Razack & Huntley (1991), foi desenvolvida através de experimentos em Marrocos (Fetter, 2001), conforme a seguir:

$$T = 15.3 \left( \frac{Q}{h_0 - h} \right)^{0.67} \quad (4.10)$$

Onde: T : transmissividade em m<sup>2</sup>/d

Q : descarga de bombeamento em m<sup>3</sup>/d

h<sub>0</sub> - h : rebaixamento no poço (m)

Para efeito de comparação com os valores dos parâmetros obtidos nos testes de aquífero e uma possível ampliação das informações sobre a transmissividade do aquífero Açú, procedeu-se à aplicação desta equação, cujos resultados mostraram-se insatisfatórios.

De fato, os valores de transmissividade obtidos com a aplicação deste método foram bem mais elevados do que aqueles obtidos através dos testes de bombeamento e também não guardaram nenhuma coerência que justificasse a adoção dos mesmos no âmbito deste trabalho. Assim sendo, nesta fase deste estudo serão considerados na avaliação dos recursos hídricos da área apenas os resultados obtidos a partir dos testes de bombeamento com registros dos tempos e respectivos rebaixamentos nas condições apresentadas. Pretende-se, entretanto, aprimorar pesquisas neste sentido em fase posterior a estes estudos visando a obtenção de um maior número de informações sobre a transmissividade do aquífero Açú.

## **4.4 - Rede de monitoramento**

### **4.4.1 - Definição e operação da rede de poços para monitoramento das águas subterrâneas**

A análise dos resultados do cadastro levou à definição de uma rede de pontos de água de natureza quantitativa e qualitativa. No primeiro caso, visando o monitoramento do nível d'água de poços tendo em vista a obtenção de informações sobre as variações das cargas potenciométricas do aquífero Açu ao longo do tempo e permitir o controle da sua exploração. Associado as medições dos níveis de água dos poços, o monitoramento prevê medição em campo de parâmetros hidroquímicos fundamentais e coleta de amostras de água para análise físico-química completa, tendo em vista o conhecimento das modificações hidroquímicas ao longo do tempo, em especial da salinidade das águas, e o reconhecimento da qualidade das águas. O monitoramento qualitativo contempla também corpos de águas superficiais. A relação dos poços da rede de monitoramento é apresentada na Tabela 4.6 e a distribuição espacial dos pontos da rede na Figura 4.15.

A rede de monitoramento ficou composta de 81 poços. O número de poços cadastrados no âmbito de cada município é apresentado na Tabela 4.7, segundo a qual o município de Afonso Bezerra é representado por 12 poços, Angicos com 04, Ipanguaçu com 16 poços, Assu com 31 poços e Upanema com 18 poços.

**Tabela 4.6 - Relação dos pontos de água que compõem a rede de monitoramento**

<b>Amostra</b>	<b>Local</b>	<b>Long</b>	<b>Lat</b>
DR 941	Banguê/Assu	726792	9392835
PS			
0083A	Ana Maria/ Assu	727210	9387030
DN 095	Fazenda Meladinha/Assu	717295	9383902
DN 113	Palheiro IV(Assentamento)/ Assu	712599	9387078
PS 0083	Lagoa do Piató/Assu	727210	9387030
CT 631	Sítio Sta. Maria/AB	760201	9394779
DN 137	Paulista/Assu	708801	9383701
DN 279	Santarém/AB	766143	9390330
CL 591	Capivara/ IP	739745	9395548
UP 004		701200	9381600
DN 454	Faz pau D'arco/ UP	693387	9380876
DN 166	Baixa do Dutra(Assentamento)/UP	702146	9379972
DN 160	Baixa do Juazeiro/UP	705402	9377736
DN 161		707591	9381047
CT 634	Ass. Sta. Maria/AB	758582	9392539
CL 589	Canto Claro/IP	743854	9395396
CL 895A	Umburana/IP	737801	9394124
CL 590	Língua de Vaca/IP	742339	9394957
CL 902C	Sítio Deus Nos Guie	746850	9385800
S 3468	Cerâmica Portal do Vale do Açú	732000	9378500
DN 159	Baixa do Juazeiro/UP	703220	9375640
CL 898		735520	9384660
CL 571	Sítio Ubaeira/ Angicos	758102	9387953
CL 902A	Comunidade Porto da Escola/IP	747174	9389767
DN 139	Paulista 2/ Assu	706022	9383111
UP 007A	Faz. Várzea Alegre/UP	697600	9378100
DN 286	Fazenda Flores/ Angicos	770045	9385323
DN 283	Tapuio/AB	773567	9390801
CL 568B	São Francisco/ AB	768162	9387973
DN 141A	Ass. Novo Pingo/ Assu	714655	9381083
CL 568	Santarém/AB	766964	9388427
CL 584		746515	9393790
CL 586		748108	9394263
CL 587	Serra do Gado/IP	746820	9395420
DN 141B	Bom Lugar 3/Assu	712413	9377518
DN 267A	Canto Branco/AB	773150	9394582
DN 278	Faz. São Cirilo/AB	767643	9392657
DN 293	Sede/AB	773034	9396053
PS 0124	Nova Descoberta (Raposo II) AB	754682	9393745
CL 585	Tabuleiro Alto, Ass./ IP	747753	9393381
DN 104		715626	9385088
DN 141	Bom Lugar 2/Assu	711576	9381064
DN 292	São Sebastião/ AB	773083	9399882
DR 973			
A	Faz. Café Jardim/ Assu	720276	9385853
DR 945	Areia Branca/Assu	726100	9390269
DR 969	Lagoa do Mato/Assu	717151	9386496
DT 415	Comunidade Bavieira/Assu	731396	9386584
DR 973	Monte Alegre	718077	9386173
DN 080	Comunidade Sta Clara/Assu	731629	9390626

CL 580	Tirafogo/AB	750123	9394380
DN 149	COPASFAL/Assu	724994	9382403
DT 104	Sítio Olho d'água	731396	9386584
PS 0401	Campo de Aviação	725877	9381463
DN 453	Fazenda Pau d'Árco/UP	695100	9381300
	Comunidade de Lagoa do		
DT 435	Ferreiro/Assu	731328	9384577
DR 950	Bela Vista do Piató/ Assu	722665	9389278
DN 164	Bom Lugar/ Assu	705301	9379018
AB 001	Sede Afonso Bezerra/AB	775113	9391975
CL 588	Angélica/IP	744963	9396143
DR 967	Sítio Canto do Mari-Açu	717495	9387650
UP 002		699481	9372436
DN 725A	Roçado Grande/UP	697400	9383900
DN 296	São Francisco/ AB	772391	9386592
CL 273 B	Bom Sucesso/NA	757900	9383800
CL 591 A	EMPARN	737018	9390764
DT 452		689354	9380534

**Tabela 4.7 - Números de poços da rede de monitoramento por município**

Afonso	
Bezerra	12
Angicos	4
Ipanguaçu	16
Assu	31
Upanema	18

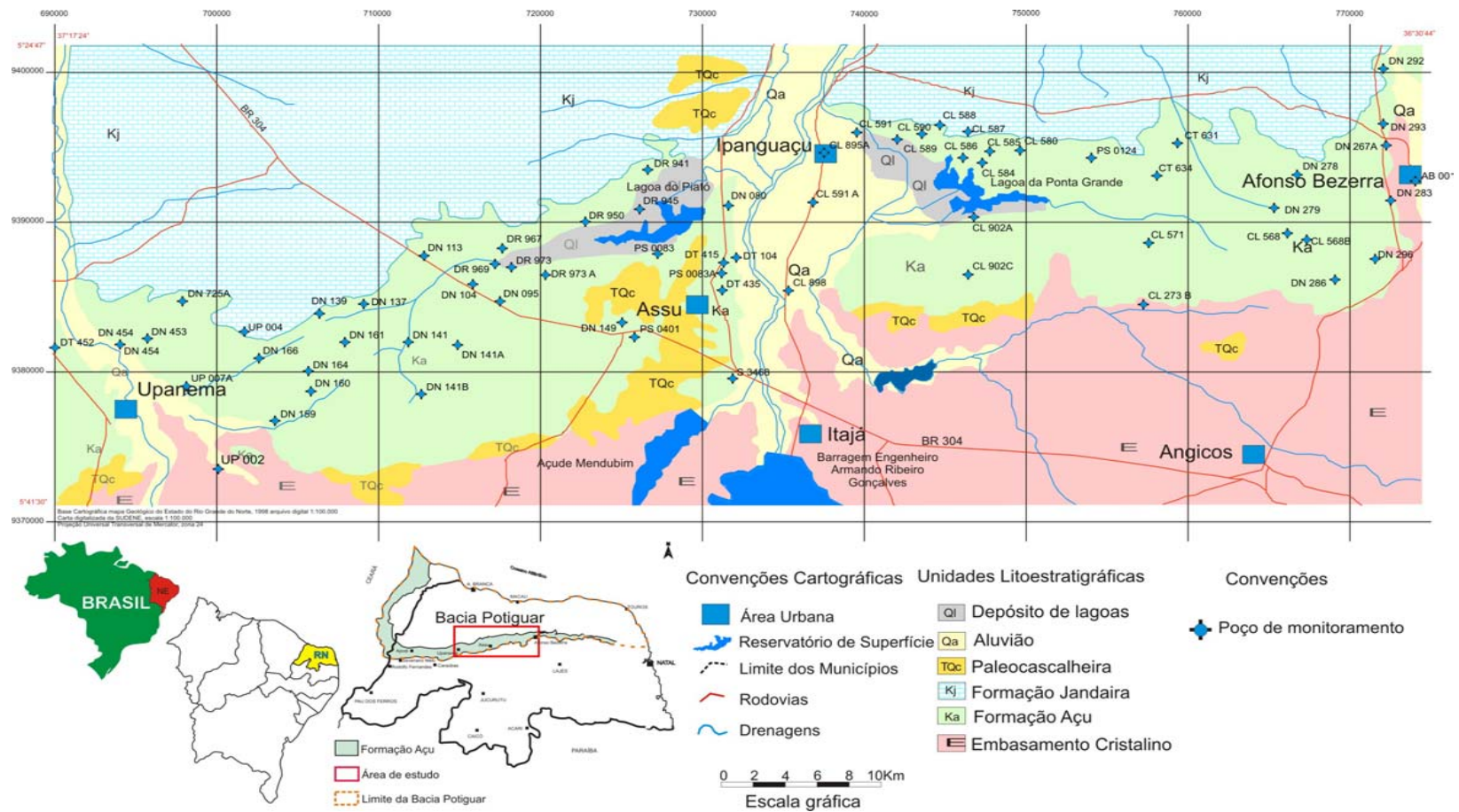


Figura 4.15 - Distribuição dos poços da rede de monitoramento

Foram utilizados os seguintes critérios na definição da rede de monitoramento:

- Distribuição geográfica: Os poços da rede de monitoramento estão distribuídos o mais regularmente possível tendo em vista uma melhor integração entre os dados e facilidades de interpretação de resultados;
- Existência de perfil litológico: A existência de perfil litológico e construtivo do poço deve constituir fator preponderante na condução do monitoramento de poços, tendo em vista um diagnóstico mais preciso sobre a origem e mecanismos de salinização e contaminação das águas subterrâneas. Na avaliação global dos critérios somente foi possível dispor dos perfis litológicos e construtivos de 13 poços.
- Profundidade do poço: Foram selecionados poços rasos e profundos tendo em vista a avaliação do comportamento das modificações hidroquímicas com a profundidade;
- Facilidades de acesso ao poço: As condições de medição dos níveis d'água no local foram avaliadas e levadas em consideração na seleção dos poços da rede de monitoramento. Também a permissão e interesse despertado pelo proprietário para que sejam efetuados os trabalhos foi considerado;

O monitoramento dos níveis das águas dos poços e da qualidade das águas subterrâneas e superficiais está programado para ser efetuado trimestralmente. As coletas de amostras de água para análise físico-química, entretanto, terão uma frequência semestral.

As medições hidroquímicas e de parâmetros indicadores de contaminação previstos para serem efetuadas trimestralmente em campo compreendem: pH; Eh; condutividade elétrica; sólidos totais dissolvidos; cloreto; temperatura e nitrato.

As análises completas a serem efetuadas em laboratório compreendem: aos parâmetros fundamentais pH, Eh, condutividade elétrica e temperatura; os cátions principais sódio, potássio, cálcio e magnésio e os ânions principais cloreto, sulfato, bicarbonato e carbonato, além dos compostos da série

nitrogenada (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato). Também será avaliado a alcalinidade, dureza e Ferro.

#### 4.4.2 - Características dos poços da rede de monitoramento

Tomando por base os poços da rede de monitoramento dos quais se dispõe do perfil construtivo, verifica-se que a profundidades dos mesmos varia de 20,0 a 118,0 m e níveis estáticos de 5,0 a 79,3 m. O topo dos filtros, nesses poços, situa-se a profundidades que variam de 15,0 a 90,0. O comprimento total dos filtros instalados nos poços varia de 10,0 m a 32,0 m. Os poços em geral são perfurados em diâmetro de 10 polegadas com revestimento e filtros de tubos PVC Geomecânico de 6 polegadas de diâmetro. Todos os poços apresentam proteção sanitária, apesar de em alguns deles esta proteção é insuficiente, ou seja, o espaço anular entre o revestimento e as paredes do poço é cimentada numa extensão de apenas 5,0 m, como é o caso dos poços PS-0083 e OS-0158. Ver Tabela 4.8 e figuras 4.16A, 4.16B e 4.16C.

**Tabela 4.8 - Resumo dos parâmetros construtivos dos poços da rede de monitoramento.**

Poço	Profundidade	NE	Topo filtros	Comp. dos filtros
PS-0124	100	26,1	35	28
PS-0066	20	5	15	10
PS-0421	75	24,05	55	16
PS-0083	68	21,53	40	22
PS-0208	75	13,6	19	32
PS-0693	118	79,3	90	15
PS-0592	87	67,2	75	10
PS-0358	73	39,4	50	10
PS-0704	58	14,8	30	25
PS-0158	60	20	23	12
PS-0163	110	6,5	53	32
PS-0153	80	20,5	43	14
PS-0684	88	40,8	54	30
PS-0766	56	9	28	12



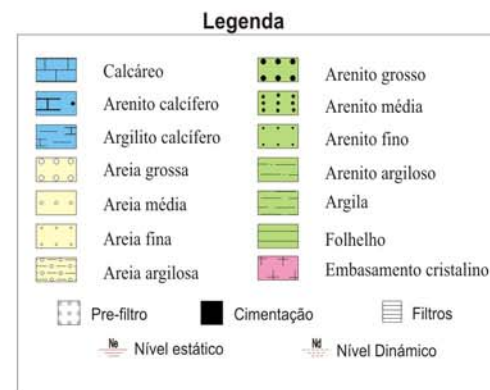
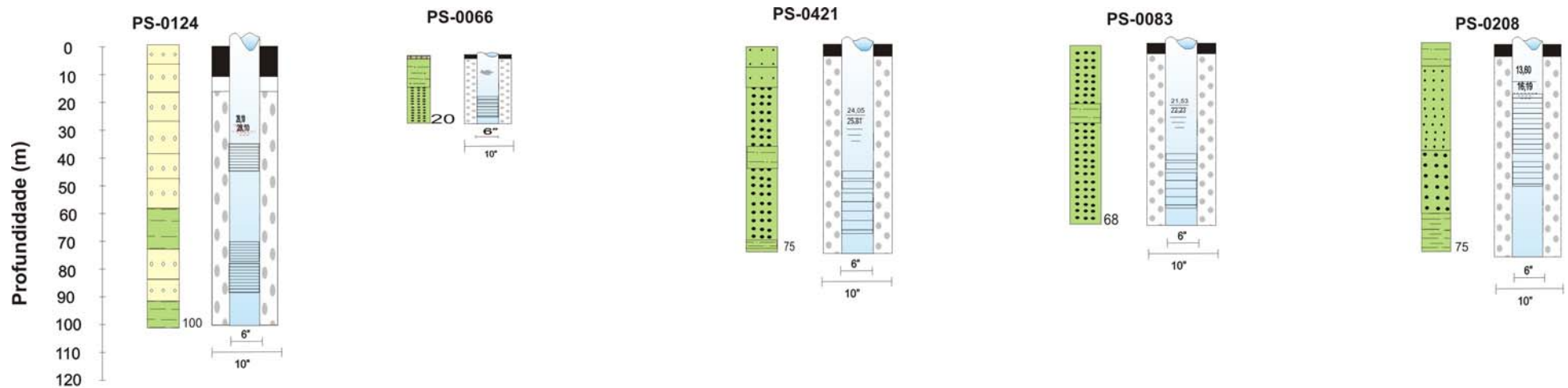


Figura 4.16A - Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento.

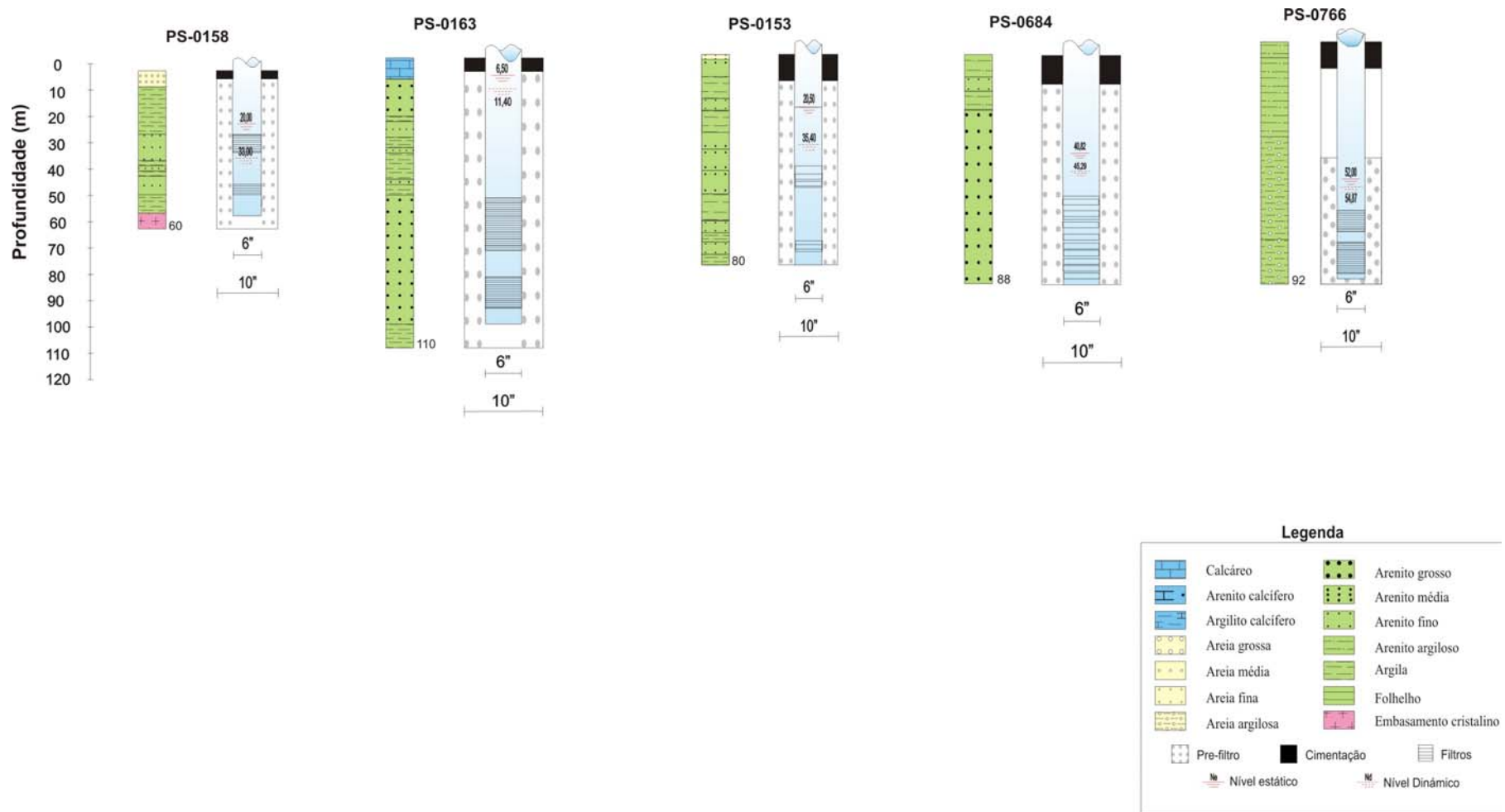


Figura 4.16B - Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento.

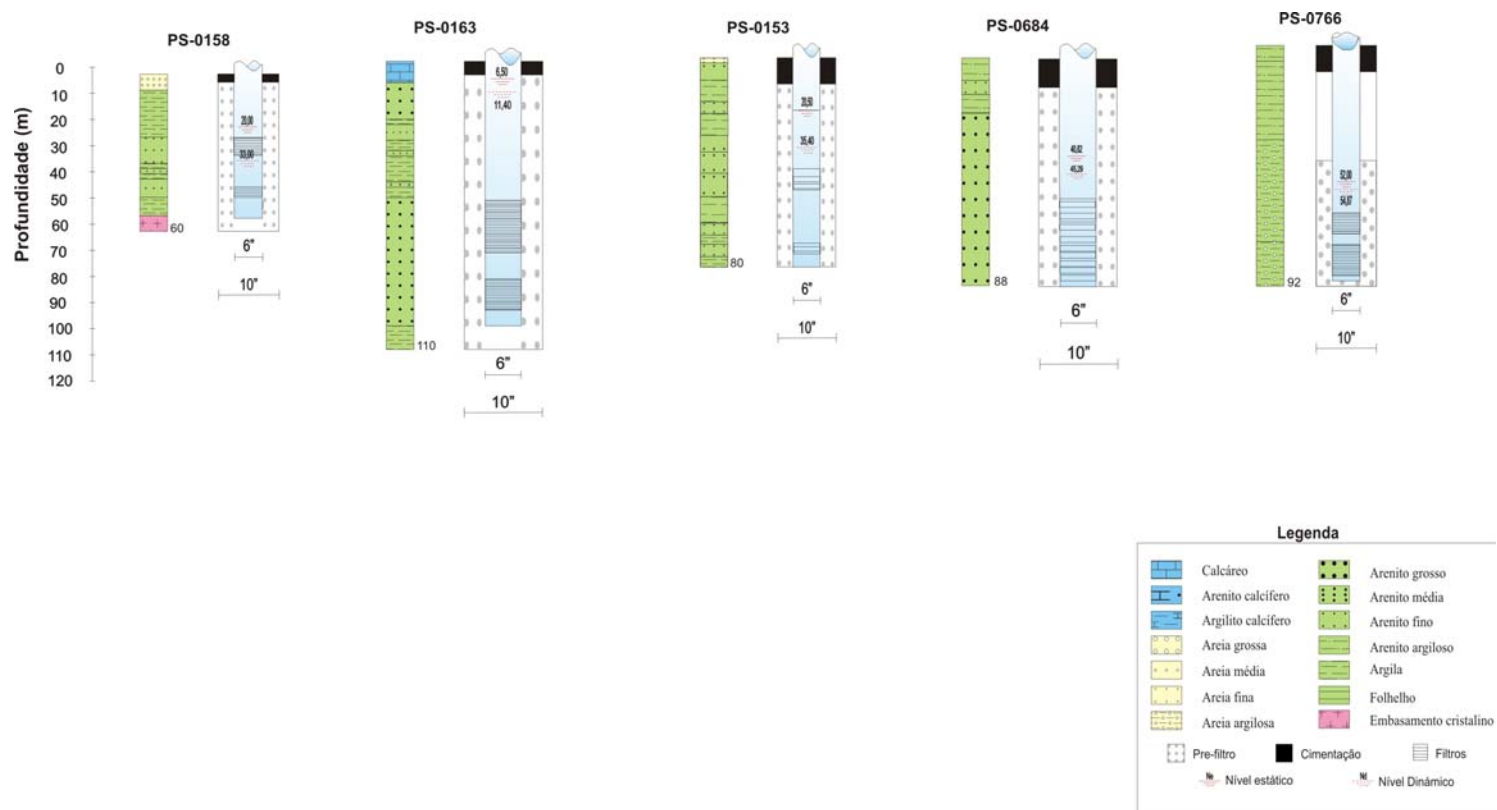


Figura 4.16C - Perfis litológicos e construtivos dos poços da rede de monitoramento

#### 4.5 - Nivelamento dos Poços

Todos os poços da rede de monitoramentos foram nivelados, ou seja, foram determinadas as cotas do terreno ao lado de cada poço. O nivelamento foi executado utilizando GPS Geodésico. A Tabela 4.9 a seguir apresenta os resultados do nivelamento de poços.

**Tabela 4.9 - Resultados do nivelamento dos poços**

<b>Amostra</b>	<b>Local</b>	<b>Altitude</b>
DN 113	Palheiro IV(Assentamento)/ Assu	37,143
PS 0083	Lagoa do Piató/Assu	27,293
CT 631	Sítio Sta. Maria/AB	46,86
DN 137	Paulista/Assu	39,341
DN 279	Santarém/AB	65,63
UP 004		109,384
DN 454	Faz pau D'arco/ UP	43,602
DN 166	Baixa do Dutra(Assentamento)/UP	62,659
DN 160	Baixa do Juazeiro/UP	60,57
DN 161		73,06
CT 634	Ass. Sta. Maria/AB	68,089
CL 589	Canto Claro/IP	43,925
CL 895A	Umburana/IP	15,624
CL 590	Língua de Vaca/IP	18,256
DN 159	Baixa do Juazeiro/UP	36,605
CL 571	Sítio Ubadeira/ Angicos	82,611
CL 902A	Comunidade Porto da Escola/IP	18,734
DN 139	Paulista 2/ Assu	78
DN 283	Tapuio/AB	73,23
DN 141A	Ass. Novo Pingo/ Assu	96,204
CL 568	Santarém/AB	106,716
CL 584		42,998
CL 586		49,014
CL 587	Serra do Gado/IP	65,487
DN 141B	Bom Lugar 3/Assu	118,434
DN 267A	Canto Branco/AB	51,955
DN 278	Faz. São Cirilo/AB	85,282
DN 293	Sede/AB	53,065
PS 124	Nova Descoberta (Raposo II) AB	51,193
CL 585	Tabuleiro Alto, Ass./ IP	42,08
DN 104		51,768
DN 141	Bom Lugar 2/Assu	57,287
DN 292	São Sebastião/ AB	51,689
DR 973 A	Faz. Café Jardim/ Assu	33,63
DR 945	Areia Branca/Assu	32,511
DR 969	Lagoa do Mato/Assu	30,071
DT 415	Comunidade Bavieira/Assu	33,304
DR 973	Monte Alegre	37,34
DN 080	Comunidade Sta Clara/Assu	33,526
CL 580	Tirafogo/AB	55,64
DN 149	Copasfal/Assu	104,365

PS 0401	Campo de Aviação	110,03
DN 453	Fazenda Pau d'Árco/UP	44,583
	Comunidade de Lagoa do	
DT 435	Ferreiro/Assu	21,007
DR 950	Bela Vista do Piató/ Assu	25,256
UP 002		57,974
DN 296	São Francisco/ AB	113,426

## **4.6 - Instalação de equipamentos de medição hidrológica**

### **4.6.1 - Instalação de pluviômetros**

Na área de estudo foram implantados no período de 05 a 10 de junho de 2006, os pluviômetros tipos Paulistinha do DNAEE, modelo tradicional e o Automático, em duas localidades: Sitio Olho d'Água do Mato próximo ao poço DN-104, município de Açú, e, sitio Nova Descoberta-Raposo II, município de Nova Descoberta, próximo ao poço PS-0124

A chuva se mede pela sua altura que alcançaria sobre uma superfície plana horizontal, antes de sofrer perdas (evaporação, infiltração etc.). As medidas de chuva na área de estudo estão sendo efetuadas usando-se o pluviômetro denominado Paulistinha do DNAEE em substituição do Pluviômetro Ville de Paris; e, um Registrador Digital de Chuvas-Datalog cujas especificações são descritas a seguir.

Pluviômetro Ville de Paris - Destina-se a captação de chuva para posterior medição através de uma proveta graduada. É de uso tradicional e generalizado no Brasil. Possui área de captação de 400 cm<sup>2</sup>, com reservatório para 5litros. Este modelo passou a ser substituído na região semi-árida do nordeste por um modelo similar denominado Paulistinha do DNAEE, de aplicação mais apropriada para esta, por evitar os efeitos da evaporação.

Registrador digital de chuvas-Datalog-Automático: Eletromecânico, com área de captação de 400cm<sup>2</sup>. Sistema de tipping bucket, no qual cada caçambada corresponde a 0,2mm de chuva. Confeccionado em aço inoxidável contendo bolha niveladora. Possui um sistema moderno de sifon que permite registrar também com precisão as chuvas intensas. Merecem ser destacados os seguintes procedimentos para a operacionalidade deste registrador digital:

Estes pluviômetros, automáticos, são alimentados por pilhas alcalinas de 1,5v, que segundo o fabricante possui uma autonomia acima de seis meses.

Os dados são armazenados na memória do aparelho, configurado para um intervalo de armazenagem de uma hora.

Por ocasião das visitas periódicas, o técnico, com um notebook, conecta-o ao aparelho através de um cabo serial, baixando os dados armazenados desde a última visita de manutenção realizada.

Para efetuar esta tarefa existe um programa, fornecido junto com o aparelho, que permite, além, de baixar os dados, a leitura do nível da bateria, escolher os intervalos de armazenagem (existe várias opções disponíveis), fazer uma leitura instantânea no momento da visita, configurar o nome da estação, consultar ou modificar a data e a hora.

Vale salientar que junto a estes pluviômetros automáticos foram instalados convencionais, com observadores que efetuam o trabalho de leitura de chuva nos convencionais, e zeladoria nos automáticos, isto vai permitir, no futuro, uma comparação entre os dados a serem obtidos com os dois aparelhos.

#### **4.6.2 - Instalação Infiltrômetros**

A definição da capacidade de infiltração da água da chuva no terreno não é tão simples. Uma limitação a este tipo de atividade, é quando se pretende estimar um valor médio que possa ser aplicado ao conjunto de um bacia, partindo de certo número de medidas. Isto porque os terrenos são em geral heterogêneos quanto a permeabilidade, e, também, porque nos solos argilosos a capacidade de infiltração varia com a taxa de saturação que por sua vez varia com o tempo. No caso dos terrenos do aquífero Açú, a litologia é predominantemente arenosa, cor cinza esbranquiçada, com granulometria fina a média, podendo ocorrer também terrenos arenosos argilosos de cor amarelada ou avermelhada.

A SUDENE (1967), na Região Nordeste do Brasil, achou mais recomendável que se fizesse a medição da percentagem do volume das precipitações, que efetivamente se infiltra no solo e alimenta as reservas subterrâneas. Houve a preocupação de instalar infiltrômetros a uma

profundidade suficiente, função do nível piezométrico, e que a estrutura do solo não fosse modificada. Dois tipos de infiltrômetros foram recomendados: “CAP BOM” e o de Gaveta. Na área de estudo foram implantados dois infiltrômetros tipo Gaveta. A descrição detalhada deste infiltrômetro é mostrada a seguir.

O infiltrômetro tipo Gaveta compõe-se de duas partes :

Parte superior: recebe as águas de infiltração e tem a forma de uma gaveta fechada lateralmente em 3 lados. Na face paralela ao lado aberto, coloca-se, no ponto mais baixo, um tubo perfurado revestido de tela fina, metálica ou de nylon que funciona como filtro para as águas que se escoam para o reservatório.

Parte inferior: constituída por um reservatório cilíndrico, cuja superfície de base é igual a 1/5 da superfície de recepção da gaveta a fim de ampliar a altura de chuva infiltrada (1mm de chuva infiltrada dará uma altura de 5mm no reservatório). Além disto existe um tubo em forma de L que é soldado na base do reservatório. A parte deste tubo que fica no interior do reservatório é perfurada. Por intermédio de ramo vertical do tubo em L, que ultrapassa de 50 cm a superfície do solo, faz-se a medida

Os infiltrômetros, na área de estudo, foram implantados nos sítios Olho d'Água do Mato e Sitio Nova Descoberta no período de 05 a 10 de junho de 2006 já no final do período chuvoso.

#### **4.7 - Comportamento do fluxo das águas subterrâneas**

O comportamento do fluxo subterrâneo foi avaliado com base nos seguintes mapas potenciométricos:

- Mapa potenciométrico obtido com base em cargas hidráulicas de Dezembro 2005 e utilizando base topográfica obtida com imagens de radar;
- Mapas potenciométricos representativos de Setembro 2005; Dezembro 2005; Maio 2006 e Março 2007, os quais foram obtidos utilizando dados de cargas hidráulicas levantadas no projeto e dados de nivelamento topográfico executado com auxílio de GPS Geodésico.

De um modo geral o comportamento observado em todos eles é similar e o efeito de recarga das águas subterrâneas se percebe em muitas situações, conforme apresentado a seguir.

Todos os mapas indicam fluxo subterrâneo regional dirigido para norte com inflexões para nordeste e noroeste em direção aos grandes vales, Açu, Rio do Carmo e Mulungú. A presença de divisores de águas subterrâneas é ressaltada nos extremos leste e oeste da área, pela influência dos vales dos rios Mulungú e Rio do Carmo.

As cargas potenciométricas obtidas com base em imagens de radar provavelmente não são absolutamente precisas, porém em termos de valores relativos os resultados permitem uma boa interpretação (Figura 4.8). A isto, se atribui a utilização de uma rede pontos de observação com uma densidade de pontos muito maior, enquanto nos demais casos a interpretação fica restrita a utilização de cargas hidráulicas de 52 pontos (poços), correspondentes a poços da rede de monitoramento.

Na elaboração dos mapas potenciométricos (figuras 4.17; 4.18, 4.19 e 4.20) os pontos cujas cargas hidráulicas poderiam estar visivelmente afetados por bombeamentos não foram considerados.

Tomando por base os mapas potenciométricos, verifica-se que o fluxo subterrâneo nos pontos topográficamente mais elevados seguem o seu trajeto com gradientes elevados, da ordem de 1%, e, no domínio das planícies aluviais os gradientes são baixos, variando de 0,1% a 0,08%. No quadro geral, há um domínio de gradientes da ordem de 0,35%. O efeito da recarga das águas subterrâneas se reflete na configuração das equipotencias, porém de forma não muito expressiva, deixando algumas situações dúvidas quanto a este comportamento.

Tomando por base a configuração tomada pelas curvas potenciométricas no período seco (Figuras 4.17 e Figura 4.18) e considerando ainda a curva potenciométrica de 20 m como referência, foi feita uma estimativa da descarga do fluxo subterrâneo natural.

A vazão total do fluxo subterrâneo “Q” gerada no domínio da área foi avaliada a partir da lei de Darcy mediante a aplicação da seguinte equação:



$$Q = TIL \quad (4.11)$$

Onde:

T = Transmissividade (m<sup>2</sup>/s);

I = Gradiente hidráulico (adm);

L = Comprimento do fluxo ou largura do escoamento (km)

A transmissividade (T) média do aquífero, aplicada a aos setores oriental e Ocidental da área, foi tomada como correspondente ao valor médio nos correspondentes setores de  $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ; o gradiente hidráulico (I) médio de maior ocorrência de 0,30% e frente de escoamento (L) com aproximadamente 90 km. A descarga do fluxo subterrâneo (Q) obtida foi de  $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

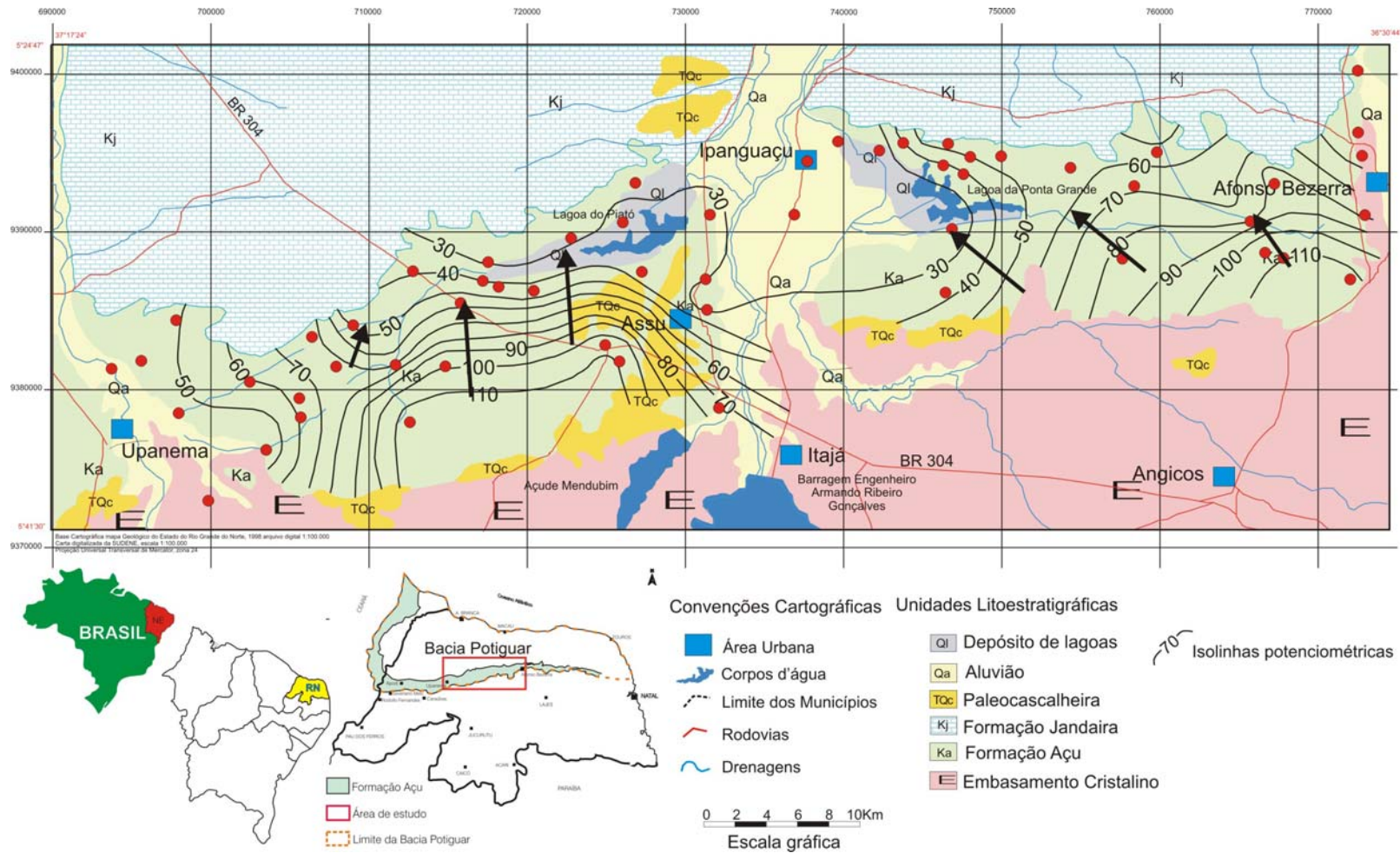


Figura 4.17 - Curvas isopotenciométricas do aquífero Açú obtidas com base em imagens de Radar (Dezembro 2005)



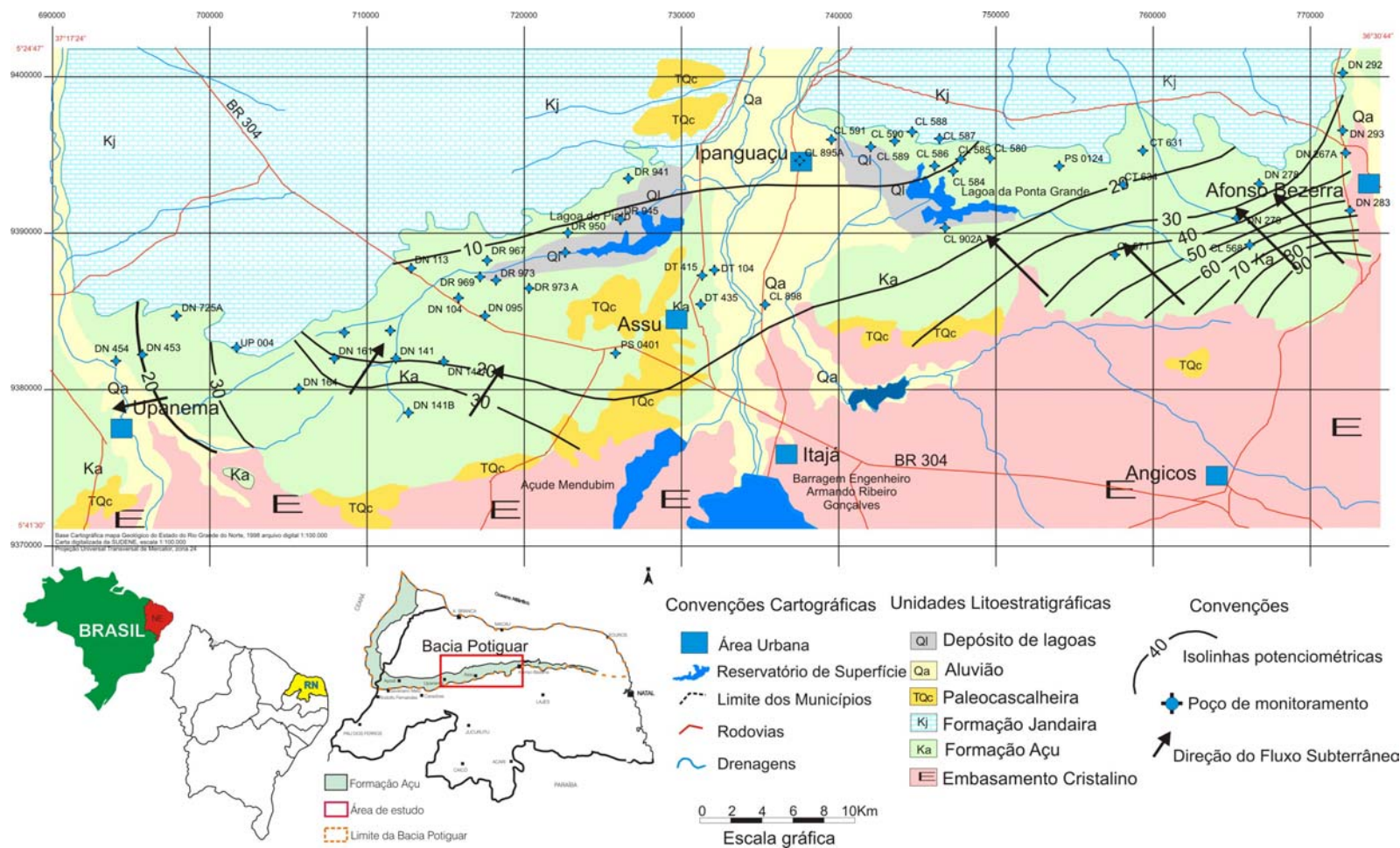


Figura 4.19 - Curvas isopotenciométricas do aquífero Açú (Dez 2005)

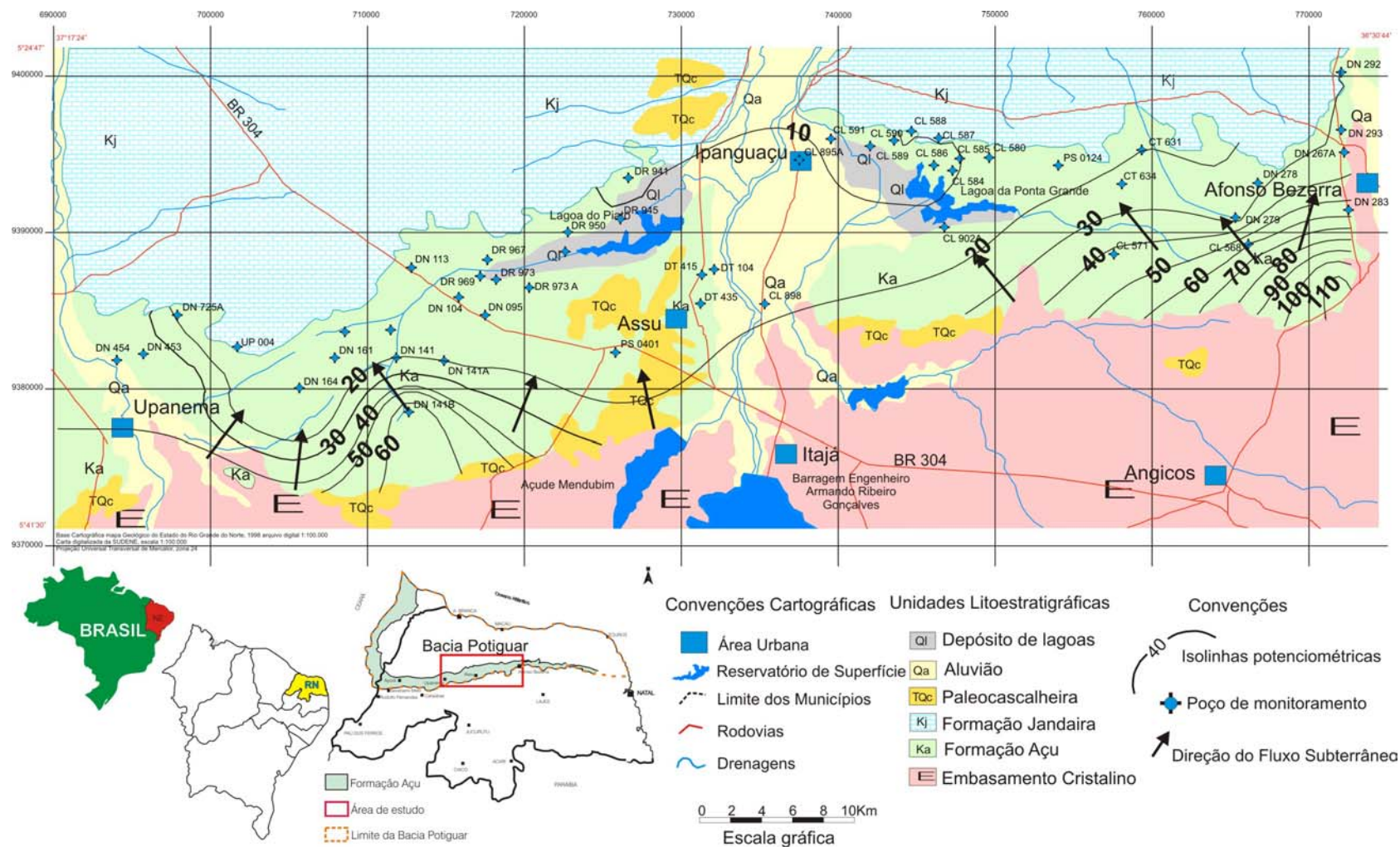


Figura 4.20 - Curvas isopotenciométricas do aquífero Açú (Maio 2006)

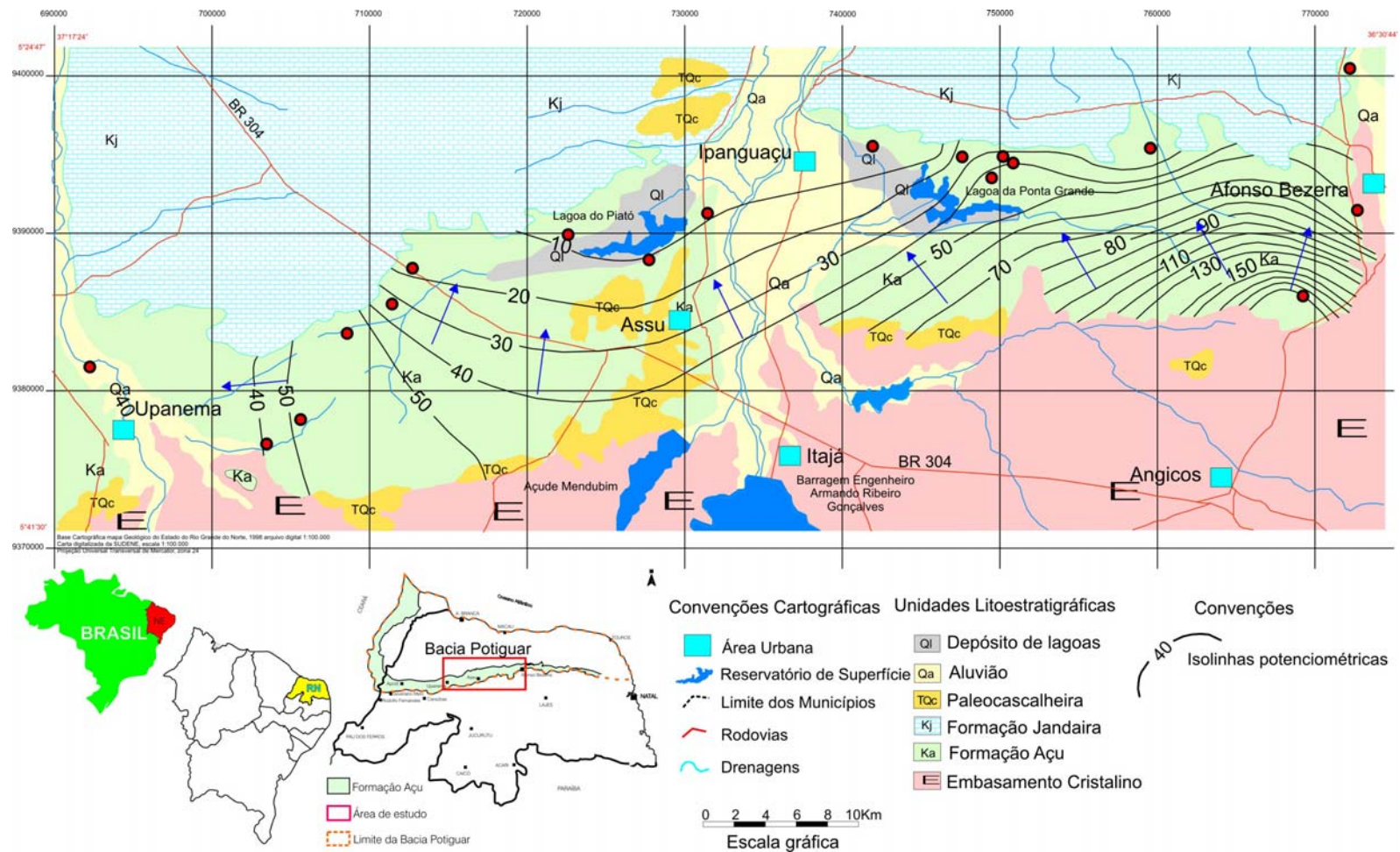


Figura 4.21 - Curvas isopotenciométricas do aquífero Açú (Março 2007)

#### **4.8 - Recarga das águas subterrâneas**

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos. Em outras palavras não se pode explorar e garantir o uso sustentável de um aquífero ou reserva de água subterrânea sem o conhecimento dos mecanismos e montante da recarga anual a que o mesmo é submetido. Este parâmetro é, entretanto, muito difícil de ser avaliado notadamente em regiões semi-áridas (Lerner *et al.*, 1990; Simmers *et al.*, 1997; Lerner, 1997; Healy and Cook, 2002; Sanford, 2002 e Vries and Simmers, 2002). Estas condições se identificam perfeitamente com o que ocorre na região Upanema – Afonso Bezerra.

A recarga das águas subterrâneas na área de estudo se processa principalmente pelas infiltrações das águas de precipitação pluviométrica no terreno. Em menor escala, a recarga pode ocorrer pelo fluxo superficial dos rios que drenam a área, notadamente o rio Açu e ainda de forma pouco expressiva pela drenança vertical de águas através dos níveis areno-argilosos superior da Formação Açu, principalmente no domínio da planície aluvial do Açu. No presente trabalho a avaliação de recarga ficará restrita à infiltração direta das águas de chuva.

O processo de recarga, pelo que se concebe, é dificultado pelas condições de semi-aridez da área, que lhes atribui “déficit” hídrico expressivo; pelo caráter areno-argiloso da parte superior da Formação Açu, que mesmo assim, ainda confere ao aquífero Açu o caráter de um sistema livre; e pela profundidade do nível das águas subterrâneas, que de um modo geral são profundas. Sabe-se que em situações similares, em termos da litologia do meio poroso insaturado, quanto maior a profundidade do nível das águas maior será o tempo de trânsito às águas subterrâneas, o que, por conseguinte, pode influenciar na recarga efetiva. A profundidade do nível das águas subterrâneas (níveis estáticos) na maior parte da área chega a ser elevada, de 20 a 60 m no setor Ocidental da área e 10 a 40 m, no setor Oriental. Os níveis da água são mais rasos próximos ao cristalino e no domínio das planícies aluviais, atingindo valores inferiores a 10 m..

Existem várias metodologias para avaliar recarga de águas subterrâneas: tanto efetuando medições de fluxo da água no meio poroso

insaturado como no meio poroso saturado. No presente trabalhos, na tentativa de realizar estimativas de recarga, foram aplicadas diferentes metodologias, que incluiu balanço hidroclimatológico e métodos que se aplicam ao meio poroso saturado, tais como Lei de Darcy; Variação sazonal do nível potenciométrico e Balanço de cloreto.

#### **4.8.1 - Balanço hídrico**

O método do balanço hidroclimatológico é um procedimento elementar que pode fornecer uma primeira indicação potencial sobre o montante da recarga das águas subterrâneas. A equação geral do balanço hídrico estabelece que:

$$P = E + R + I \quad (4.12)$$

Onde:

P = precipitação (mm);

E = evapotranspiração real (mm);

R = escoamento superficial (mm)

I = infiltração (mm).

O excedente anual de água no solo de precipitação (R + I) pode corresponder à lâmina d'água infiltrada no terreno (CASTANY, 1975 e FETTER, 1994).

Os balanços hídricos efetuados no domínio da área de estudo considerando os valores mensais não mostraram a ocorrência de excedentes de água, indicando por conseguinte que os respectivos excedentes são baixos e, por conseguinte, as lâminas de água infiltradas. Convém ressaltar que este procedimento pode fornecer apenas uma primeira indicação da ordem de grandeza sobre a recarga potencial das águas subterrâneas.

#### **4.8.2 - Lei de Darcy**

Desde que o sistema aquífero Açu é, em geral, do tipo livre, as potencialidades do mesmo estão condicionadas à infiltração direta das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas



subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços e, também, alimentam o fluxo subterrâneo. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração dos poços, a infiltração eficaz é equivalente à vazão do fluxo subterrâneo natural anual. A descarga do fluxo subterrâneo natural obtido foi avaliada em 0,35 m<sup>3</sup>/s (item 4.4), o que equivale a 10,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano, que em termos de lâmina de água corresponde a 9,5 mm.

A vazão do fluxo subterrâneo foi avaliada para uma condição no qual o aquífero estava sendo explotado, e assim sendo, o montante correspondente a exploração anual por poços deve ser considerado na recarga anual, o qual corresponde a 3,0 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano (equivalente a 2,7 mm/anuais). A recarga de água subterrânea, neste caso, será o somatório da vazão de fluxo obtida com o correspondente volume anual explotado, ou seja, 13,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 12,0, mm de lâmina de água infiltrada. A taxa de infiltração, portanto, é de 2,0%, tomando por base a precipitação pluviométrica média de 595,00 mm/ano.

#### **4.8.3 - Variação sazonal do nível potenciométrico**

O método da flutuação do nível d'água é baseado na premissa de que a elevação do nível d'água subterrânea em aquíferos livres é devido a água de recarga que chega ao aquífero. A recarga é calculada pela seguinte equação:

$$R = S_y(dh/dt) = S_y(\Delta h/\Delta t) \quad (4.13)$$

Onde:

$S_y$  = porosidade específica (adm);

$h$  = variação da altura do nível d'água (mm),

$t$  = tempo (s).

O método da flutuação de nível d'água tem sido usado em vários estudos (RASMUSSEN and ANDREASEN 1959; GERHARD 1986; HAL and RISSER 1993) e descrita em detalhe por HEALY; COOK (2002).

A avaliação da recarga das águas subterrâneas a partir das variações sazonais do nível potenciométrico pode se constituir numa ferramenta bastante eficaz. A dificuldade, entretanto, existe e em geral é atribuída a falta de um conhecimento adequado da porosidade específica do material aquífero sujeito

a variação sazonal. Considerando que a vazão do fluxo subterrâneo natural total foi avaliada em  $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , as reservas reguladoras e a infiltração eficaz, mantida as simplificações de equilíbrio apresentadas são teoricamente equivalentes a este volume. A porosidade específica dos estratos sedimentares sujeitos às flutuações sazonais do nível das águas, desta feita, já pode ser estimada pela equação:

$$\mu = \frac{Q}{AdH} \quad (4.14)$$

onde;

$\mu$  = Porosidade específica (adimensional);

$Q$  = vazão do fluxo subterrâneo natural ( $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ );

$A$  = área ( $1100 \text{ km}^2$ );

$dh$  = variação de carga entre os níveis máximos e mínimos (m)

A tabela 4.10 apresenta os resultados das variações de carga observadas em no período chuvoso (Maio 2006) e período seco (Dezembro 2005) Está claro que as observações efetuadas não são suficientes para uma caracterização satisfatória das variações sazonais dos níveis potenciométricos, notadamente lembrando que se trata de uma área bastante extensa e um número de observações muito pequeno, entretanto, são tecidas as considerações que se julgam pertinentes.

Alguns pontos observados indicaram uma variação negativa. Isto se traduz em mostrar que os níveis de água ao final da estação seca estão mais rasos que ao final da época chuvosa, refletindo com isto uma defasagem bastante expressiva entre a ocorrência das chuvas e a recarga efetiva das águas subterrâneas, o que pode estar evidenciando um caráter de semi-confinamento do aquífero Açú. Na situação mais geral, a diferença de carga é positiva, refletindo uma recarga mais rápida ou um condicionamento mais livre para o sistema aquífero.

**Tabela 4.10 - Variações de cargas potenciométricas em poços do aquífero Açu, obtidos ao final das estações seca (Dezembro 2005) e chuvosa (maio 2006).**

Ponto	x	y	h (dez. 2005)	h (maio 2006)	dh
DT-104	731396	9386584	25,538	26,008	0,47
DN095	717295	9383902	11,02	11,29	0,27
DR945	726100	9390269	9,381	10,061	0,68
DR950	722665	9389278	9,796	10,716	0,92
DR973	718077	9386173	13,16	13,61	0,45
DR967	717495	9387650	16,9	17,03	0,13
DR969	717151	9386496	14,291	14,411	0,12
DR973A	720276	9385853	10,11	10,39	0,28
DN113	712599	9387078	18,253	18,313	0,06
DT415	731396	9386584	13,624	13,734	0,11
DT435	731328	9384577	16,057	16,757	0,7
DN141B	712413	9377518	67,044	67,164	0,12
DN293	773034	9396053	32,155	32,445	0,29
CT634	758582	9392539	21,439	21,609	0,17
PS0124	754682	9393745	13,653	14,033	0,38
CL586-	748108	9394263	9,304	9,534	0,23
CL585	747753	9393381	9,29	9,42	0,13
CL584	746515	9393790	8,938	9,178	0,24
CL898	735520	9384660	16,243	16,583	0,34
CL895A	737801	9394124	11,334	12,154	0,82
CL587	746820	9395420	10,167	10,297	0,13
CL589	743854	9395396	9,915	10,455	0,54
UP004	701200	9381600	51,624	51,854	0,23

Vale ressaltar, entretanto, que estas informações são bastante aproximadas, já que alguns poços observados estavam afetados por bombeamentos, deles próprios ou de poços vizinhos. Para efeito de interpretação, decidiu-se fazer uma seleção dos níveis estáticos mais representativos, ou seja, sem interferência de bombeamentos (Tabela 4.9). As cargas hidráulicas consideradas mais representativas neste contexto, variaram de 0,11 a 2,04 m, com média de 0,58 m.

Nestas condições, continuando a estimativa da porosidade efetiva ( $\mu$ ), obteve-se para este parâmetro um valor de 2.1%, que é um valor aceitável para as condições lito-estruturais do aquífero.

#### 4.8.4 - Balanço de cloreto

A recarga das águas subterrâneas pode ser avaliada de forma aproximada pelo método do balanço do íon cloreto, o qual pode ser estabelecido pela equação:

$$I C_i = P C_p \quad (4.15)$$

ou

$$I = P \frac{C_p}{C_i} \quad (4.16)$$

onde:

I = lâmina de água infiltrada no terreno (m);

C<sub>i</sub> = concentração de cloreto nas águas subterrâneas (mg/l);

P = precipitação pluviométrica (mm);

C<sub>p</sub> = concentração de cloreto na água de chuva (mg/l).

Esse método baseia-se no fato de que o íon cloreto é conservativo e não sofre modificações durante a infiltração. Os resultados do balanço do íon cloreto são bons em zonas áridas e zonas arenosas, porém não tanto em zonas úmidas ou com elevado escoamento superficial (CUSTÓDIO, 1973 e CUSTÓDIO & LLAMAS, 2001).

Assim sendo, para aplicação da equação 4.16 são admitidas as seguintes condições:

- a) Região semi-árida;
- b) Cloreto originado das chuvas;
- c) Escoamento superficial desprezível.

No setor Oriental da área as precipitações pluviométricas são da ordem de 560 mm e conteúdo de cloreto nas águas de chuva é da ordem de 2,70 mg/L, em média. Tomando por base que as concentrações de cloreto nas águas de recarga são de 200 mg/L na zona Norte contígua aos calcários e de 600 mg/L, na zona Sul, na direção das rochas cristalinas, resulta valores de

recarga de 7,56 mm e 2,52 mm, que equivale a recarga de 1,35% e 0,45%, respectivamente.

No setor Ocidental da área as precipitações são da ordem de 630 mm e o conteúdo de cloreto nas águas de precipitação é de 2,49 mg/L. A concentração de cloreto na água de recarga, foi tomada como equivalente a 100 mg/L na zona Norte, adjacente aos calcários, e, de 200 mg/L, na zona sul próximo ao cristalino, resultando em valores de recarga de 15,7 mm e 7,84 mm, correspondente a taxas de recarga de 2,5% e 1,24%, respectivamente.

Esses resultados mostram que na faixa norte da área adjacente aos calcários, as taxas de recarga variam de 1,35% a 2,5%, e, na faixa sul, adjacente aos calcários, as taxas de recarga são geral inferiores, variando de 0,45% a 1,24%. A média geral de recarga no domínio da área foi tomada como equivalente a esses valores, ou seja, é da ordem de grandeza de 1,4% de conformidade com o método do balanço de cloretos. Considerando a precipitação pluviométrica média de 595 mm, a lâmina de água infiltrada é de 8,33 mm e o volume de água infiltrado de  $9,16 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano.

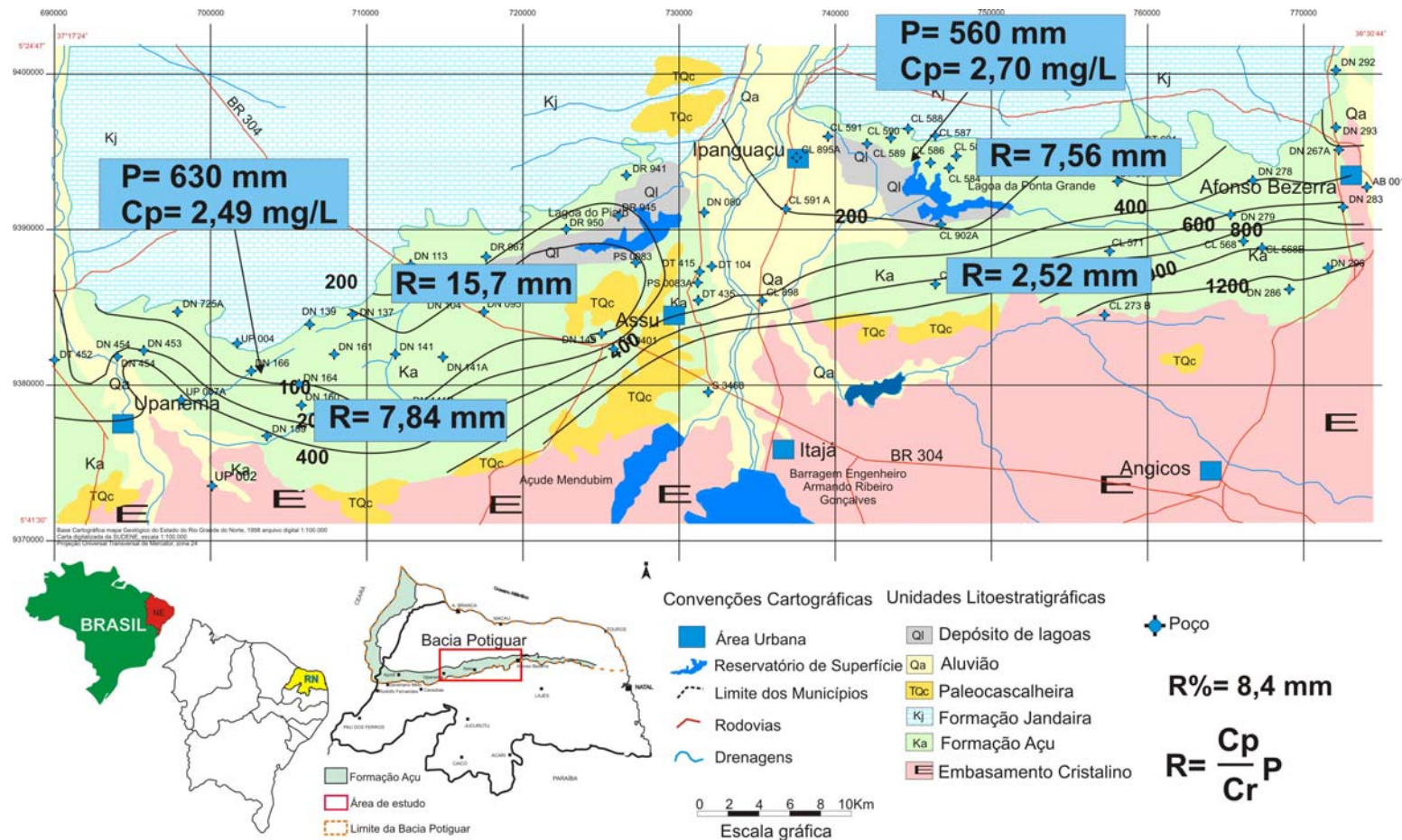


Figura 4.22 - Recarga das águas subterrâneas pelo Método do Balanço de Cloreto.

#### 4.8.5 - Discussão geral quanto aos valores de recarga obtidos pela aplicação dos diferentes métodos.

A Tabela 4.11 apresenta um resumo das lâminas de água infiltradas, os volumes anuais infiltrados e as respectivas taxas de infiltração obtidas pela aplicação da lei de Darcy e pelo método do balanço de cloreto. A seguir é feita uma apreciação sobre os resultados Obtidos.

**Tabela 4.11 - Recarga das águas subterrâneas**

	<b>Balanço hídrico*</b>	<b>Lei de Darcy</b>	<b>Variação de carga**</b>	<b>de Balanço de cloreto</b>
Lâmina de água infiltrada (mm)		12,0		8,3
Taxa de infiltração (%)		2,0		1,4
Volume de água infiltrado ( $\times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ )		13,5		9,1

\* O balanço mensal realizado não forneceu excedente de água, impedindo que se fizesse estimativa da recarga potencial.

\*\* Recarga não foi avaliada devido ao não conhecimento da porosidade efetiva; Este parâmetro, entretanto, foi avaliado tomando por base o conhecimento da vazão do fluxo subterrâneo natural.

A lei de Darcy foi aplicada na avaliação de recarga tomando por base valores de transmissividade obtidos de poços parcialmente penetrantes; estes parâmetros, portanto, é bem possível que estejam subestimados e, por conseguinte a aplicação da lei de Darcy poderia ter fornecido um valor de recarga superior ao obtido, ou seja, de 12,0 mm.

O método do balanço de cloreto tem sido aplicado bastante em regiões semi-áridas, conforme já assinalado anteriormente; a aplicação do método pode fornecer resultados mais baixos que os reais, caso exista um percentual de cloreto nas águas subterrâneas que não tenha sido originado das chuvas. Uma outra dificuldade apontada é quanto a determinação de cloreto na água de chuva devido as mesmas serem bastante diluídas, o que pode facilitar erros de análise. Como as concentrações de cloreto são muito baixas, qualquer variação pode alterar consideravelmente nas

avaliações de recarga. Também, a coleta da amostra de água de chuva tem que ser feita com bastante cuidado, para que não haja contaminação da mesma.

#### **4.9 - Reservas e recursos explotáveis**

As “Reservas” de águas subterrâneas correspondem ao volume de água armazenado na camada aquífera. As reservas estão, portanto, condicionadas fundamentalmente a estrutura hidrogeológica, litologia e as dimensões do aquífero, as quais são determinadas com base em mapeamentos geológicos, perfis de poços e sondagens, e, prospecção geofísica, além de testes de aquífero.

Entende-se como “recursos explotáveis” ao volume de água que se pode extrair de um aquífero para fins de suprimento sem que haja riscos de super-exploração ou efeitos indesejáveis sobre a qualidade das águas, tais como problemas de salinização ou contaminação. Assim sendo o termo “recursos explotáveis” se traduz em dispor de um volume da água para exploração em condições de sustentabilidade hídrica. Depende fundamentalmente dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, em especial da porosidade efetiva.

As reservas são definidas em função do tipo de aquífero, ou seja, se o mesmo desenvolve características de aquífero livre ou confinado.

O aquífero livre está limitado na sua base por uma camada impermeável e no topo pela própria superfície potenciométrica, a qual se encontra sob pressão atmosférica. Em outras palavras, trata-se de um aquífero que é alimentado diretamente pelas precipitações pluviométricas que caem sobre a superfície do terreno e nele se infiltra. Assim sendo, as reservas em um aquífero livre estão sujeitas as variações sazonais dos níveis potenciométricos ou da superfície freática.

No caso de aquíferos confinados, os mesmo está limitado no topo e na base por camadas impermeáveis. A exploração deste aquífero é muito mais complexa, principalmente se a zona de recarga situa-se em domínio semi-árido.

O aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar, na área em apreço, desenvolve características de um sistema livre, embora apresente localmente condições de semi-confinamento, o que para efeito de cálculo não será considerado no âmbito deste trabalho.

No caso de aquíferos livres são definidos três tipos de reservas, conforme definidas a seguir:



- Reservas Reguladoras, que correspondem as variações sazonais dos níveis potenciométricos;
- Reservas permanentes, que é o volume d água situado abaixo do nível potenciomético mínimo. Conhecidas, também, como reservas seculares.
- Reservas totais, que corresponde ao somatório das reservas reguladoras com as reservas permanentes.

Em princípio não se deve explorar no aquífero livre um volume maior do que o correspondente as reservas reguladoras, para que não haja riscos de superexploração, ou seja, somente em situações especiais controlada por monitoramento de poços é possível explorar um percentual das reservas permanentes. Em regiões úmidas pouco exploradas, está possibilidade é factível, haja vista que o rebaixamento pode induzir a uma maior recarga. No caso de regiões semi-áridas, entretanto, a baixa recarga associada as baixas taxas pluviométricas tornam difícil ou impedem essa possibilidade.

#### **4.9.1 - Avaliação das reservas do aquífero Açú**

##### **4.9.1.1 - Reservas reguladoras**

As reservas reguladoras (RR) podem ser avaliadas pela seguinte equação:

$$RR = A.dh.\mu \quad (4.17)$$

Onde:

A = área de ocorrência do aquífero (m<sup>2</sup>);

Dh = variação sazonal de carga ou variação inverno – verão;

$\mu$  = porosidade eficaz dos estratos sujeitos as variações sazonais de carga (adimensional).

A flutuação sazonal do nível d'água (dh) foi avaliada em 0,54 m (média das variações de carga consideradas mais representativas no período observado; a porosidade eficaz ( $\mu$ ) foi estimada em 2,1%.

Considerando esses valores as reservas, reguladoras na área de estudo com 1100 km<sup>2</sup>, são da ordem de 12,4x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

#### 4.9.1.2 - Reservas permanentes

As reservas permanentes foram avaliadas pela seguinte equação:

$$RP = A.h. \mu \quad (4.18)$$

Onde;

h = altura de carga abaixo do nível potenciométrico mínimo, tomado como equivalente ao valor médio de 26 m (valor obtido com base nos valores das espessuras saturadas efetivas, excluído os argilitos, totalmente penetrantes nos poços de produção);

$\mu$  = porosidade eficaz dos estratos abaixo desse nível mínimo tomando o mesmo valor daquele adotado para as reservas reguladoras, ou seja, 2,1%.

Com base nesses dados, obteve-se para as reservas permanentes o valor  $600 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

#### 4.9.1.3 - Reservas totais

Considerando que as reservas reguladoras foram estimadas em  $12,4 \times 10^6 \text{ m}^3$  e as reservas permanentes em  $600 \times 10^6 \text{ m}^3$ , verifica-se, portanto, que as reservas totais são da ordem de  $612,4 \times 10^6$ . Este é um volume bastante factível de ser armazenado ao longo do tempo. O percentual de renovação deste volume é, entretanto, muito pequeno, representando apenas 2%.

#### 4.9.2 - Recursos explotáveis

Os recursos explotáveis no caso de aquíferos livres correspondem teoricamente às reservas reguladoras. Assim sendo, os recursos anuais explotáveis do aquífero Açú na área de estudo, compreendida entre Afonso Bezerra e Upanema, é da ordem de grandeza de  $12,4 \times 10^6$ . A exploração de um percentual além deste limite teoricamente não é recomendável. Considerando, entretanto, as extrapolações levadas a efeito no âmbito deste trabalho, entende-se ser possível explorar o aquífero dentro dos limites permissíveis de exploração dos poços de produção mediante rigoroso monitoramento dos níveis d'água.

As informações a serem obtidas, de níveis e de descargas d'água, deverão permitir reavaliar o aquífero periodicamente e por conseguinte otimizar a exploração do aquífero.

## **META D**

### **5. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADES DAS ÁGUAS**

#### **5.1 - Aspectos gerais**

A hidrogeoquímica constitui uma disciplina de fundamental importância visto que tem como objetivo identificar e quantificar os constituintes químicos das águas, estabelecendo uma relação com o meio circundante. Também, pode contribuir na avaliação dos recursos das águas subterrâneas indicando e quantificando zonas de recarga e descarga de água evidenciando aspectos do fluxo subterrâneo. Os constituintes presentes em uma amostra da água refletem a sua qualidade para um determinado uso. Em geral, a qualidade da água subterrânea é boa, porém não raro sofre a influência de fatores intrínsecos e extrínsecos ao aquífero.

Ao se infiltrar no terreno e percolar por diferentes aquíferos a água tende a aumentar o teor de sais dissolvidos, podendo receber influências determinadas pelas condições climáticas, composição da água de recarga, velocidade do fluxo subterrâneo, tempo de contato água/rocha e interferências antrópicas.

A água tem uma capacidade de dissolução muito elevada (solvente universal) o que se atribui a sua estrutura molecular dipolar. Nas águas naturais este poder de dissolução é aumentado pela presença de ácido carbônico, formado pelo gás carbônico dissolvido, e ácidos orgânicos, principalmente húmicos, produzidos pela atividade dos seres vivos ao nível do solo. As águas naturais possuem sais dissolvidos em diferentes concentrações, sendo que as águas subterrâneas apresentam, em geral, teores mais elevados do que as águas superficiais, por estarem intimamente em contato com os materiais solúveis presentes no solo e nas rochas.

Em áreas com alto índice pluviométrico as taxas de recarga dos aquíferos também tendem a ser mais elevadas propiciando desta feita uma maior renovação das águas subterrâneas, com a conseqüente diluição dos sais em solução. Diferentemente, em climas áridos a pequena precipitação reduz a recarga e a oportunidade de lixiviação dos solos e diluição das concentrações salinas nas águas subterrâneas. Nestes casos, a salinização da superfície do solo em muitas situações é inevitável através da evaporação da água que sobe por ascensão capilar. Por ocasião das chuvas mais intensas os sais mais solúveis são carreados para as partes mais profundas do

aqüífero aumentando sua salinidade. Isto é o que acontece no nordeste do Brasil, onde, em muitas áreas, o problema consiste muito mais na salinização excessiva da água do que na inexistência da mesma.

Segundo Custódio (1994), os principais objetivos de um estudo hidrogeoquímico na investigação de aqüíferos são contribuir principalmente para:

- Qualificar e quantificar a recarga;
- Estabelecer inter-relações ou separações entre subsistemas dentro de um sistema aqüífero;
- Identificar áreas de descarga e suas características;
- Explicar a composição química atual da água subterrânea;
- Predizer as mudanças esperáveis na composição química da água subterrânea sob determinadas ações ou seguindo uma certa pauta evolutiva;
- Determinar o grau de proteção da quantidade e qualidade de um recurso de água subterrânea.

No presente caso, os estudos hidroquímicos estão sendo conduzidos para atender os objetivos de caracterizar o uso das águas; diagnosticar sobre a origem e mecanismos de salinização; identificar zonas de recarga e descarga e avaliar os recursos de água explotáveis.

## **5.2 - Amostragem, resultados das análises e Técnicas utilizadas**

A caracterização hidrogeoquímica e a qualidade das águas subterrâneas e superficiais da área de estudo são apresentadas com base nos resultados das análises físico-químicas de 76 amostras da água coletadas em Dezembro de 2005 nas seguintes fontes: 63 poços tubulares penetrando o aqüífero Açú, 3 poços no aqüífero Jandaira, 2 poços no aqüífero cristalino e 6 amostras de águas superficiais (incluindo 1 amostra na Lagoa Ponta Grande; 1 amostra na lagoa Piató; 2 nas águas superficiais do rio Do Carmo e da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves); 3 amostras de água de chuva. A relação detalhada dos pontos de amostragem e suas correspondentes coordenadas é apresentado na Tabela 5.1. A distribuição espacial dos pontos de coleta é apresentado na Figura 5.1.

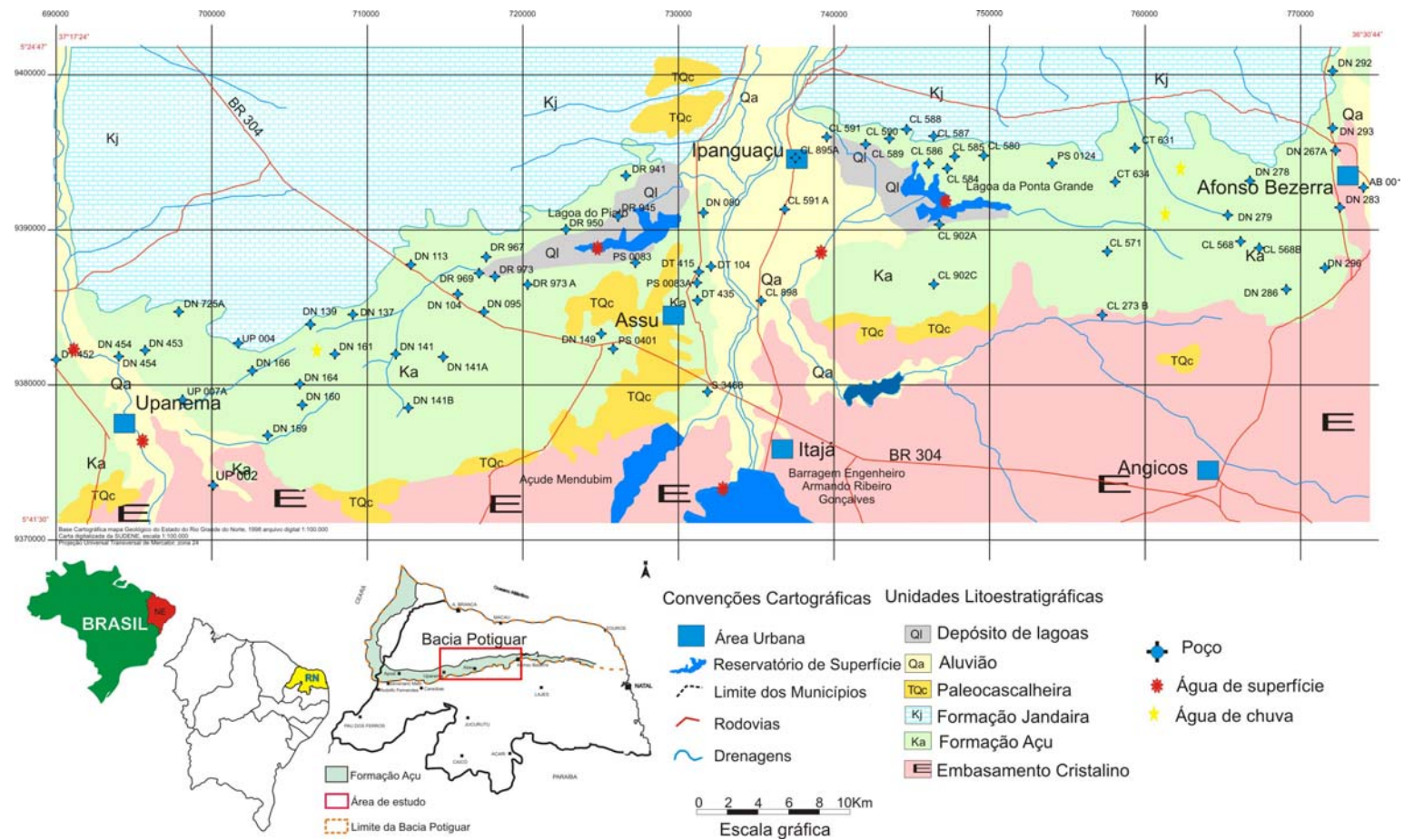


Figura 5.1 - Mapa de localização dos pontos de amostragem.

**Tabela 5.1 - Relação dos pontos de amostragem de água e datas de coleta.**

<b>PONTOS</b>	<b>LOCAL</b>	<b>X(UTM)</b>	<b>Y(UTM)</b>
DR 941	Banguê/Assu	726792	9392835
AB 001	Sede Afonso Bezerra/AB	775113	9391975
CL 273 B	Bom Sucesso/NA	757900	9383800
CL 568	Santarém/AB	766964	9388427
CL 571	Sítio Ubadeira/ Angicos	758102	9387953
CL 580	Tirafogo/AB	750123	9394380
CL 584		746515	9393790
CL 585	Tabuleiro Alto, Ass./ IP	747753	9393381
CL 586		748108	9394263
CL 587	Serra do Gado/IP	746820	9395420
CL 588	Angélica/IP	744963	9396143
CL 589	Canto Claro/IP	743854	9395396
CL 590	Língua de Vaca/IP	742339	9394957
CL 591	Capivara/ IP	739745	9395548
CL 591 A	EMPARN	737018	9390764
CL 895A	Umburana/IP	737801	9394124
CL 898		735520	9384660
CL 902A	Comunidade Porto da Escola/IP	747174	9389767
CL 902C	Sítio Deus Nos Guie	746850	9385800
CT 631	Sítio Sta. Maria/AB	760201	9394779
CT 634	Ass. Sta. Maria/AB	758582	9392539
DN 080	Comunidade Sta Clara/Assu	731629	9390626
DN 095	Fazenda Meladinha/Assu	717295	9383902
DN 104		715626	9385088
DN 113	Palheiro IV(Assentamento)/ Assu	712599	9387078
DN 137	Paulista/Assu	708801	9383701
DN 139	Paulista 2/ Assu	706022	9383111
DN 141	Bom Lugar 2/Assu	711576	9381064
DN 141A	Ass. Novo Pingo/ Assu	714655	9381083
DN 141B	Bom Lugar 3/Assu	712413	9377518
DN 149	Copasfal/Assu	724994	9382403
DN 159	Baixa do Juazeiro/UP	703220	9375640
DN 160	Baixa do Juazeiro/UP	705402	9377736
DN 161		707591	9381047
DN 164	Bom Lugar/ Assu	705301	9379018
DN 166	Baixa do Dutra(Assentamento)/UP	702146	9379972
DN 267A	Canto Branco/AB	773150	9394582
DN 278	Faz. São Cirilo/AB	767643	9392657
DN 279	Santarém/AB	766143	9390330
DN 283	Tapuio/AB	773567	9390801
DN 286	Fazenda Flores/ Angicos	770045	9385323
DN 292	São Sebastião/ AB	773083	9399882
DN 293	Sede/AB	773034	9396053
DN 296	São Francisco/ AB	772391	9386592
DN 453	Fazenda Pau d'Árco/UP	695100	9381300
DN 454	Faz pau D'árco/ UP	693387	9380876
DN 568B	São Francisco/ AB	768162	9387973
DN 725A	Roçado Grande/UP	697400	9383900
DR 945	Areia Branca/Assu	726100	9390269
DR 950	Bela Vista do Piató/ Assu	722665	9389278
DR 967	Sítio Canto do Mari-Açu	717495	9387650
DR 969	Lagoa do Mato/Assu	717151	9386496
DR 973	Monte Alegre	718077	9386173

DR 973			
A	Faz. Café Jardim/ Assu	720276	9385853
DT 104	Sítio Olho d'água	731396	9386584
DT 415	Comunidade Bavieira/Assu	731396	9386584
DT 418		727210	9387030
	Comunidade de Lagoa do		
DT 435	Ferreiro/Assu	731328	9384577
DT 453		689354	9380534
DT 454		693387	9380876
PS 0083	Lagoa do Piató/Assu	727210	9387030
OS			
0083A	Ana Maria/ Assu	727210	9387030
PS 0401	Campo de Aviação	725877	9381463
PS 0124	Nova Descoberta (Raposo II) AB	754682	9393745
S 3468	Cerâmica Portal do Vale do Açu	732000	9378500
UP 002		699481	9372436
UP 004		701200	9381600
UP 007		697656	9378188
UP 007A	Faz. Várzea Alegre/UP	697600	9378100

Informa-se que todos os cuidados durante a operação de coleta de amostras de água foram tomados, seguindo rigorosamente as normas nacionais e internacionais definidas para esse fim. A precisão dos resultados foi avaliada através da realização de balanço de massas, conforme será apresentado a seguir.

As análises foram efetuadas no Laboratório de Análises de Águas, Alimentos, e Efluentes da Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte (FUNCERN), e os resultados foram interpretados utilizando o *software AquaChem – Aqueous Geochemical Analysis, Plotting and Modeling* da *Waterloo Hydrogeology* (Lukas Calmbach and *Waterloo Hydrogeology*, 2002).

A Tabela 5.2 apresenta os resultados dos principais parâmetros obtidos das análises químicas, como o pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, ferro, dureza total, compostos da série nitrogenada, além dos principais cátions e ânions.

As técnicas analíticas utilizadas são apresentadas na Tabela 5.3 na qual se pode observar que a condutividade elétrica e o pH foram determinados pelo método potenciométrico; cor, turbidez, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, por espectrofotometria; sólidos totais a 105 °C, sólidos totais dissolvidos e sólidos em suspensão por gravimetria; alcalinidade a hidróxidos, alcalinidade a carbonatos, alcalinidade a bicarbonatos e alcalinidade total por titulometria e dureza total, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato e cálcio também por titulometria; magnésio por cálculo; e finalmente, sódio e potássio por fotômetro de chama e ferro dissolvido por AAS chama.

### 5.3 - Balanço de massas

A precisão dos resultados das análises químicas foi avaliada mediante o cálculo do erro da análise baseado no balanço de massas. O balanço de massas transcreve que a concentração total dos íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual a concentração total dos íons negativos (ânions). Na prática existe uma diferença nessas concentrações que é devido aos erros acumulados de cada uma das determinações individuais ou pode ser devido a contribuições iônicas menores ou é um erro grave de análise. O erro da análise (e%) pode ser obtido pela aplicação da equação:

(5.1)

$$e\% = \left| \frac{r \sum p - r \sum n}{r \sum p + r \sum n} \right| \times 100$$

Onde:  $r \sum p$  é o Valor absoluto do somatório dos cátions (meq/l) e  $r \sum n$  é o Valor absoluto do somatório dos ânions (meq/l).

O erro admissível depende da concentração dos íons e do tipo de água, haja vista que uma água com baixa concentração de sais é muito mais difícil ser avaliada com precisão. A seguinte relação tem sido utilizada (modificado de Custódio & Lammas, 2001):

Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	50	200	500	2000	>2000
Erro amissível (%)	15	5	4	2	2



**Tabela 5.2 - Resultado das análises químicas das amostras de água coletadas na região de Upanema-Afonso Bezerra, RN.**

Amostra	pH	Ca	Mg	Fe	Mn	NH3	NO2	NO3	Cu	Mg	Na	K	Pb	Co	Mn	SO4	Cl	Resíduo
DN 159	7,4	239,1	1643,0	809,0	0,1	0,1	0,0	6,6	81,6	67,5	22,3	38,5	0,1	0,0	202,5	67,1	529,8	480,0
CL 898	7,8	193,1	2240,0	1104,0	0,2	0,1	0,1	13,2	24,3	33,7	457,1	38,5	0,1	0,0	639,3	197,4	399,9	199,5
CL 571	5,7	158,5	2420,0	1236,0	0,2	0,3	0,0	19,7	32,6	81,9	250,0	113,6	0,2	0,0	4,9	21,1	719,8	420,0
CL 902A	6,3	268,9	654,0	314,0	0,2	0,0	0,0	2,7	14,7	17,4	74,3	25,0	0,1	0,0	117,1	24,4	126,0	108,0
DN 139	6,4	305,1	285,0	135,0	0,2	0,2	0,0	5,5	16,3	3,4	29,3	16,5	0,4	0,0	61,0	5,1	50,6	54,0
AMOSTRA	pH	Ca	Mg	Fe	Mn	NH3	NO2	NO3	Cu	Mg	Na	K	Pb	Co	Mn	SO4	Cl	Resíduo
DN 286	5,5	195,7	4700,0	2503,0	0,2	0,7	0,0	19,7	130,6	221,7	241,4	86,5	0,4	0,0	7,3	6,3	1325,7	1240,0
DN 283	6,5	244,5	1548,0	762,0	0,2	0,1	0,0	7,9	61,2	36,2	150,0	46,2	0,1	0,0	100,0	29,7	421,9	300,0
DN 568B	5,8	273,7	3890,0	1970,0	0,2	0,4	0,0	13,6	196,1	129,8	241,4	38,5	0,2	0,0	172,5	13,6	980,7	840,0
DN 568A	5,9	289,3	472,0	404,0	0,2	0,1	0,0	13,8	14,4	82,5	41,8	32,7	0,3	0,0	129,3	17,5	114,8	92,0
CL 568	6,1	279,6	3530,0	1800,0	0,5	0,7	0,1	15,0	154,2	154,2	240,0	126,1	0,6	0,0	31,7	11,1	1121,8	1019,7
BR 564	6,6	282,9	2550,0	1260,0	0,1	0,2	0,0	22,6	127,4	82,3	170,3	90,5	0,2	0,0	46,2	97,2	420,9	680,0
ES 5683A	6,6	294,3	298,0	149,0	0,0	0,0	0,0	5,1	18,8	60,6	28,8	12,5	0,3	0,0	46,4	0,0	60,0	72,0
BN 144B	6,7	201,2	288,0	132,0	0,2	0,2	0,0	9,7	2,2	2,8	28,2	14,4	0,3	0,0	46,4	6,4	52,6	44,0
BN 293A	6,2	222,1	2858,0	1477,0	0,1	0,5	0,0	4,3	122,4	82,2	289,2	32,2	0,4	0,0	129,3	28,9	849,8	620,0
DN 2783	6,2	209,4	1120,0	567,0	0,2	0,2	0,0	0,5	25,2	22,2	123,7	48,0	0,3	0,0	48,8	16,4	225,8	156,0
DN 292	6,2	295,4	2160,0	1070,0	0,1	0,4	0,0	1,9	118,3	81,9	186,2	12,9	0,4	0,0	126,9	67,5	628,4	630,0
BR 9424	6,5	184,2	352,0	119,0	0,0	0,2	0,0	19,8	90,4	20,7	48,2	18,9	0,4	0,0	39,9	25,2	186,0	220,0
BN 295	6,2	202,2	2990,0	1460,0	0,1	0,2	0,0	0,0	23,4	906,0	280,5	12,3	0,4	0,0	61,0	12,0	52,68	82,0
DN 404	6,1	292,7	279,0	139,0	0,0	0,0	0,0	13,8	12,2	52,9	28,9	10,8	0,4	0,0	148,9	22,4	88,4	64,0
DN 161	6,9	228,5	325,0	193,0	0,1	0,0	0,0	9,2	90,7	84,5	28,8	30,5	0,2	0,0	153,7	10,5	25,0	58,0
BN 282	6,6	225,3	3070,0	1095,0	0,0	0,2	0,0	16,4	119,2	149,4	19,2	26,0	0,5	0,0	226,4	24,8	828,7	1190,0
BR 963A	5,2	349,1	222,0	121,0	0,2	0,1	0,0	2,1	21,2	30,8	68,5	48,1	0,3	0,0	907,6	8,5	22,3	184,0
BR 945	6,5	222,5	222,0	132,0	0,1	0,1	0,0	13,9	98,5	27,9	42,5	14,3	0,0	0,0	121,0	22,9	165,8	229,0
BR 969	6,1	203,2	1226,0	927,0	0,1	0,1	0,0	32,9	171,4	43,4	158,6	38,8	0,1	0,0	24,4	27,8	629,8	600,0
DF 412	3,9	292,1	1596,0	229,0	0,2	0,1	0,0	9,2	52,1	69,2	186,2	12,4	0,1	0,0	85,4	25,2	446,8	340,0
DR 272	5,5	294,9	271,0	114,0	0,1	0,0	0,0	57,4	57,4	52,3	12,5	21,0	0,1	0,0	183,7	22,2	61,02	260,0
DN 289A	6,7	279,2	1956,0	507,0	0,2	0,0	0,0	0,7	23,4	43,4	117,2	7,7	0,0	0,0	870,0	12,3	269,9	280,0
EL 580	6,2	222,9	222,0	222,0	0,2	0,0	0,0	13,4	28,4	16,4	25,3	16,0	0,0	0,0	46,1	14,2	122,9	122,5
DN 142C	5,4	289,1	2550,0	129,0	0,2	0,0	0,0	7,2	80,3	72,5	288,7	28,2	0,1	0,0	92,3	16,6	192,9	260,0
ES 104	6,4	211,8	600,0	326,0	0,2	0,0	0,0	11,9	89,6	14,6	89,5	25,5	0,1	0,0	214,7	12,2	124,2	340,0

PS 0401	5,4	305,7	593,0	281,0	0,0	0,0	0,0	17,5	11,4	4,8	68,3	37,5	0,1	0,0	12,2	0,1	170,2	48,0
DN 453	7,3	276,1	751,0	364,0	0,3	0,1	0,0	0,0	52,2	19,3	78,1	19,1	0,4	0,0	219,6	51,9	114,0	208,0
DT 435	6,7	279,8	932,0	450,0	0,3	0,0	0,1	25,1	26,1	19,3	100,0	28,0	0,1	0,0	95,2	19,0	176,0	144,0
DR 950	7,0	113,0	895,0	432,0	0,1	0,1	0,0	18,3	73,4	45,3	32,0	14,9	0,1	0,0	239,1	53,0	155,9	368,0
DN 164	7,3	238,9	384,0	211,0	0,1	1,2	0,0	0,6	7,3	7,2	45,7	21,7	0,4	0,0	61,0	2,4	91,0	48,0
AB 001	6,7	259,4	1270,0	628,0	0,0	0,2	0,0	18,0	61,2	36,2	144,8	4,6	0,3	0,0	161,0	51,9	312,7	300,0
DR 967	6,1	113,0	1092,0	521,0	0,0	0,0	0,0	0,3	146,9	24,1	82,8	15,4	0,1	0,0	61,0	24,9	349,9	460,0
DN 725A	6,7	226,8	2180,0	1080,0	0,3	0,5	0,0	27,8	244,8	101,2	124,1	8,0	0,5	0,0	175,7	326,6	0,1	1020,0
DN 296	4,3	379,8	4670,0	2430,0	0,0	0,4	0,0	208,0	65,3	188,0	552,4	140,9	0,0	0,0	4,9	17,5	1499,5	92,0
CL 273B	6,6	212,1	5470,0	2872,0	0,4	0,3	0,0	7,1	204,0	207,3	628,6	44,0	0,4	0,0	666,1	47,7	1550,8	1280,0
CL 591A	6,7	233,6	315,0	160,0	0,1	0,7	0,0	30,6	11,4	9,2	43,8	4,2	0,1	0,0	117,1	11,3	38,0	66,0
DT 452	5,8	301,6	430,0	209,0	0,3	0,2	0,0	10,5	17,1	7,7	38,7	20,6	0,3	0,0	22,0	37,3	99,0	74,0
<b>Aquífero cristalino</b>																		
UP 002	8,0	223,1	3820,0	1960,0	0,1	0,7	0,0	2,0	89,8	120,5	327,5	39,6	0,1	0,0	400,2	51,8	1109,7	720,0
?????																		
<b>Água superficial</b>																		
B A.R.G	6,2	180,2	245,0	128,0	0,0	0,4	0,0	0,0	13,1	8,2	22,5	7,3	0,1	0,0	92,7	4,9	32,0	66,0
L. P.G	8,1	204,9	1000,0	523,0	0,2	0,1	0,0	0,4	39,2	28,0	129,3	20,0	0,9	0,0	263,5	32,8	196,5	212,0
L. Piató	8,7	192,1	1165,0	582,0	0,1	0,1	0,8	0,2	32,6	57,8	158,6	36,9	0,1	21,6	151,3	17,0	7,6	320,0
R. Px	8,2	165,6	289,0	155,0	0,1	0,3	0,0	6,1	15,5	5,3	24,0	7,2	0,5	7,2	85,4	7,0	33,0	3,0
R. C.	7,5	231,0	213,0	101,0	0,0	0,5	0,0	0,0	10,6	8,7	18,8	7,3	0,1	0,0	85,4	2,8	37,0	62,0
R.C.	7,7	264,7	243,0	123,0	0,2	0,0	0,0	0,2	15,5	7,7	25,0	7,7	0,1	0,0	70,8	5,7	41,0	70,0
<b>Água de chuva</b>																		
AFB	5,4	-	15,8	7,0	-	ND	0,0	0,2	0,8	0,3	1,2	0,8	0,06	0,0	3,1	0,6	1,5	3,2
AS	5,0	-	10,0	5,0	-	0,30	0,0	0,53	0,49	0,96	1,10	0,0	0,0	0,0	3,05	0,31	3,99	5,20
UP	5,09	-	4,30	2,00	-	0,17	0,0	0,51	0,24	0,51	0,40	0,0	0,0	0,0	2,44	0,31	2,49	2,60

Obs: B.A.R.G: Barragem Armando R. Gonçalves; L.P.G.: Lagoa Ponta Grande; L. Piató: Lagoa de Piató; R. Px.: Rio Pataxós; R. c.: Rio do Carmo

\*Admensional

**Tabela 5.3 - Técnicas analíticas utilizadas**

Parâmetros	Unidade	Metodologia Utilizada
Condutividade elétrica	µS/cm	Potenciometria
Cor	mg/L Pt-Co/L	Espectrofotometria
Gosto	mg/L	---
Odor	mg/L	---
pH	ND	Potenciometria
Turbidez	NTU	Espectrofotometria
Sólidos Totais a 105°C	mg/L	Gravimetria
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	Gravimetria
Sólidos em Suspensão	mg/L	Gravimetria
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulometria
Alcalinidade hidróxidos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulometria
Alcalinidade carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulometria
Alcalinidade bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub> 6	Titulometria
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulometria
Nitrogênio Amoniacal	mg/L NH <sub>3</sub>	Espectrofotometria
Nitrato	mg/L N	Espectrofotometria
Nitrito	mg/L N	Espectrofotometria
Cálcio	mg/L Ca <sup>++</sup>	Titulometria
Magnésio	mg/L Mg <sup>++</sup>	Cálculos
Sódio	mg/L Na <sup>+</sup>	Fotometria de chama
Potássio	mg/L K <sup>+</sup>	Fotometria de chama
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	AAS - chama
Carbonato	mg/L CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Titulometria
Bicarbonato	mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Titulometria
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Turbidimetria
Cloreto	mg/L Cl <sup>-</sup>	Titulometria

Outros autores admitem que uma análise é considerada correta para um coeficiente de erro (e%) inferior a 5% (Mather, 1997; Pyne, 1995).

Nas determinações efetuadas no âmbito deste trabalho verificou-se que as maiorias das análises (95%) apresentaram erro aproximadamente igual ou inferior a 5%, as demais análises foram descartadas, ou seja, não foram incluídas nas avaliações hidrogeoquímicas (Tabela 5.4).

#### **5.4 - Avaliação estatística dos resultados das análises químicas das águas do aquífero Açú**

A Tabela 5.4 apresenta os parâmetros estatísticos dos principais cátions e ânions, além do pH, condutividade elétrica (C), sólidos totais dissolvidos (STD), nitrato, ferro e dureza total obtidos das análises químicas das amostras de água dos poços tubulares situados na Formação Açú.

Num universo de 63 amostras o pH variou entre 4,3 e 8,6, com valor médio de 5,7. Esse resultado sugerem que as águas do aquífero Açú, em caráter geral, tendem para águas ácidas, ocorrendo casos de águas básicas, as quais correspondem as águas sob influência das rochas carbonáticas.

A condutividade elétrica (C) variou de 198,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 6490,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com média de 1181,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O “sólidos totais dissolvidos” variou de 101,0 mg/L a 3450,0 mg/L, com média de 597,9 mg/L. O cloreto variou de 14,8 mg/L a 2244,2 mg/L, com média de 302,2 mg/L. Esses resultados permitem classificar as águas do aquífero Açú na área de estudo de salinidade de baixa a alta.

**Tabela 5.4 - Balanço iônico e avaliação da precisão dos resultados das análises químicas de água**

Ponto	rHC03	rS04	rCl	rN03	□anions	rNa	rK	rCa	rMg	□cations	Erro (%)
DN080	1,44	0,28	10,43	0,28	12,43	5,1	0,2	3,67	3,57	12,53	0,4
DN095	0,29	0,01	1,8	0,16	2,26	0,82	0,54	0,2	0,4	1,95	7,29
DN104	0,24	0,11	2,35	0,22	2,92	1,22	0,46	0,69	0,6	2,96	0,7
DN113	4,28	1	11,28	0,12	16,68	4,5	0,39	4,76	6,94	16,59	0,26
DN137	0,52	0,64	2,26	0,09	3,51	1,03	0,44	1,02	0,71	3,21	4,48
DN149	0,16	0,15	2,88	0,13	3,32	1,25	0,72	0,45	0,6	3,01	4,9
DR941	4,84	7,81	12,69	0,36	25,7	4,8	0,3	13,84	5,95	24,88	1,62
DR945	2,64	0,9	4,68	0,22	8,44	2,07	0,44	3,42	2,22	8,15	1,72
DR950	3,92	1,1	4,4	0,3	9,72	1,39	0,38	3,67	3,73	9,16	2,92
DR967	1	0,52	9,87	0	11,39	3,6	0,39	7,33	1,98	13,3	7,75
DR969	0,77	0,58	19,17	0,05	20,57	6,9	0,79	8,55	3,57	19,81	1,89
DR973	0,32	0,08	1,8	0,11	2,31	0,76	0,54	0,29	0,44	2,02	6,72
DT435	1,56	0,4	4,96	0,4	7,32	4,35	0,72	1,3	1,59	7,96	4,16
DN141	0,52	0,22	2,11	0	2,85	1,25	0,52	0,45	0,71	2,94	1,43
PS0083	0,16	0,22	19,45	0	19,83	9,79	0,23	2,04	7,14	19,18	1,65
PS0401	0,2	0	4,8	0,28	5,28	2,97	0,96	0,57	0,4	4,9	3,82
S34369	3,52	7,06	63,29	1,96	75,83	14,25	0,25	34,61	25,79	74,89	0,62
DN141A	0,28	0,36	3,21	0,28	4,13	1,82	0,78	0,57	0,67	3,85	3,5
DR973A	0,16	0,18	0,63	0,05	1,02	2,98	1,23	1,06	2,62	7,89	77,16
PS0083A	0,12	0	3,75	0,08	3,95	1,91	0,96	0,53	0,87	4,27	3,81
DN141B	0,76	0,13	1,68	0,16	2,73	1,28	0,37	0,41	0,48	2,53	3,81
DT104	0,4	0,1	4,74	0,19	5,43	3,48	0,65	0,49	1,19	5,81	3,37
CL568	0,52	0,23	31,64	1,69	34,08	10,44	3,23	7,74	12,68	34,08	0
CT631	0,6	0,37	2,96	0,03	3,96	2,97	0,6	0,16	0,44	4,17	2,62
CT634	0,16	0,32	3,33	0,23	4,04	1,68	0,88	0,41	0,75	3,72	4,14
DN278	0,8	0,72	8,91	0,01	10,44	6,6	1,23	1,26	1,86	10,95	2,39
DN279	0,12	0,1	21,01	0	21,23	7,2	2,36	3,67	8,72	21,95	1,66
DN283	1,64	0,62	11,9	0,13	14,29	6,53	1,18	3,05	2,97	13,73	1,99

DN292	2,08	1,41	17,5	0,03	21,02	8,1	0,31	5,9	6,74	21,05	0,07
DN296	0,08	0,36	42,29	3,35	46,08	24,03	3,6	3,26	15,46	46,35	0,29
AB001	2,64	1,08	8,82	0,29	12,83	6,3	0,12	3,05	2,97	12,44	1,52
CL568B	0,28	0,37	27,94	0,22	28,81	10,5	0,98	5,29	11,5	28,27	0,94
CL580	0,76	0,3	4,31	0,22	5,59	1,14	0,38	2,41	1,35	5,29	2,76
CL590	1,92	0,28	2,3	0,11	4,61	2,32	0,28	1,3	0,99	4,89	3,01
PS0124	0,64	0,53	5,53	0,32	7,02	2,1	0,46	3,01	1,7	7,28	1,8
S6922	3,88	0,52	25,12	0,26	29,78	0,84	0,61	15,88	12,29	29,62	0,26
DN267A	2,12	1,44	23,97	0,07	27,6	12,18	0,82	6,11	7,33	26,44	2,15
CL571	0,08	0,44	20,3	0,32	21,14	10,87	2,91	1,63	6,74	22,15	2,33
CL273B	10,92	0,99	43,74	0,11	55,76	27,34	1,13	10,18	17,04	55,69	0,06
DN286	0,12	0,13	37,38	0,32	37,95	10,5	2,21	6,52	18,23	37,46	0,65
CL583	0,68	0,27	1,65	0,16	2,76	1,57	0,4	0,33	0,36	2,64	2,24
CL584	0,76	0,2	1,4	0,06	2,42	0,78	0,25	0,65	0,71	2,39	0,69
CL585	1	0,25	1,57	0,1	2,92	0,87	0,29	1,18	0,52	2,86	1,04
CL586	0,76	0,21	1,71	0,08	2,76	0,87	0,32	0,94	0,52	2,64	2,07
CL587	2,12	0,43	4,25	0,22	7,02	1,5	0,36	1,22	3,41	6,49	3,92
CL589	2,51	0,52	3,02	0,41	6,46	1,22	0,24	3,67	1,51	6,63	1,31
CL591	4,08	2,63	1,64	0,09	8,44	1,82	0,28	1,47	4,56	8,13	1,86
CL898	10,48	4,11	11,28	0,21	26,08	19,88	0,99	1,21	2,78	24,86	2,4
CL902A	1,92	0,51	3,55	0,04	6,02	3,23	0,64	0,73	1,43	6,03	0,06
CL902C	2,12	0,97	18,9	0,25	22,24	11,6	1,67	3,26	6,04	22,57	0,74
DT415	1,4	0,52	12,6	0	14,52	8,1	0,39	2,85	3,96	15,31	2,64
CL591A	1,92	0,23	1,07	0,49	3,71	1,91	0,11	0,57	0,75	3,34	5,29
CL895A	1,64	0,09	0,62	0	2,35	1,28	0,2	0,33	0,63	2,43	1,71
CL588	3,32	0,48	2,13	0,16	6,09	0,81	0,23	4,89	1,98	7,91	6,5
DN139	1	0,11	1,43	0,09	2,63	1,28	0,42	0,81	0,28	2,79	2,95
DN159	3,32	1,4	14,94	0,11	19,77	0,97	0,98	4,07	5,55	11,58	26,13
DN160	0,8	0,59	4,54	0,38	6,31	2,73	0,88	0,77	1,66	6,05	2,09
DN161	0,4	0,11	1,47	0,22	2,2	1,22	0,47	0,2	0,28	2,16	0,89
DN164	1	0,05	2,57	0,01	3,63	1,99	0,55	0,37	0,6	3,5	1,78
DN166	3,23	0,17	1,2	0,07	4,67	2,32	0,49	1,18	0,83	4,82	1,58

DN453	3,59	1,08	3,21	0	7,88	3,4	0,49	2,61	1,59	8,08	1,21
DN454	3,76	1,62	4,17	0,08	9,64	3,98	0,51	0,73	3,73	8,95	3,71
DN726	6,8	2,15	6,34	0,23	15,52	3,13	0,12	8,75	3,17	15,18	1,12
UP002	6,56	1,08	31,29	0,03	38,96	14,25	1,01	4,48	9,91	29,65	13,58
UP007	3,08	1,02	22,27	0,16	26,53	10,24	0,39	7,74	8,33	26,71	0,33
UP007A	5,6	0,63	3,42	0,46	10,11	6,09	0,15	1,73	1,74	9,72	1,97
UP001	1,2	0,28	0,9	0,04	2,42	0,81	0,35	0,69	0,48	2,32	2,11
UP004	2,52	0,22	0,79	0,12	3,65	0,57	0,25	1,83	1,19	3,84	2,48
BAR RG	1,52	0,1	0,9	0	2,52	0,98	0,19	0,65	0,67	2,49	0,58
L.PGR	4,32	0,68	5,54	0,01	10,55	5,63	0,51	1,95	2,3	10,39	0,76
L.Piató	2,48	0,35	0,21	0	3,04	6,9	0,94	1,63	4,76	14,23	64,79
R. PAT.	1,4	0,15	0,93	0,1	2,58	1,04	0,18	0,77	0,44	2,44	2,85
R.Açu	1,16	0,12	1,16	0	2,44	1,09	0,2	0,77	0,63	2,69	4,97
R.Carmo	1,4	0,06	1,04	0	2,5	0,82	0,19	0,53	0,71	2,25	5,37

Obs.: r indica valores em meq/L.

**Tabela 5.5 - Parâmetros estatísticos dos resultados das análises químicas das águas do aquífero Açú**

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Média</b>	<b>Dv padrão</b>	<b>Desv</b>	<b>Coef Var%</b>
<b>Na (mg/L)</b>	13,1	552,38	99,377	103,492	104,14	98,0
<b>Ca (mg/L)</b>	0,0	693,6	60,649	96,914	159,8	100,0
<b>Mg (mg/L)</b>	3,37	313,6	42,203	55,674	131,92	99,0
<b>Cl (mg/L)</b>	14,8	2244,2	302,24	398,19	131,75	100,0
<b>SO4 (mg/L)</b>	0,0	375,24	38,227	70,093	183,36	100,0
<b>pH*</b>	4,34	8,66	5,762	5,265	91,383	50,0
<b>K (mg/L)</b>	4,23	140,91	26,281	26,595	101,19	97,0
<b>Cond (µS/cm)</b>	198,6	6490,0	1181,9	1221,565	103,35	97,0
<b>TDS (mg/L)</b>	101,0	3450,0	597,92	639,281	106,92	97,0
<b>HCO3 (mg/L)</b>	4,88	639,28	102,06	104,357	102,25	99,0
<b>NO3 (mg/L)</b>	0,0	208,0	15,311	29,439	192,27	100,0
<b>Fe (mg/L)</b>	0,0	7,1	0,383	0,855	223,05	100,0

Os teores de cálcio variam de 0,0 mg/L a 693,6 mg/L, com média de 60,6 mg/L, enquanto que o íon magnésio varia de 3,3 mg/L a 313,6 mg/L, com média de 42,2 mg/L. O íon bicarbonato variou de 4,8 mg/L a 639,3, com média de 102,0 mg/L. Esses resultados já sugerem que em caráter geral as águas não são influenciadas prioritariamente pelas rochas carbonáticas.

O sódio variou de 13,1 mg/L a 552,3 mg/l, com média de 99,3 mg/L, enquanto que o potássio variou de 4,23 mg/L a 141,9 mg/L, com média de 26,28 mg/L. Com relação ao ânion sulfato, o mesmo apresentou 0,0 a 375,2 mg/L, com média de 38,2 mg/L. O íon nitrato variou de 0,0 a 208,0 mg/L, com média de 15,3 mg/L. Este resultado já sugere que as águas estão afetadas por nitrato em algumas situações. O Ferro variou de 0,0 a 7,1 mg/L, com média de 0,38 mg/L, mostrando que existe um bom número de poços com águas com teor de nitrato elevado.



## **5.5 - Origem e mecanismos da salinização das águas do aquífero Açu**

Será avaliado nesta parte do trabalho o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do aquífero Açu, procurando diagnosticar sobre a origem e mecanismos da salinização das águas. Nestas condições, os fatores geo-estruturais, climáticos e hidrogeológicos propriamente ditos (notadamente no que diz respeito à direção e regime do fluxo subterrâneo), serão considerados como fundamentais.

### **5.5.1 - Correlação entre parâmetros hidroquímicos**

A Tabela 5,6 apresenta a matriz de coeficientes de correlação entre parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas do aquífero Açu que incluem condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, cátions principais e ânions principais.

A condutividade elétrica é, em geral, o parâmetro utilizado na análise da salinidade das águas, tanto pelas facilidades de medição como principalmente pela elevada correlação que o mesmo apresenta com os sólidos totais dissolvidos. Na área de estudo a correlação é perfeita (Tabela 5.6 e Tabela 5.7), atingindo praticamente 100%. Entre os íons, ânion cloreto e magnésio são os que apresentam maior correlação com a CE (ou STD), alcançando 96,8%. Com relação ao cátion sódio a correlação é inferior, apesar de também elevada, da ordem de 84,2%. Este comportamento é característico de águas que foram afetadas por processos de evaporação. O Cálcio apresenta uma correlação de apenas 73% com a CE, que apesar considerada alta, é bem inferior a correlação apresentada pelo magnésio, provavelmente devido a maior susceptibilidade cálcio em precipitar. O Potássio, sulfato e bicarbonato apresentam uma correlação baixa a media com a CE. No caso do potássio, isto ocorre devido a afinidade que este elemento apresenta com as argilas. O bicarbonato e o sulfato são relativamente pouco afetados pela salinização das águas.

**Tabela 5.6 - Correlação entre parâmetros hidroquímicos.**

	Coeficiente de Correlação								
	Cond	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
Cond	1,0	0,999	0,731	0,968	0,842	0,513	0,353	0,415	0,968
TDS		1,0	0,732	0,969	0,839	0,507	0,346	0,41	0,969
Ca			1,0	0,77	0,386	2,5 E-2	0,334	0,689	0,711
Mg				1,0	0,732	0,471	0,284	0,42	0,942
Na					1,0	0,552	0,446	0,278	0,8
K						1,0	-0,17	-0,12	0,525
HCO3							1,0	0,463	0,236
SO4								1,0	0,304
Cl									1,0

**Tabela 5.7 - Coeficiente de variação (r) e os respectivos graus de correlação**

Valor “r <sub>x,y</sub> ”	de Correlação
0	nula
0 -   0.3	fraca
0.3   -   0.6	média
0.6   -   0.9	forte
0.9   -   0.99	fortíssima
1	perfeita

### 5.5.2 - Modificações hidrogeoquímicas na direção do fluxo subterrâneo e ao longo do tempo

A condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas, de conformidade com observações efetuadas em Novembro de 2001 (Figura 6.2), diminui na direção de sul para norte, em linhas gerais, na mesma direção do fluxo subterrâneo. Nestas condições, no setor Oriental da área, os valores de CE variam de 3500 µS/cm para pouco menos de 500 µS/cm. No setor Ocidental (oeste do vale do Açú), a CE varia de 1000 µS/cm, na faixa sul da área para pouco menos de 500 µS/cm, na parte central e norte deste setor.

A condutividade elétrica das águas subterrâneas em Dezembro de 2005 (Figura 6.3), final da estação seca, apesar de mostrar um comportamento similar ao observado em Novembro de 2001, com relação ao fluxo subterrâneo, mostrou-se com valores

relativamente mais elevados, cujos valores mais baixos de CE no setor Oriental é da ordem de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e, no setor Ocidental, os valores mais baixos dominantes estão entre 500 e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A configuração das curvas de isovalores de condutividade elétrica, correspondentes Março de 2007 (Figura 6.4), plena estação chuvosa, indica um comportamento similar quanto a diminuição dos valores de CE na direção geral de sul para norte. Os valores das curvas, entretanto, mudam com relação aos seus valores absolutos, havendo uma nítida redução para valores da ordem de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no setor Oriental da área e valores de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no setor Ocidental.

Os sólidos totais dissolvidos, conforme já discutido apresentam uma perfeita correlação com a CE, portando, como era de se esperar, apresenta um comportamento similar a CE.

Os íons principais dissolvidos nas águas subterrâneas, tais como cloreto, sódio, cálcio e magnésio apresentam um comportamento similar com relação ao observado para a CE e para os STD, ou seja, de um modo geral há uma tendência a uma redução na concentração desses elementos de sul para norte na mesma direção do fluxo das águas subterrâneas (figuras 5.2 a 5.10).

Nestas condições, fica esclarecido que a salinidade das águas diminui no sentido de Sul para Norte na mesma direção do fluxo subterrâneo, que corresponde aos setores de maior transmissividade do aquífero. No caso de descontinuidades hidráulicas, ou seja, redução das espessuras do aquífero no sentido do fluxo subterrâneo há uma tendência a crescimento da salinidade, tal como se verifica em torno da Lagoa de Piató.

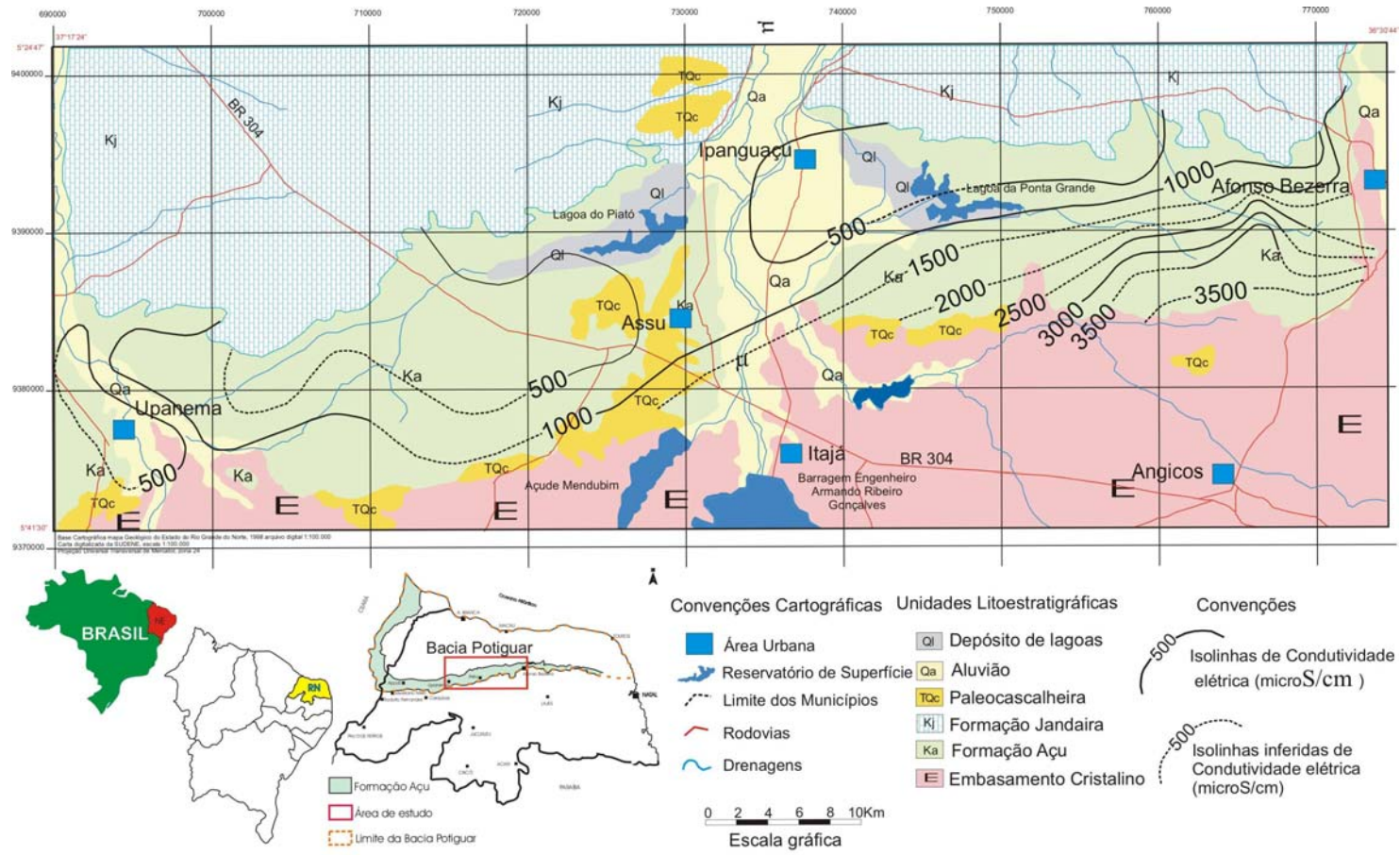


Figura 5.2 - Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Novembro 2001)

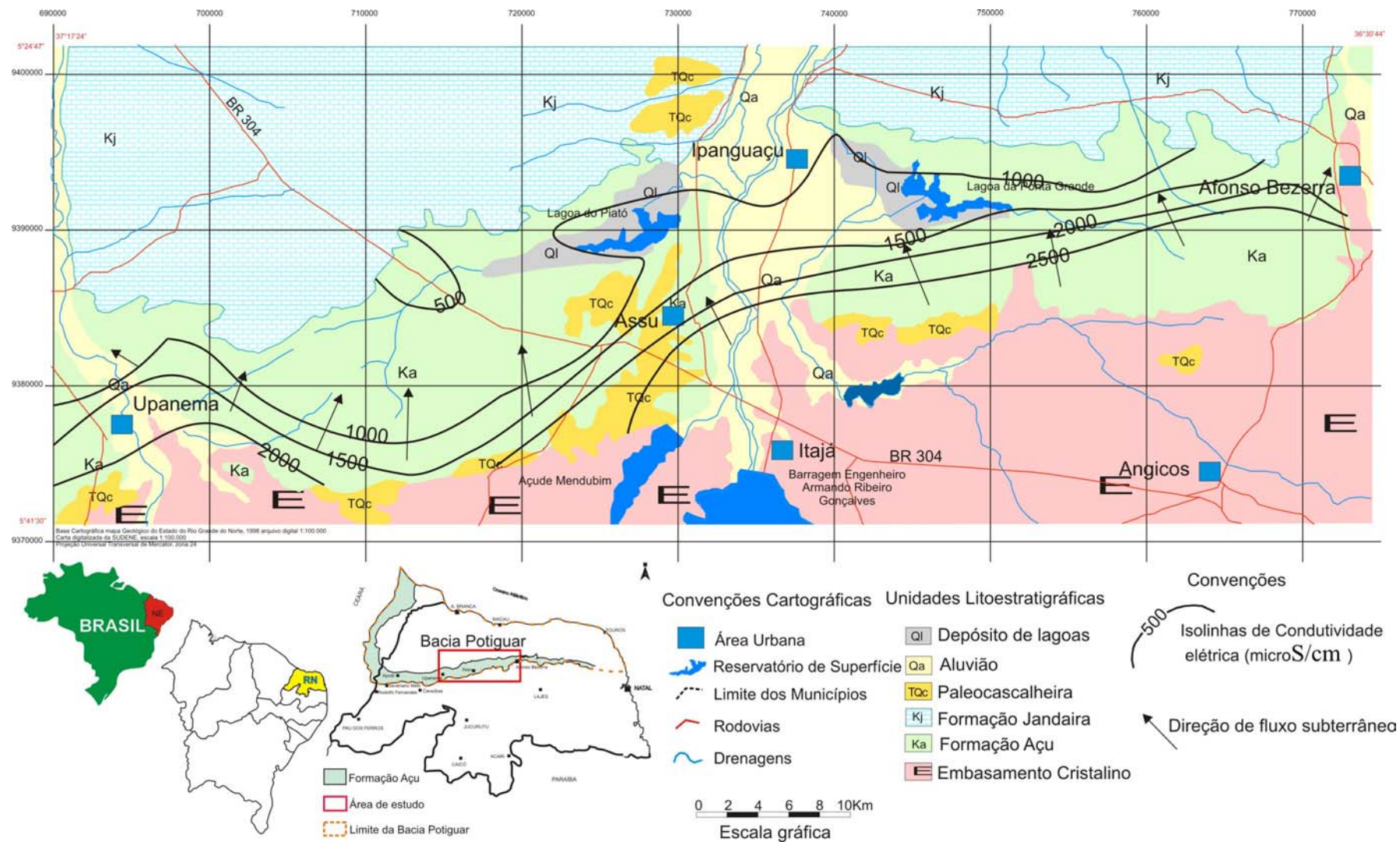


Figura 5.3 - Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Dezembro 2005)

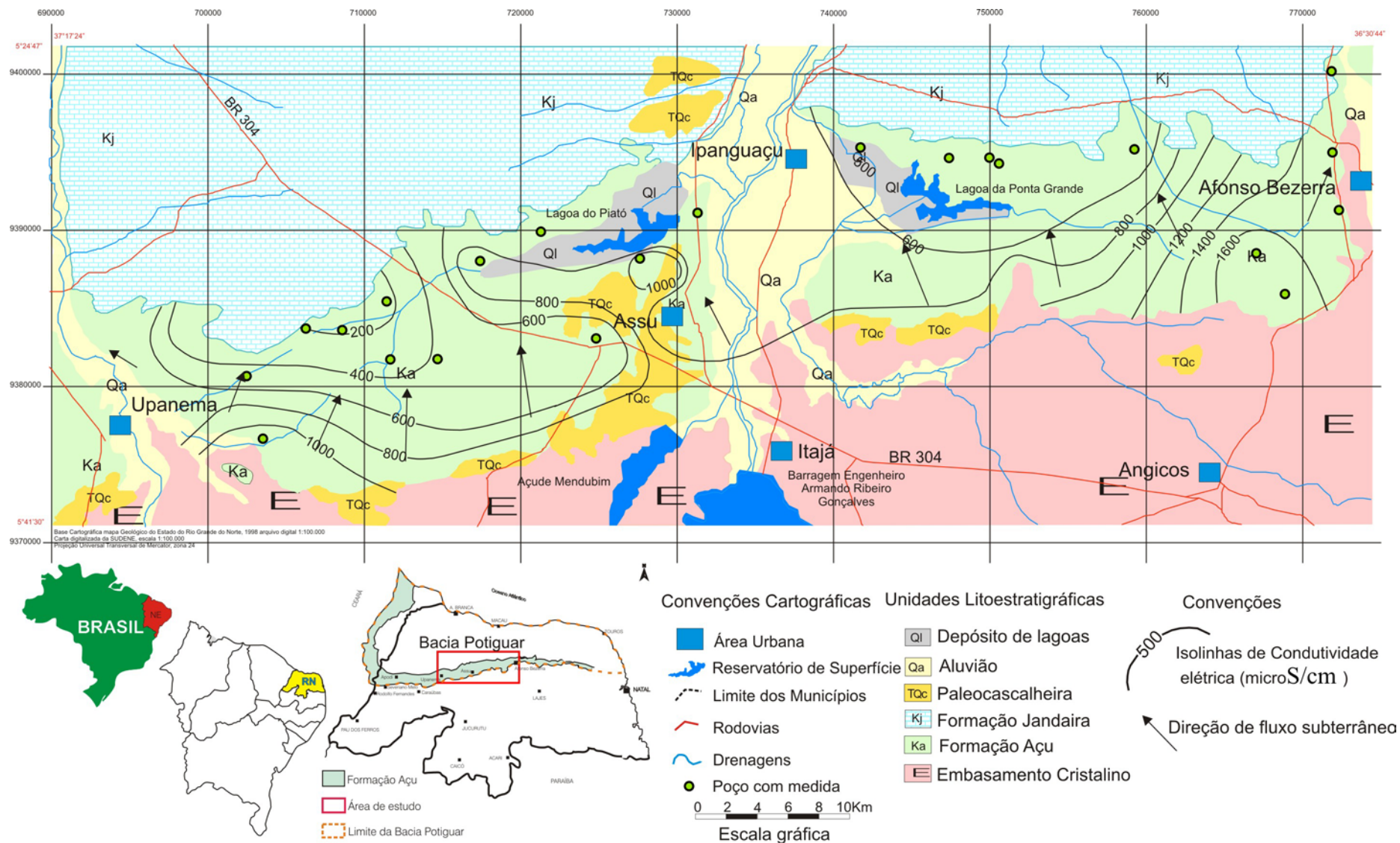
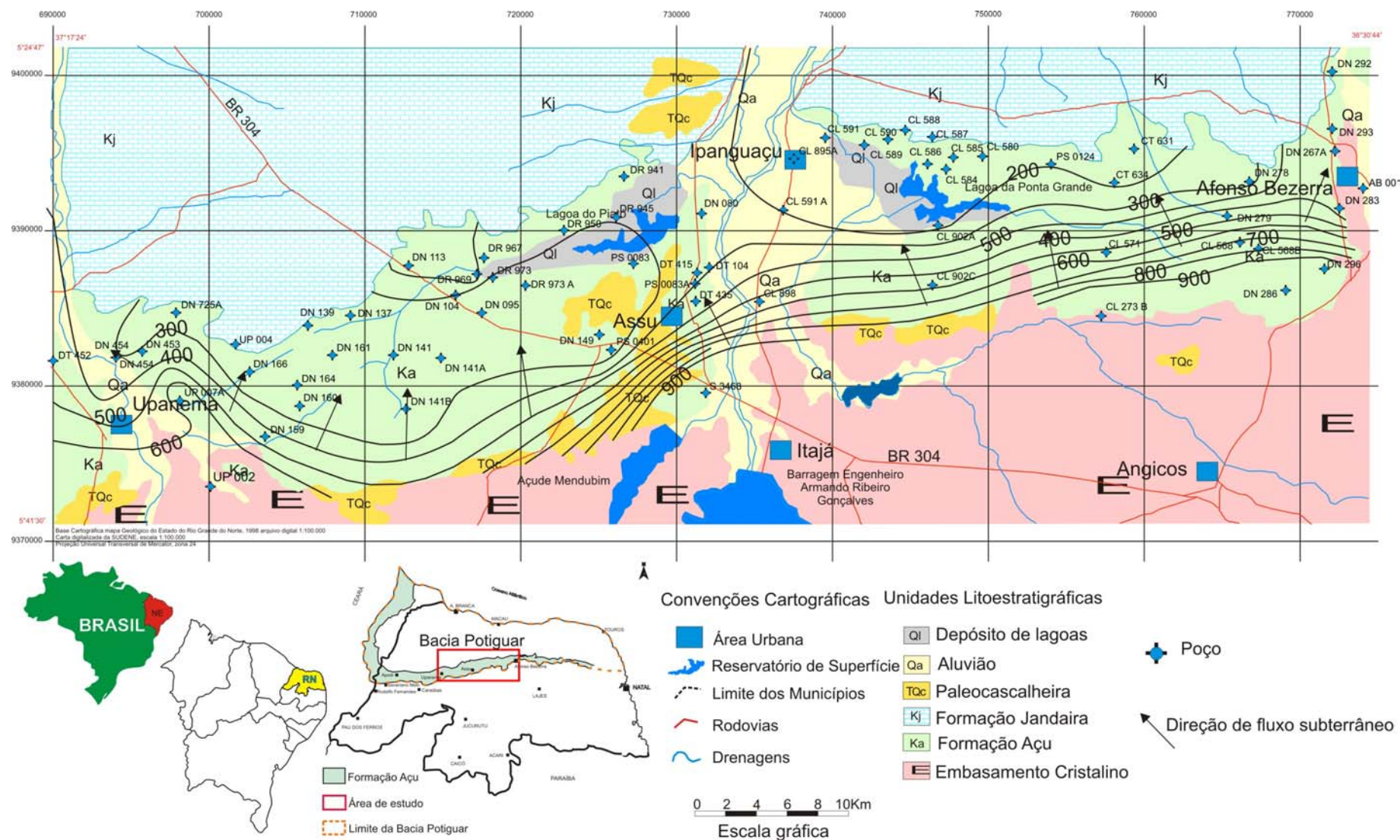


Figura 5.4 - Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Março 2007)



**Figura 5.5 - Sólidos Totais dissolvidos nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)**

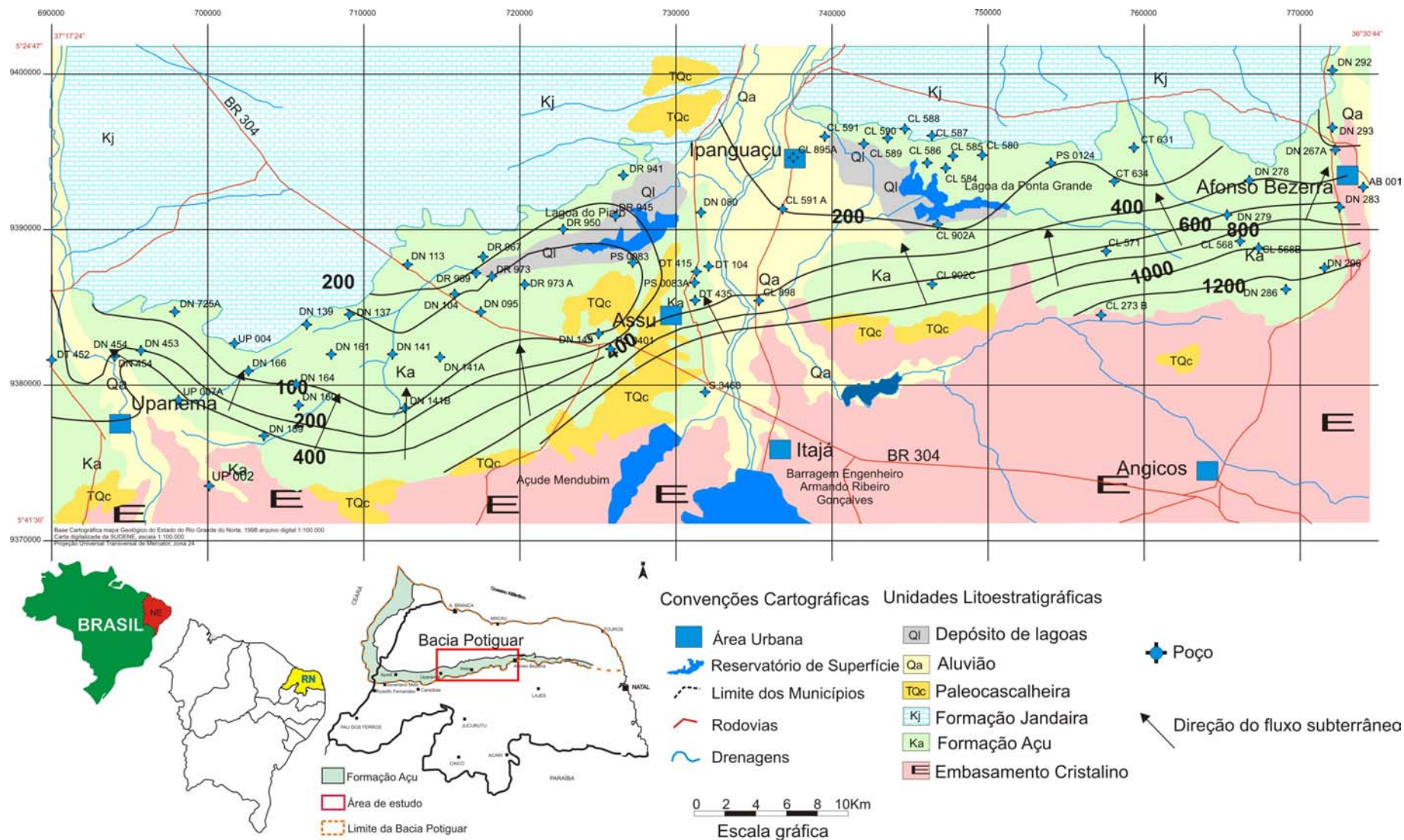


Figura 5.6 - Cloreto nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)



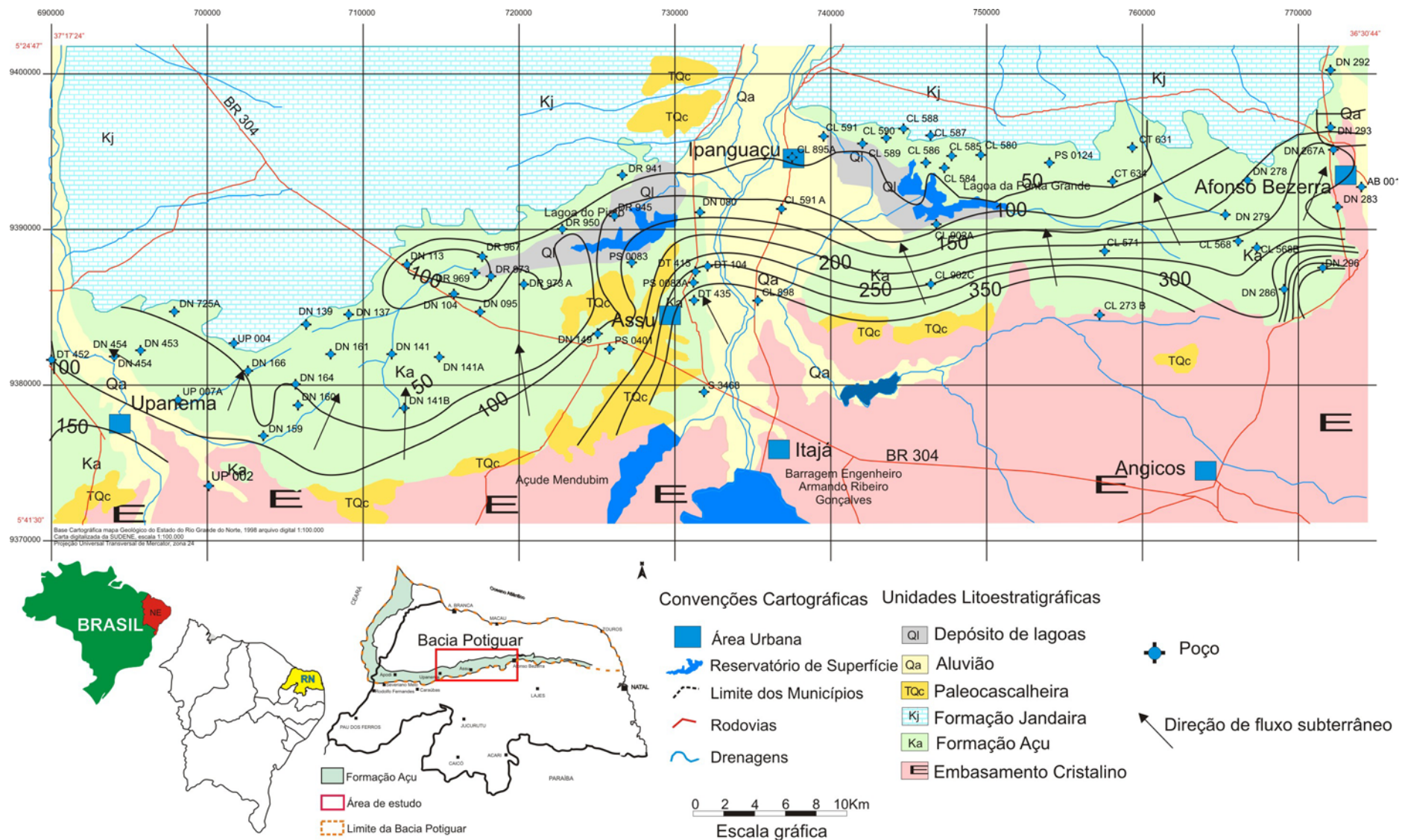


Figura 5.7 - Sódio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)

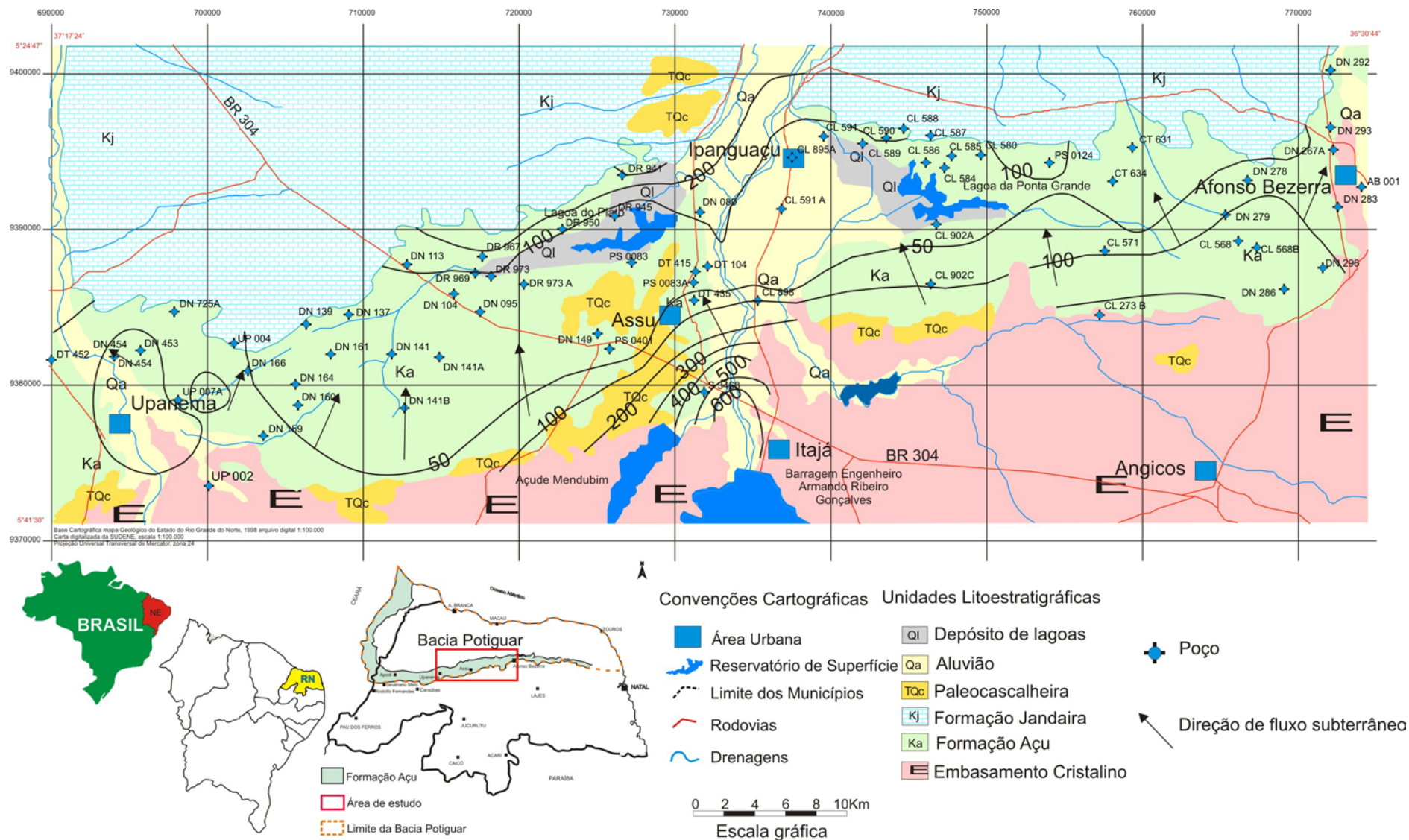


Figura 5.8 - Distribuição do Cálcio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)

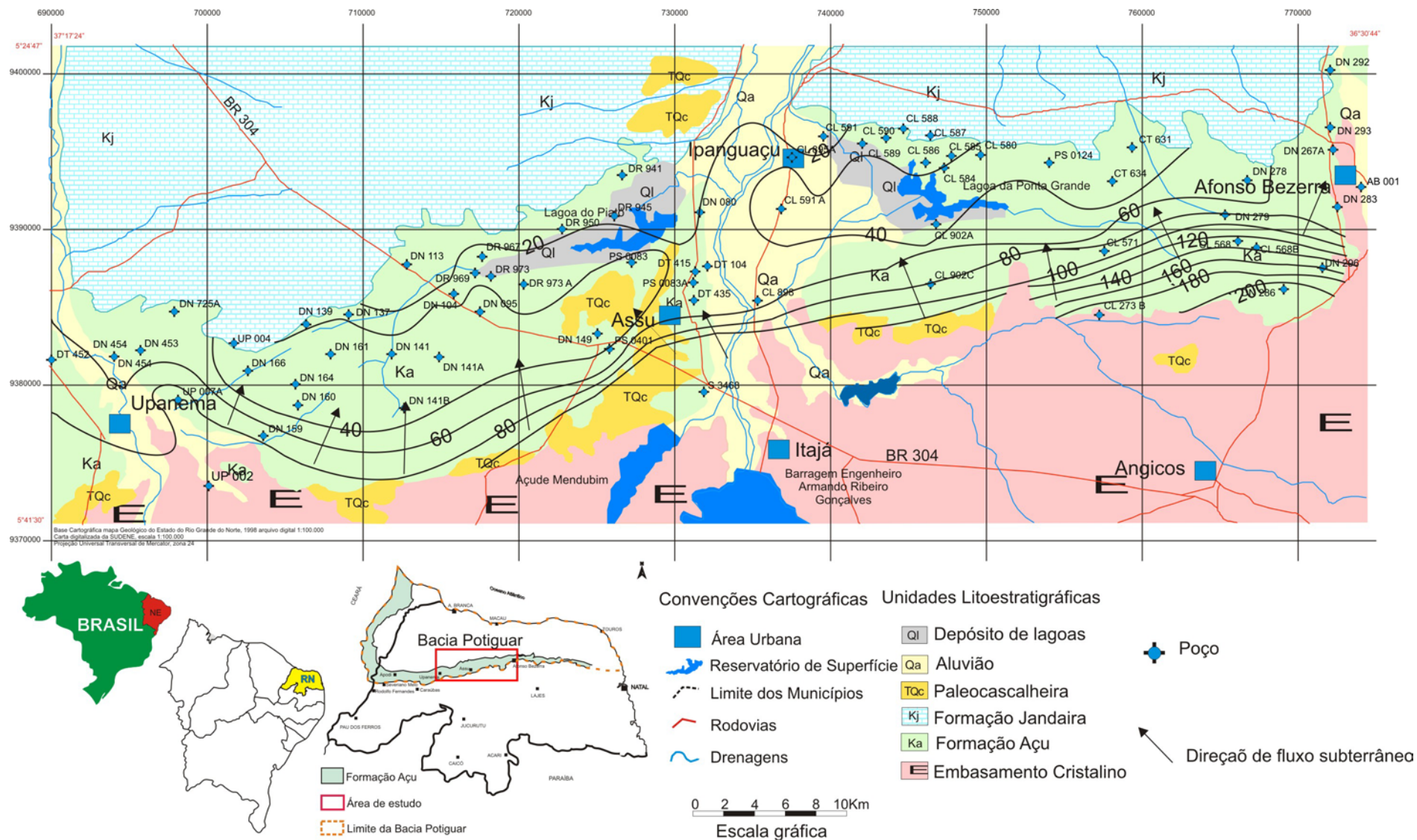


Figura 5.9 - Magnésio nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)

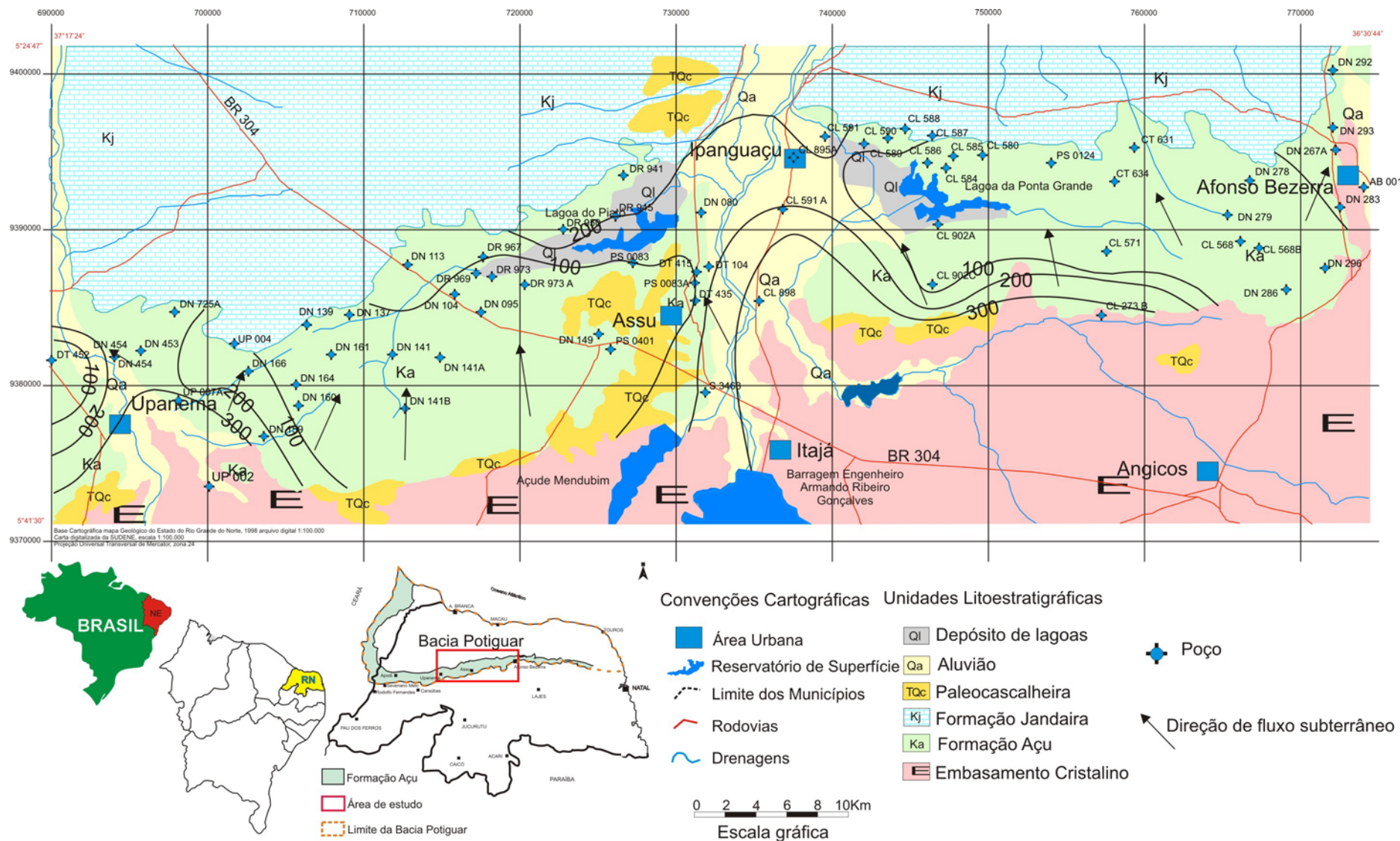


Figura 5.10 - Bicarbonato nas águas subterrâneas (Dezembro 2005)

### 5.5.3 - Fácies hidroquímicas e processos geoquímicos atuantes

O termo “fácies” é usado para descrever os corpos de água subterrânea, em um aquífero, que diferem em sua composição química. As “fácies” são uma função da litologia, dinâmica da solução, e padrão do fluxo do aquífero (Back 1960, 1966 e Edmunds, 1981).

Fácies hidroquímicas, podem ser classificadas com base nos íons dominantes e as mesmas podem ser definidas através do Diagrama de Piper (figuras 5.11 e 5.12).

Inicialmente foi feita uma representação neste diagrama de todos os resultados das análises químicas das amostras de água coletadas e analisadas (75 amostras) incluindo águas subterrâneas (dos aquíferos Jandaira, Açú e cristalino), águas superficiais e águas de chuva (Figura 5.11).

As águas de chuva são águas do tipo **Mg-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>**; as águas superficiais tendem a águas do tipo **Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl**; as águas subterrâneas do aquífero cristalino são águas **Na-Mg-Cl**; as águas do aquífero Jandaira são águas **Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl**; enquanto que as águas do aquífero Açú apresentam vários tipos de água que varia na direção do fluxo subterrâneo.

Para efeito de análise das modificações hidrogeoquímicas no sentido do fluxo subterrâneo, os resultados das análises químicas das 63 amostras de águas subterrâneas coletadas dos poços no aquífero Açú, Jandaira e cristalino são apresentadas em separado no diagrama de Piper (figura 5.12). Três fácies hidroquímicas principais foram identificadas: águas do tipo **Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup>**; águas do tipo **Ca<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>** and/ou águas do tipo **Mg<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>** e **Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**.

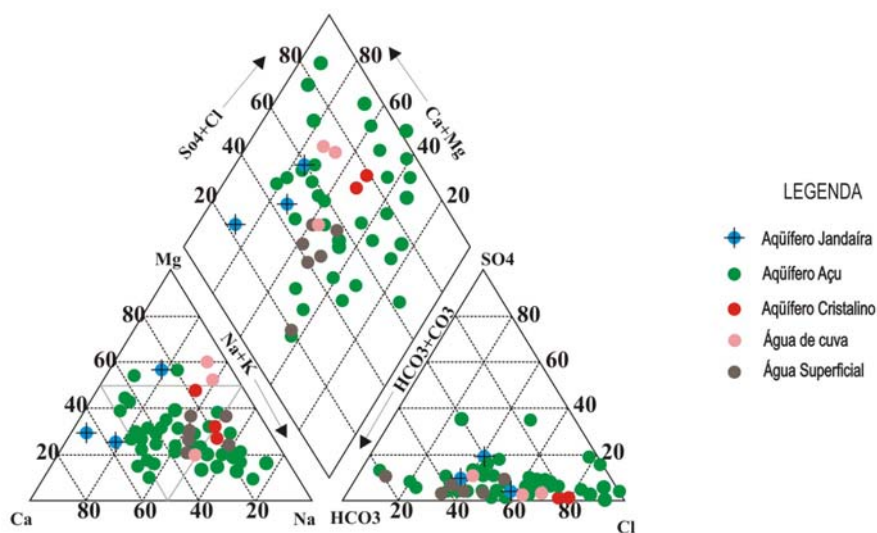


Figura 5.11 - Representação dos resultados das análises químicas das amostras de águas subterrâneas e superficiais em termos percentuais de cátions e ânions no Diagrama de Piper.

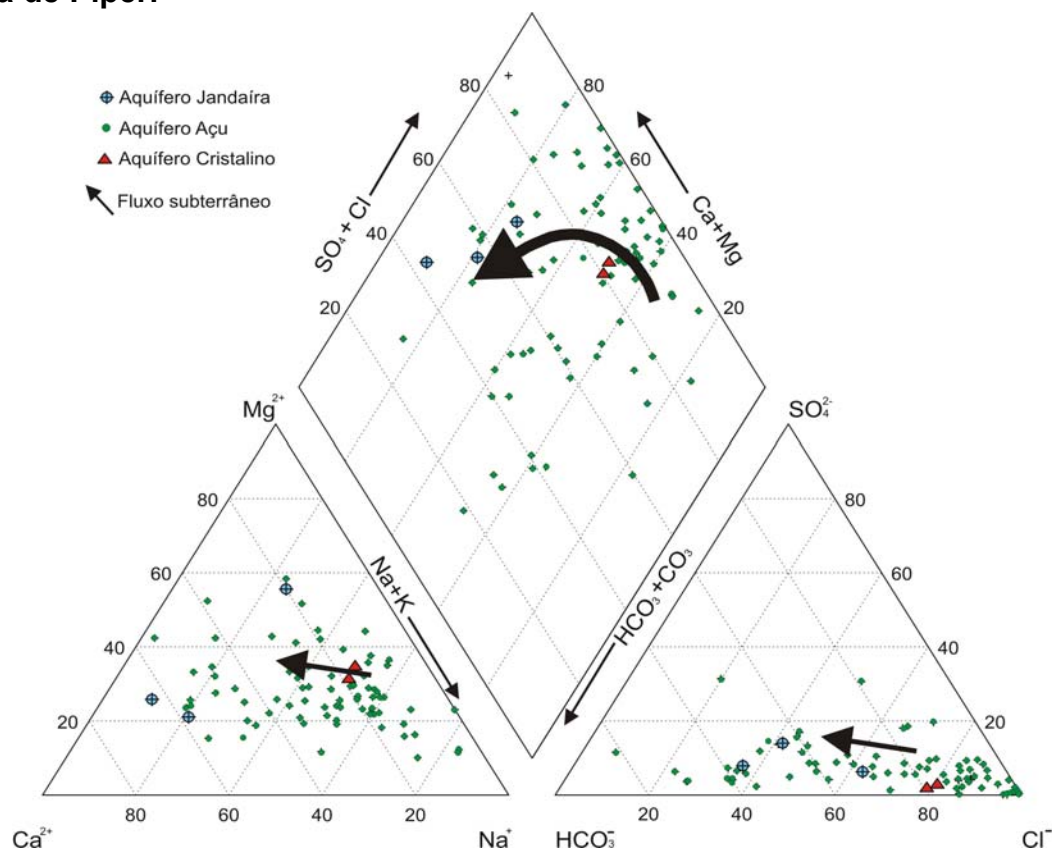


Figura 5.12 - Representação dos resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea no Diagrama de Piper, mostrando as modificações hidrogeoquímicas na direção do fluxo subterrâneo.

As águas do tipo **Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup>** mudam para águas do tipo **Ca<sup>2+</sup>-Mg<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>**, a medida que água subterrânea desloca-se de sul para norte na direção geral do fluxo subterrâneo e em seguida para águas **Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**, a medida que as águas subterrâneas se aproximam do Aquífero Jandaira (rochas carbonáticas).

Observando o triângulo dos cátions, pode ser verificado que na direção do fluxo subterrâneo, o cátion sódio tende a mudar sua posição em relação ao cátion Ca<sup>2+</sup> ou Mg<sup>2+</sup>. No triângulo dos ânions o íon Cl<sup>-</sup> tende a ser substituído pelo ânion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

A água do aquífero Jandaira é na maior parte dos casos do tipo **Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** e em poucas ocasiões **Mg<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**, cujos íons dominantes foram originados pela dissolução de rochas carbonáticas (calcários e dolomitos).

A água de poços no aquífero cristalino é do tipo **Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup>**. A presença do cloreto no aquífero cristalino é uma característica comum em regiões semiáridas, cuja salinização é elevada e associada a efeitos de sais cíclicos.

A Tabela 5.8 apresenta individualmente os tipos de água obtidos para cada amostra analisada e também os principais minerais dissolvidos. Neste caso verifica-se um maior domínio de sais de cloreto de sódio (halita) e de rochas carbonáticas (dolomita mais excessivamente).

**Tabela 5.8 - Tipos de água segundo os íons dominantes e Minerais dissolvidos**

Poço	CE μS/cm	Tipo de água	Minerais dissolvidos mmol/L			
			Halita	silvita	dolomita	anidrita
AB 001	1270	Na-Ca-Mg-Cl-HCO	6,3	0,12	0,99	0,54
CL 273 B	5470	Na-Mg-Cl	27,34	1,13	4,59	0,48
CL 568	296	Mg-Na-Ca-Cl	10,44	3,24	3,75	0,12
CL 571	2420	Na-Mg-Cl	10,87	2,92	0,59	0,22
CL 580	579	Ca-Mg-Ca-Cl	1,14	0,39	0,67	0,15
CL 584	255	Na-Mg-Ca-Cl-HCO	0,78	0,25	0,22	0,1
		Ca-Mg-Ca-Cl-				
CL 585	308	HCO3	0,87	0,29	0,26	0,12
		Ca-Mg-Ca-Cl-				
CL 586	298	HCO3	0,87	0,32	0,26	0,1
CL 587	844	Mg-Na-Cl-HCO3	1,5	0,36	0,4	0,21
CL 588	591	Ca-Mg-HCO3-Cl	0,81	0,23	0,99	0,24
CL 589	673	Ca-Mg-Cl-HCO3	1,22	0,24	0,75	0,26
CL 590	494	Na-Ca-Cl-HCO3	2,05	0,28	0,32	0,33
CL 591	803	Mg-Na-HCO3-SO4	1,38	0,28		1,32
CL 591 A	315	Na-Mg-HCO3-Cl	0,98	0,11	0,17	0,12
CL 895A	198.6	Na-Mg-HCO3-Cl	0,43	0,2	0,12	0,04
CL 898	2240	Na-Cl-HCO3	10,44	0,99		2,05
CL 902A	654	Na-Mg-Cl-HCO3	2,96	0,64	0,11	0,25
CL 902C	2400	Na-Mg-Cl	11,6	1,68	1,14	0,48
CT 631	415	Na-Cl	2,4	0,64		0,184
CT 634	457	Na-K-Cl	1,68	0,88	0,04	0,16
DN 080	1056	Na-Ca-Mg-Cl	5,1	0,2	1,69	0,14
DN 095	236	Na-K-Cl	0,82	0,54	0,098	0,004
DN 104	270	Na-Ca-Mg-Cl	1,22	0,46	0,29	0,05
DN 113	1385	Mg-Na-Ca-Cl-HCO	4,5	0,4	1,88	0,5
DN 137	374	Na-Ca-Mg-Cl	1,03	0,44	0,19	0,32
DN 139	285	Na-Ca-Cl-HCO3	1,02	0,42	0,139	0,053
DN 141	335	Na-Mg-Cl	1,25	0,53	0,11	0,11
DN 141A	479	Na-Cl	1,82	0,79	0,1	0,18
DN 141B	280	Na-Cl-HCO3	1,27	0,37	0,14	0,06
DN 149	355	Na-K-Cl	1,25	0,72	0,15	0,07
DN 159	1643	Mg-Ca-Cl-HCO3	0,97	0,99	1,34	0,7
DN 160	688	Na-Mg-Cl	2,73	0,88	0,09	0,29
DN 161	224	Na-K-Cl	1,02	0,47	0,04	0,05
DN 164	384	Na-Cl-HCO3	1,98	0,56		
DN 166	448	Na-Ca-HCO3-Cl	0,73	0,49	0,42	0,08
DN 267A	2850	Na-Mg-Ca-Cl	12,18	0,82	2,34	0,72
DN 278	1150	Na-Cl	6,6	1,23	0,27	0,36
DN 279	2320	Mg-Na-Cl	7,2	2,37	1,78	0,05
DN 283	1548	Na-Ca-Mg-Cl	6,52	1,19	1,22	0,31
DN 286	4700	Mg-Na-Cl	10,5	2,23	3,19	0,066
DN 292	3170	Ca-Mg-Cl	0,84	0,62	6,15	0,26
DN 293	2126	Na-Mg-Ca-Cl	8,1	0,31	2,25	0,7
DN 296	4670	Na-Mg-Cl	24,02	3,63	1,45	0,18
DN 453	751	Na-Ca-HCO3-Cl	2,77	0,49	0,76	0,54
DN 454	904	Na-Mg-Cl-HCO3	3,72	0,52		0,81
DN 568B	3800	Mg-Na-Cl	10,5	0,99	2,46	0,18
DN 725A	2180	Ca-Mg-Na-SO4	5,4	0,003	2,71	3,4
DN 726	1464	Ca-Mg-Na-HCO3-C	3,14	0,12	1,59	1,07
DR 941	2120	Ca-Mg-Cl-SO4	4,8	0,3	2,97	3,9
DR 945	797	Ca-Mg-Na-Cl-	2,07	0,44	1,11	0,45



			HCO <sub>3</sub>			
DR 950	895	Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>	1,39	0,38	1,28	0,55
DR 967	1092	Ca-Na-Cl	3,6	0,4	0,99	0,26
DR 969	1986	Ca-Na-Cl	6,9	0,79	1,78	0,29
DR 973	234	Na-K-Mg-Cl	0,76	0,54	0,1	0,04
DR 973 A	887	Na-Mg-K-Ca	2,98	0,5	0,44	0,09
DT 104	600	Na-Mg-Cl	3,48	0,66	0,193	0,05
DT 415	1506	Na-Mg-Cl	8,1	0,4	1,16	0,26
DT 418	1282	Na-Mg-Ca-Cl	5,1	0,16	0,99	0,23
DT 435	932	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	4,31	0,72	0,45	0,2
DT 453	430	Na-Ca-Cl	1,68	0,53	0,04	0,39
DT 454	631	Na-Mg-Cl	2,2	0,87	0,35	0,16
PS 0083	2140	Na-Mg-Cl	9,79	0,23	0,91	0,11
PS 0083A	497	Na-K-Mg-Cl	1,9	0,96	0,26	
PS 0401	593	Na-Cl	2,97	0,96	0,2	0,001
PS 0124	852	Ca-Na-Mg-Cl	2,1	0,46	0,85	0,26
S 3468	6490	Ca-Mg-Cl	14,24	0,25	12,9	3,53
UP 002	3820	Na-Mg-Cl	14,24	1,02	1,7	0,54
UP 004	362	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl	0,55	0,25	0,59	0,11
UP 007	2780	Na-Mg-Ca-Cl	10,25	0,4	3,36	0,51
UP 007A	956	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	3,31	0,15	0,55	0,31

Os resultados das análises químicas foram representados no Diagrama de Durov Expandido. Esse diagrama tem a distinta vantagem sobre o Diagrama de Piper porque ele fornece mais informações sobre os tipos hidroquímicos e sobre a evolução da qualidade das águas (Lloyd and Heathcote 1985; Petalas and Diamantis 1999; Hussein 2004).

No Diagrama de Durov Expandido oito diferentes campos foram identificados entre os 9 campos possíveis. A maioria das águas estão situadas nos campos 8 e 9, seguido pelos campos 5, 3, 7, 4, 2 and 1 (Figura 5.13). Os campos e os correspondentes tipos de água identificados são discutidos a seguir:

**Campo 9:** Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup> dominante. A água é em geral mais salina. As amostras de água foram coletadas no aquífero Açú na faixa Sul da área e no aquífero cristalino.

**Campo 8:** Cl<sup>-</sup> dominante e nenhum cátion dominante e indica que a água subterrânea pode estar relacionada a uma troca de íons reverso de águas Na<sup>+</sup>- Cl<sup>-</sup>. Neste contexto, se enquadra principalmente as águas coletadas em poços captando águas do aquífero Açú na parte central e norte da área.

**Campo 5:** Nenhum ânion ou cátion dominante, indica águas exibindo simples dissolução ou mistura. Esta situação foi observada na água coletada em poços penetrando o aquífero Açú.

**Campo 3:**  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+$  dominante, indicando provavelmente trocas de íons do aquífero Açú.

**Campo 7:**  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  dominante. A água pode resultar de trocas de íon reversa de águas  $\text{Na}^+-\text{Cl}^-$ .

**Campo 4:**  $\text{SO}_4^{2-}$  dominante e  $\text{Ca}^{2+}$  dominante, indicando simples mistura ou dissolução. Corresponde a águas do aquífero Açú com influência de águas do aquífero Jandaira.

**Campo 2:**  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$  dominante, com  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  também considerados importantes. Provavelmente a água está associada com dolomitos; Representa água de poço situado no setor norte da área de estudo, próximo as rochas carbonáticas ou associado com águas bombeadas dos aquíferos Jandaira e Açú, ou seja, que penetram os dois aquíferos. Somente um caso foi observado.

**Campo 1:**  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  dominante, representando uma amostra de um poço no aquífero Jandaira.

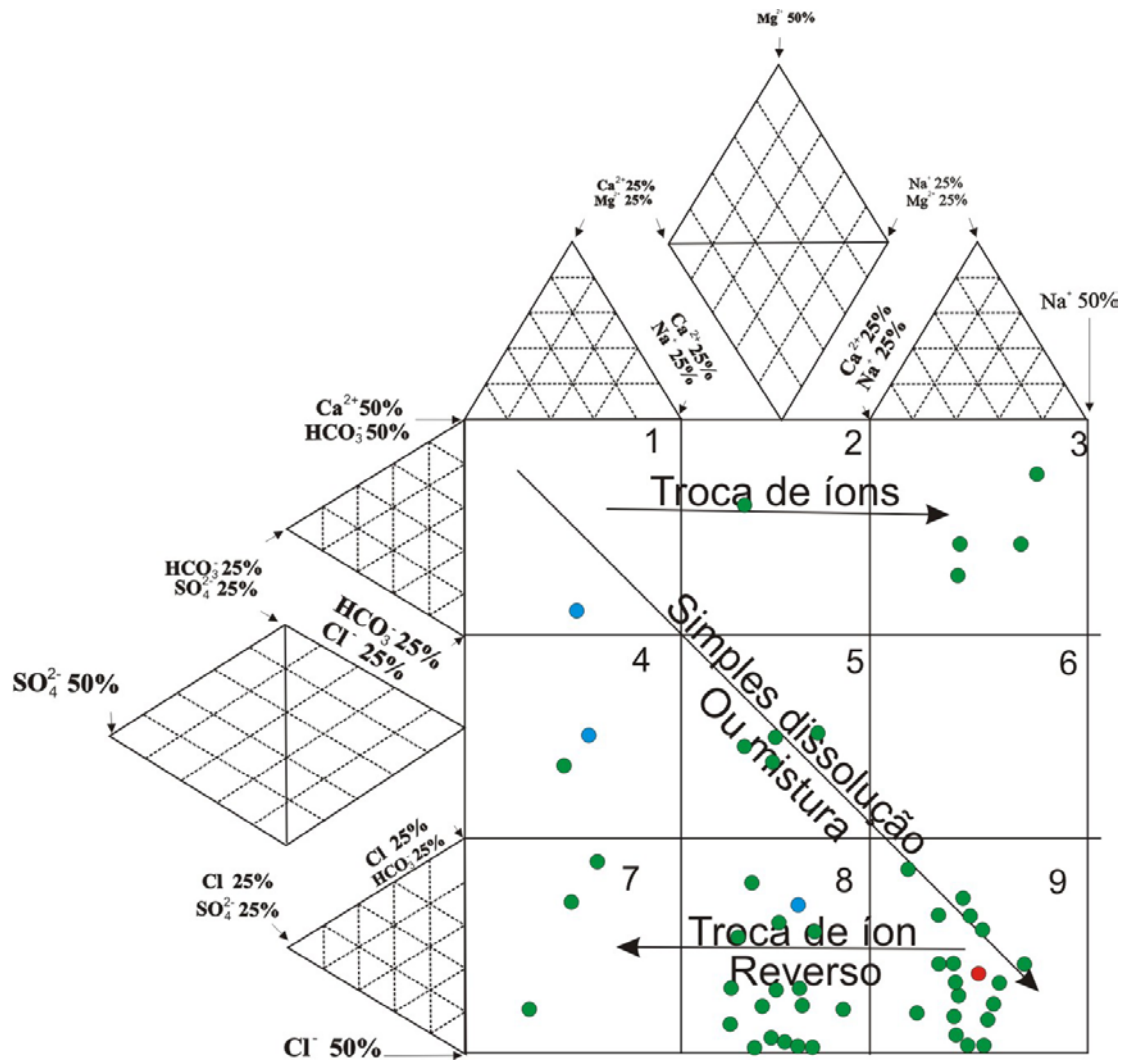


Figura 5.13 - Diagrama de Durov expandido

## **5.6 - Qualidade das águas**

### **5.6.1 - Qualidade das águas para o consumo humano**

De um modo geral uma água é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem perigo nenhum para sua saúde. Os órgãos sanitários apresentam padrões de potabilidade que variam em cada país, em função das peculiaridades locais. Percebe-se, entretanto, a tendência mundial de normalização das regulamentações existentes. Os guias atuais para determinar a potabilidade das águas baseiam-se em dois critérios distintos: primeiro, quanto a sua importância para a saúde, no que diz respeito aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos, e, o segundo, quanto aos aspectos organolépticos ou estéticos. No primeiro caso, intervêm os caracteres químicos e bacteriológicos das águas. A água é de boa potabilidade química quando as concentrações de seus elementos satisfazem as condições fixadas para eles e de boa portabilidade bacteriológica, quando as águas são isentas de bactérias patogênicas. O segundo caso refere-se ao sabor, cor, odor, e turbidez.

Como já citado anteriormente, os constituintes químicos determinados no presente trabalho correspondem aos seguintes elementos e parâmetros: cátions e ânions principais; os compostos da série nitrogenada (amônio, nitrito e nitrato) e o ferro, além da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza, alcalinidade e pH. Concentrações excessivas dos constituintes iônicos principais das águas, tais como sódio, sulfato, cloreto e magnésio, e, também, o ferro, não apresenta perigo direto para a saúde do consumidor, porém produzem efeitos organolépticos que podem impossibilitar o consumo das águas (Fenzl, 1988). Tabela 5.9 apresenta as normas para a qualidade de uma água potável de acordo com a Organização Mundial de Saúde e de acordo com a resolução do CONAMA nº 325 de março 2005, especificamente para os parâmetros químicos considerados neste trabalho.

A avaliação dos resultados das análises químicas das 63 amostras coletadas em poços penetrando o aquífero Açú permitem as seguintes considerações em termos da potabilidade dessas águas:

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

De conformidade com os resultados das análises (Tabela 5.2 e Tabela 5.10), 56% das amostras analisadas ficaram enquadradas na categoria de boas a excelentes, e, 44% apresentaram algum tipo de restrição. Na maioria dos casos, entretanto, as restrições são de ordem organoléptica.

A Organização Mundial de Saúde estabelece que as amostras de água submetidas análises bacteriológicas devem ser isentas de coliformes totais e fecais. Análises bacteriológica não foram efetuadas, convém ressaltar, entretanto, que as águas subterrâneas em geral são isentas de organismos patogênicos. Casos de contaminação desta natureza em geral estão associados contaminação no próprio poço de produção.

**Tabela 5.9 - Normas de potabilidade química (mg/L, quando não indicado)**

Características	OMS (Szikzay, 1993)		R. CONAMA 325 de Março 2005
	Permissível	Excessivo	Máximo permitido
PH (adm.)	7,0-8,5	6,5-9,2	6-9,5
STD	1000	1.500	500
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )			500
Cálcio	75	200	
Magnésio	125	125	
Ferro total	0,3	1	0,3
Sódio	200		200
Cloreto	250	600	250
Sulfato	200	400	250
Amoníaco	0,5	0,5	1,5
Nitrato	45	50	45

**Tabela 5.10 - Potabilidade das águas dos aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar: Trecho Upanema - Afonso Bezerra**

Amostra	pH*	STP mg/L	NH3	NO3	Ca	Mg	Na	Fe	SO4	Cl	Potabilidade
CL 585	6,6	146,0	0,2	6,1	23,7	6,3	20,0	0,4	12,0	55,6	Restrições
DN 104	6,1	130,0	0,1	13,8	13,9	7,2	28,0	0,4	5,3	83,4	Restrições
DN 141	5,9	297,8	0,0	0,0	87,9	27,1	28,9	0,2	10,5	75,0	Excelente
DN 282	6,6	1095,0*	0,3	19,4	318,2	119,4	34,3	0,3	20,8	890,7*	Restrições
UP 073A	6,6	1060,0*	0,3	32,6	317,4*	31,8	68,0	0,0*	35,2*	220,0*	Excelente
DR 945	6,5	383,0	0,1	13,9	68,5	27,0	47,6	0,0	43,0	165,9	Boa
DR 969	6,1	983,8	0,0	3,2	171,4	43,4	158,6	0,1	27,8	679,8*	Restrições
DN 653	5,8	748,8	0,0	0,2	27,1	48,2	186,2	0,1	25,2	416,9*	Restrições
DN 973	6,8	674,8	0,0	9,3	95,5	34,4	103,4	0,1	28,1	660,0*	Excelente
PS 0803	6,4	3075,0*	0,2	0,4	78,8	88,8	125,6	0,1	13,3	889,8*	Restrições
CF 889	6,2	267,8	0,0	13,4	48,4	16,4	26,3	0,0	14,9	103,8	Excelente
BN 149	6,0	139,8	0,0	5,9	20,4	8,7	28,8	0,3	30,8	89,0	Excelente
BN 196	5,4	198,0*	0,0	0,9	9,4	10,5	88,5	0,1	4,9	72,8*	Restrições
PS 0401	5,4	281,0	0,0	17,5	11,4	4,8	68,3	0,1	0,1	170,2	Boa
DN 453	7,3	384,8	0,0	0,8	53,2	19,3	78,1	0,4	518,4	314,0	Excelente
UP 635	6,7	459,8	0,0	25,1	38,7	12,3	100,0	0,2	18,9	226,0	Excelente
BR 250	7,0	423,8	0,2	15,3	72,4	45,3	94,0	0,3	58,8	128,8	Boa
BN 188	7,3	218,8	0,2	4,2	23,7	7,1	55,3	0,3*	8,4	21,9	Restrições
BR 980	6,3	638,8	0,2	28,9	65,3	26,2	645,8	0,3	58,9	362,0*	Restrições
BR 987	6,6	521,8	0,0	0,9	146,9	34,1	28,8	0,3	24,9	329,9*	Restrições
DN 735A	6,2	1980,0	0,2	41,8	244,8	101,2	324,1	0,5*	326,6*	0,18,0	Restrições
DN 286	6,3	3430,0*	0,4	28,0	65,2	183,0	52,4	0,0	25,2	1699,5*	Restrições
CL 803B	6,9	2872,0*	0,0	0,0	204,0	207,3	228,6	0,0*	42,7	1550,8*	Restrições
CL 590A	6,3	100,8	0,1	30,6	26,4	9,2	43,8	0,3	31,8	88,2	Excelente
CL 602C	5,2	2994,0*	0,3	19,4	63,3	73,5	286,7*	0,3*	26,8	890,1*	Restrições
S 3468	6,8	3450,0*	0,3	121,3	693,6*	313,6*	327,5	0,1	339,2	2244,2*	Restrições
DN 159	7,4	809,0	0,1	6,6	81,6	67,5	22,3	0,1	67,1	529,8*	Restrições
CL 898	7,8	1104,0	0,1	13,2	24,3	33,7	457,1	0,1	197,4	399,9*	Restrições
CL 571	5,7	1236,0	0,3	19,7	32,6	81,9	250,0	0,2	21,1	719,8	Restrições
CL 902A	6,3	314,0	0,0	2,7	14,7	17,4	74,3	0,1	24,4	126,0	Boa
DN 139	6,4	135,0	0,2	5,5	16,3	3,4	29,3	0,4	5,1	50,6	Excelente
UP 007A	6,8	461,0	0,2	28,8	34,7	21,2	140,0	0,4	30,1	121,1	Boa
DN 286	5,5	2503,0*	0,7	19,7	130,6	221,7	241,4	0,4	6,3	1325,7*	Restrições
DN 283	6,5	762,0	0,1	7,9	61,2	36,2	150,0	0,1	29,7	421,9*	Restrições
C 568B	5,8	1940,0*	0,4	13,6	106,1	139,8	241,4	0,2	17,6	990,7*	Restrições
DN141A	5,8	414,0	0,1	17,2	11,4	8,2	41,9	0,3	17,5	114,0	Boa
CL 568	6,1	1800,0*	0,7*	104,9*	155,0	154,2	240,0	0,6	11,1	1121,8*	Restrições
CL 584	6,6	124,0	0,2	3,9	13,1	8,7	17,9	0,2	9,6	49,6	Excelente
CL 586	6,6	140,0	0,0	5,1	18,8	6,3	20,0	0,3	9,9	60,6	Excelente
DN 141B	6,7	133,0	0,2	9,7	8,2	5,8	29,3	0,3	6,2	59,6	Excelente
DN 267A	6,2	1437,0*	0,5	4,3	122,4	89,2	280,0	0,4	69,0	849,8*	Restrições
DN 278	6,0	561,0	0,2	0,5	25,3	22,7	151,7	0,3	34,4	315,9*	Restrições
DN 293	6,7	1070,0*	0,4	1,9	118,3	81,9	186,2	0,4	67,5	620,4*	Restrições
PS 0124	6,5	410,0	0,2	19,8	60,4	20,7	48,3	0,4	25,3	196,0	Boa

## **5.6.2 - Qualidade das águas para irrigação**

A qualidade das águas do aquífero Açú na área de estudo foi avaliada sob os três aspectos fundamentais quanto ao uso na irrigação: salinidade (C), sodicidade (S) e toxicidade (T) de íons. O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável do solo (PST), com danos nas suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade, diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico.

### **5.6.2.1 - Classes de água quanto ao risco de salinidade**

O excesso de sais na zona radicular afeta consideravelmente o desenvolvimento das culturas, com diminuição na taxa de respiração e crescimento. A excessiva salinidade reduz o desenvolvimento devido ao aumento de energia que precisa ser despendida para absorver água do solo e ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse.

A condutividade elétrica é o parâmetro empregado para expressar a concentração de sais solúveis na água tendo em vista a elevada correlação que existe com os sólidos totais dissolvidos.

Numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, conforme apresentado a seguir:

- C<sub>1</sub> - Água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade;
- C<sub>2</sub> - Água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos permitem o cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade;

- C<sub>3</sub> - Água de alta salinidade. Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido;
- C<sub>4</sub> - Água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Em sua forma mais moderna, a classificação das águas quanto ao risco de salinidade foi estabelecida segundo as proposições da UCCC - University of California Committee of Consultants que estabeleceram limites diferenciados conforme pode ser visto na Tabela 6.11.

A salinidade afeta tanto o crescimento das plantas como a produção e qualidade do produto, se manifestando principalmente na redução da população e desenvolvimento das culturas, com sintoma similar ao causado por estresse hídrico.



**Tabela 5.11 - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.**

Classe de Salinidade	Richards (1954)	UCCC <sup>1</sup>	Risco de Salinidade	Ayers & Westcot (1991)	Problema de Salinidade
	Faixas de CE <sub>a</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )			Faixa de CE <sub>a</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )	
C <sub>1</sub>	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,7	nenhum
C <sub>2</sub>	0,25 - 0,75	0,75 - 1,50	Médio	0,7 - 3,0	moderado
C <sub>3</sub>	0,75 - 2,25	1,50 - 3,00	Alto	> 3,0	severo
C <sub>4</sub>	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

<sup>1</sup> UCCC - University of California Committee of Consultantes (Fonte: Frenkel, 1984 ; Pizarro, 1985)..

### 5.6.2.2 - Classes de água quanto ao risco de sodicidade

Está comprovado que valores altos de percentual de sódio trocável (PST), especialmente sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas com redução na condutividade hidráulica do solo. A razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação é o parâmetro de melhor correlação com a PST do solo.

Ultimamente, o risco de sodicidade tem sido avaliado com mais segurança relacionando a RAS corrigida (RAS<sup>o</sup>) com a salinidade da água, estimada pela equação 5.1:

$$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca^o + Mg)}{2}}} \quad (5.1)$$

onde,

Na - Concentração de sódio na água, em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>;

Ca<sup>o</sup> - Concentração de cálcio na água, corrigida pela relação HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e CE<sub>a</sub> (dS.m<sup>-1</sup>), de acordo com a Tabela 6.11;

Mg - Concentração de Magnésio na água, em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

A RAS<sup>o</sup>, conforme procedimento sugerido por Suarez (1981), facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos.

A classificação das águas de irrigação com respeito a RAS se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade.

A recomendação de Ayers & Westcot (1991), quanto ao perigo de sódio, restringe-se a três classes de sodicidade, obtidas relacionando-se a RAS<sup>o</sup> com a salinidade da água de irrigação (Tabela 6.12).

**Tabela 5.12 - Riscos de problemas de infiltração no solo devido sodicidade da água.**

RAS <sup>o</sup>	Classes de sodicidade <sup>1</sup>		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
	Sem Problemas	Problemas Crescentes	Problemas Severos
(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>½</sup>	CE <sub>a</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )		
0-3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3-6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6-12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12-20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20-40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1991). <sup>1</sup> Simbologia (S) não se refere a classificação de Richards (1954); foi inserida para resumir a descrição da classe.

**Tabela 5.13 - Concentração de cálcio (Ca) contida na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$  e  $\text{CE}^{1,2,3}$**

Valor de $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ da água	Salinidade da Água Aplicada (CE) - $\text{dS.m}^{-1}$											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	
8,0												
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,06	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,0	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,0	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

<sup>1</sup>Fonte: Suarez (1981); <sup>2</sup>Supõe-se: a) Cálcio do solo proveniente do calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) ou silicatos; b) Não existe precipitação do Magnésio; c) Pressão parcial de  $\text{CO}_2$  perto da superfície do solo ( $p\text{CO}_2$ ) é  $7 \cdot 10^{-2}$  kPa; <sup>3</sup> $\text{Ca}^\circ$  e  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$  são expressos em  $\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$ , e a  $\text{CE}_a$ , em  $\text{dS.m}^{-1}$ .

### 5.6.2.3 - Classes de água quanto ao risco de toxicidade

Os íons cloreto, sódio e boro, quando presentes em concentrações elevadas na água, podem causar danos as culturas reduzindo a produção. A magnitude do dano depende, além da concentração do íon, do tempo de exposição, da sensibilidade das plantas, do uso da água pelas culturas, do tipo de irrigação, etc. Em irrigação por aspersão e sob condições de alta evaporação o problema tende a se acentuar. As culturas arbóreas e plantas lenhosas em geral são sensíveis ao sódio e cloreto.

Foram definidas três classes de risco quanto a toxicidade das plantas designadas de T1, T2 e T3, os quais se acham definidos na Tabela 5.17.

**Tabela 5.14 - Concentrações de íons em água e riscos de toxicidade às plantas.**

Íon	Classes de toxicidade da água <sup>1</sup>		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
	Nenhum problema	Problema moderado	Problema severo
Sódio ou Cloreto (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ):			
- Irrigação por superfície	< 3	3 - 9	> 9
- Irrigação por aspersão	< 3	> 3	
Boro (mg L <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 - 3,0	>3,0

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1991). <sup>1</sup> Simbologia (T) não contida nos artigos originais; inserida neste item para resumir descrição da classe.

### 5.6.2.4 - Classificação das águas do aquífero Açú para irrigação

De conformidade com os resultados das análises químicas e os correspondentes limites de classificação, as classes de águas do aquífero Açú para irrigação na Borda Sul da Bacia Potiguar no trecho Apodi-Afonso Bezerra ficaram assim definidas (Tabela 5.14 e Figura 5.14):

As águas em sua maioria (40%) pertence a classe C1S2T1, ou seja são águas de baixa salinidade, sodicidade média e baixo risco de toxicidade. Podem ser usadas em qualquer tipo de cultura, porém a sua utilização em solos com algum problema de salinidade pode apresentar risco médio de sódio trocável. Este tipo de água ocorre predominantemente na faixa norte da área contígua aos calcários entre Afonso Bezerra e Upanema, se estendendo para a parte central no setor Ocidental da área. Nesta

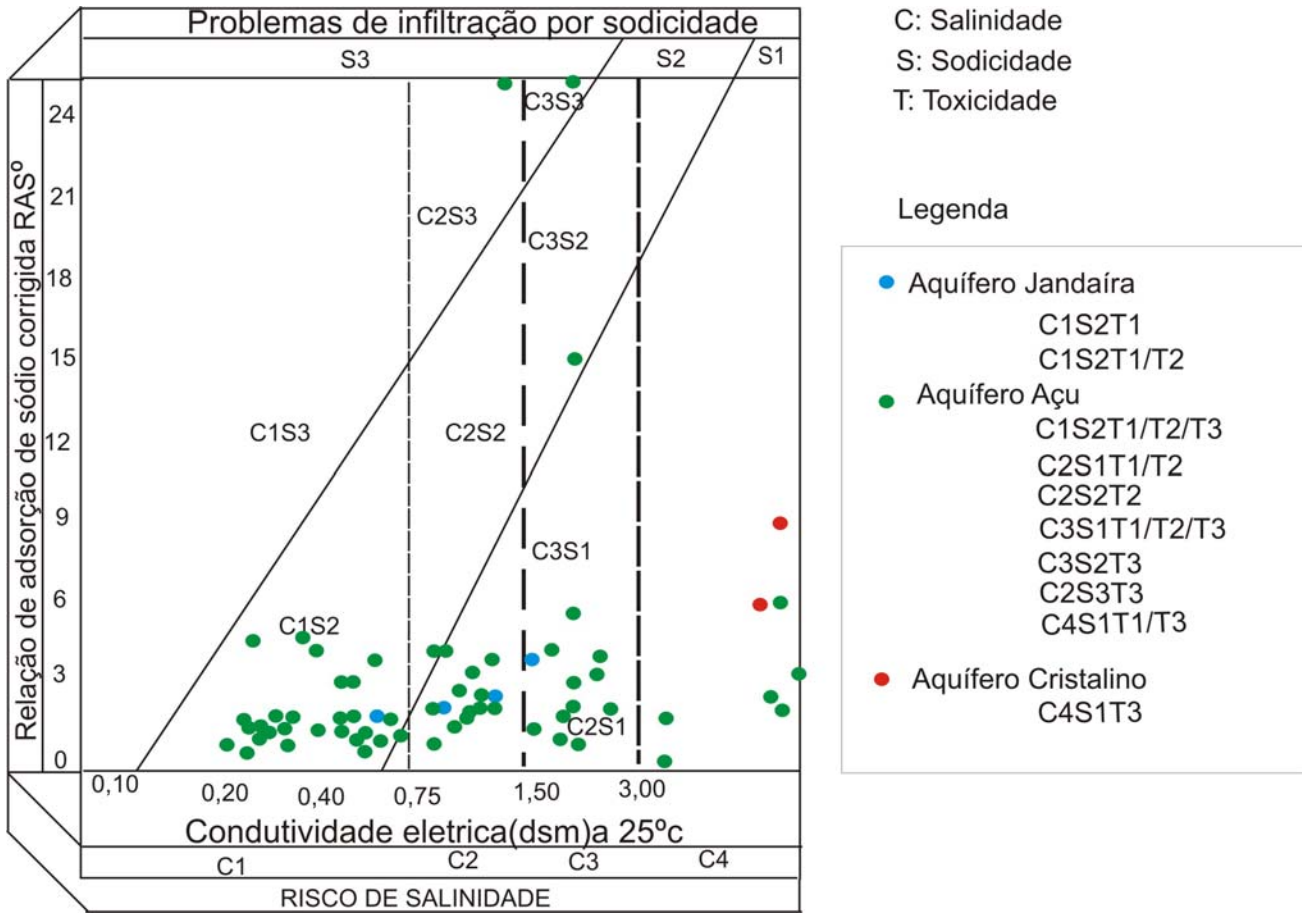
categoria estão também incluídas as águas dos poços que captam águas tanto do aquífero Açú como do aquífero Jandaira.

Águas do tipo C2S1T2 e C2S1T1 foram identificadas em cerca de 34% das amostras analisadas. São águas de salinidade média, sem risco de troca de sódio e toxicidade baixa a média. São recomendadas para solos arenosos, e o desenvolvimento de culturas com resistência média aos sais, porém não apresentam risco de sódio trocável. Essas águas estão situadas predominantemente na porção faixa central da área que se estende de Upanema a Afonso Bezerra. Água do tipo C2S1T1 foi identificado em um poço penetrando aos aquíferos Açú e Jandaira.

O restante das amostras do aquífero Açú analisadas (36%) pertence a diferentes classes que incluem: C1S1T1; C1S2T2; C1S3T1; C2S1T3; C2S2T2; C2S3T3; C3S1T1 e C3S1T3. Foi possível identificar que as maiores restrições quanto ao uso da água na irrigação do aquífero Açú correspondem as amostras provenientes da faixa sul da área, notadamente na região de Afonso Bezerra, cujas águas sempre apresentam restrições com relação a pelo menos um dos parâmetros considerados para efeito de classificação.

As águas provenientes do aquífero cristalino, de conformidade com a amostragem realizada pertencem a classe C3S1T3, ou seja, são águas de elevada salinidade e alto risco de toxicidade, apresentando portanto sérias limitações ao uso na irrigação, apesar de que o risco de sódio trocável seja baixo.

A Figura 5.14 permite uma visualização gráfica das classes de água para a irrigação segundo os aspectos de salinidade e sodicidade. Também, na legenda está indicado a classe de água segundo a toxicidade.



**Figura 5.14 - Classificação das águas para irrigação**

**Tabela 5.15 - Classificação das águas do aquífero Açú para irrigação**

Nº do poço	pH	HCO3	Ca	Mg	Na	B	Cl	HCO3/Ca	Ca°	RAS°	CE	Classe de água
		mmol <sub>c</sub> /l	mmol <sub>c</sub> /l	mmol <sub>c</sub> /l	mmol <sub>c</sub> /l	mg/l	mmol/l	mmol <sub>c</sub> /l	mmol <sub>c</sub> /l		dS/m	
<b>Aquífero Jandaira/ Açú</b>												
CL 587	6,65	2,12	1,22	3,45	1,50	0,28	4,24	1,74	1,37	0,97	0,844	C2S1T1
CL 588	6,82	3,32	4,9	2,01	0,81	0,00	2,13	0,68	2,17	0,56	0,591	C1S2T1
DN 726	6,84	6,8	8,77	3,21	3,13	0,43	6,34	0,78	0,05	2,45	1,464	C2S1T2
<b>Aquífero Açú</b>												
AB 001	6,70	2,64	1,53	1,49	6,29	0,03	8,81	1,73	1,05	5,59	1,270	C2S2T2
CL 568	6,11	0,52	3,88	6,35	10,43	0,54	31,60	0,13	5,45	4,30	3,530	C3S1T3
CL 571	5,72	0,08	0,82	3,37	10,87	0,17	20,28	0,10	8,12	4,53	2,420	C2S1T3
CL 580	6,21	0,76	1,21	0,67	1,14	0,16	4,31	0,63	2,05	0,98	0,579	C1S2T1
CL 584	6,63	0,76	0,33	0,36	0,78	0,09	1,40	2,33	0,80	1,03	0,255	C1S2T1
CL 585	6,64	1,00	0,59	0,26	0,87	0,06	1,57	1,69	0,95	1,12	0,308	C1S2T1
CL 586	6,55	0,76	0,47	0,26	0,87	0,01	1,71	1,62	1,02	1,09	0,298	C1S2T1
CL 589	6,47	2,52	1,84	0,75	1,22	0,08	3,02	1,37	1,21	1,23	0,673	C1S2T1
CL 590	6,33	1,92	0,65	0,50	2,32	0,00	2,29	2,94	0,72	2,97	0,494	C1S2T1
CL 591	7,07	4,08	0,73	2,30	1,82	0,12	1,63	5,56	0,50	1,54	0,803	C2S1T1
CL 591 A	6,66	1,92	0,29	0,38	1,90	0,11	1,07	6,73	0,41	3,04	0,315	C1S3T1
CL 895A	6,68	1,64	0,16	0,32	1,28	0,00	0,61	10,06	0,48	2,02	0,199	C1S1T1
CL 898	7,78	10,48	0,61	1,39	19,88	0,16	11,26	17,27	0,25	21,96	2,240	C2S3T3
CL 902A	6,30	1,92	0,37	0,71	3,23	0,16	3,55	5,23	0,51	4,13	0,654	C1S2T2
CL 902C	7,18	2,12	1,63	3,02	11,59	0,00	18,87	1,30	1,45	7,75	2,400	C2S1T3
CT 631	6,21	0,60	0,08	0,22	2,97	0,06	2,96	7,36	0,40	5,34	0,415	C1S2T1
CT 634	5,20	0,16	0,20	0,38	1,68	0,17	3,32	0,78	1,71	1,65	0,457	C1S2T1
DN 080	6,67	1,44	1,84	1,79	5,10	0,15	10,42	0,78	1,85	3,78	1,056	C2S1T2
DN 095	5,64	0,28	0,10	0,20	0,82	0,04	1,80	2,75	0,71	1,21	0,236	C1S2T1
DN 104	6,12	0,24	0,35	0,30	1,22	0,03	2,35	0,69	1,83	1,18	0,270	C1S2T1
DN 113	6,81	4,28	2,39	3,47	4,50	0,24	11,26	1,79	1,08	2,98	1,385	C2S1T2
DN 137	6,02	0,52	0,51	0,36	1,03	1,00	2,25	1,02	1,43	1,09	0,374	C1S2T1

DN 139	6,44	1,00	0,41	0,14	1,28	0,15	1,43	2,45	0,78	1,88	0,285	C1S2T1
DN 141	5,90	0,52	0,22	0,36	1,25	0,07	2,11	2,32	0,82	1,63	0,335	C1S2T1
DN 141A	5,78	0,28	0,29	0,34	1,82	0,00	3,21	0,98	1,46	1,92	0,479	C1S2T1
DN 141B	6,65	0,76	0,20	0,24	1,28	0,17	1,68	3,73	0,60	1,97	0,280	C1S2T1
DN 149	5,41	0,16	0,22	0,30	1,25	0,16	2,87	0,71	1,83	1,21	0,355	C1S2T1
DN 159	7,42	3,32	2,04	2,78	0,97	0,08	14,92	1,63	1,20	0,69	1,643	C2S1T1
DN 160	6,26	0,80	0,39	0,83	2,73	0,26	4,53	2,06	0,92	2,92	0,688	C1S2T1
DN 161	5,91	0,40	0,10	0,14	1,22	0,18	1,46	3,92	0,58	2,03	0,224	C1S2T1
DN 164	7,26	1,00	0,18	0,30	1,99	0,10	2,56	5,45	0,47	3,21	0,384	C1S2T1
DN 166	7,45	3,24	0,59	0,42	2,32	0,13	1,20	5,48	0,48	3,46	0,448	C1S2T1
DN 267A	6,19	2,12	3,06	3,67	12,17	0,11	23,94	0,69	2,22	7,09	2,850	C2S1T3
DN 278	5,96	0,80	0,63	0,93	6,60	0,24	8,90	1,27	1,37	6,15	1,150	C2S2T2
DN 279	5,43	0,12	1,84	4,36	7,20	0,16	20,98	0,07	10,62	2,63	2,320	C2S1T2
DN 283	6,50	1,64	1,53	1,49	6,52	0,16	11,88	1,07	1,58	5,27	1,548	C2S1T2
DN 286	5,50	0,12	3,26	9,12	10,49	0,22	37,34	0,04	17,69	2,87	4,700	C3S1T3
DN 292	6,61	3,88	7,96	6,15	0,84	0,89	25,09	0,49	2,91	0,39	3,170	C3S1T1
DN 293	6,67	2,08	2,96	3,37	8,10	0,09	17,48	0,70	2,18	4,86	2,160	C2S1T2
DN 296	4,34	0,08	1,63	7,74	24,02	0,00	42,24	0,05	15,12	7,10	4,670	C3S1T3
DN 453	7,28	3,60	1,31	0,79	3,40	0,29	3,21	2,76	0,78	3,83	0,751	C2S1T2
DN 454	7,36	3,76	0,37	1,86	3,97	0,00	4,17	10,25	0,35	3,78	0,904	C2S1T2
DN 568B	5,81	0,28	2,65	5,75	10,49	0,22	27,91	0,11	8,14	3,98	3,800	C3S1T3
DN 725A	6,73	2,88	6,12	4,17	5,40	0,26	0,00	0,47	2,88	2,88	2,180	C2S1T2
DR 941	6,90	4,84	6,94	2,98	4,80	0,12	12,67	0,70	2,15	3,00	2,120	C2S1T2
DR 945	6,45	2,64	1,71	1,11	2,07	0,13	4,67	1,54	1,14	1,95	0,797	C2S1T1
DR 950	6,97	3,92	1,84	1,86	1,39	0,06	4,39	2,14	0,93	1,18	0,895	C2S1T1
DR 967	6,12	1,00	3,67	0,99	3,60	0,03	9,86	0,27	3,73	2,34	1,092	C2S1T2
DR 969	6,05	0,76	4,28	1,79	6,90	0,13	19,15	0,18	5,27	3,67	1,986	C2S1T2
DR 973	5,47	0,32	0,14	0,22	0,76	0,09	1,80	2,24	0,82	1,06	0,234	C1S2T1
DR 973 A	5,17	0,16	0,53	1,31	2,98	0,15	0,63	0,30	3,42	1,94	0,887	C2S1T1
DT 104	5,43	0,40	0,24	0,60	3,48	0,34	4,73	1,63	1,07	3,81	0,600	C1S2T2
DT 415	7,00	1,40	1,43	1,98	8,10	0,25	12,59	0,98	1,66	6,00	1,506	C2S1T2
DT 418	5,12	0,08	1,22	1,79	5,10	0,11	10,73	0,07	9,86	2,11	1,282	C2S1T2
DT 435	6,67	1,56	0,65	0,79	4,35	0,33	4,96	2,39	0,86	4,78	0,932	C2S2T2
DT 453	5,83	0,36	0,43	0,32	1,68	0,28	2,79	0,84	1,63	1,70	0,430	C1S2T1
DT 454	6,17	0,20	0,51	0,56	2,20	0,03	4,36	0,39	2,85	1,69	0,631	C1S2T1



PS 0083	5,36	0,16	1,02	3,57	9,78	0,19	3,75	0,16	6,49	4,36	2,140	C2S1T3
PS 0083A	5,25	0,12	0,27	0,44	1,90	0,03	19,43	0,45	2,5	1,57	0,497	C1S2T1
PS 0401	5,40	0,20	0,29	0,20	2,97	0,01	4,80	0,70	1,78	2,99	0,593	C1S2T1
PS 124	6,53	0,64	1,51	0,85	2,10	0,06	5,52	0,42	2,79	1,56	0,852	C2S1T1
S 3468	6,84	3,52	17,34	12,91	14,24	0,39	63,22	0,20	5,79	4,66	6,490	C3S1T3
UP 004	6,67	2,52	0,92	0,60	0,57	0,05	0,79	2,75	0,74	0,70	0,362	C1S2T1
UP 007	6,59	3,08	3,88	4,17	10,24	0,18	22,25	0,79	1,84	5,91	2,780	C2S1T3
UP 007A	6,83	5,60	0,87	0,87	6,09	0,11	3,41	6,45	0,45	7,49	0,956	C2S2T2
<b>Aquífero Cristalino</b>												
UP 002	7,96	0,11	0,11	0,41	0,62	0,10	31,26	0,97	1,84	0,58	3,820	C3S1T1
CL 273 B	6,58	0,18	0,26	0,71	1,19	0,44	43,69	0,70	2,41	0,95	5,470	C3S1T1

## **6. Vulnerabilidade e riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas do aquífero Açú**

### **6.1 - Conceitos fundamentais**

O risco potencial das águas subterrâneas serem afetadas por contaminantes dispostos sob a superfície do terreno, é uma função do grau de vulnerabilidade do sistema aquífero e do tipo, natureza e tempo de disposição deste contaminante sobre o terreno. A vulnerabilidade diz respeito a maior ou menor facilidade das águas subterrâneas serem afetadas. É uma característica natural intrínseca do próprio aquífero, que depende do seu tipo, natureza litológica, condutividade hidráulica do meio insaturado, e profundidade das águas subterrâneas freáticas. Ou seja, a vulnerabilidade não pode ser modificada facilmente. A carga contaminante, por outro lado depende da atuação do homem, podendo ser controlada, e, por conseguinte influenciar nos riscos de contaminação.

O conceito de vulnerabilidade tem sido questionado haja vista que a definição de áreas mais ou menos vulneráveis é uma questão do tempo e do tipo de contaminante relacionado um determinado evento ou atividades de contaminação. Tem-se ressaltado, inclusive, que em muitos aquíferos livres e semi-confinados, no caso de contaminantes persistentes e móveis, como é o caso de nitratos e cloretos, o sistema aquífero será inevitavelmente atingido com o decorrer do tempo, além de que uma vez que um aquífero pouco vulnerável é atingido dificilmente o mesmo será recuperado. De qualquer forma, entende-se que os mapas de vulnerabilidade constituem um recurso muito importante no caso do manejo de águas subterrâneas, já que os mesmos indicam os domínios mais susceptíveis de serem afetados tornando mais factível a aplicação de medidas de proteção em função da atividade em desenvolvimento ou que se pretende implantar.

As atividades urbanas constituem atividades potenciais de contaminação para as águas subterrâneas situadas sob o domínio das mesmas que tem sido

bastante discutida nas duas últimas décadas diante dos impactos que tem sido gerado como é o caso da contaminação de águas subterrâneas por nitrato devido ao sistema de disposição local de efluentes com uso de fossas e sumidouros, tal como ocorre com a cidade de Natal.

O desenvolvimento agrícola com o uso indiscriminado de agroquímicos no caso de defensivos agrícolas e matéria orgânica no caso de substâncias orgânicas constituem um outro tipo de atividade de grande risco para as águas subterrâneas que tem sido muito pouco avaliado, mormente no Brasil. Neste caso o processo de contaminação das águas subterrâneas por nitrato é direto. Tem-se conhecimento de que a região de Baraúna, na própria Bacia Potiguar, está com as águas subterrâneas bastante afetadas com valores elevados de cloreto, potássio e nitrato. A presença de cloreto e potássio em concentrações elevadas tem sido atribuída ao uso do cloreto de potássio de forma indiscriminada como fertilizante.

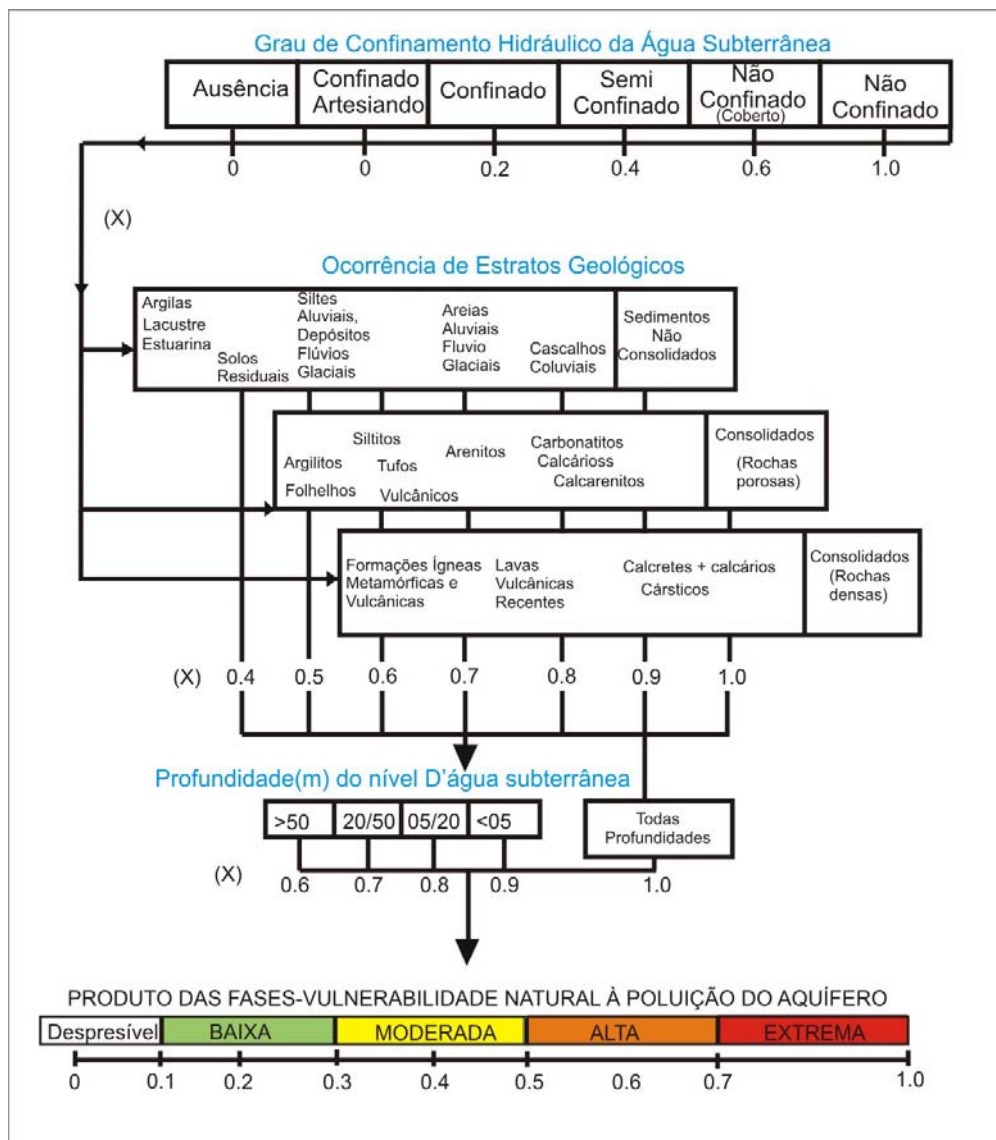
Outros contaminantes perigosos como é o caso de metais pesados e hidrocarbonetos podem, em função de atividades urbanas, industriais e agrícolas, estarem afetando as águas subterrâneas, entretanto estes componentes raramente são avaliados.

## **6.2 - Avaliação da vulnerabilidade**

Existem várias metodologias para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos, que se diferenciam pelas especificidades dos parâmetros utilizados nas avaliações. No presente trabalho foi utilizado o método GOD, o qual se baseia fundamentalmente em apenas três variáveis (Fig. 7.1): **G**rowndwater occurrence – Tipo de aquífero; **O**verall Aquifer Class – Litologia do aquífero; e **D**epth – Profundidade da água do aquífero. Trata-se de uma metodologia mais adequada para estudos de reconhecimento e avaliações regionais.

O tipo de ocorrência da água subterrânea é identificado dentro de um intervalo de 0 a 1; a caracterização dos estratos acima da zona saturada do aquífero conduzirá a um segundo ponto na escala 0,4 a 1; e, o passo final é a

determinação da profundidade do nível freático no caso de aquíferos livres, ou a profundidade do teto do aquífero (base da camada confinante) no caso de aquíferos confinados, que permite as definição do terceiro ponto, numa escala de 0,4 a 1. O valor do Index GOD é definido pelo produto dos três correspondentes valores finais obtidos. A interação entre e os resultados permite o obtenção do correspondente mapa de vulnerabilidade do aquífero.



**Figura 6.1 - Índice de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero Açu (Foster et al. 2002)**

A profundidade das águas subterrâneas na área é condicionada fundamentalmente ao relevo, ou seja, nas regiões mais elevadas, como é o caso de divisores de água, as águas subterrâneas estão mais profundas e nos vales, como é o caso das planície aluvial do Açu e os vales do rio do Carmo e de Afonso Bezerra, as águas são mais rasas.

No setor Oriental da área, a profundidade das águas subterrâneas varia de menos de 10 m nos vales a mais de 40 m nos domínios de maior destaque topográfico, e, no setor Ocidental a profundidade da águas subterrâneas varia de menos de 10 m a mais de 60 m. Ver Figura 6.2.

O aquífero Açu, conforme ficou evidenciado anteriormente é em geral um sistema livre com ocorrência localizadas de semi-confinamentos. O meio poroso insaturado no domínio da área, de conformidade com os perfis de poços perfurados varia bastante de fácies desde arenitos finos a grossos e arenitos á arenitos com intercalações de folhelhos.

A aplicação desses resultados de âmbito regional associado as informações localizadas obtidas em cada um dos poços, conduziu ao a elaboração do mapa de vulnerabilidade do aquífero Açu (Figura 6.3), a qual ficou assim caracterizada:

- A vulnerabilidade é elevada na planície aluvial do rio Açu e nos vales dos rios Do Carmo e Nulungu;
- A vulnerabilidade é moderada mais expressivamente no setor Oriental da área, a oeste do rio Açu e em torno da Lagoa de Piató, além de domínios mais restritos próximos as cidades de Afonso Bezerra e Upanema;
- A vulnerabilidade é baixa em praticamente em todo o setor Ocidental da área ou a oeste do vale do Açu. Também, no setor Oriental da área em uma faixa relativamente estreita contígua aos calcários da formação Jandaira.

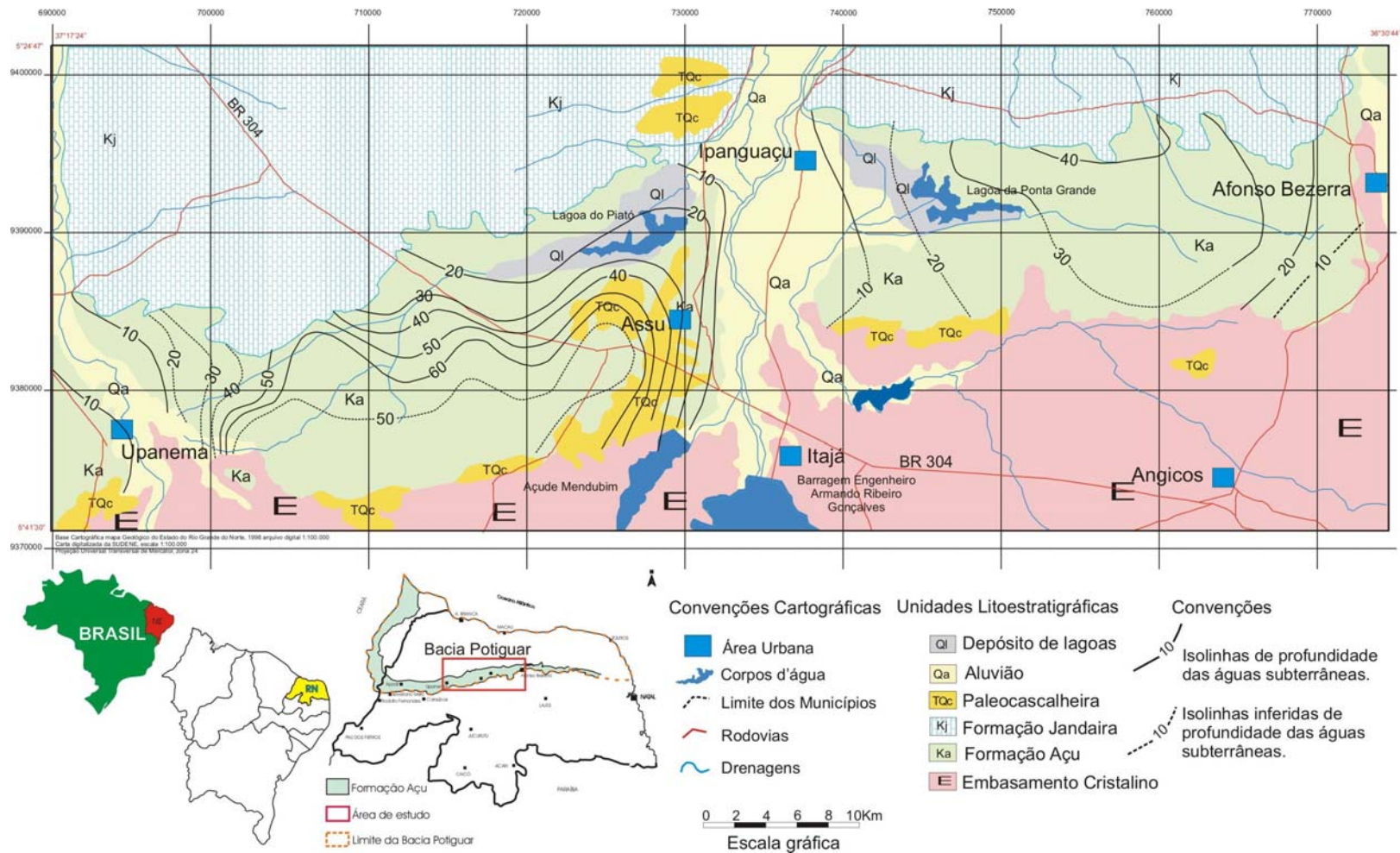
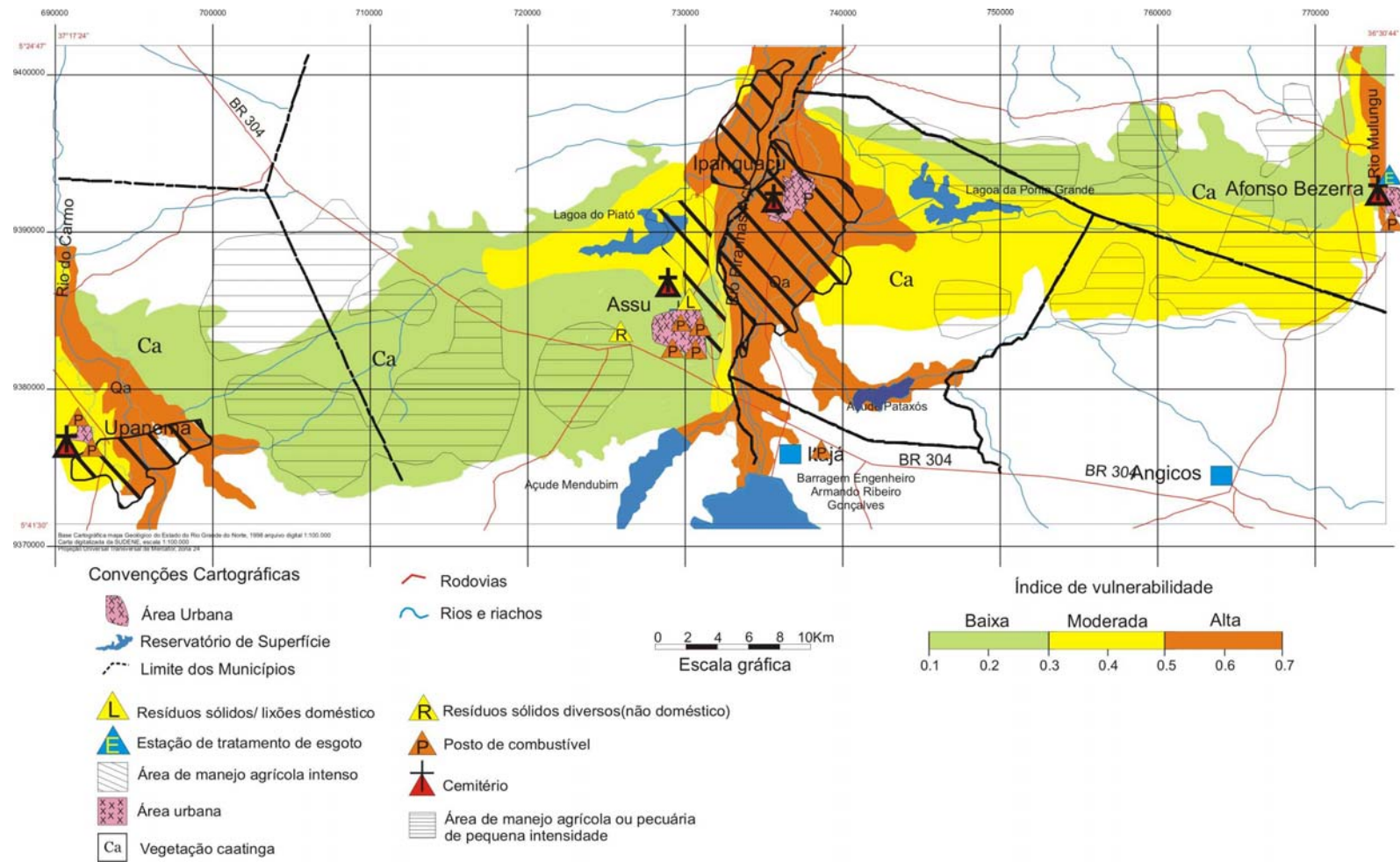


Figura 6.2 - Profundidade do Nível das Águas Subterrâneas (CPRM, 2001)



**Figura 6.3 - Vulnerabilidade das águas subterrâneas do aquífero Açu**

### **6.3 - Caracterização dos riscos de contaminação**

Os riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas em sua conceituação básica conforme descrito anteriormente é uma função do caráter de vulnerabilidade do aquífero e da carga contaminante disposta sobre ou sob a superfície do terreno. Segundo esta concepção o aquífero pode apresentar uma alta vulnerabilidade, porém se não existe carga contaminante o risco é baixo. Também, a vulnerabilidade pode ser baixa, porém dependendo da natureza e intensidade da carga contaminante o risco pode ser elevado. Foi utilizando esses argumentos que procedeu a caracterização dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas na área de estudo (compreendida entre Afonso Bezerra e Upanema).

Na área do presente trabalho foi identificadas atividades urbanas e atividades industriais com riscos potenciais para as águas subterrâneas.

O domínio com maior risco potencial de contaminação das águas subterrâneas corresponde parte central da área, na planície aluvial do rio Açu, a qual apresenta elevada vulnerabilidade e o desenvolvimento indiscriminado de atividades urbanas e agrícolas.

As atividades urbanas estão concentradas nas cidades de Açu e Ipanguaçu, as quais apresentam o sistema de disposição local de efluentes com o uso de fossas e sumidouros além da presença de postos de combustível e cemitérios, no domínio da área da cidade e resíduos sólidos urbanos e não urbanos (depósito de sais) nas imediações da cidade de Açu. Em sua forma geral, e, em ordem decrescente de ocorrência, os contaminantes potencialmente envolvidos correspondem a nitrato, metais e hidrocarbonetos.

As atividades agrícolas correspondem ao desenvolvimento de culturas com manejo agrícola intenso, com o uso de fertilizantes e agroquímicos, com sérios riscos para as águas subterrâneas por nitrato e metais pesados.



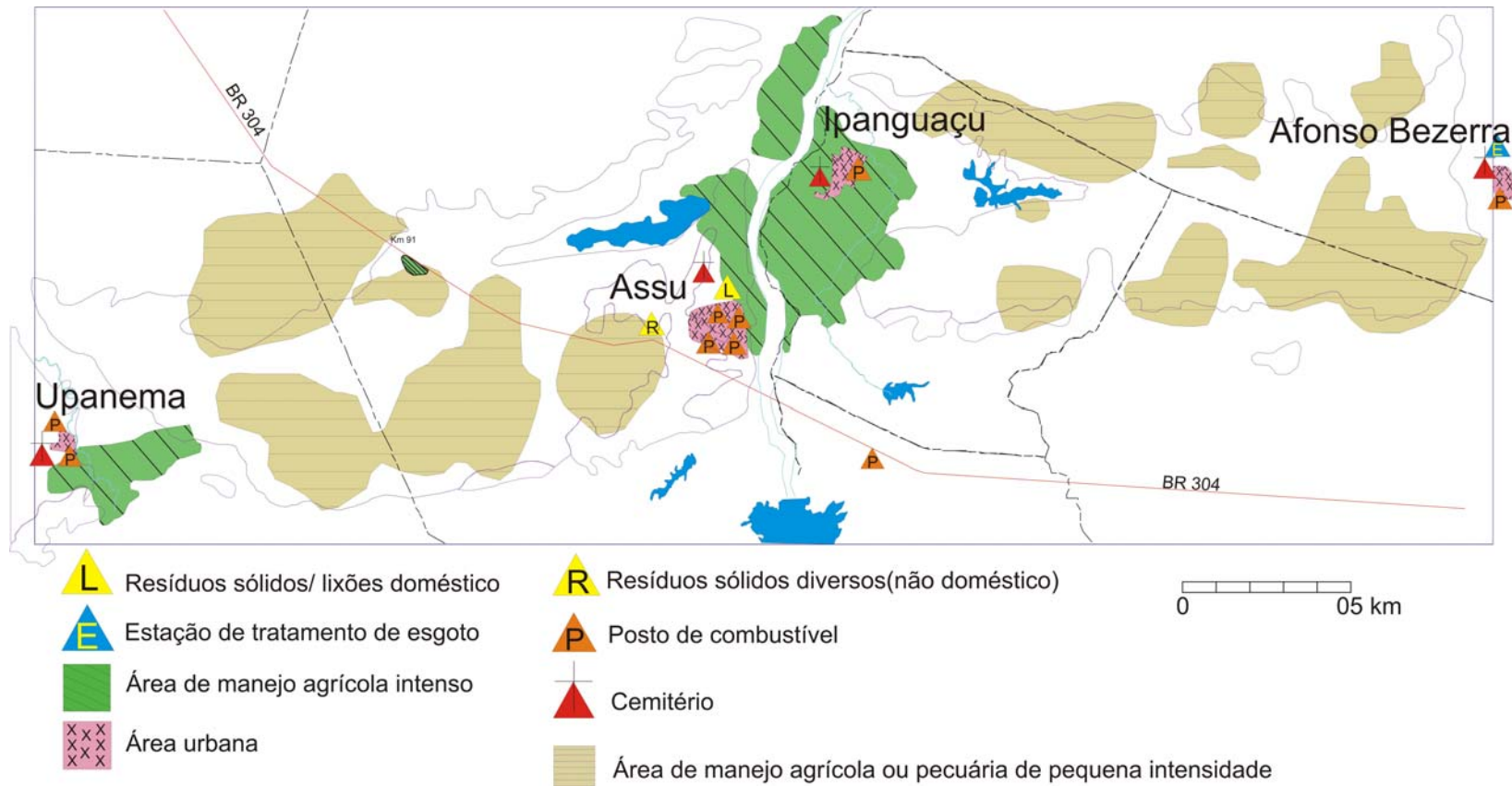
O processo de contaminação pode estar sendo retardado ou reduzido através da recarga contínua e direta do aquífero aluvial com águas da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves.

Um outro domínio com riscos potenciais moderado a elevado para as águas para as águas subterrâneas é no setor oeste da área em Upanema e a sudoeste desta cidade, porém, numa extensão bem menor e de menor intensidade, associado as atividades urbanas, com destaque para sistema de saneamento “in situ” e desenvolvimento de agricultura de manejo intenso.

Na maior parte da área ainda não se desenvolve atividades de risco para as águas subterrâneas. A condição atual compreende tão somente atividades com manejo agrícola e pecuária de pequena intensidade.

O setor Oriental da área de estudo, em sua maior parte, apresenta uma vulnerabilidade moderada, portanto é conveniente que a ocupação e o uso da terra em todo setor, seja implementada com a implementação de medidas de manejo adequadas que impeçam a geração de impactos nas águas subterrâneas.

O setor Ocidental da área, apesar de ter sido caracterizado com baixa vulnerabilidade, notadamente pela elevada profundidade das águas subterrâneas, deve ser igualmente tratado, de forma similar ao apresentado para o setor Oriental para que não haja riscos potenciais de contaminação pela ação de contaminantes de maior ação impactante.



**Figura 6.4 - Ocupação do solo e fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas**

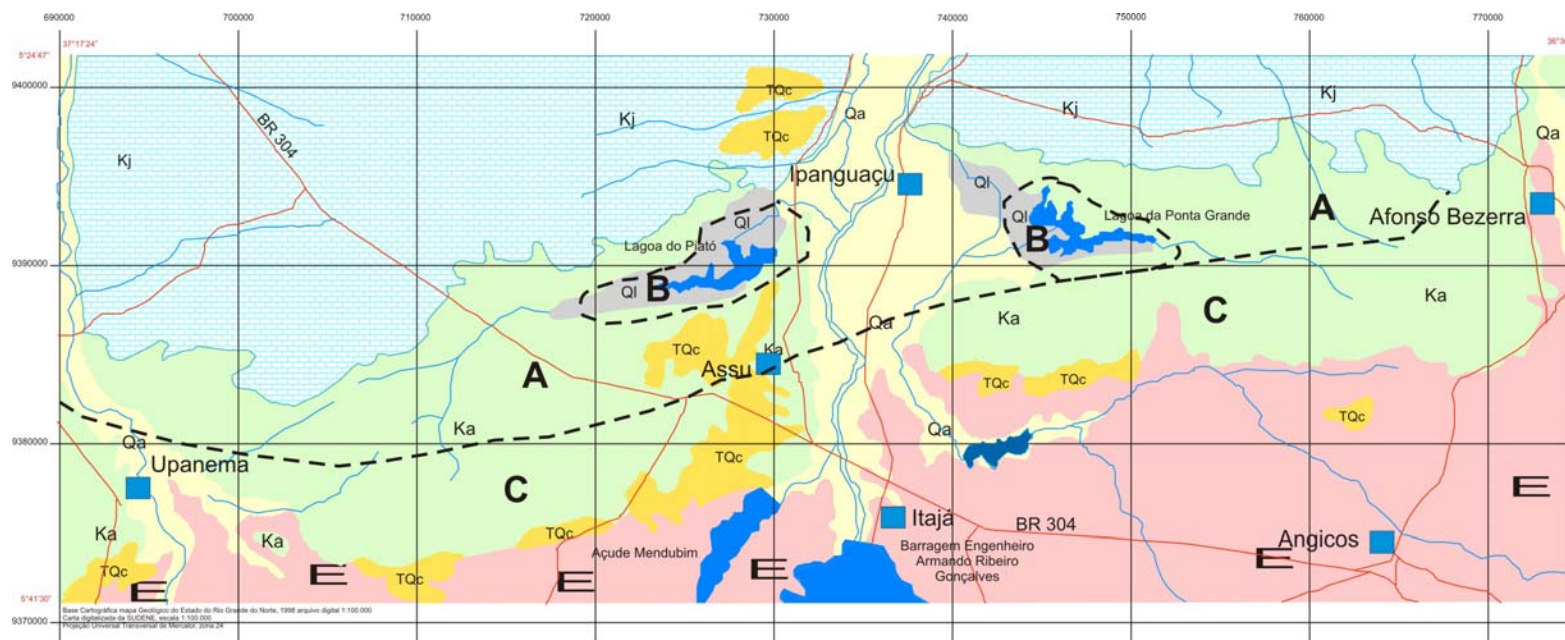
## **META E**

### **7. SUBSÍDIOS AO PLANEJAMENTO E A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO AÇU NA BORDA SUL DA BACIA POTIGUAR: TRECHO APODI-UPANEMA**

#### **7.1 - Zoneamento explorável**

Com base na análise integrada dos resultados do cadastro de poços, nas características geológicas e estruturais e nos parâmetros hidráulicos do aquífero Açú na área de estudo, foram definidas três zonas com diferentes possibilidades de captação das águas subterrâneas, designadas de zonas A, B e C (Figura 7.1), cujas características são apresentadas a seguir:

- Zona A- Compreende a maior parte da faixa Norte da área compreendida entre Upanema – Afonso Bezerra. Corresponde a zona de maior potencial hidrogeológico. A transmissividade do aquífero é superior a 120 m<sup>2</sup>/dia; as águas em geral são de baixa salinidade, condutividade elétrica da ordem de 500 µS/cm; poços com 120 de profundidade, capacidade de produção de até 60 m<sup>3</sup>/h;
- Zona B - Esta zona corresponde a dois domínios de extensão relativamente reduzida em torno das lagoas de Piató e Ponta Grande, a qual foi caracterizada de medio potencial hidrogeológico. A transmissividade do aquífero Açú é da ordem de 80 m<sup>2</sup>/dia e as águas são de baixa a média salinidade, condutividade elétrica da ordem de 600 µS/cm; poços com 50 m de profundidade, com capacidade de produção de 40 m<sup>3</sup>/h;
- Zona C- Compreende a maior parte da faixa Sul da área compreendida entre Upanema – Afonso Bezerra. É a zona de potencial hidrogeológico mais baixo. A Transmissividade do aquífero é inferior 50 m<sup>2</sup>/dia; poços com profundidade de até 50 m, produzindo 5 a 20 m<sup>3</sup>/h, águas de salinidade elevada no setor Oriental da área, com 1000 a mais de 2000 µS/cm, e, no setor Ocidental águas de salinidade mais baixa variando de 500 a 1500 µS/cm.



Zona A: Elevado potencial hidrogeológico-Transmissividade superior a 120 m<sup>2</sup>/dia, poços com 120 de profundidade, capacidade de produção de até 60 m<sup>3</sup>/h; águas de baixa salinidade, condutividade elétrica da ordem de 500 µS/cm;

Zona B- Médio potencial hidrogeológico-Transmissividade da ordem de 80 m<sup>2</sup>/dia, poços com 50 m de profundidade, capacidade de produção de de 40 m<sup>3</sup>/h; águas de baixa a média salinidade, condutividade elétrica da ordem de 600 µS/cm;

Zona C- Baixo potencial hidrogeológico – Transmissividade inferior 50 m<sup>2</sup>/dia; poços com profundidade de até 50 m, produzindo 5 a 20 m<sup>3</sup>/h, águas de salinidade elevada no setor Oriental da área, com 1000 a mais de 2000 µS/cm, e, no setor Ocidental águas de salinidade mais baixa variando de 500 a 1500 µS/cm.

**Figura 7.1 - Zoneamento explotável do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-Afonso Bezerra**

## 7.2 - Obras hídricas subterrâneas recomendadas

A captação de água no aquífero Açú deverá ser feita através da perfuração de poços tubulares cujas características construtivas vai depender das potencialidades do aquífero no local, notadamente em termos de sua produtividade esperada.

Na Zona de produtividade designada de “Zona A” (item 7.1) foram projetados dois tipos de poços (poços A1 e A2) com capacidade de produção da ordem de 60 m<sup>3</sup>/h (Tabela 7.1).

O poço “tipo A1”, com 120 m de profundidade, será perfurado em diâmetro de 14 polegadas e revestido com tubos de PVC Geomecânico de 8 polegadas no intervalo de 0,0 a 80 m e filtros de PVC Geomecânico, também, de 8 polegadas no intervalo de 80,0 a 120,0. O espaço anular na altura dos filtros deverá ser preenchido com cascalho calibrado (Pré-filtro), quartzoso e arredondado a sub-arredondado. A granulometria do pré-filtro e a abertura dos filtros deverá ser definida em função da granulometria do material do aquífero, ressaltando-se, entretanto, pela experiência que se tem da área, que os filtros provavelmente terão abertura de 1 mm. O espaço entre as paredes do poço e o tubo de revestimento, acima do pré-filtro, será isolado ou cimentado para acabamento do poço e como proteção sanitária. A capacidade de produção do poço é da ordem de 60m<sup>3</sup>/h, conforme já referido anteriormente.

No caso do poço tipo “A2” está sendo recomendado a utilização de filtros espiralados de aço inoxidável. Neste caso, recomenda-se a perfuração do poço em diâmetro de 12 polegadas e revestido com tubo PVC Geomecânico de 8 polegadas no intervalo de 0,0 a 90,0 m e filtros de aço inoxidável em diâmetro de 6 polegadas, ficando garantido um espaço anular de 6 polegadas para o ecascalhamento artificial (pré-filtro). Neste caso, o comprimento dos filtros será da ordem de 30,0. Todas as demais observações efetuadas para o poço A1 são válidas para o poço A2. Este poço também deverá produzir descargas da ordem de 60m<sup>3</sup>/h.

Para a Zona B foi estabelecido o projeto de dois tipos de poços designados de poço B1 e poço B2.

O poço B1, com profundidade de 50 m a ser perfurado em diâmetro de 14 polegadas e diâmetro de revestimento e filtro em 8 polegadas. É previsto a

instalação de cerca de 30 m de filtro PVC Geomecânico. Assim sendo, a câmara de bombeamento será da ordem de 20 m. Com essas características o poço B1 deverá fornecer 40 m<sup>3</sup>/h.

O poço B2, com 50 m de profundidade e diâmetro de perfuração de 14 polegadas, deverá ser revestido com tubos PVC Geomecânico de 8 polegadas no intervalo de 0 a 40 m e instalado 10 m de filtros de aço inoxidável espiralado com 6 polegadas de diâmetro. Para este tipo de poço também é recomendado a exploração de vazões da ordem de 40 m<sup>3</sup>/h.

Para a Zona C, de menor produtividade, é previsto a perfuração de um tipo de poço (C1), o qual deverá apresentar as seguintes características: profundidade de 50 m; diâmetro de perfuração 12 polegadas; revestimento em PVC Geomecânico de 6 polegadas no intervalo de 0,0 a 30 m; e, filtros também de PVC Geomecânico de 6 polegadas no intervalo de 30 a 50 m. A capacidade de produção prevista para este poço pode variar de 5 a 20 m<sup>3</sup>/h.

**Tabela 7.1 - Características técnicas do poço padrão no aquífero Açú na Borda sul da Bacia Potiguar Trecho Upanema-Afonso Bezerra**

Zona	Poço tipo	Profundidade (m)	Perfuração	Revestimento		Filtros		Vazão m <sup>3</sup> /h
				PVC	Geomecânico	PVC	Espiralado	
A	A1	120	0-120 m: 14"	0-80 m: 8"	40 m: 8"			60
	A2	120	0-120 m: 12"	0-90 m: 8"		30 m: 6"		60
B	B1	50	0-50 m: 14"	0-30 m: 8"	20 m: 8"			40
	B2			0-40 m: 8"		10 m: 6"		40
C	C1	50	0-50 m: 12"	0-30 m: 6"	20 m: 6"			5 a 20

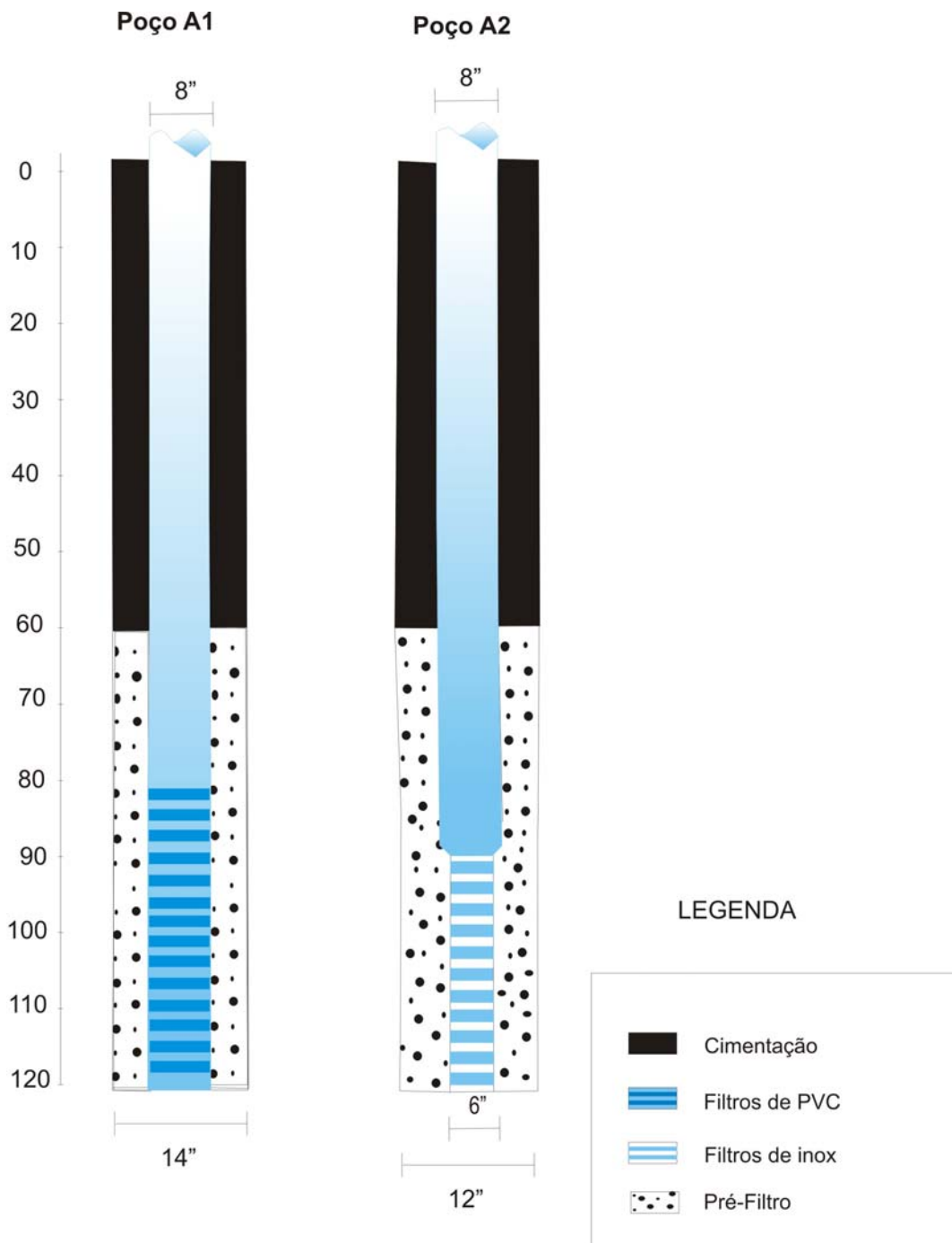
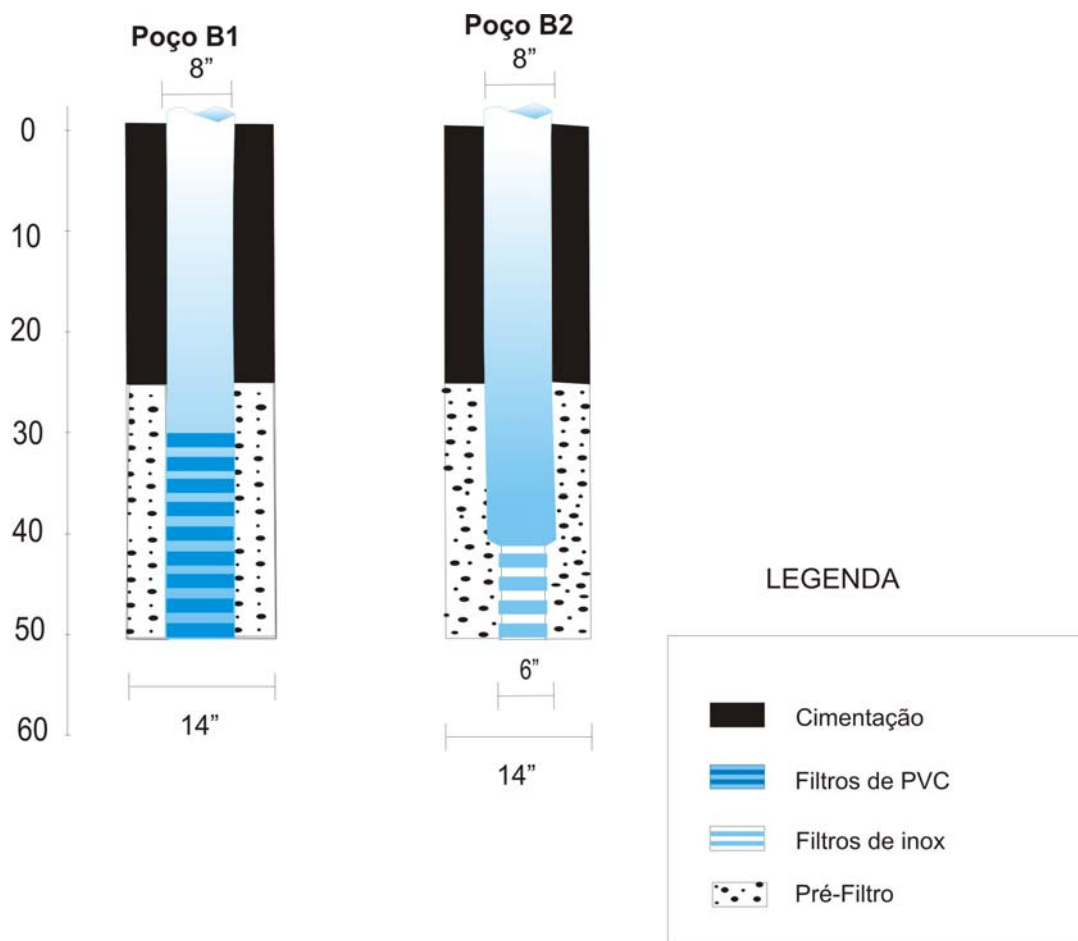
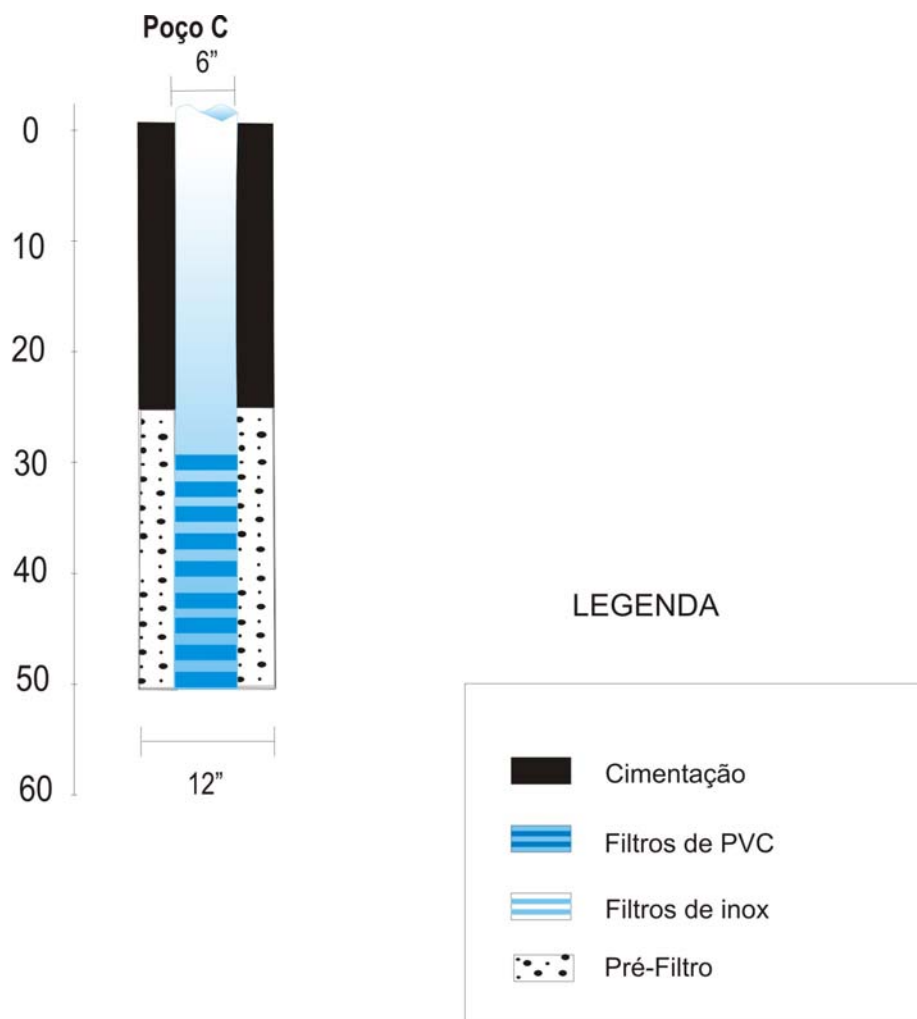


Figura 7.2 - Projeto de poços de produção na Zona A





**Figura 7.3 - Projeto poços de produção na Zona B**



**Figura 7.4 - Projeto poços de produção na Zona C**

### **7.3 - Avaliação da eficiência operacional da rede de monitoramento instalada**

O suprimento hídrico das cidades de Upanema, Ipanguaçu, Afonso Bezerra e distritos com água subterrânea potável do aquífero Açú é uma amostra expressiva da importância deste manancial no desenvolvimento da região e na qualidade de vida da população no domínio da área de estudo. Conforme discutido anteriormente uso de águas subterrâneas destinado a projetos de irrigação é pouco expressivo, apesar de se notar uma tendência no seu crescimento. O volume anual de água explorado do aquífero Açú foi avaliado em apenas  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, o qual representa 24% dos recursos avaliados como exploráveis. Ressalte-se ainda que pouco mais 50% do volume total de água disponibilizado para uso é destinado ao abastecimento das referidas cidades. No contexto geral, considera-se a água subterrânea como um recurso estratégico que potencialmente pode ter grande influência no desenvolvimento da região e qualidade de vida da população. O uso de águas na zona rural tem sido bastante limitado por problemas de salinização em alguns setores e a baixa vazão de poços, por problemas de natureza lito-estrutural, conforme discutido anteriormente.

Fez-se alusão, também, que as estimativas de recursos exploráveis são apenas indicativas de uma ordem de grandeza e que a exploração deva ocorrer mediante a perfuração e operação de poços dentro dos seus limites de captação a serem definidos com testes de produção de poço. Esta recomendação, entretanto ficou atrelada a uma monitoramento eficiente dos poços de bombeamento, os quais devem ser conduzidos no âmbito de um programa de políticas realistas de proteção das águas subterrâneas.

Diante de todo este contexto é que foi definida uma rede monitoramento de poços, cuja eficiência será avaliada mediante um controle da exploração das águas subterrâneas para que não haja riscos de “sobretiragem” e de migração de águas salinas ou contaminantes em direção a poços de captação. Assim sendo, trata-se de uma rede de monitoramento de ordem quantitativa e qualitativa.

Mediante medições sistemática e contínua dos níveis d’água dos poços e de parâmetros indicadores da qualidade das águas será possível detectar os problemas em tempo hábil e a tomadas de decisões quanto aos inconvenientes que por ventura venham a ocorrer. A rede de monitoramento ficou constituída de 81 poços, dos quais se dispões de perfís litológicos apenas de 13 unidades. Esta é uma das maiores inconveniências da rede de monitoramento instalada.

Os poços da rede de monitoramento apresentam uma boa distribuição geográfica e em geral são de fácil acesso o que constitui elementos que podem influenciar bastante na eficiência operacional da rede.

#### **7.4 - Operação e manutenção dos poços**

Em caráter geral, o processo de operação do poço consiste em deixar o mesmo funcionando e controlar a sua exploração segundo as especificações predeterminadas, para que seja garantida uma boa eficiência do sistema aquífero-poço-equipamento de bombeamento. A operação condiciona, portanto, a obtenção de dados, mediante o monitoramento adequado de parâmetros hidráulicos e hidroquímicos envolvidos e inspeção dos equipamentos e obras instalados. Os parâmetros hidráulicos a serem observados incluem medições de nível da água e de descargas de água para controlarem a sua exploração, enquanto que no aspecto hidroquímico convém levantar dados que indiquem possíveis modificações no quimismo da água que possa afetar a sua qualidade. Em função dos resultados da operação, intervenções podem ser necessárias visando a eficiência e o pleno funcionamento do sistema, o que se traduz no processo de manutenção.

Na operação, os dados serão produzidos e os problemas detectados, enquanto que na manutenção todas as ações que garantam a funcionamento satisfatório do sistema, incluindo possíveis reparos serão implementados.

Cuidados especiais devem ser tomados na identificação de problemas durante a operação do sistema, visto que o processo de deterioração ou os efeitos de uma exploração inadequada se desenvolve de forma lenta e de difícil avaliação em tempo hábil.

Devem ser cuidadosamente identificados problemas de ordem mecânica, hidráulica e de qualidade das águas.

Os problemas de natureza mecânica a serem observados corresponde a obstruções dos filtros, a produção de areia, a deterioração da estrutura do poço, os quais podem induzir maiores rebaixamentos nos poços, reduzir a produtividade e, por conseguinte, a eficiência do mesmo. Um outro componente a ser considera durante a operação são possíveis defeitos no equipamento de bombeamento.

Os problemas a serem identificados devem ser devidamente corrigidos para garantir a eficiência do suprimento de água dentro das condições inicialmente estabelecidas em termos de produtividade e custos.

## **8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os aspectos lito-estruturais da Formação Açú condicionam a ocorrência de um aquífero livre sujeito a semi-confinamentos localizados, o que pode resultar em diferentes comportamentos quanto a recarga das águas subterrâneas. O aquífero na faixa ao norte da área é de elevado potencial hidrogeológico, com transmissividades que podem atingir em média 242 m<sup>2</sup>/d, enquanto que na faixa sul, o aquífero é de reduzida potencialidade, com transmissividades da ordem de 15 m<sup>2</sup>/dia ou menor. Na parte central da área, por influência da recarga induzida do aquífero aluvial, o qual recebe uma recarga permanente das águas do fluxo superficial perenizado, a transmissividade é relativamente muito elevada com valores que chega a 2065 m<sup>3</sup>/dia.

A recarga de água subterrânea foi estimada em 10 mm anuais, que corresponde a uma taxa de infiltração de aproximadamente 1,7%. Ressaltando-se, entretanto, que no setor norte da área é onde a recarga é mais elevada. Esse valor, fruto da aplicação de duas metodologias diferentes (Lei de Darcy e balanço de cloretos), parece muito pequeno, mesmo considerando as condições de semi-aridez da área, o que se atribui às aproximações levadas a efeito na aplicação dos referidos métodos.

O clima semi-árido e o caráter lito-estrutural da Formação Açú são os principais responsáveis pelos processos geoquímicos que ocorrem na água subterrânea a medida que a mesma se desloca na direção do fluxo. Esses processos incluem evaporação, mistura de águas doces e salinas, trocas de íons (reversa) e dissolução (dominantemente de rochas carbonáticas).

A ação desses processos geoquímicos resulta na ocorrência de águas de diferentes concentrações salinas. Na Zona Sul da área a evaporação é o processo mais importante, resultando em água cuja salinidade é mais elevada e do tipo Na<sup>+</sup> – Cl<sup>-</sup>, as quais apresentam limitação de uso. Na Zona Norte da área, as condições de recarga, armazenamento, e de renovação da água são favoráveis a presença de águas de baixa salinidade. Os processos geoquímicos neste caso, na direção do fluxo subterrâneo conduzem a obtenção de água dos tipos Ca<sup>2+</sup> – Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup> or Ca<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup> and

$\text{Ca}^{2+}$ -  $\text{HCO}_3^-$  e ou  $\text{Mg}^{++}$ -  $\text{HCO}_3^-$  . Neste caso a água subterrânea é de boa potabilidade e adequada para irrigação.

Quanto ao uso das águas na irrigação, no setor norte da área, as mesmas foram classificadas como águas do tipo C1S2T1, ou seja, são águas de baixo risco de sódio e baixo risco de toxidez, entretanto, apresentam algum risco de sódio trocável caso a mesmas sejam aplicadas em terreno com algum problema de sais. Na zona Sul da área, entretanto, existe bastante limitação quanto ao uso das águas na irrigação. São encontradas com frequência águas do tipo C2S3T3, que são águas com risco de salinidade médio, alto risco de sodicidade e alto risco de toxidade. Também, águas C3S1T2, que são águas com elevada salinidade, e toxidez média, apesar de que em algumas situações o risco de sódio trocável seja baixo.

O presente trabalho é de caráter regional e baseado na infra-estrutura hídrica existente, no qual os poços estão irregularmente distribuídos e são em geral parcialmente penetrantes no aquífero Açú, o que resultou em várias aproximações no que diz respeito a apresentação do modelo conceitual, recarga, condições de exploração, e no diagnóstico da origem e mecanismos de salinização das águas. Assim sendo se faz necessário a realização de estudos adicionais para que sejam tiradas dúvidas e a obtenção de resultados mais precisos, conforme recomendações a seguir:

- Dar continuidade a operação de monitoramento do nível d'água subterrânea, das descargas bombeadas nos poços e da qualidade das águas;
- Dar continuidade as observações sobre recarga e chuvas nos dispositivos instalados (pluviografos e infiltrometros);
- Executar sondagens de reconhecimento lito-estratigráfico nas faixas Norte e Sul da área, para se ter conhecimento da espessura total do aquífero Açú;
- Executar a perfuração de poço totalmente penetrante no aquífero Açú com dispositivo de poço de observação e efetuar teste de aquífero de longa duração para avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero;
- Avaliar possíveis impactos da exploração das águas subterrâneas do aquífero Açú na sua zona de recarga (área de estudo) sobre o domínio onde o mesmo é confinado;
- Efetuar estudos hidrogeoquímicos adicionais, em associação com estudos isotópicos, como complementares nas investigações sobre a origem e mecanismos da salinização das águas subterrâneas;

O cumprimento dessas recomendações é de fundamental importância para um melhor conhecimento do aquífero e a definição de estratégias de manejo que levem a exploração racional e sustentável das águas subterrâneas do aquífero Açu.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M.; BHUSUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. & FUCK, R. A. (1977) Província estrutural brasileira. Atlas VII. Simpósio de Geologia do Nordeste: 363 – 991.
- APOLUCENO, D. M. (1995) Faciologia e Sistemas Depositionais das Formações Açú e Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, na região de Apodi, RN. Departamento de Geologia, UFRN, Natal/RN, Relatório de Graduação, 139p.
- ARARIPE, P. T. & FEIJÓ, F. P. (1994) *Bacia Potiguar. Boletim Geociências PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8 (1): p127-141.*
- ARCHANJO, C.J. & SALIM, J. (1986) *Posição da Formação Seridó no contexto estratigráfico regional (RN-PB). In: SBG, Simp. Geol. NE, 12, João Pessoa, Boletim, 270-271.*
- Back W (1960). Origin of hydrochemical facies in groundwater in the Atlantic Coastal plain. Proceedings, International Geological Congress (Copenhagen), 1:87-95.
- Back W (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of the Atlantic Coastal plain. U. S. Geological Survey Professional Paper 498-A.
- BERTANI, R. T.; COSTA, I. G. & MATOS, R. M. D. (1990) *Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: PETROBRAS (ed.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, p291-310.*
- Brasil – CPRM (2006). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000. DNPM, UFRN, PETROBRAS, CRM.
- CALMBACH, T & WATERLOO HYDROGEOLOGY, INC. – 2002 – *Aqueous Geochemical Analysis, Plotting and Modeling. AquaChem*
- CASTANY, G. (1975) *Prospección y explotación de las águas subterráneas. Barcelona: Omega, p. 738.*
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO RIO GRANDE DO NORTE (2000) *Relatório Técnico Captação de Upanema. CAERN/Natal.*
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983) *Hidrogeologia subterrânea. Barcelona: Omega. Tomo I e II.*
- DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. (1990) *Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons Ed., N. York. 824p.*



- DREVER, J. I. (1988) The geochemistry of natural waters. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall. 1988. 437p.
- DRISCOLL, F. G. – (1986) – Groundwater and wells. 2 ed. Minnesota: H.N. Smyth Comp. Inc., p796-820.
- Edmunds WM (1981). Hydrogeochemical investigations. In: Case-studies in groundwater resources evaluation. Ed by J.W. Lloyd. Clarendon Press, Oxford, pp 87-112.
- FENZL, N. – (1988) – *Introdução a Hidrogeoquímica. Universidade Federal do Pará. Belém. 188p.*
- FETTER, C. W. – (1994) – Applied hydrogeology. 3<sup>a</sup> ed. New Jersey: University of Wisconsin – Oshkosh.
- Freeze RA, Cherry JA (1979) Groundwater. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 204 p
- HEALY, R. W. & COOK, P. G. – (2002) – *Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10 (1), 91-109.*
- Hussein M. T. (2004). Hydrochemical evaluation of groundwater in the Blue Nile Basin, eastern Sudan, using conventional and multivariate techniques. Hydrogeolog J 12 (2):144-158
- HVORSLEV, M. J. – (1951) – *Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. U S Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, Bulletin 36.*
- JARDIM DE SÁ, E. F. – (1994) – *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Universidade de Brasília, Brasília. Tese de Doutorado, n3, 803p.*
- LERNER, D. N. – (1997) – *Groundwater recharge. In: Geochemical Processes, Weathering and Groundwater recharge in Catchments. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 109-150.*
- LERNER, D. N.; ISSAR, A. S. & SIMMERS, I. – (1990) – *Groundwater recharge: a Guide to understanding and estimating natural recharge. International Association of Hydrogeologists, vol 8. Hannover: Heise.*
- Lloyd JW, Heathcote J.A. (1985) Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, an introduction. Clarendon Press, Oxford,

- LOGAN, J. – (1965) – *Interpretação de análises químicas de água. Recife: U.S. Agency for International Development. 65p.*
- Mather J. (1997). Relationship between rock, soil and groundwater compositions. In: *Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments.* O.M. Saether & Caritat (eds). Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp 305-328
- MATHER, J. – (1997) – *Colletion and analysis of groundwater samples. In: Geochemical Processes, weathering and groundwater recharge in catchments A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 167-184.*
- McNEELY, R. N., NEIMAINS, V.P., QWYER, L. – (1979) – *Water Quality Sourcebook; A guide to water quality parameters, Ottawa, Canadá. 89p*
- Medeiros, W. E; DE SÁ, EFJ. MEDEIROS V C, Lucena LRF (2001). *Estrutura geológica do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar entre Apodi e Upanema, RN. Convênio CAERN/FUNPEC/UFRN. Relatório Técnico.*
- Melo J. G., Stein, P (2003). *Recursos hídricos subterrâneos da Formação Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar, RN – Faixa Upanema-Apodi. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Natal, RN, Brasil.*
- Petalas CP; Diamantis IB (1999) *Origin and distribution of saline groundwater in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, Northeastern Greece. Hydrogeology J 7(3):305-316*
- Richter BC, Kreitler BE (1993) *Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization. C.K Smoley.*
- Robinove CJ, Langford RH, Brookhart JW (1958) *Saline water resources of North Dakota. U.S. Geological Survey Water supply Paper 1428, 72 p.*
- RÖHRICH, T. & WATERLOO HYDROGEOLOGYC, INC. – (2002) – *Graphical Analysis and Reporting of Test & Slug Test Data. Aquifer test. 268p.*
- SANFORD, W. – (2002) – *Recharge and groundwater models: an overview. Hydrogeology Journal, 10 (1), 110-120.*
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. – (2002) – *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10 (1), 18-40.*
- SIMMERS, I.; HENDRICKX, J. M. H.; KRUSEMAN, G. P. & RUSHTON, K. R. – (1997) – *Recharge of phreatic aquifers in (semi-) arid areas. International Association of Hydrogeologist, 19, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.*

- SOUZA, S. M. – (1982) – Atualização da litoestratigrafia da bacia Potiguar. In: SBG/BA-SE, Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, Anais p.509-592.
- SZIKSZAY, M. – (1993) – Geoquímica das águas. Universidade de São Paulo. Boletim IG-USP. Série Didática n 5. São Paulo.
- THEIS, C. V. – (1935) – The relation between the lowering of the piezometric surface and rate and duration of discharge of well using groundwater storage, Trans. Am. Geophys. Union, 16<sup>th</sup> Ann. Meeting, part 2.
- VASCONCELOS, E.P., LIMA NETO, F. F. & ROOS, S. – (1990) – *Unidades de correlação da Formação Açú-Bacia Potiguar. In: SBG/Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, Anais, 1:227-240.*
- VRIES, J. J. & SIMMERS, I. ( 2002) Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, 10 (1), 5-17.

## **Anexo 1**

### **Modelagem Numérica do aquífero Açú-Jandaíra**

Autor: Dr. João Manoel Filho

#### **1 – Introdução**

O mapa geológico da área de estudo (figura1), cobre uma superfície de 2816 km<sup>2</sup> na borda sul da Bacia Potiguar entre as cidades de Afonso Bezerra e Upanema. Dessa área total aproximadamente 30% (840 km<sup>2</sup>) se encontram no domínio dos terrenos cristalinos, aqui considerados como limite impermeável. Os 70% restantes da área se dividem entre 1124 km<sup>2</sup> (40%) de arenitos aflorantes da Formação Açú, em repouso sobre o embasamento cristalino e 30% de arenitos Açú (852 km<sup>2</sup>) sobrepostos por calcários da Formação Jandaíra. Recobrando essas Formações sedimentares, na parte central da área, ocorrem 158 km<sup>2</sup> de aluviões na planície do rio Açú, incluídas na modelagem como uma zona de condutividade hidráulica mais alta da unidade Açú.

#### **1.2– Modelo Conceitual**

Na modelagem numérica dessa área (MODFLOW 2000), adotou-se uma malha de 88 km de comprimento por 32 km de largura formando uma cobertura de 2816 células de 1 km<sup>2</sup>.

A presente modelagem é focada na área de afloramento do arenito Açú, única unidade a ter sido objeto dos levantamentos de campo e na qual o aquífero se caracteriza como do tipo livre. Sob os calcários, todavia, admite-se que esses arenitos se comportem como aquífero confinado. Embora nenhuma informação comprovando esse comportamento tenha sido especificamente levantada na área, os estudos anteriores realizados na Bacia Potiguar (Manoel Filho, 1971; Manoel Filho et al. 2003; Feitosa & Demétrio 1997 dentre outros) adotam essa hipótese. Essa descontinuidade de comportamento do aquífero e das camadas, cria dificuldades para a modelagem MODFLOW, que geralmente se baseia numa malha 3D de camadas contínuas.

Diante dessa dificuldade o modelo conceitual adotado foi o MODFLOW 2000 de uma camada contínua cobrindo toda a área sedimentar representando um aquífero de tipo conversível (de livre para eventualmente confinado) contendo duas unidades hidrogeológicas de fluxo: unidade 1 correspondente ao calcário Jandaíra e unidade 2, correspondente ao arenito Açú. A ilustração da estratigrafia desse modelo conceitual é

feita através das seções geológicas mostradas na figura 2 e do bloco diagrama 3D apresentado na figura 3. A tabela 1 contém os dados de topo e espessura das referidas unidades.

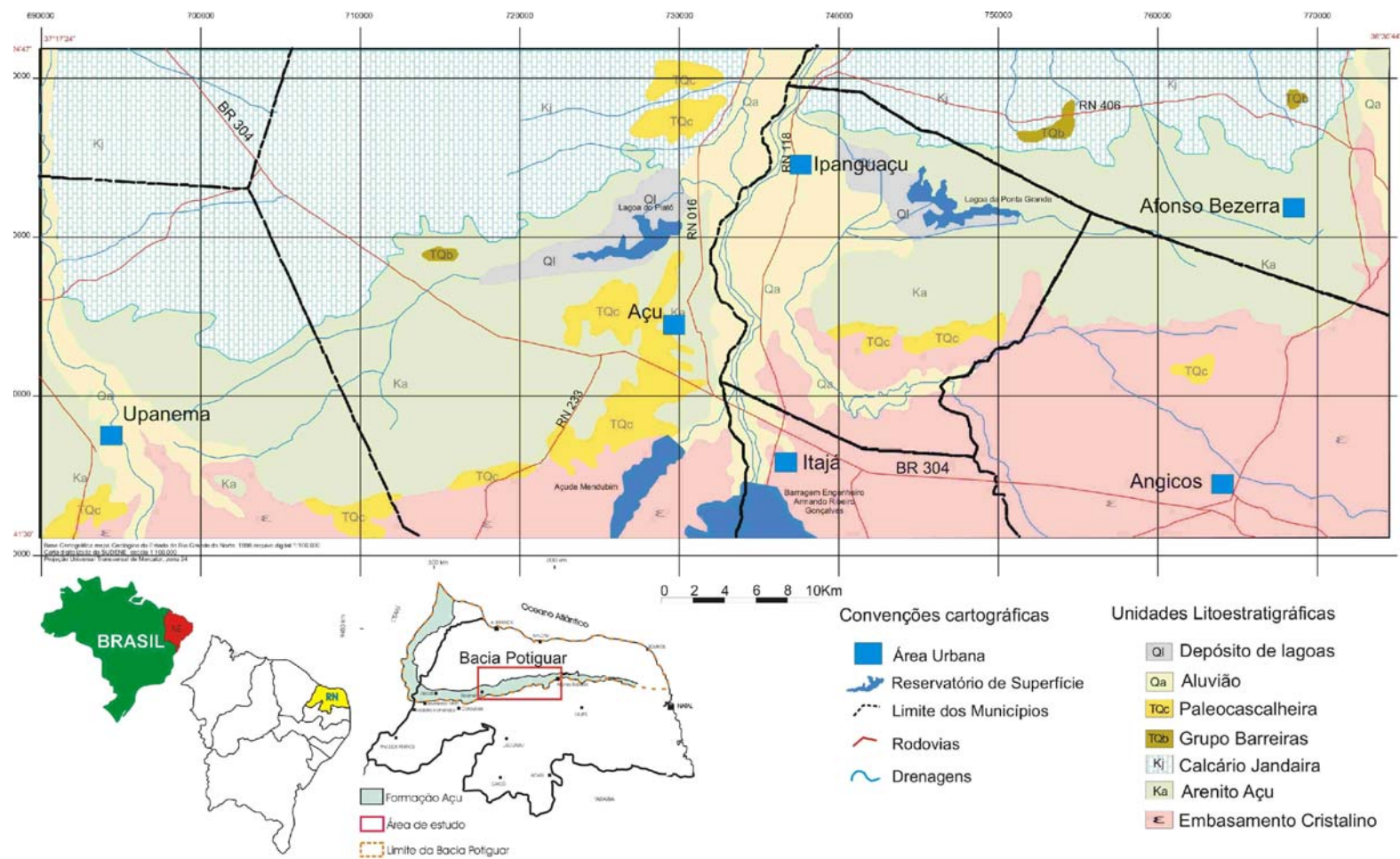
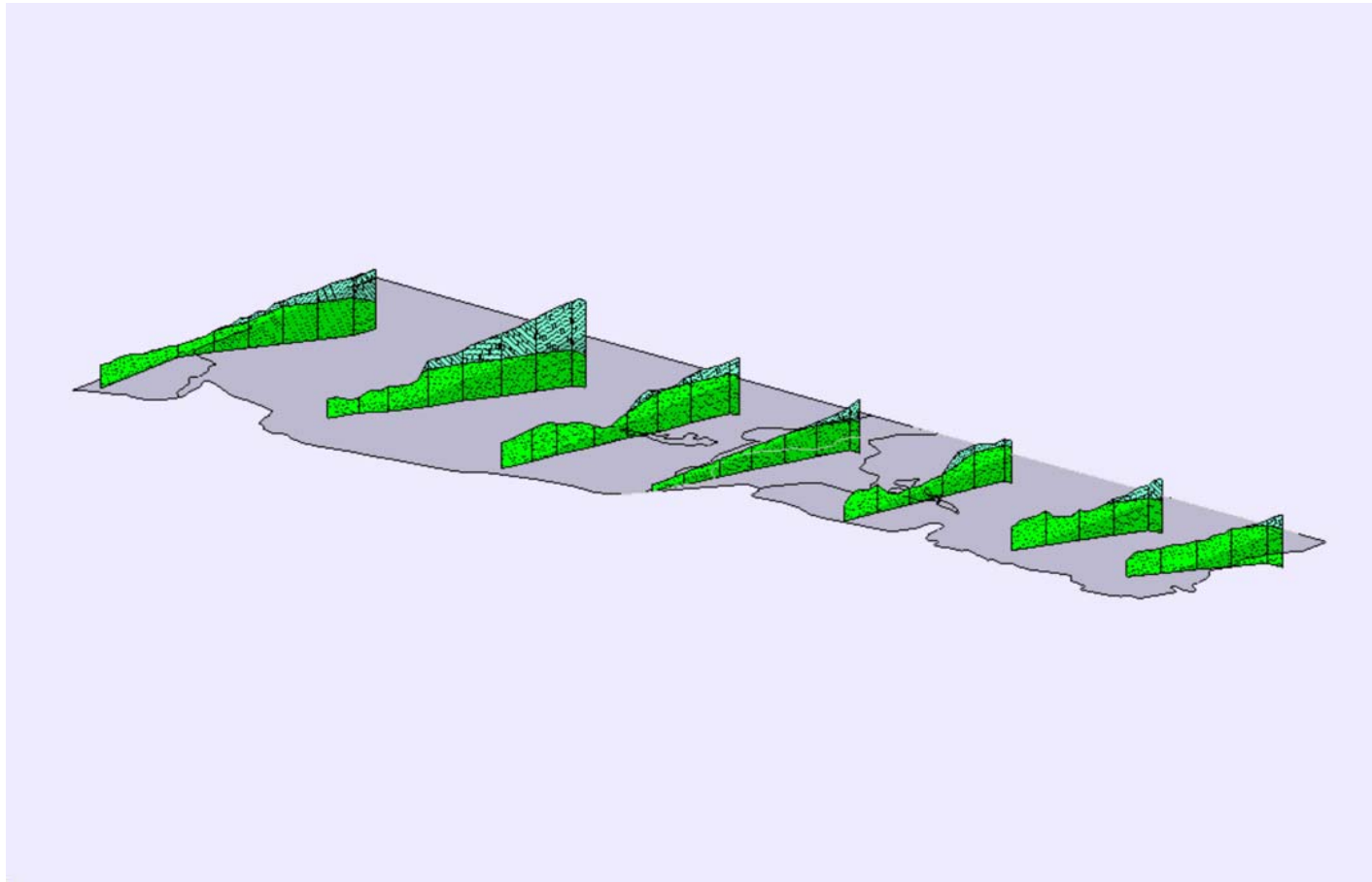
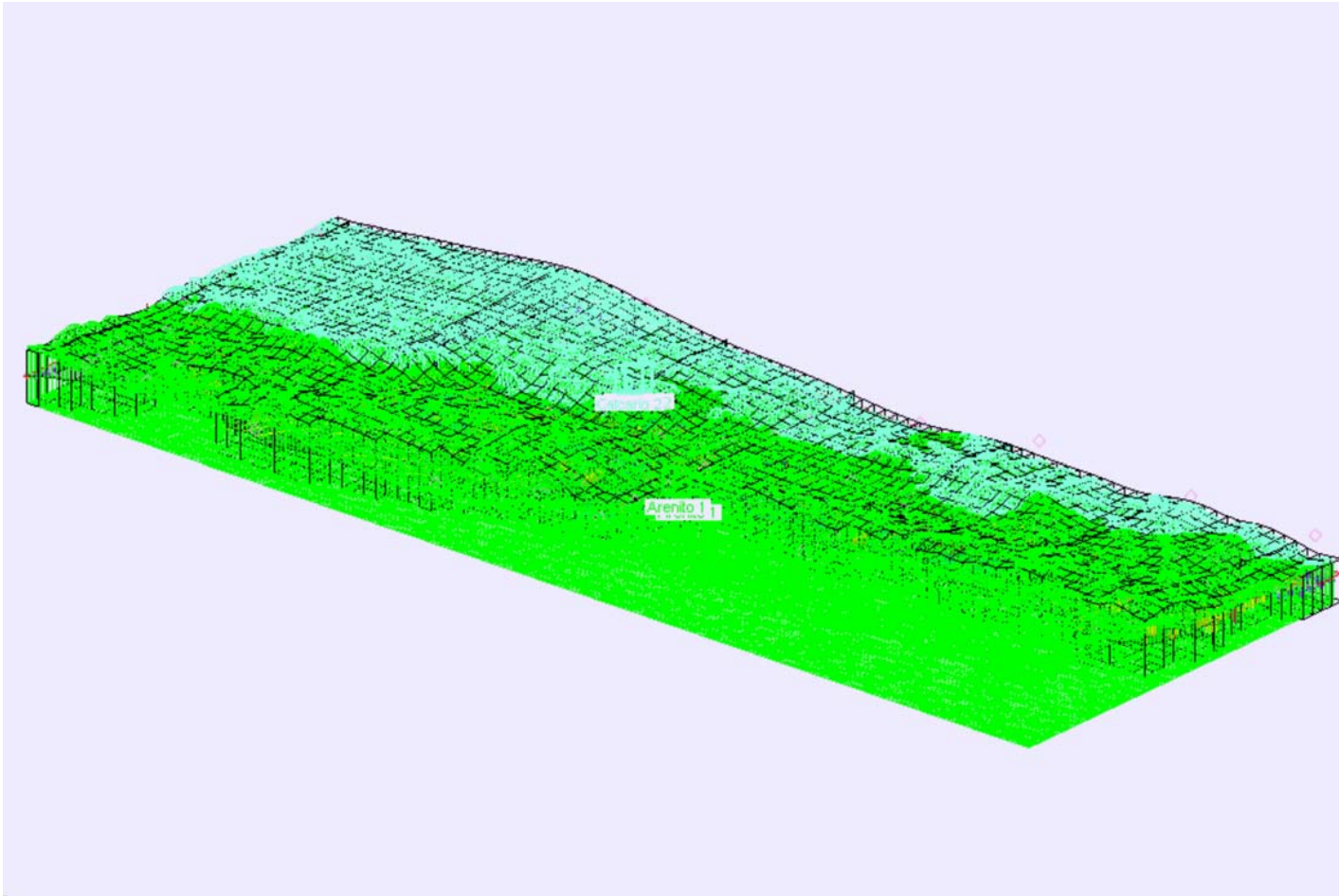


Figura 1 – Mapa geológico da área de estudo.



**Figura 2**– Seções transversais esquemáticas ilustrativas do modelo conceitual de uma camada com duas unidades hidrogeológicas de fluxo: unidade superior (calcário Jandaíra) recobrindo parcialmente a unidade inferior (Arenito Açú).



**Figura 3** – Modelo sólido – Bloco 3D da região modelada com uma só camada e duas unidades hidrogeológicas: calcário Jandaíra na parte superior e arenito Açú na parte inferior.



**Tabela 1** – Dados de topo e espessura das unidades hidrogeológicas do modelo estratigráfico ilustrado nas figuras 2 e 3.

Ponto	UTM-E	UTM-N	Unidade Jandaíra		Unidade Açú	
			top_UH1	Esp1	top_UH2	Esp2
A_03	695987	9380480	65	0	65	70
A_04	695975	9384263	110	0	110	150
A_05	695954	9388063	105	40	65	143
A_06	695954	9391862	93	64	29	144
A_07	695975	9395622	87	95	-8	144
A_08	695995	9399422	85	128	-43	145
A_09	695890	9403190	68	164	-96	84
B_02	707970	9374040	142	0	142	72
B_03	707740	9377780	96	0	96	61
B_04	707740	9380950	93	0	93	96
B_05	707970	9384920	138	34	104	142
B_06	707740	9389000	117	49	68	142
B_07	707970	9392960	129	97	32	142
B_08	707739	9397041	131	136	-5	145
B_09	707850	9400890	142	186	-44	138
B_10	708080	9404180	132	210	-78	102
C_02	722240	9375970	114	0	114	98
C_03	722242	9379252	122	0	122	125
C_04	722130	9382200	100	0	100	118
C_05	722240	9386050	42	0	42	82
C_06	722130	9389790	34	0	34	94
C_07	722360	9392960	83	7	76	156
C_08	722130	9396810	82	28	54	154
C_09	722240	9400890	80	47	33	153
C_10	722130	9404070	80	74	6	149
D_02	732941	9379692	27	0	27	25

Ponto	UTM-E	UTM-N	Unidade Jandaíra		Unidade Açú	
			top_UH1	Esp1	top_UH2	Esp2
D_03	733010	9383100	26	0	26	46
D_04	733010	9386960	25	0	25	68
D_05	732941	9390465	22	0	22	88
D_06	732995	9394038	20	0	20	110
D_07	732995	9397557	18	11	7	120
D_08	733049	9401129	29	45	-16	121
D_09	733186	9404759	50	90	-40	120
E_02	747340	9383485	68	0	68	66
E_03	747295	9387109	92	0	92	107
E_04	747295	9390642	29	0	29	63
E_05	747295	9394175	28	0	28	82
E_06	747205	9397798	93	29	64	136
E_07	747159	9401150	70	24	46	138
E_08	747146	9404719	51	23	28	138
F_02	760723	9385796	102	0	102	88
F_03	760770	9389450	117	0	117	133
F_04	760770	9393153	67	0	67	115
F_05	760818	9396855	60	14	46	126
F_06	760960	9400415	63	49	14	124
F_07	760880	9404290	63	79	-16	126
G_02	771807	9385156	114	0	114	62
G_03	771845	9388896	110	0	110	97
G_04	771845	9392788	84	0	84	110
G_05	771883	9396490	80	0	80	146
G_06	771939	9400275	58	18	40	145
G_07	771980	9404070	60	58	2	146

### **1.2.1– Condições de Contorno**

As condições de contorno adotadas, com base nas condições hidrogeológicas da área foram as seguintes:

- i) Ao sul e a leste, no contato com o embasamento cristalino, o contorno foi simulado limite impermeável de fluxo nulo.
- ii) Os contornos a oeste e ao norte, no domínio dos terrenos sedimentares, foram simulados como limites de carga conhecida.
- iii) As lagoas do Piató e da Ponta Grande foram simuladas como limites de carga geral.
- iv) O rio do Carmo, não perene, no oeste da área, foi simulado como dreno do sistema aquífero.
- v) O rio Açú, no centro da área, perenizado pelo açude Armando Ribeiro Gonçalves, foi simulado como rio

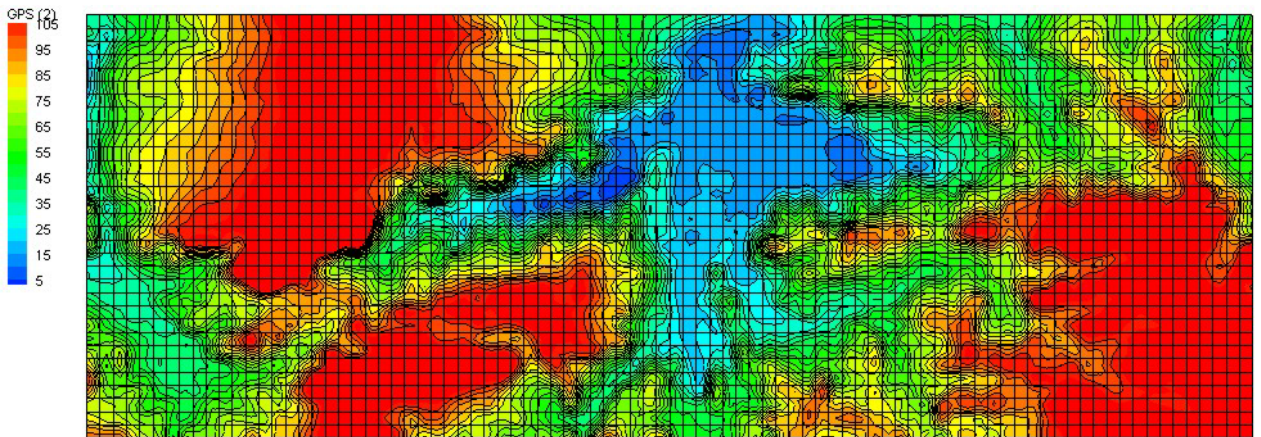
### **1.2.2- Superfície do Terreno**

As cotas da superfície do terreno, definidas pelo Modelo Digital do Terreno, foram extraídas da imagem de satélite SRTM da área (figura 6.4), através do programa Global Mapper. Para maior precisão as cotas SRTM foram corrigidas usando a relação  $GPS = 0,9761 \text{ SRTM} - 1,042$ , proposta por Demetrio et al. 2006, após comparação de cotas SRTM do oeste da Bacia Potiguar com levantamentos topográficos de precisão efetuados na região.

O resultado é o mapa topográfico mostrado na figura 5, onde se destacam perfeitamente: i) em vermelho, as zonas de chapadas com cotas superiores a 100 m; ii) na faixa do vermelho até o verde, as zonas de encostas e vertentes escarpadas, com cotas compreendidas entre 30 e 100 m; iii) e finalmente, em diferentes tons de azul, as zonas de planícies, com cotas compreendidas entre 10 e 30 m.



**Figura 4** – Imagem SRTM da área de estudo na borda sul da Bacia Potiguar entre as cidades de Afonso Bezerra e Upanema.



**Figura5** – Mapa em curvas de nível da distribuição do relevo da área de estudo entre as cidades de Afonso Bezerra a leste e Upanema a oeste, com cotas corrigidas usando a relação de Demetrio et al. 2006.

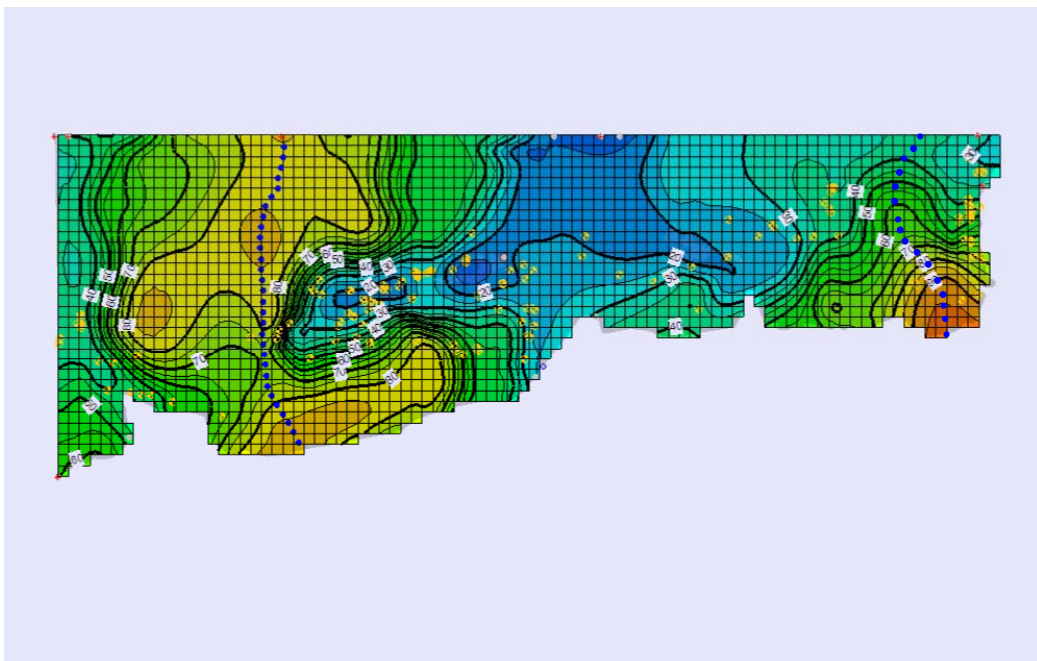
### 1.2.3– Cargas Iniciais

Em estudos regionais anteriores (por exemplo, Manoel Filho et al. 2006 op.cit),, as condições iniciais de distribuição de carga potenciométrica para o aquífero Jandaíra na zona oeste da Bacia Potiguar, foram caracterizadas por escoamentos de água subterrânea com gradientes hidráulicos variáveis de 0,6 a 6 m/km. A magnitude dos gradientes hidráulicos nas zonas de conexão entre as superfícies freáticas dos aquíferos Jandaíra e Açu, permanece ignorada, por falta de dados de poços nas proximidades do contato entre essas Formações na zona de afloramento dos arenitos. Além disso, como essa zona se encontra hoje ocupada por um grande número de poços em exploração, os dados de nível d'água levantados em campo somente permitem reproduzir a *superfície potenciométrica final*, isto é, a superfície resultante das interferências produzidas pelos bombeamentos e que nada tem a ver com a *superfície de cargas iniciais* necessária para a caracterização das condições do sistema aquífero antes do início dos bombeamentos, como requerido pela modelagem MODFLOW.

Assim sendo, a superfície de cargas iniciais usada na presente modelagem foi inferida do mapa topográfico da região (figura5), partindo do princípio de que o escoamento subterrâneo tem no relevo um dos seus principais condicionantes. O resultado se apresenta no mapa da figura6.

De fato, em primeira aproximação, admite-se, como bastante plausível na ausência de bombeamento, a presença de um divisor de águas subterrâneas, aproximadamente coincidente com o divisor de águas superficiais, que separa as bacias do rio do Carmo a oeste, da bacia do rio Açu, no centro da área de estudo. Um segundo divisor de águas subterrâneas também é inferido na zona leste, coincidindo aproximadamente com a divisória de águas superficiais entre as bacias do rio Açu e do riacho do Meio, que escoam para norte em direção à zona litorânea de Macau, a partir de Afonso Bezerra.

No centro da área, coincidente com a planície do rio Açu, o escoamento subterrâneo se faz, a partir dos divisores acima mencionados, em direção à Lagoa da Ponta Grande, a leste, e em direção à Lagoa do Piató, a oeste. Essa caracterização das cargas iniciais e do fluxo subterrâneo inicial, na escala do estudo, parece bastante satisfatória tendo em vista a boa precisão dos dados topográficos obtidos a partir do Modelo Digital do Terreno.



**Figura6** – Cargas iniciais inferidas a partir do mapa topográfico da área de estudo entre Afonso Bezerra e Upanema, com divisores de água subterrânea indicados por pontos azuis, a leste e a oeste da região.

#### **1.2.4– Condutância Hidráulica**

Seguindo a metodologia proposta por McDonald & Harbaugh 1988, a condutância hidráulica em diferentes condições de contorno é avaliada da forma descrita a seguir:

##### **1.2.4.1 Condutância das Lagoas:**

As lagoas foram consideradas como limites de carga geral e a condutância hidráulica foi deduzida a partir do fluxo subterrâneo, usando os parâmetros e equações indicadas na tabela.2:

**Tabela 2**– Propriedades hidráulicas do aquífero, fluxo e condutância hidráulica das Lagoas na zona da planície aluvial.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Gradiente hidráulico	i	m/km	2,8
Espessura do aquífero	b	m	53
Condutividade hidráulica	K	m/d	4
Transmissividade mediana	T	m <sup>2</sup> /d	211
Perímetro Lagoa Piató	L	m	2230
Perímetro Lagoa Ponta Grande	L	m	2960
Área Lagoa Piató	LW	m <sup>2</sup>	8,12x10 <sup>6</sup>
Área Lagoa Ponta Grande	LW	m <sup>2</sup>	8,21x10 <sup>6</sup>
Fluxo subterrâneo para Piató	Q=TiL	m <sup>3</sup> /d	1317
Fluxo subterrâneo para Ponta Grande	Q=TiL	m <sup>3</sup> /d	1748
Condutância Piató	Q/LW	m/d	1,62x10 <sup>-4</sup>
Condutância Ponta Grande	Q/LW	m/d	2,13x10 <sup>-4</sup>

#### 1.2.4.2– Condutância do rio Açu

O rio Açu, perenizado pelo Açude Armando Ribeiro Gonçalves, é influente sobre o sistema aquífero através das aluviões. Os sedimentos aluviais em quase todos os vales são representados por materiais arenosos com coeficientes de filtração ou velocidades aparentes de infiltração (m/dia), que guardam uma boa correlação com a condutividade hidráulica horizontal  $K_h$  do aquífero (Bize et al. 1972, Bourguet, 1970 Bourguet et al. 1972, Apud Manoel Filho & Silva, 1999). Para uma condutividade hidráulica de 8,64 m/d a velocidade mínima de filtração esperada é de 0,1 m/d. Com base nessa referência foram definidos na tabela3 os parâmetros e fórmulas para a estimativa do fluxo induzido do rio pelo aquífero e sua respectiva condutância.

**Tabela 3** – Parâmetros e fórmulas para o cálculo da condutância hidráulica do rio Açú

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Condutividade hidráulica	K	m/d	4
Taxa de infiltração	I	m/d	0.04
Extensão do rio	L	m	25120
Largura da seção molhada do rio	W	m	40
Relação	W/M	adimensional	2/3
Fluxo induzido do rio (esperado)	Q= ILW	m <sup>3</sup> /d	40192
Condutância hidráulica	C=KLW/M	m <sup>2</sup> /d	66986
Condutância hidráulica unitária	C=KW/M	m/d	2,67

#### 12.4.3 – Condutância do Rio do Carmo (dreno)

O rio do Carmo não é perene e foi simulado como dreno. Para estimar a sua condutância hidráulica tomou-se como base o valor médio das lâminas anuais restituídas no domínio do calcário Jandaíra (5,8 mm) e do arenito Açú (9 mm) (Manoel Filho et al. 2003 op.cit).

O valor médio ponderado é de 7 mm sobre a área de 567 km<sup>2</sup> drenada pelo rio do Carmo e ocupada pelos arenitos Açú (210 km<sup>2</sup> ou 37%) e pelos calcários Jandaíra (sobre 357 km<sup>2</sup> ou 63%) no setor oeste da área de estudo (figura 6). Os parâmetros e a fórmula usada para a estimativa da condutância, bem como o valor final encontrado, podem ser vistos na tabela 6.4.

**Tabela 4** – Parâmetros e fórmula para o cálculo da condutância hidráulica do dreno

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Área de drenagem	A	Km <sup>2</sup>	576
Descarga média restituída por km <sup>2</sup>	Qu	m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> . ano	7000
Descarga total diária	Q	m <sup>3</sup> /d	11046
Extensão do rio	L	m	31996
Largura do dreno	W	m	1
Condutância do dreno	C=Q/LW	m/d	0,345

## **12.5 – Fontes /Sumidouros**

### **12.5.1 - Recarga**

Os valores de recarga usados no modelo foram de 9 mm/ano ( $2,47E-5$  m/d) sobre a área de 1124 km<sup>2</sup> de afloramento do arenito Açú e de 5,8 mm/ano ( $1,59E-5$  m/d) sobre a área de afloramento do calcário Jandaíra (852 km<sup>2</sup>). Sobre a superfície das Lagoas (16,33 km<sup>2</sup>) foi considerada uma recarga de 500 mm/ano ( $1,37E-3$  m/d), correspondente à precipitação média na área.

### **12.5.2 – Poços Produtores**

Foram introduzidos no modelo 156 poços com uma produção total de 16279 m<sup>3</sup>/d.

### **12.5.3 – Evapotranspiração**

Para as Lagoas, foi admitida uma perda por evapotranspiração de 1800 mm/ano, ( $4,93E-3$  m/d) sobre uma superfície de 16,33 km.

## **1.2.6– Parâmetros hidráulicos**

Como parâmetros hidráulicos representativos do sistema aquífero foram considerados a condutividade hidráulica mediana de 4 m/d e uma porosidade efetiva 0,08. Convém ressaltar que a estatística descritiva da condutividade hidráulica (tabela 5) revela uma distribuição extremamente heterogênea com elevada assimetria e coeficiente de variação  $CV = 25/11,12 \cong 225\%$ .

O intervalo de variação vai de um mínimo de 0,12 m/d a um máximo de 107 m/d. O valor médio é de 11,12 m/d, porém diante da elevada assimetria da distribuição de frequência (3,98) o valor mediano de 3,97 é certamente o que melhor se aproxima do valor central.

O intervalo de confiança de 95% da média ( $11,12 \pm 12,85$ ) é bastante sugestivo da elevada dispersão dos valores.



**Tabela 5** – Estatística descritiva da condutividade hidráulica

<b>N válidos</b>	<b>Média</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
17	11,12	6,06	3,97	25,00	3,98	0,12	107,14

### 1.3 Resultados do Modelo

Os resultados da modelagem numérica são considerados satisfatórios na medida em que possibilitam um diagnóstico bastante coerente das condições hidrogeológicas reinantes na área de estudo, como é mostrado a seguir.

#### 1.3.1– Balanço hidrogeológico

O balanço hídrico avaliado através do modelo numérico (tabela 6) apresenta uma diferença de apenas 0,2% entre as entradas e saídas totais do sistema modelado. Segundo esse balanço a recarga média difusa proveniente das chuvas na região é de 54924 m<sup>3</sup>/d, equivalente a uma lâmina anual de 10 mm.

**Tabela.6** – Balanço hidrogeológico do sistema aquífero gerado pelo MODFLOW

	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>
Fontes/Sumidouros		
Armazenamento		
Cargas constantes	8981,3	-71646,3
Drenos	0,0	-6764,5
Cargas Gerais	3988,4	-32,1
Rios	548087,9	-506322,8
Poços	0,0	-16279,0
Recarga	119064,3	0,0
Evapotranspiração	0,0	-80531,5
Total Source/Sink	680121,8	-681576,2
	<b>Entrada</b>	<b>-</b>
	<b>saída</b>	<b>Diferença %</b>
Total Fontes/sumidouros	-1454,4	-0,2
Recarga Rios	41765,1	
Recarga Lagoas	22372,1	
Recarga difusa	54927,1	
Fluxo para as lagoas	58159,4	

Existe ainda uma recarga fluvial proveniente do rio Açu (perenizado pelo Açude Armando Ribeiro Gonçalves) igual a 41765,1 m<sup>3</sup>/d (0,483 m<sup>3</sup>/s). Na entrada da área do modelo a descarga média do rio Açu é de 548087,9 m<sup>3</sup>/d (6,3 m<sup>3</sup>/s) contra uma descarga de 506322,8 m<sup>3</sup>/d (5,9 m<sup>3</sup>/s) na saída.

As vazões extraídas através de 156 poços tubulares somam 16279 m<sup>3</sup>/d (0,188 m<sup>3</sup>/s) enquanto que o fluxo subterrâneo convergente para as lagoas e que se perde por evaporação através do espelho líquido é de 58159,4 m<sup>3</sup>/d (0,673 m<sup>3</sup>/s).

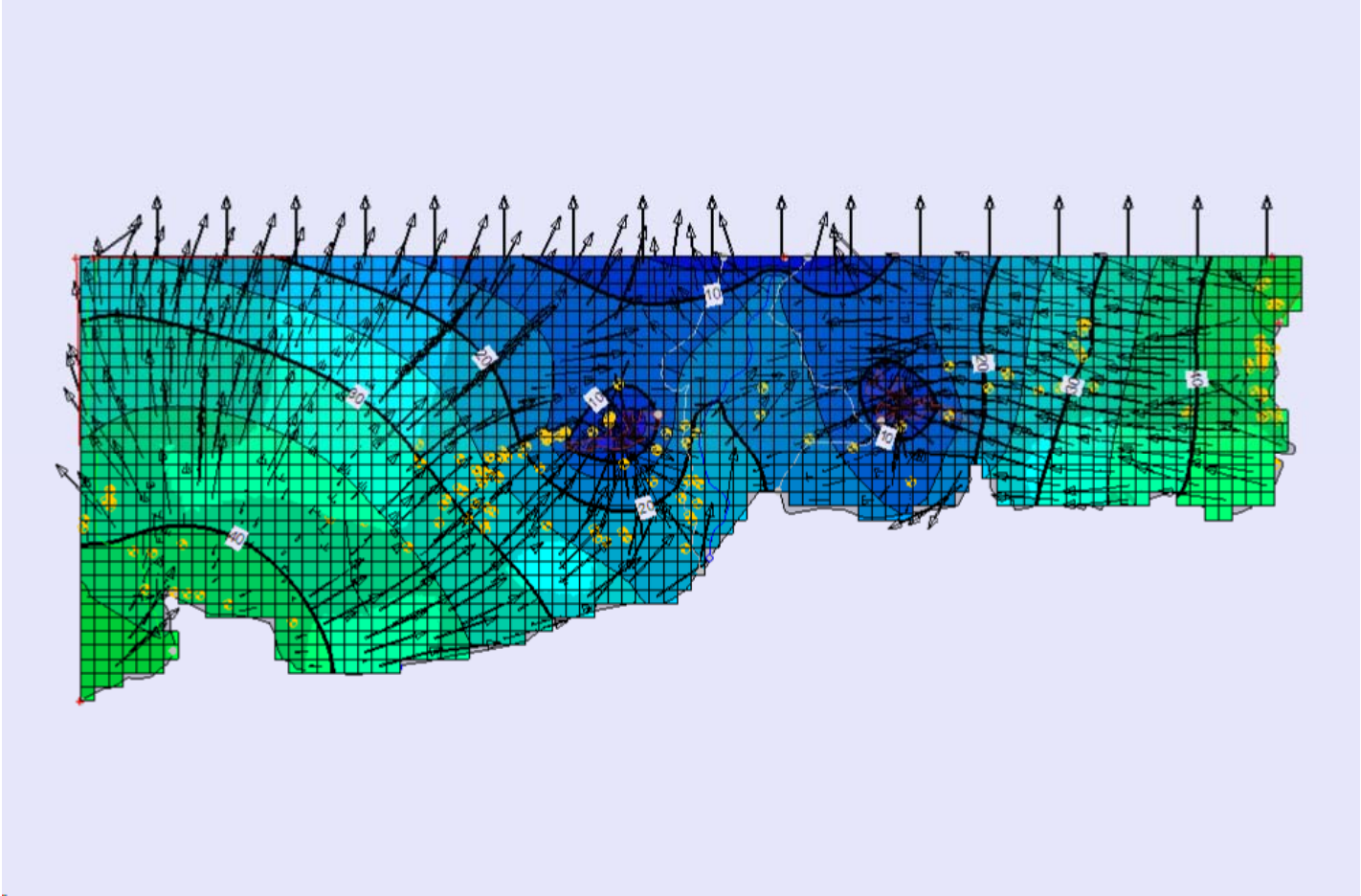
### **1.3.2 Distribuição das cargas hidráulicas**

A distribuição das cargas hidráulicas e as direções do fluxo subterrâneo avaliadas pelo modelo são apresentadas na figura 7. De modo geral o fluxo se realiza com gradientes hidráulicos suaves, variáveis de 0,5 a 1,5 m/km. A partir do setor leste as águas subterrâneas escoam para oeste em direção ao vale do Açu e à Lagoa da Ponta Grande. No setor oeste, a partir da zona de montante na borda da bacia, o escoamento geral se realiza nas direções NW, N e, sobretudo, NE, em direção ao vale do Açu com uma convergência significativa para a Lagoa do Piató.

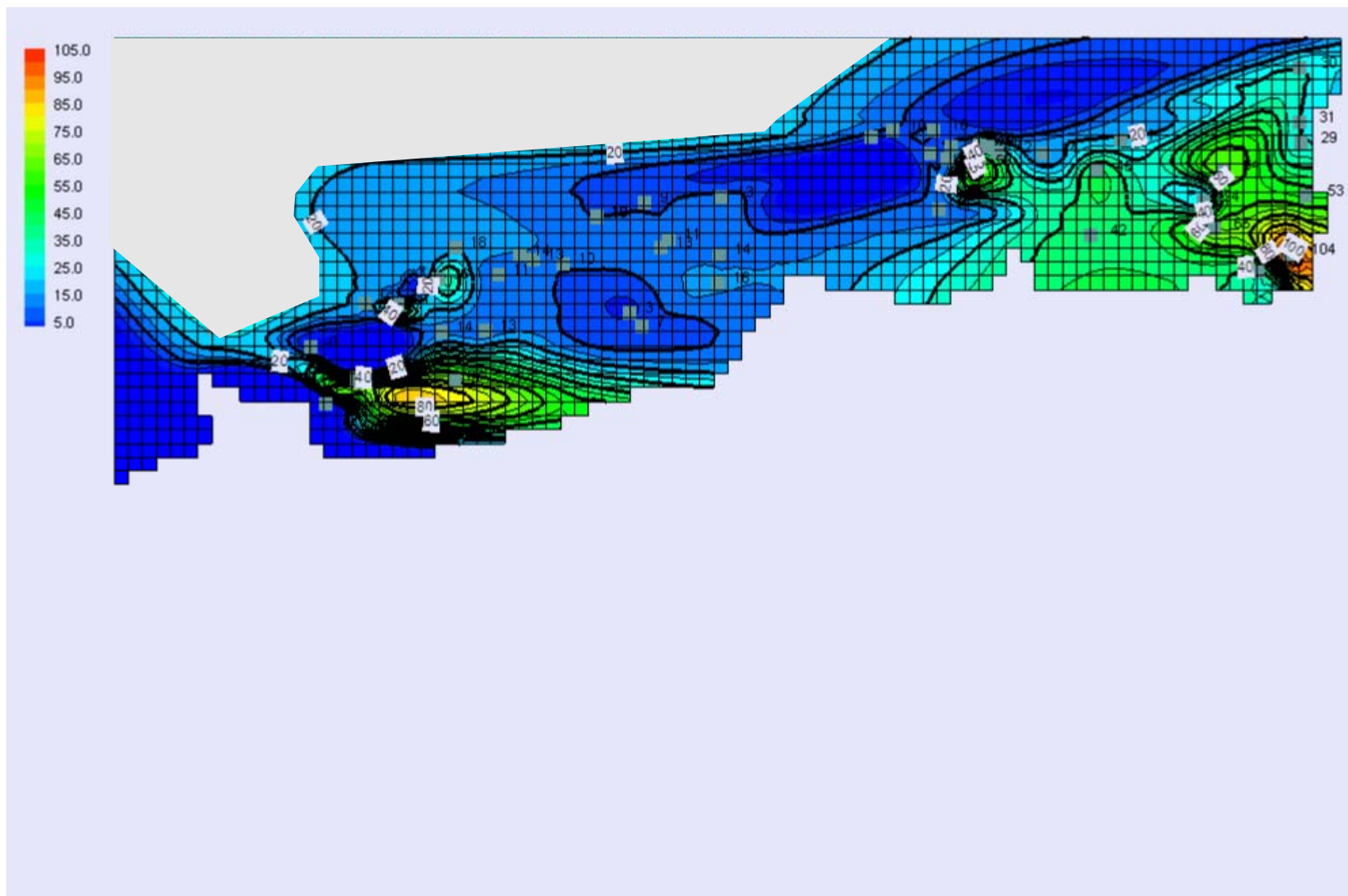
### **1.3.3– Calibração**

Como se pode observar a superfície potenciométrica do mapa da figura 7, resultante da modelagem numérica, é bastante diferente da superfície potenciométrica levantada em campo durante as campanhas de medições realizadas em setembro de 2006 e março de 2007 (figura 8). Admite-se que a dificuldade dessa calibração (ou seja, do modelo numérico reproduzir essa última superfície), resulta principalmente dos efeitos das extrações pontuais dos poços que exige uma malha muito mais refinada do que a permitida pelas células de 1 km<sup>2</sup> definidas na modelagem.

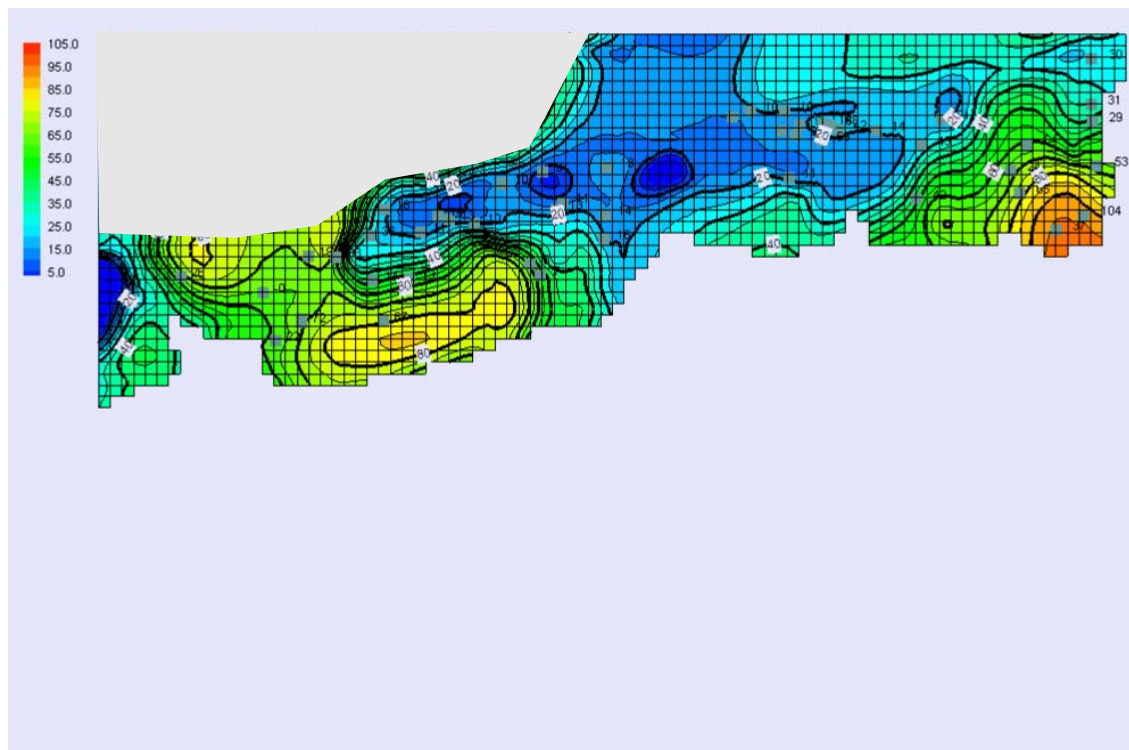
De fato, usando os parâmetros do modelo numérico (K=4m/d e Sy=0,08) foi possível obter através de método analítico, uma superfície potenciométrica (figura 9) bastante mais próxima da que foi observada em campo (figura 8).



**Figura 7** –Distribuição das cargas potenciométricas e direções de fluxo produzidas pelo modelo MODFLOW.



**Figura 8** – Superfície potenciométrica obtida com dados de setembro 2006 e março 2007.



**Figura 9** – Mapa potenciométrico obtido através de modelagem analítica para um tempo de bombeamento de 50 anos

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIHS 1970. ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE – Alimentation artificielle des nappes souterraines. Inventaire international des installations existantes. Publication n° 87. 1970.

BIZE, J.; BOURGUET, L. & LEMOINE, J. 1972.– L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Masson. Paris.

BOURGUET, L. 1970. Inventaire international des aménagements d'alimentation artificielle. Dépouillement et synthèse des réponses. SPEPE., rapor Burgéap R. 55-E. 151.

DEMETRIO, J. G.; CORREIA, L.C. & SARAIVA, A.L. 2006. Utilização de imagens SRTM na confecção de mapas potenciométricos. XIV CONG. BRAS. DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ABAS. Curitiba, 2006.

FEITOSA, E. C. & DEMETRIO, J. G. A. 1997. Recursos hídricos subterrâneos – Relatório Diagnóstico – vol 1. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE. SERHID. HIDROSERVICE. LABHID.

McDONALD, M.G. & HARBAUGH, A.W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. USGS. TWI 6-A1.

MANOEL FILHO, J. 1971 – Inventário Hidrogeológico do Nordeste – Folha Jaguaribe NE. SUDENE. DRN. DD. Hidrogeologia, 30.

MANOEL FILHO J. & SILVA, J. C. 1999. Mapeamento dos aquíferos nas bacias receptoras da transposição do rio São Francisco. Avaliação hidrodinâmica e qualitativa. VBA. Min. Integ. Nacional.

MANOEL FILHO, J.; DEMETRIO, J. G. & COSTA, W.D. 2003. Diagnóstico da situação atual e possibilidades de ampliação da exploração de água subterrânea na zona oeste da bacia Potiguar – RN. FADE-UFPE-LABHID.

## Anexo 2

### Groundwater salinization in the Upanema-Afonso Bezerra semi-arid region, RN, Brazil

(Artigo produzido para apresentação e publicação Anais do XXXVI Congresso da Associação da Internacional de Hidrogeólogos (IAH), Lisboa, Setembro 2007).

T-02

### Groundwater salinization in the Upanema-Afonso Bezerra semi-arid region, RN, Brazil

[<sup>1</sup>]Jose G DE MELO, [<sup>2</sup>] Mickaelon B VASCONCELOS, [<sup>3</sup>]Jose I MEDEIROS, [<sup>4</sup>]Franklin MORAIS, [<sup>5</sup>]Samara D MORAIS.

[<sup>1</sup>]Rua Pau Brasil, 457, N. Parnamirim, Natal, RN, Brasil, e-mail: jgmelo@ufrnet.br, jgmelo72@yahoo.com.br.

[<sup>2</sup>]Campus Universitario, Natal, RN, Brasil, e-mail: [mickvasconcelos@yahoo.com.br](mailto:mickvasconcelos@yahoo.com.br).

[<sup>3</sup>]Rua Durval Porpino, 165, Neopolis, Natal, RN, Brasil, e-mail: jivan@ufrnet.br.

[<sup>4</sup>]CPRM, Recife, Pe, Brasil, e-mail: fraklin@cprm.br

[<sup>5</sup>]Alameda B. E. Apto. 103, N. Parnamirim, Natal, RN, Brasil, e-mail: samaradanielle.morais@yahoo.com.br

## ABSTRACT

The study area is situated in the southern edge of the Cretaceous Potiguar Basin in the Rio Grande do Norte State, in a semiarid region. The groundwater of the Açú aquifer is the main water source to supply the population and to land irrigation. The groundwater use has been limited due the occurrence of saline waters in the same sectors of the area. This article tries to evidence the sources, mechanisms and distribution of the groundwater salization using structural geology, geophysical and hidrogeochemical techniques. It was verified that the salinization of water depends on the structural geology, which controls the flux direction. The water's salinity decreases from south to north in the subterraneous flux direction as the transmissivity increases. It was identified:  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$  or  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  water type. These are related to the geochemical processes like evaporation, minerals dissolution and ions exchange.

**Keywords:** Groundwater flow, semi-arid region, salinization, groundwater quality.

## 1. Introduction

The study area is situated on the southern board of the Potiguar Basin in the central part of the Rio Grande do Norte State in Brazil. It's a narrow area that goes from Upanema city until Afonso Bezerra city, whose surface is about 1080 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

The groundwater of the Açú Aquifer is the main resource to supply the cities like, Upanema, Ipanguaçu and Afonso Bezerra, besides some districts. The irrigation water use is not common but it's increasing. There is one case where the water is

used like mineral water: the Seridó Mineral Water, situated in the Upanema municipality.

The Açu Aquifer wells are about 90.0 m deep yielding up to 60,0 m<sup>3</sup>/h. The total discharge obtained from the wells is about 5.3 million m<sup>3</sup>/year.

In the last years the groundwater use, as well for supplying the population as for irrigation, has been limited due to the occurrence of salinity water, low yield of the wells in the same situation and the lack of knowledge about aquifer potentialities.

Saline groundwater occurs frequently in hydraulic contact to fresh water and can cause fresh water exploitation constraints. The understanding of the answers to the saline water body by the abstraction of fresh water requires knowledge about the total system including the head control and groundwater flux (Lloyd and Heathcote 1985 and Mather 1997). The fresh water is considered water whose salinity is less than 1000 mg/L of total dissolved solids (TDS) (Robinove et al 1958, Freeze and Cherry 1979). The saline term will be used for water in which the total dissolved solids is higher than 1000 mg/L (Lloyd and Heathcote 1985) and the term salinization, means an increasing of the TDS from the background level (Richter and Kreitler 1993).

In this article the aspects of salinization of the Açu aquifer are discussed, trying to obtain information about the origin, mechanisms and distribution of saline water and the hydrochemistry facies.

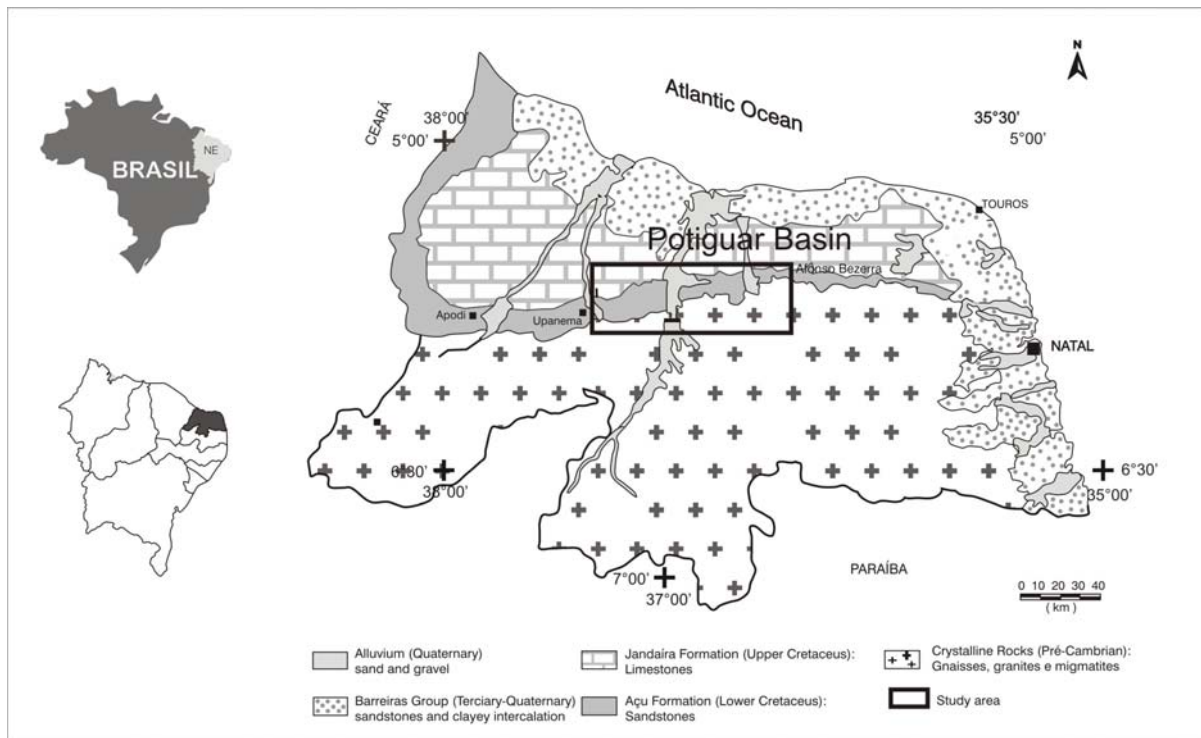


Figure 1 Situation of the study area and Geology of the Rio Grande do Norte State.

## 2. Methodology

The hydrochemistry study and the aspects of water salinization are based on geological, geophysical, structural and hydrogeological data and on the results of the water's chemical analysis.



The hydrogeological structure of the study area was defined by the correlation between well logs and geophysics results of the vertical electrical investigation and gravimetric data. The groundwater flux characterization was obtained by the level contour maps that were performed using the water level data and the topographic data of the wells that were obtained by the GPS geodesic system frequency double. At first, the hydrochemistry studies were performed by the water's quality evaluation through the in situ measures of the electrical conductivity of the well water. In this case portable conductivimeters were used. Taking in account the results, the hydrochemistry monitoring net was defined. In this case samples from wells and rainwater were included. The total of the selected water points was 65, whose wells were preferentially selected taking the existing log criteria and under different salinization situations. The hydrochemical analysis was performed to reach the objective that follows: identification of the type water in relation to the major ions; evaluation of the groundwater recharge and discharge; and to study the origin, mechanisms and distribution of saline water. The hydrochemistry parameters evaluated were: the major cations (Na, Ca e Mg) and the major anions (Cl, SO<sub>4</sub>, and HCO<sub>3</sub>); the compounds of nitrogen (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub>) and the electrical conductivities, total dissolved solids, temperature, alkalinity and hardness, besides the Fe, CO<sub>3</sub> and K. The analysis results were submitted to a mass balance and only the ones whose error was less than 5% were considered.

### **3. Climatic, geological and physiographical conditions**

The pluvial precipitations in the study area decrease from east to west, whose values vary from 666 mm/year in Upanema City up to 536.0 mm/year in Afonso Bezerra City (Table 1) and whose average is 595.5 mm/year (1931-2004 period). The rain is concentrated in three or four months of the year (Fig. 2), resulting in a high water deficit and a semi-arid character, whose evapotranspiration potential is 1499.4 mm/year.

The area is situated on the South border of the Potiguar Basin formed mainly by the sandstone of the Açu Formation, from the Inferior Cretaceous. The Quaternary is represented by the occurrence of gravel and alluvial deposits whose highlight is the Açu Alluvial Plan. The Açu Formation is situated on crystalline rocks of the Pre-Cambrian and it's limited to the South by these rocks highlighted by Brazilian granitites, the gneiss - migmatitic and the indication of the foliation and stress zones, from the Brazilian age. To the North the Jandaira Formation calcareous from the Superior Cretaceous borders the Açu aquifer. These limits occur sometimes in straight lines of abrupt relief indicating falls and fractures (possible neotectonic reactivation by Cretaceous falls or Tertiary falls, as written by Medeiros et al 2001).

The Açu river crosses the central part of area from North to South after draining the crystalline rock terrains. The effluents of this river develop a low-density drainage indicating low superficial flux and a high infiltration rate that is affected by the high evapotranspiration.

In the regional landscape different relief shapes can be seen associated to the different kinds of rocks and the geological structure. On the crystalline rocks, to the South, the relief is accidental with mountains developing a dendrite and a dense drainage. To the North the relief is plain and smooth. It is formed by calcareous of the Apodi Formation. The effectively studied area has a tabular relief and a smooth bend in the direction of the rivers. The limit of the Açu Formation Sandstone with the Jandaira Formation calcareous occurs by abrupt relief.

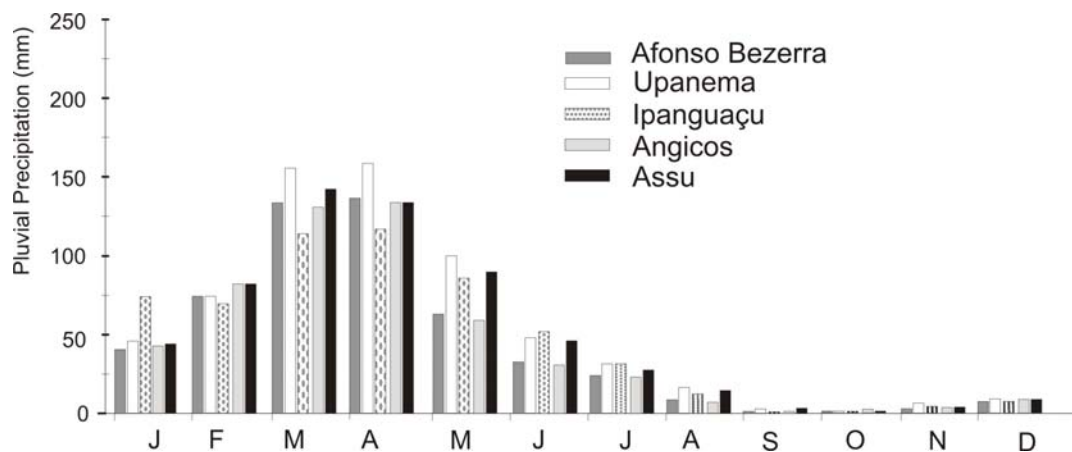


Figure 2 Graphic representation of the mensal pluvial precipitation (1910-2004)

#### 4. The hydrogeology situation

##### 4.1 Hydrogeology framework

The characterization of the hydrogeology framework of the area joins elements of the structural analysis with elements of geophysics and hydrogeology. The geophysical and structural survey was performed in a regional scale and it consisted of: a compilation of the geological map in the scale of 1:200 000 (Brasil-CPRM 2006); an interpretation of the Landsat images; a structural data survey; gravimetric data and vertical electric sound (VES) data analysis (Branco, R. M. G. C., 2006). Although some anomalies (as “high” and “Low” structure) can be interpreted as configuration associated to paleorelief, the regional studies are favorable to a structural interpretation (falls) in most of the cases (Medeiros et al 2001). Fig. 3A, 3B and 3C.

Taking into account the logs of the wells it was verified that the Açú Formation thickness and Aquifer Açú saturated thickness increase from South (crystalline basement) to North (Jandaira Formation). The thickness of the Açú Formation varies from less than 32.0 m in the South zone of the area (near to the limit of the crystalline basement) up to more than 154.0 m in the North zone of the area (in the direction to the calcareous of the Jandaira Formation). The Geophysics studies, however, show the possibility that the Açú thickness reaches 140.0 m up to 300.0 m, respectively. The aquifer Açú saturated thickness changed from 9.8 m in the South zone up to 140.0 m in the North zone. The depth to the groundwater level changes mainly according to the topography from less than 10.0 m to more than 60,0 m.

The litology of the Açú aquifer is constituted by fine to coarse sandstones and conglomerate in the lower layers that change to sandstones with argillites and siltites intercalated levels in direction to the ground surface. This attributes to the aquifer an unconfined system character with localized occurrence of semi-confined aquifer type.

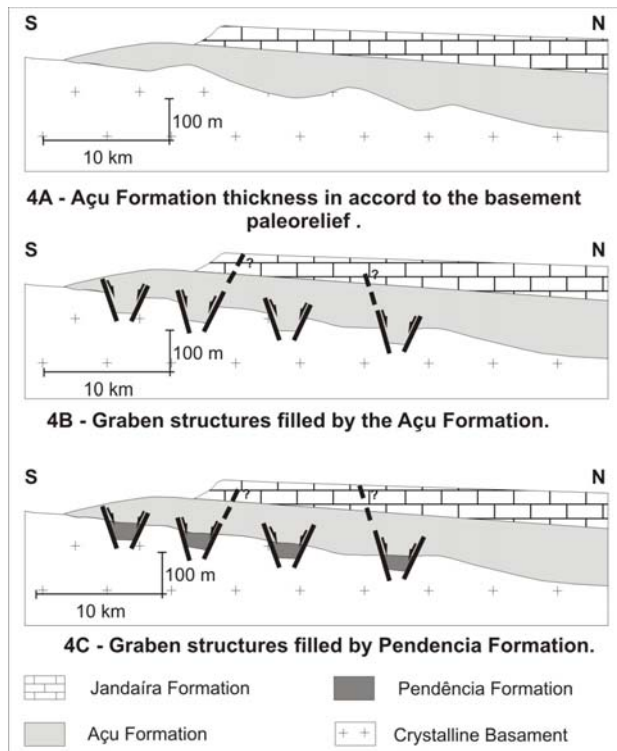


Figura 3 Hydrogeological structural models on the South Border of the Potiguar Basin (Medeiros et. al. 2001).

#### 4.2 Groundwater flux and hydrodynamics parameters

As the configuration of the equipotentials shows (Fig. 4), the groundwater flux is in general in the direction from South to North, leaving from near the limit of the crystalline rocks in the direction to the calcareous of the Jandaíra Formation. Occasionally the flux lines change to Northeast and Northwest in the direction to the main rivers that drain the area (Açu river, Do Carmo River and Mulungu river). The hydraulic gradients in most part of the area are 0.35%, occurring places where the gradient is more than 1% in the region of water divisors and cases where it is less than 0.1% (Açu alluvial plain). The total natural flux yield thorough the areas was evaluated in  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

The transmissivity of the aquifer increases in the same direction as the groundwater flux, changing from less than  $10 \text{ m}^2/\text{day}$ , in the South zone to values superior to  $400 \text{ m}^2/\text{day}$  in the North zone, reaching higher values near the limit of the calcareous. The highest value of the Açú aquifer transmissivity was obtained in the Açú Plain, where it reaches  $2065 \text{ m}^2/\text{day}$  influenced by the recharge from alluvial aquifer. The effective porosity was obtained from the aquifer test result interpretation performed in the Açú municipality, whose value was 8.1% .

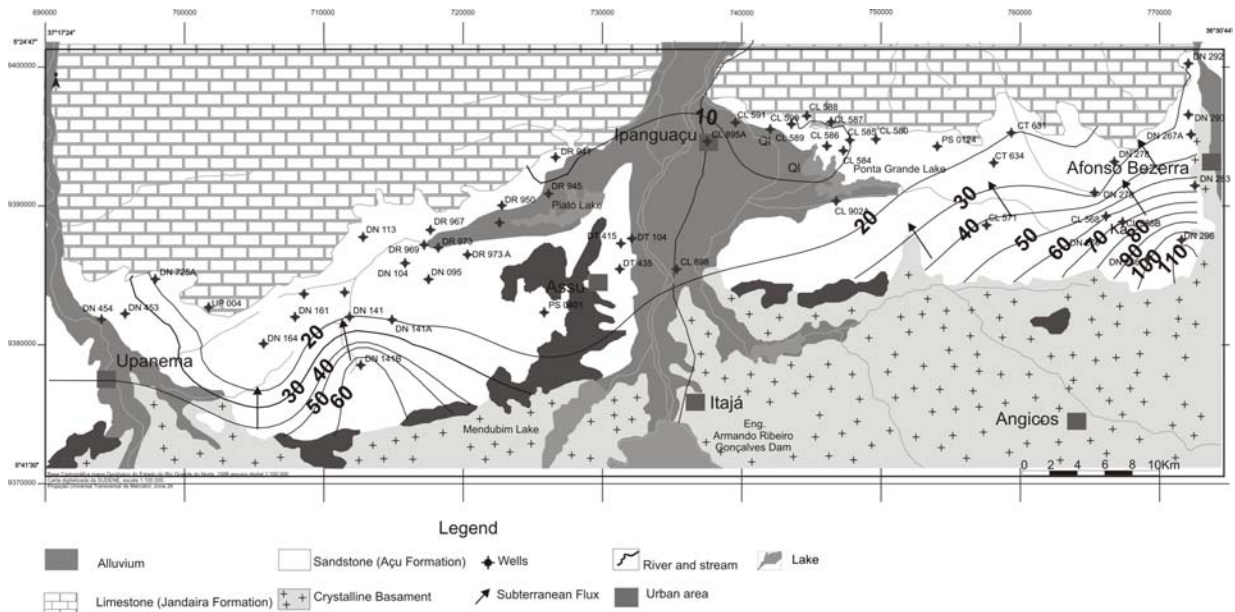


Figure 4 Groundwater level contour maps of the Açú aquifer

## 5 Hydrochemistry evaluation and groundwater salinization

### 5.1 Chemical analysis results

The hydrochemistry evaluation including the aspects relative to the distribution, origin and the mechanisms of the salinization of groundwater are presented taking in account the results of a chemical analysis of 63 water samples collected from the aquifer Açú wells, 3 from wells in the Jandaira aquifer, 2 from a well in cristaline aquifer and 2 are rainwater. The results of the groundwater analysis are presented as a statistics summary (Table 1).

Table 1 Summary statistics for concentration of chemical constituents obtained from wells situated in the Açú aquifer (63 results).

	Min	Max	Média	Dv padrão	Desv	Coef Var%
Na (mg/L)	13,1	552,38	99,377	103,492	104,14	98,0
Ca (mg/L)	0,0	693,6	60,649	96,914	159,8	100,0
Mg (mg/L)	3,37	313,6	42,203	55,674	131,92	99,0
Cl (mg/L)	14,8	2244,2	302,24	398,19	131,75	100,0
SO4 (mg/L)	0,0	375,24	38,227	70,093	183,36	100,0
pH	4,34	8,66	5,762	5,265	91,383	50,0
K (mg/L)	4,23	140,91	26,281	26,595	101,19	97,0
Cond (µS/cm)	198,6	6490,0	1181,9	1221,565	103,35	97,0
TDS (mg/L)	101,0	3450,0	597,92	639,281	106,92	97,0
HCO3 (mg/L)	4,88	639,28	102,06	104,357	102,25	99,0
NO3 (mg/L)	0,0	208,0	15,311	29,439	192,27	100,0
Fe (mg/L)	0,0	7,1	0,383	0,855	223,05	100,0



Considering the anions, the  $\text{Cl}^-$  presents a good correlation with the CE (97%). As was shown before and can be seen in Fig. 6 (distribution of chloride), the salinity of the groundwater decreases as the groundwater moves to a down gradient. It means that the recharge mechanism contributes to a progressive dilution of the salts and a reduction in the chloride concentration. The anions  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2+}$  present a low correlation in relation to the TDS, whose correlation coefficients are 35% and 41%, respectively. Then, these anions aren't affected by the salinization.

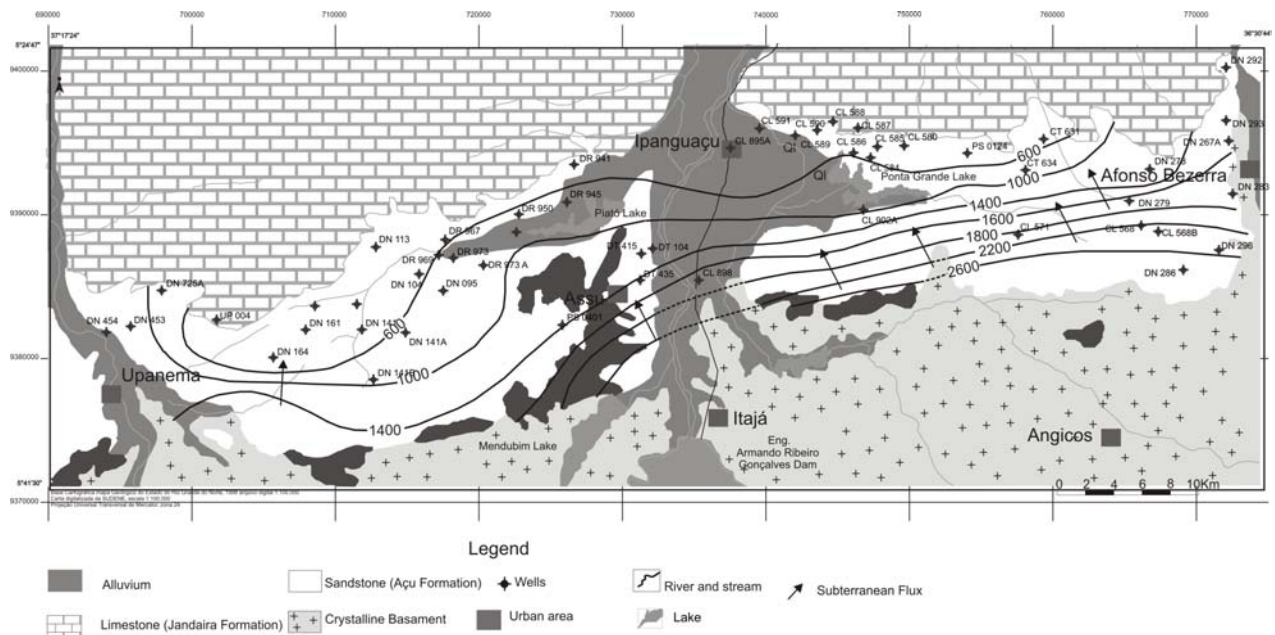


Figure 5 The Electrical conductivity of the Açú aquifer

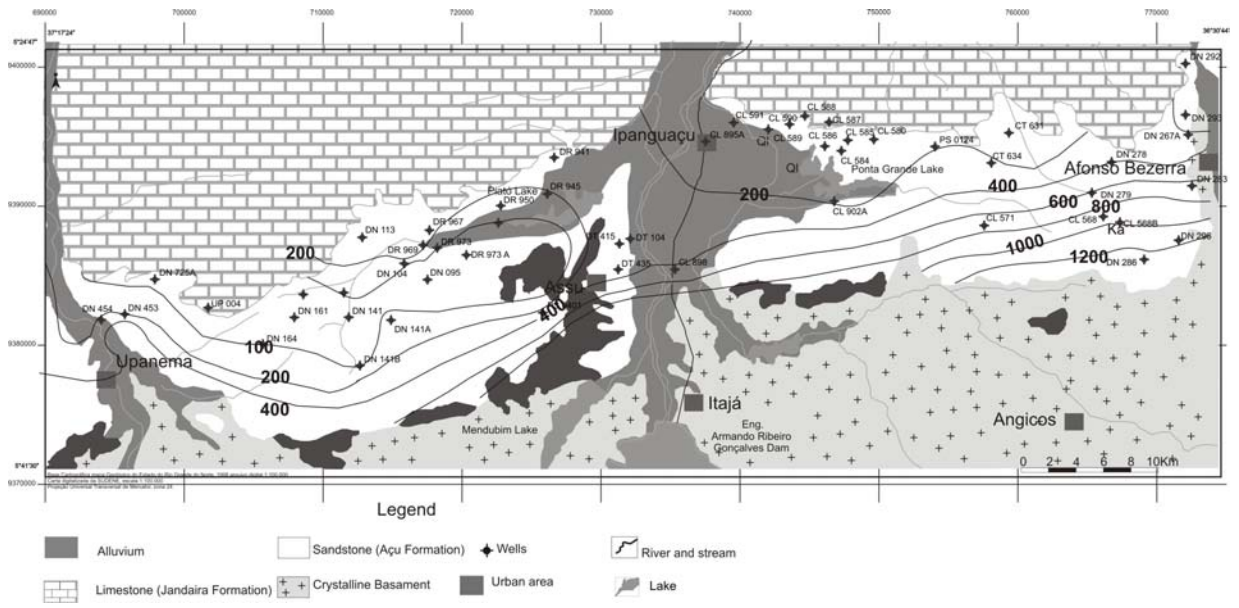


Figura 6 The distribution of the chloride concentration in the Açú aquifer

### 5.3 Hydrochemistry facies

This term “facies” is used to describe the bodies of groundwater, in an aquifer, that differ in their chemical composition. The facies are a function of the lithology, solution kinetics, and flow patterns of the aquifer (Back 1960, 1966 and Edmunds, 1981). Hydrochemical facies can be classified on the basis of the dominant ions and the facies can be defined by the trilinear diagram of Piper (Fig 7). In the Piper diagram 63 results of chemical analysis of samples collected from wells in the Açú aquifer, Jandaira aquifer, crystalline aquifer were presented. Three hydrochemical facies were identified:  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$  and/or  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  type water.

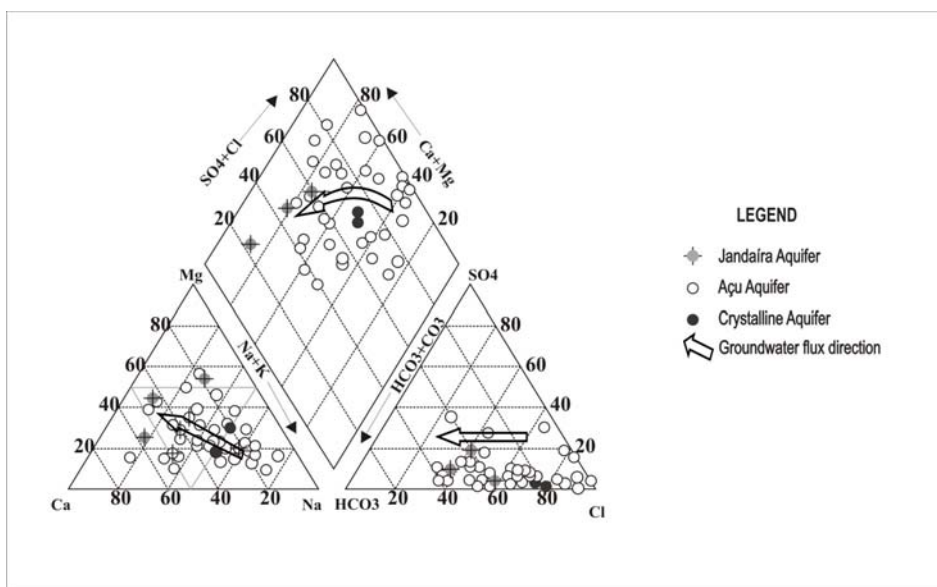


Figure 7 Representation of the results of the groundwater chemical analysis on the Piper diagram

The  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  type water changes to  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^-$  type water as the groundwater moves to a down gradient and then to  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ , as the water approaches to the Jandaira aquifer (carbonate rock). Looking at the cation triangle it can be verified that in the groundwater flux direction, the cation  $\text{Na}^+$  tends to change this position in relation to the cation  $\text{Ca}^{2+}$  or  $\text{Mg}^{2+}$ . On the anion triangle the ion  $\text{Cl}^-$  tends to be substituted by the anion  $\text{HCO}_3^-$ . The water from the Jandaira aquifer is in most of the cases  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  type water and in a few occasions  $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ , whose dominant ions were originated by the dissolution of the carbonate rocks (calcareous and dolomites). The water from the wells in the crystalline aquifer is  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ . The presence of the chloride in the crystalline aquifer is a common character in the semiarid region, whose salinization is high and associated to the cyclic salting effects.

The results of the chemical analysis were also represented in the expanded Durov diagram. This diagram has a distinct advantage over the Piper diagram because it gives more information on the hydrochemical types and the evolution of groundwater quality (Lloyd and Heathcote 1985; Petalas and Diamantis 1999; Hussein 2004). On the expanded Durov diagram eight different fields were identified among the nine



possible ones. Most of the water is situated in fields 8 and 9, followed by the fields 5, 3, 7, 4, 2 and 1 (Fig. 8). The fields and the correspondent types of water identified were discussed as follows:

Field 9:  $\text{Cl}^-$  and Na dominant. The water is in general more saline and the samples were collected from the Açú aquifer in the South of the area and from the crystalline rocks.

Field 8:  $\text{Cl}^-$  dominant and not dominant cation indicates that the groundwater may be related to reverse ion exchange of  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$  water. In this context is situated mainly water from the wells located in the Açú aquifer in the Central and North part of the area.

Field 5: No dominant anion or cation, indicates water exhibiting simple dissolution or mixture. This situation is observed in the water collected from the wells that are yielding water from the Açú aquifer.

Field 3:  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+$  dominant, indicating probably ion-exchanged water in Açú aquifer.

Field 7:  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  dominant. The water may result from reverse ion exchange of  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$  water.

Field 4: Dominant  $\text{SO}_4^{2-}$  or indiscriminate anions and dominant  $\text{Ca}^{2+}$ , indicate water exhibiting simple dissolution or mixture. This water is situated in the Açú aquifer close to the Jandaira aquifer.

Field 2:  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$  dominant, with  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  are also considered important. Probably the water is associated with dolomites; It represents water from the wells situated in the North sector of the area close to the carbonate rocks or associated with water from the Açú and Jandaira aquifers together. Only one case was observed.

Field 1:  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  dominant, representing a sample from a Jandaira aquifer well.

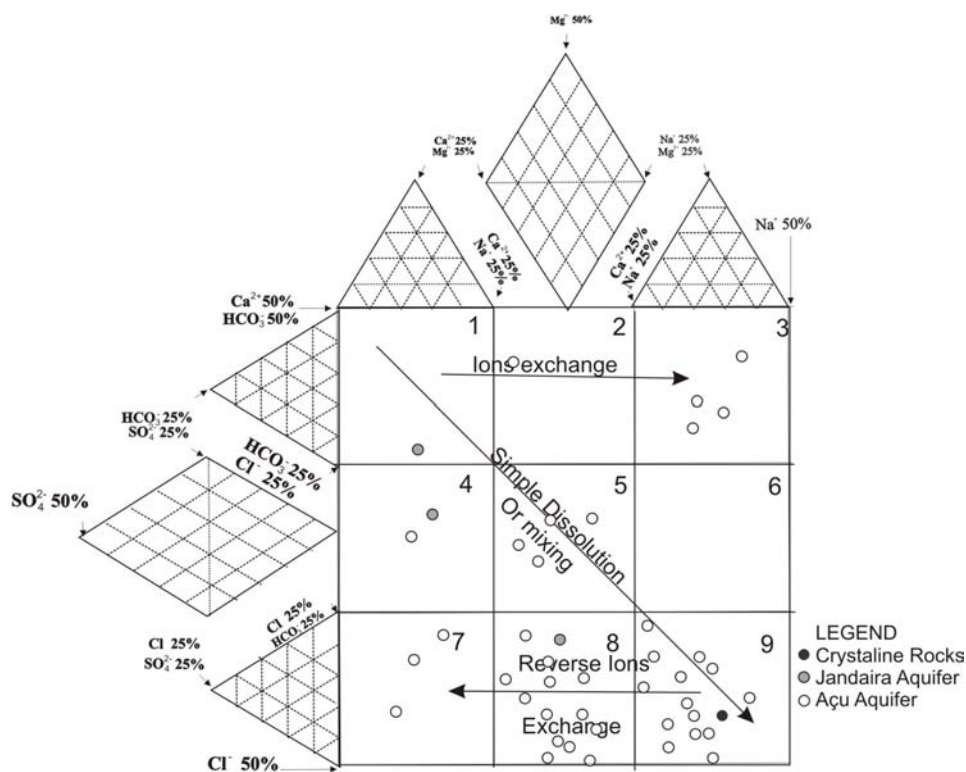


Fig 8 Hydrochemical facies and water types using an Expanded Durov diagram.

## 6. Conclusions

The Açú Formation is characterized by sandstones with argillites intercalated and the presence of high and low structure. This configuration resulted in an unconfined aquifer presenting a semi-confined behavior in localized situations, whose transmissivity varies in different sectors of the area. Associated with the semi-arid climate it is responsible for specific geochemical processes that occur as the groundwater moves down gradient. These processes include evaporation, mixture of salt water and fresh water, reverse ions exchange, and carbonate dissolution and gibbsite dissolution and / or anhydrite. The action of them, all together, results in the occurrence of water that has a different saline concentration. In the South zone of the area the evaporation is the most important process, resulting in water whose salinity is higher. The water is  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  type water. The groundwater in this case has its utilization limited. In the North zone of the area, the recharge condition, the storage and the renovation of the water are favorable to achieve low salinity. Besides them, the processes of exchanging reverse water, mixtures and carbonate dissolution result in  $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  or  $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$  and  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  and/ or Mg water. In this case, the groundwater takes over an important rule in the human supply and the irrigation in the area.

## References

- Back W (1960). Origin of hydrochemical facies in groundwater in the Atlantic Coastal plain. Proceedings, International Geological Congress (Copenhagen), 1:87-95.
- Back W (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of the Atlantic Coastal plain. U. S. Geological Survey Professional Paper 498-A.
- Brasil – CPRM (2006). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000. DNPM, UFRN, PETROBRAS, CRM.
- Petalas CP; Diamantis IB (1999) Origin and distribution of saline groundwater in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, Northeastern Greece. *Hydrogeology J* 7(3):305-316
- Edmunds WM (1981). Hydrogeochemical investigations. In: Case-studies in groundwater resources evaluation. Ed by J.W. Lloyd. Clarendon Press, Oxford, pp 87-112.
- Freeze RA, Cherry JA (1979) Groundwater. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 204 p
- Hussein M. T. (2004). Hydrochemical evaluation of groundwater in the Blue Nile Basin, eastern Sudan, using conventional and multivariate techniques. *Hydrogeology J* 12 (2):144-158
- Lloyd JW, Heathcote J.A. (1985) Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, an introduction. Clarendon Press, Oxford,
- Mather J. (1997). Relationship between rock, soil and groundwater compositions. In: Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments. O.M. Saether & Caritat (eds). Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp 305-328
- Medeiros, W. E; DE SÁ, EFJ. MEDEIROS V C, Lucena LRF (2001). Estrutura geológica do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar entre Apodi e Upanema, RN. Convênio CAERN/FUNPEC/UFRN. Relatório Técnico.
- Melo J. G., Stein, P (2003). Recursos hídricos subterrâneos da Formação Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar, RN – Faixa Upanema-Apodi. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Natal, RN, Brasil.
- Richter BC, Kreitler BE (1993) Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization. C.K Smoley.
- Robinove CJ, Langford RH, Brookhart JW (1958) Saline water resources of North Dakota. U.S. Geological Survey Water supply Paper 1428, 72 p.

Anexo 3 - Cadastro de poços

Poço	Poço N°	Cia Perf	Município	Localidade	Proprietário	DT/Perf	Lon	Lat	Prof (m)	Q (m3/h)	Ne (m)	Nd (m)	STD(ppm)
	1		Upanema	Paulista 2	Assent do INCRA	1999	706022	9383111	96,0	9,0	60,0		135,0
	2		Upanema	Sítio Fazenda Nova	Antonio Carlos de Oliveira	1978	695781	9375643	24,0	20,0	6,0		2281,5
	3		Upanema	St Faz Nova	Antonio Carlos de Oliveira	2000	694781	9375658	27,0	22,0	7,0		287,5
	4		Upanema	Fazenda Nova	Prefeitura	2002	696754	9376122	29,0				1989,0
	5		Upanema	Pereiro	Prefeitura	1988	696645	9375548	18,0	5,0	6,0		1404,0
	6		Upanema	Pereiro	Jacinto Carlos	1988	695542	9374900	7,1				278,2
	7		Upanema	Riacho das Carnaubas	José Borges Campina	1986	697851	9375517	18,0	16,0	7,5		2223,0
	8		Upanema	Riacho das Carnaubas	Prefeitura	1997	698695	9375674	32,3	4,5	12,9		383,9
	9		Upanema	Baixa do Juazeiro	Antonio José de Medeiros	2001	703253	9375672	148,0	3,0	138,0		809,0
	10		Upanema	Baixa do Juazeiro	Prefeitura	1983	705402	9377360	72,0				328,0
	11		Upanema	Bom Lugar	Assent do INCRA	01/2002	707588	9381016	120,0	15,0	90,0		120,0
	12		Upanema	Bom Lugar	Assent do INCRA		706756	9378730	120,0				1371,5
	13		Upanema	Bom Lugar	Assent do INCRA		706365	9378673	54,6		38,2		
	14		Upanema	Faz Carnaubinha	Geraldo Etelvino de Medeiros		705301	9379018	102,0		77,0		190,0
	15		Upanema	Baixa do Dutra	Assent do INCRA	10/10/1991	703195	9378671	80,9		43,3		109,7
	16		Upanema	Baixa do Dutra	Asemnt do INCRA	1958	702168	9379989	110,0				218,0
	17		Upanema	Baixa do Dutra	Assent do INCRA	08/10/1991	701937	9379962	60,0				
	18		Upanema	Vertente	Hermírio		697090	9376991	70,0				910,0
	19		Upanema	Riacho das Carnaubas	Francisco Duarte Bezerra		697126	9376631	52,0				1365,0
	20		Upanema	Boa Água	Gil Neto		692646	9378073	54,0	20,0	8,0		1365,0
	21		Upanema	Cabano	Raimundo Lopes de Medeiros	1998	697091	9377231	70,4		28,7		884,0
	22		Upanema	Cabeça de Boi	Geraldo Freire de Oliveira	1994	693158	9380732	86,0	20,0	18,0		507,6
	23		Upanema	Cabeça de Boi	Geraldo Freire de Oliveira	26/03/1984	691790	9380794	47,0	10,0	6,0		
	24		Upanema	Cabeça de Boi	Geraldo Freire de Oliveira	1981	695367	9381306	61,0	5,0	7,0		364,0
	25		Upanema	Cabeça de Boi	Elizeu Freire		693387	9380876					443,0
	26		Upanema	Cabeça de Boi	Manoel Quaresma Sobrinho	1984	692885	9380982	60,0		5,0		296,4
	27		Upanema	Carão	Ferraro		689873	9382269					193,4
	28		Upanema	Carão	Ferraro		689882	9382327					211,2
	29		Upanema	Carão	Ferraro		690384	9382326					
	30		Upanema	St Barrocas	Luiz Gonzaga Fernandes		690228	9382778					
	31		Upanema	St Barrocas	Luiz Gonzaga Fernandes		690342	9382802					1560,0
	32		Upanema	St Barrocas	Luiz Gonzaga Fernandes		690788	9382724	82,7		15,2		1599,0
	33		Upanema	St Barrocas	Expedito Ferreira de Souza		690979	9382834	65,7		19,5		2060,5
	34		Upanema	St Barrocas	Expedito Ferreira de Souza		690995	9382834	75,4		13,7		1800,5

35	DN484		Upanema	St Barrocas	Expedito Ferreira de Souza		690263	9382854									
36	DN485		Upanema	St Barrocas	Expedito Ferreira de Souza		690391	9382918									384,2
37	DN723		Upanema	Roçado Grande	Expedito Ferreira de Sousa		697245	9384643	47,0			19,2					
38	DN724		Upanema	Roçado Grande	Antonio Targino Filho	1996	697379	9384271	60,0			16,0					641,5
39	DN725		Upanema	Roçado Grande	Antonio Vicente Eufrásio	09/2002	696776	9383962	143,0								
40	DN725A		Upanema	Roçado Grande	Antonio Vicente Eufrásio		697400	9383900				11,8					1760,0
41	DN734		Upanema	Caraúbas	Julio		690173	9386977									1012,7
42	DN740		Upanema	Várzea Redonda	Edilson Gonçalves	2003	689900	9386053	100,0			30,0					714,3
43	DN741		Upanema	Várzea Redonda	Lucas Evangelista Bezerra	1996	690140	9385238	84,0	24,0		15,0					540,1
44	DN742		Upanema	Independência	Cosme Sidney Medeiros	1999	690195	9385075	86,0	12,0		15,0					
45	DN743		Upanema	Independência	Eliseu Freire Bezerra		689994	9384944									
46	DN744		Upanema	Atoleiros	Anelio Fernandes		690063	9384231	54,0								2717,0
47	DN745		Upanema	Atoleiros	Anelio Fernandes	05/02/1998	690073	9384268	84,0								594,7
48	DN746		Upanema	Atoleiros	Airton Marques Bezerra	2000	690170	9384043	72,0	16,0		12,0					549,2
49	DN747		Upanema	Atoleiros	Antonio Fernando Neto	01/12/01	690224	9384314	84,0	1,8		19,0					537,5
50	DN748		Upanema	Barrocas	Expedito Ferreira de Sousa		690446	9383321									617,5
51	DN749		Upanema	Barrocas	Expedito Ferreira de Sousa		690561	9382884									357,5
52	UP001		Upanema	Baixa do Dutra			701800	9379896									344,0
53	UP001PM		Upanema				695072	9373964									106,0
54	UP002PM		Upanema	Faz. Riacho das Carnaúbas	Roberto B. de Araújo		699481	9372436									1960,0
55	UP004PTJ		Upanema	Maracajá			701277	9381640									172,0
56	UP005PT		Upanema				696558	9380228									
57	UP006PT		Upanema				695893	9379540									
58	UP007PM		Upanema				697656	9378188									449,6
59	UP007A		Upanema				697100	9378150									461,0
60	*PS0017	SERHID	Upanema	Atoleiro	SUDENE	05/02/1998	689900	9384400	88,0	10,7		12,3				31,6	
61	*PS0374	AR	Upanema	Vila Paraibana	SUDENE	03/02/1999	699850	9373140	54,0								
62	*PS0422	SERHID	Upanema	Sítio Independência	Gov. do Estado	20/08/1999	690136	9385060	82,0	5,7		21,1				29,8	449,6
63	*PS0431	SERHID	Upanema	Várzea Redonda	Comunidade	02/10/1999	689867	9386290	82,0	1,5		19,1				55,8	538,0
64	*PS0440	SERHID	Upanema	Faz. Barrocas	Dr. Expedito	17/12/1999	690978	9383124	120,0	15,3		38,3				23,8	1638,0
65	*PS0506	SERHID	Upanema	Fabr. Gut. Frut.	Dr. Expedito	23/08/2000	690710	9383220	91,0	15,0		8,7				15,0	
66	*PS0571	PROPOÇO	Upanema	Bom Lugar I	Prefeitura	23/03/2001	706700	9379100	130,0								
67	*PS0640	PROSENG	Upanema	Roçado Grande	Vicente Eufrásio	28/08/2001	696860	9384200	145,0	1,4		44,2				47,2	1336,0
68	S9007	CONESP	Upanema	Lagoa Seca	SUDENE		702000	9375000	71,0	0,3		19,0				38,0	
69	P2			CAERN-UP	Bom Jesus		687847	9382512				60,0					
70	IP2						687931	9383048				40,0					

71	06A IN 98	PROSENG	Upanema	Esperança	INCRA	05/09/1998	691060	9374388	40,0	1,7	4,0	25,0
72	S3414	CDM	Assu	Panon 2		22/05/1993	730000	9390000	40,0			
73	S3415	CDM	Assu	Faz Sta Gloria 2		03/05/1993	725500	9382500	82,0			
74	S3416	CDM	Assu	Faz Sta Gloria		08/03/1993	729582	9382725	70,0			
75	S3417	CDM	Assu	São Lucas		26/10/1992	730000	9388000	72,0			
76	S3421	CDM	Assu	Paulista		27/05/1992	708900	9383400	90,0			
77	S3422	CDM	Assu	Frunorte		08/07/1992	723200	9387300	80,0			
78	S3423	CDM	Assu	Faz Bangüê		21/10/1991	726500	9380000	25,0			
79	S3424	CDM	Assu	Faz São João 1		14/11/1991	723500	9376000	22,0			
80	S3426	CDM	Assu	Barro Branco		04/10/1992	730500	9390500	105,0			
81	S3427	CDM	Assu	Agro Knoll		03/07/1991	724000	9375500	67,0			
82	S3428	CDM	Assu	Agro Knoll 4		12/08/1991	726500	9383500	72,0			
83	S3429	CDM	Assu	Faz São João 2		19/11/1991	723000	9375500	16,0			
84	S3430	CDM	Assu	Jandui		14/12/1991	722700	9388500	118,0			
85	S3437	SONGEO	Assu	Linda Flor	Fund Sesp			732100	9392100	50,0		
86	S3438		Assu	Paulista	Fran Serafico			708100	9383800	60,0		
87	S3439	DNOCS	Assu	Casinha	Irineu B. Gouveia			710000	9383900	80,0		
88	S3440	CONESP	Assu	Linda Flor	Prefeitura			717300	9378000	62,0		
89	S3441		Assu	St Mangueira	Justino da Mata			713900	9375000			
90	S3442	DNOCS	Assu	Lagoa do Mato	Prefeitura			717000	9386200	80,0		
91	S3443	COCESA	Assu	Piata Bela Vista	Prefeitura			721300	9389200			
92	S3444	F. SESP	Assu	Matadouro Público	Prefeitura			730300	9383500	120,0		
93	S3445		Assu	Horto Florestal	IBDF			729500	9383400	74,0		
94	S3446	DNOCS	Assu	Horto Florestal	IBDF			729200	9383900	76,0		
95	S3447	DNOCS	Assu	Posto At. Florestal	Org Bargosa Ltda			727000	9382400			
96	S3448	DNOCS	Assu	Olho d'água Piató	Prefeitura			730200	9391000	54,0		
97	S3449	DNOCS	Assu	St Canteiro	Sandoval M Paiva			725000	9382100	114,0		
98	S3450	CONESP	Assu	Lagoa do Ferreiro	CAERN			732500	9385000	37,0		
99	S3451	CONESP	Assu	Lagoa do Ferreiro	CAERN			732200	9385000	45,0		
100	S3452	CONESP	Assu	Lagoa do Ferreiro	CAERN			732000	9385000	40,0		
101	S3453	CONESP	Assu	Lagoa do Ferreiro	CAERN			731800	9384900	34,0		
102	S3454	DNOCS	Assu	B. Ver José Bezerra	Mercantil Martins			731900	9383800	50,0		
103	S3455	DNOCS	Assu	R. Dr Luiz Ant 339	DNOCS			731900	9383000	65,0		
104	S3456	DNOCS	Assu	R. Dr Luiz Anto s/n	Loja Maçonica			732100	9383500	58,0		
105	S3457	DNOCS	Assu					731900	9383500	78,0		
106	S3458	DNOCS	Assu	R 24 de Junho				731400	9382700	42,0		

107	S3459	F. SESP	Assu	Lavanderia Publica	Prefeitura	732300	9382000						
108	S3460	CDM	Assu	Av. João C. Filho	Merc Produtor	731800	9380300	45,2					
109	S3461	DNOCS	Assu	R. Dr. Luiz Carlos	Hosp Reb FSESP	731600	9383200	43,0					
110	S3462	DNOCS	Assu	St. Belo Horizonte	Lair F Costa	731200	9383600						
111	S3463	SESP	Assu	R Aspirante s/n	Cibrazem	731600	9383000	55,0					
112	S3464	DNOCS	Assu	Posto Jóia	Comerc Oliv Alves	732000	9382800	42,0					
113	S3465	DNOCS	Assu	Col. N.S. das Vitorias	Col N S Vitorias	731700	9382600	36,5					
114	S3466	CONESP	Assu	Av. João C. Filho s/n	CHESF	731800	9381400	35,0					
115	S3467	DNOCS	Assu	Sinwal S/A	SINWAL S/A	732700	9381300	13,5					
116	S3468	CASOL	Assu	Ceramica Portal do Vale	Portal do Vale	732000	9378500	58,0					
117	S3469	CASOL	Assu	Ceramica Portal do Vale	Portal do Vale	732200	9378300	60,0					
118	S3487	CASOL	Assu	Linda Flor	Prefeitura	731700	9392500	84,0					
119	S3488		Assu	Linda Flor		731600	9392200						
120	S3489	CONESP	Assu	Linda Flor	DNOCS	733600	9392500						
121	S3490	CONESP	Assu	Sto Anto	CONESP	734600	9395300	185,0					
122	S3491	CONESP	Assu	Sto Anto	DNOCS	734600	9395200	91,0					
123	S3492	CONESP	Assu	Sto Anto	DNOCS	734700	9395200	108,0					
124	S3493	CONESP	Assu	Sto Anto	DNOCS	734700	9394900	105,0					
125	S6910	PROPOCO	Assu	Palheiro 1- St Simão		15/01/1999	705986	9383069	96,0				
126	S7175	PROPOCO	Assu	Caatinga			717854	9379033	107,0				
127	S7180	HIDROPOCO	Assu	Cumbe	Sebastião(Repres Com)	25/02/1999	731923	9376511	15,5				
128	S8907	CONESP	Assu	Faz Pingos		27/07/1987	715000	9382000	125,0				
129	S8908	CONESP	Assu	Faz Maledinha		14/07/1987	732000	9383000	140,0				
130	S8994	CONESP	Assu	Linda Flor 2		01/07/1971	732000	9392500	62,0				
131	S9013	CONESP	Assu	Linda Flor 2		05/12/1968	731878	9381695	50,0				
132	S9460	CONESP	Assu	Açu(P-12)			731890	9381780	80,0				
133	S9461	CONESP	Assu	Açu(P-13)			731780	9381750					
134	S9464	CONESP	Assu	Açu-I		07/11/1975	731850	9381950	46,0				
135	S9465	CONESP	Assu	Açu-II		16/11/1975	731700	9381700	50,0				
136	S9466	CONESP	Assu	Açu-III		22/11/1975	732100	9382150	61,0				
137	S9467	CONESP	Assu	Açu-IV		15/01/1976	731720	9381700	40,0				
138	S9475	CONESP	Assu	CHESF		27/07/1976	732000	9382000	35,0				
139	PS-0040	SERHID	Assu	Alto do São Francisco	SUDENE	14/05/98	729583	9388179	74,0	1,3	52,1	52,2	557,4
140	*PS-0083	SERHID	Assu	Ana Maria		09/07/98	727210	9387030	68,0	6,1	21,5	22,8	724,8
141	PS-0083A	Proseng	Assu	Ana Maria	Nelter Lula de Queiroz		728120	9387235	98,0		27,7		238,0
142	PS-0085	SERHID	Assu	Faz. Alto Alegre		27/07/98	729580	9388070	64,0	5,4	26,0	26,2	724,8

143	*PS-0149	PROSENG	Assu	Piató		12/09/98	729200	9385800	66,0	7,2	14,2	17,6	427,2
144	*PS-0175	SERHID	Assu	Faz. São Lucas		12/09/98	732070	9383100	25,0	6,2	4,5	5,7	811,2
145	*PS-0207	PROSENG	Assu	Faz. Curralinho		14/10/98	721090	9386790	72,0	6,0	11,8	18,7	144,0
146	*PS-0208	PROSENG	Assu	Canto do Umarí		15/10/98	717490	9387640	75,0	7,2	13,6	16,2	558,0
147	PS-0254	SERHID	Assu	Sítio Apolo-II		03/10/98	725200	9381800	116,0	2,6	98,7	100,7	210,4
148	*PS-0278	PROSENG	Assu	Faz. Curralinho		14/10/98	721090	9386790	30,0				
149	*PS-0358	AR	Assu	Assentamento Paulista	SUDENE	06/01/99	709690	9384380	73,0	9,0	39,4	40,7	150,5
150	*PS-0362	PROPOÇO	Assu	Sítio Simão	SUDENE	15/01/99	715950	9383160	96,0	5,4	59,6	65,7	161,4
151	PS-0401	AR	Assu	Campo de Aviação	SUDENE	17/05/99	725117	9381680	104,0				
152	*PS-0421	SERHID	Assu	Sítio Monte Alegre	Gov. do Estado	20/08/99	718219	9386125	75,0	5,8	24,0	25,8	
153	PS-0439	SERHID	Assu	Sítio Bom Jesus	Fer. Abreu	24/11/99	715318	9387488	40,0	2,3	15,3	19,2	
154	PS-0465	SERHID	Assu	Canto do Umari	João Bezerra Silva	06/04/00	719863	9387852	50,0	6,0	15,7	17,5	727,2
155	PS-0479	SERHID	Assu	Lagoa da Mata I	Asterlânio de Melo	09/06/00	717487	9386304	59,0	5,7	32,4	36,2	303,4
156	*PS-0480	SERHID	Assu	Lagoa da Mata III	Sinval Bezerra	22/06/00	716972	9385657	52,0	6,1	10,1	15,8	214,8
157	PS-0488	SERHID	Assu	Baviera	José Amorim	07/07/00	731720	9388600	50,0	15,0	19,2	20,2	676,6
158	PS-0544	SERHID	Assu	Entre Rios	Expedito	16/11/00	732500	9384200	29,0	4,6	4,2	5,2	585,0
159	*PS-0592	SERHID	Assu	Viveiro de Muda	Nilson Pinto	26/05/01	727350	9381760	88,0	3,5	67,2	68,7	
160	*PS-0599	SERHID	Assu	Sítio Descanso	Aluizio Aurélio	11/05/01	725220	9381300	106,0				
161	*PS-0626	PROSENG	Assu	Palheiro IV	Francisco Pinheiro	17/08/01	716500	9386700	100,0	2,5	72,2	77,6	1068,0
162	PS-0634	PROPOÇO	Assu	Novo Horizonte	Antônio Almeida	24/08/01	716870	9377970	60,0				
163	PS-0666	SERHID	Assu	Sítio Casa Forte	Raimundo Borges	23/11/01	732630	9385620	36,0	5,8	12,9	13,1	683,0
164	*PS-0674	SERHID	Assu	Olho d`água do Mato I	Vicente Lopes	12/02/02	716420	9384260	89,0	13,2	41,0	42,9	194,0
165	*PS-0677	SERHID	Assu	Olho D`água do Mato II	Vicente Lopes	21/03/02	716420	9384260	90,0	5,4	52,0	54,9	266,0
166	*PS-0680	SERHID	Assu	Olho D`água do Mato III	José Duarte	13/04/02	714180	9384152	87,0	3,5	44,9	51,3	288,8
167	*PS-0684	SERHID	Assu	Olho D`Água do Mato IV	Márcio Roberto	27/04/02	715600	9385070	85,0	14,2	40,8	45,3	245,2
168	*PS-0686	SERHID	Assu	Sítio Presépio	Hermenegildo	10/05/02	718390	9387560	63,0	15,3	16,2	27,1	927,6
169	*PS-0689	SERHID	Assu	Olho D`Água do Mato V	Fco. Oliveira	25/05/02	714360	9384560	89,0	5,4	44,1	49,4	224,0
170	*PS-0693	SERHID	Assu	Sítio Curralinho	Zé do Egito	24/06/02	721600	9382700	118,0	9,8	79,3	82,7	301,2
171	*PS-0701	SERHID	Assu	Canto do Umari	João Batista de Souza	14/09/02	718390	9388030	52,0	16,1	13,4	24,2	
172	*PS-0704	SERHID	Assu	Bela Vista	Manoel Rufino	21/09/02	721600	9388800	54,0	17,4	14,8	18,5	
173	PS-1-BV-01	SAAB	Assu	Baviera II	Governo do Estado	26/10/01	730240	9389330	86,0	10,0	20,9	21,9	
174	PS-1-BV-01	SAAB	Assu	Baviera	Governo do Estado	26/12/01	732400	9389330	86,0	10,0	20,9	21,9	
175	PS-2-BV-01	SAAB	Assu	Baviera I	Governo do Estado	26/12/01	731600	9380982	96,0	10,0	25,2	27,7	
176	PSA-023	SAAB	Assu	Campo de Aviação	SUDENE	30/11/96	725830	9381440					
177	PSA-032	SAAB	Assu	Bela Vista do Piató	Cleudon da Mata	06/02/97	721390	9389240	58,0	11,6	16,0	20,2	
178	DN074			Assu Comunidade Linda Flor	Ass. Comunitária Linda Flor		731936	9392186	50,0				484,0



179	DN075	Assu Comunidade Linda Flor	Salete Pinheiro	1968	731875	9392309	50,0		10,0		378,0
180	DN076	Assu Com Linda Flor	Salete Pinheiro		731848	9392322					674,0
181	DN077	Assu Com Sta Clara	Ass Comum	1998	731562	9389911	48,0	6,5	20,0		760,0
182	DN078	Assu Com Sta Clara	Franc Rosino Dantas	1982	731649	9389984	70,0				
183	DN079	Assu Com Sta Clara	Terezinha Maria da Fonseca		731545	9390359	36,0				489,0
184	DN080	Assu Com Sta Clara	Fran Roseno Dantas		731629	9390626	77,0		22,0		513,0
185	DN090	Assu Clube Aquavair	José Marques	2001	724900	9381887	96,0		9,0		219,0
186	DN091	Assu Campo de Aviação	Gerson		724841	9381819					
187	DN092	Assu Curralinho	José do Egito		721250	9382480	88,9		42,9		272,0
188	DN093	Assu Compasa	Fran Bezerra Falcão	2001	717181	9384202	100,0				
189	DN094	Assu Compasa	Prefeitura	17/12/1983	717230	9384097	100,0				
190	DN095	Assu Faz Melandinha3	Hermenegildo Bezerra	1989	717291	9383907	100,0	18,0	20,0		113,0
191	DN096	Assu Olho d'água do Mato	Joaquim Bezerra Neto	1998	717071	9382746	120,0	25,0	72,0		168,0
192	DN097	Assu Faz Meladinha	Francisco Paulo Bezerra	2001	717218	9382321	92,5	13,0	68,5		170,0
193	DN098	Assu Olho d'água do Mato	Vicente Lopes	2002	716455	9384312	91,2		31,6		
194	DN099	Assu Olho d'água do Mato	Silvonez de Farias Freitas	1983	715196	9385333	99,5	20,0	27,0		
195	DN100	Assu Olho d'água do Mato	Ass do Olho d'água do Mato	2002	714207	9384199	88,0		46,0		252,0
196	DN102	Assu Olho d'água do Mato	José Belo da Silva	2002	713889	9382815	95,0	14,0	43,0		194,0
197	DN103	Assu Olho d'água do Mato	Vicente Lopes	2002	714213	9384058	87,4		45,2		246,0
198	DN104	Assu Olho d'água do Mato	Márcio de Eldes	2002	715621	9385089	87,0	14,2	40,8	45,3	128,0
199	DN105	Assu Olho d'água do Mato	Paulo Ferreira		716691	9384093	80,0				152,0
200	DN106	Assu Sta Isabel	José Bezerra Galvão	10/1998	721095	9386733	51,5	30,0	11,5		196,0
201	DN107	Assu Horto Florestal	Nilson Pinto de Medeiros	2001	727377	9381746	105,7	3,0	68,5		517,0
202	DN108	Assu Horto Florestal	Nilson Pinto de Medeiros	1985	727328	9381869	100,0		65,0		452,0
203	DN109	Assu CEPE-Clube da Petrobras	Funcionario da Petrobras		727260	9381882	96,0	10,0			314,0
204	DN110	Assu Alto São Francisco	Centro Comum União	1996	729054	9383405	78,0		45,0		1080,0
205	DN111	Assu Sta Gloria	Alaor Filho	2002	725136	9382467	110,3		92,4		228,0
206	DN112	Assu Olho d'água do Mato	Anto Ivanildo Batista	1998	713650	9386082	70,0				419,0
207	DN113	Assu Palheiro 4	Mauro Paz de Castro	1988	712589	9387108	63,0	10,0	20,0		674,0
208	DN114	Assu Palheiro 4	João Araújo	1998	711992	9387291	65,0	10,0	35,0		298,0
209	DN115	Assu Palheiro 4	Elizabete da Silva Cunha	1998	711780	9387707	69,0	28,0	27,0		285,0
210	DN116	Assu Palheiro 4	Elizabete da Silva Cunha	1999	712405	9388507	49,4	6,0	17,5		1048,0
211	DN136	Assu Palheiro 4	Assent do Incra	2000	709754	9384355	73,0	10,0			
212	DN137	Assu Paulista 1	Prefeitura		708800	9383698					178,0
213	DN138	Assu Paulista 1	Prefeitura	1992	708703	9383778	91,0	5,7	32,0		295,0
214	DN140	Assu Bom Lugar 3	Assent do INCRA	2001	708437	9382995	120,0	14,0	50,0		196,0

215	DN141A	Assu Novo Pingo	Assent do INCRA	2003	714655	9381083	127,0		83,6	
216	DN141	Assu Bom Lugar 2	Assent do INCRA	2001	711565	9381068	92,0	6,0	50,0	160,0
217	DN141B	Assu Bom Lugar 2	Assent do Incra		712413	9377518	150,0		51,4	133,0
218	DN142	Assu Palheiros 4	Assent do INCRA	1988	711316	9384863	73,4		23,1	181,0
219	DN143	Assu Canteiro	Valfredo Freire de Carvalho	1970	717761	9383616	70,0	0,3	22,0	632,0
220	DN144	Assu Campo de Aviação	Campo de Pouso de Açú	1995	725877	9381478	112,0	3,6	100,0	323,0
221	DN145	Assu Canteiro	Frunorte		723798	9381977				
222	DN146	Assu Canteiro	Frunorte		723700	9381365	117,5		80,2	296,0
223	DN147	Assu Campode Aviação	João Maria		724694	9380302	93,0		68,6	454,0
224	DN148	Assu Campo de Aviação	Pedro Cícero de Oliveira	1984	724784	9380532				393,0
225	DN149	Assu Copasfal	Copasfal	2001	724994	9382403	120,0	8,0	98,0	170,0
226	DN150	Assu Posto Florestal	B.N.B		727008	9381990				
227	DN151	Assu Campo de Aviação	Edgar Borges Montenegro		726981	9381910	65,5			
228	DN241	Assu Cia Policia Açú	Gov do Estado		732000	9380608	60,0			
229	DN242	Assu CHESF	Gov Federal		732037	9381349	80,0		10,0	1456,0
230	DN243	Assu CHESF	Gov Federal		732043	9381330	60,0		4,0	1827,0
231	DN244	Assu Sede AABB	AABB		731558	9382767	38,0		14,0	448,0
232	DN245	Assu Alto do São Franc Miacó	Johannes Cavalcante	03/12/1974	729035	9383172	80,0			
233	DN246	Assu Posto Jotão 2	Jodailson de Freitas Xavier		732126	9381523				218,0
234	DN247	Assu Motel Aconchego	Francisco Barbalho Bezerra		727496	9382022	110,0		30,0	572,0
235	DN248	Assu Motel Aconchego	Francisco Barbalho Bezerra		727464	9381906				
236	DN249	Assu Sede Posto Frei Damião	Hugo Nobre Cabral	03/12/1974	731863	9383362	42,0	9,0		586,0
237	DN250	Assu Loja Maçonica	Ass dos Mações de Açú		729094	9383236	64,0		40,0	559,0
238	DN251	Assu Sede Granja Dto Anto	José Valmir		727995	9382472				339,0
239	DN252	Assu Sede Hosp da FUNASA	Prefeitura		731015	9383322	75,0		12,0	270,0
240	DN254	Assu Frunorte	Manoel Barreto		731314	9384037	42,0		6,0	488,0
241	DN255	Assu Lj Maçonica Frat.da Suecia	Ass Maçonica Frat da Suecia		730781	9383049	120,0			504,0
242	DN256	Assu St Casa Forte 1	Valdeci Araujo de Nascimento		731785	9385869	20,0	24,0		1190,0
243	DN257	Assu St Casa Forte	Valdeci Araujo de Nascimento		732287	9385892	20,0	24,0		687,0
244	DN258	Assu St Casa Forte	João Walage da Silva		731954	9385777	15,0			1450,0
245	DN259	Assu St Casa Forte	Jão Walage da Silva		731828	9385722	25,0		10,0	1125,0
246	DR635	Assu Floresta Nacional de Açú	IBAMA		727725	9382525				419,0
247	DR636	Assu Floresta Nacional de Açú	IBAMA		727725	9382531				
248	DR637	Assu Floresta Nacional de Açú	IBAMA		726888	9382839				
249	DR638	Assu Floresta Nacional de Açú	IBAMA		728056	9382994				
250	DR639	Assu Posto São João Batista	Francisco Jaine de Sousa		727119	9382137	110,0	60,0		288,0

251	DR640	Assu Cia de Policia Açú	Governo do Estado		732055	9380534	42,0		8,0		1918,0
252	DR941	Assu Banguê			726794	9392834	68,0	5,0			2100,0
253	DR943	Assu Area Branca	Francisco Jaime de Sousa		726185	9390538	63,0	20,0	18,0		597,0
254	DR945	Assu Areia Branca	Prefeitura	1986	726105	9390268	72,0	20,0	18,0		382,0
255	DR946	Assu Areia Branca	Luiz Gonzaga de Araujo	1996	726120	9390111	72,0	40,0	18,0		354,0
256	DR947	Assu Faz Taepe	Luiz Eufrazio da Silva		724591	9389729	70,0				514,0
257	DR948	Assu Faz Taepe	Maria Eufrazio Camara	1998	724941	9389417	64,0	10,0	17,0		391,0
258	DR949	Assu Bela Vista Piató	Manuel Ferreira B de Carvalho	1985	722946	9389387	62,0	5,0	15,0		482,0
259	DR950	Assu Bela Vista Piató	Fran Xavier de Oliveira	1998	722665	9389275	60,0	12,0	15,0		431,0
260	DR951	Assu Bela Vista Piató	Fran Xavier de Oliveira	1998	722600	9389140	60,0	12,0			478,0
261	DR952	Assu Bela Vista Piató	Elpidio da Rocha		722396	9388931					494,0
262	DR953	Assu Bela Vista Piató	Raimundo Almeida	08/2002	721916	9389016	62,5	30,0	15,0		263,0
263	DR954	Assu Bela Vista Piató	Manuel Rufino	01/09/2002	721663	9388897	50,0	17,0	15,0		383,0
264	DR955	Assu Bela Vista Piató	Cleudo da Mata de Medeiros		721407	9389420					566,0
265	DR956	Assu Bela Vista do Piató	Prefeitura		721165	9389151					828,0
266	DR957	Assu Bela Vista do Piató	Manoel Severiano	2003	721339	9389202	61,0	47,0	13,0		
267	DR958	Assu Lagoa Redonda	Luiz Gonzaga Cavalcante	1998	720165	9388340	60,0	16,0	18,0		394,0
268	DR959	Assu Bela Vista do Piató	João Dantas Bezerra	2000	722881	9389332	66,0	50,0	21,0		421,0
269	DR960	Assu Presepio	Roberto Alves		719286	9387943					458,0
270	DR961	Assu Presepio	Hermenegildo Bezerra	30/10/2002	718787	9387592		32,0			993,0
271	DR962	Assu St Canto do Mari	João Batista de Souza	2002	718411	9387667	50,0				1404,0
272	DR963	Assu St Canto do Mari	Juraci Bezerra da Nóbrega	06/2002	718261	9387676	60,0		25,0		1320,0
273	DR964	Assu St Canto do Mari	João Bonifácio		717491	9387654		4,0			1185,0
274	DR966	Assu St Canto do Mari	João Bonifácio		717803	9387693	41,0		14,0		1398,0
275	DR967	Assu Canto do Mari	João Bezerra da Silva	07/04/2000	717438	9387516	50,0	30,0	17,0		521,0
276	DR968	Assu Lagoa do Mato	Fernando Anto de Abreu	12/1999	715289	9387453	40,0	20,0	15,0		584,0
277	DR969	Assu Lagoa do Mato	Prefeitura	1974	717142	9386494	54,0	5,0	18,0		983,0
278	DR970	Assu Lagoa do Mato	Sinval Bezerra da Nóbrega	2000	716849	9386218	52,0	30,0	20,0		272,0
279	DR973	Assu Monte Alegre	Tiquinho Julião	2000	718077	9386174	75,0	6,0	24,0	25,8	111,0
280	DR973A	Assu Faz Café Jardim	Roberto Freire		720276	9385853	110,0		23,5		429,0
281	DR971	Assu Monte Alegre	Astelanio Tinoco	2000	717474	9386054	64,0		32,0		252,0
282	DR972	Assu Monte Alegre	Flavio Abreu	2000	717276	9386091	80,0		25,0		
283	DT104	Assu St Olho D'água			730257	9389744			26,0		286,0
284	DT401	Assu Com Sta Clara	Venerana Lopes Galdino		731860	9390862	28,0		21,0		1238,0
285	DT402	Assu Com Sta Clara	Franc. Roseno Dantas Filho		731548	9390455					491,0
286	DT403	Assu Com Sta Clara	Franc. Roseno R. A da Silva		731620	9388998					

287	DT405	Assu Com Olho d'água do Piató	Elder Alves Martins		730326	9389396				384,0
288	DT406	Assu Com Baviera	José Maria Amorin Marcedo	2000	731658	9388273	50,0			637,0
289	DT407	Assu Com Baviera	José Maria de Amorim	06/2003	731827	9388232	46,0		16,0	562,0
290	DT408	Assu Com Baviera	Marcelo		731088	9388136				
291	DT409	Assu Com Baviera	Marcelo		731075	9388103				
292	DT410	Assu Com Baviera	Marcelo		731026	9388130				
293	DT411	Assu Com Baviera	Marcelo		730380	9388111				
294	DT412	Assu Com Baviera	Marcelo		729817	9388463				
295	DT413	Assu Com Baviera	Odelmo Rodrigues		731713	9387323				430,0
296	DT414	Assu Com Baviera	Odelmo Rodrigues		731645	9387369				321,0
297	DT415	Assu Com Baviera	Ass Comum		731396	9386584				728,0
298	DT416	Assu Com Baviera	Franc. Augusto		731489	9386761				
299	DT417	Assu Com Porto Piató	Ass Com Porto Piató		727893	9387674				734,0
300	DT418	Assu Com Porto Piató	Junior Gregório		727257	9387071				872,0
301	DT419	Assu Com Porto Piató	Jr Gregório		727288	9386979				
302	DT420	Assu Faz Nova Conquista	Delcio Cosme		728822	9386288				421,0
303	DT421	Assu Com Boa Vista	Djanira Torres		729420	9385460				534,0
304	DT422	Assu Faz Alto Alegre	Rivaldo Pinheiro Tavares		729611	9385164	62,0		31,0	435,0
305	DT423	Assu Fazenda Alto Alegre	Rivaldo Pinheiro Tavares		729615	9385192				711,0
306	DT424	Assu Faz Alto Alegre	Rivaldo Pinheiro Tavares		729954	9385141				770,0
307	DT428	Assu Parque de Vaqueij. São Joã	Lúcio Pinto		730392	9384657				
308	DT429	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Arivanaldo Bezerra Galvão		731090	9385276				
309	DT430	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Arivanaldo Bezerra Galvão		731099	9385266				
310	DT431	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Sebastião Esmerindo	1998	730869	9385519	45,0		12,0	919,0
311	DT432	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Noilson Pinto Medeiros		731110	9385856	23,0		20,0	1270,0
312	DT433	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Noilson Pinto de Medeiros		731129	9385850				1040,0
313	DT434	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Noilson Pinto de Medeiros		731165	9385847				
314	DT435	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Antonio Albano da Silveira		731328	9384577	75,0	52,0	12,0	450,0
315	DT436	Assu Com Lagoa do Ferreiro	Antonio Albano da Silveira		731294	9384528				
316	DT437	Assu St Entre Rios	Alfredo Freire		732392	9384103	45,0			582,0
317	DT438	Assu Faz Entre Rios	DR. Afro		732171	9385247				567,0
318	DT439	Assu Faz Entre Rios	DR. Afro		731985	9385079				
319	DT440	Assu Rua Dr. Luis Carlos 3755	Carlos Alberto		730823	9383783				
320	CL580	Ipanguaçu Tira Fogo	Raimundo Moraes		750123	9394380	90,0		42,0	275,0
321	*CL581	Ipanguaçu Tira Fogo	Raimundo Moraes de Oliveira	1999	750706	9394238	85,0			
322	CL582	Ipanguaçu Tira Fogo	Assent. Olho D'água		749977	9392889	120,0			232,1



359 673		Ipanguaçu				737900	9396200						
360 777		Ipanguaçu				740300	9396300						
361 792		Ipanguaçu				737300	9384300						
362 894		Ipanguaçu				743400	9392500						
363 895		Ipanguaçu				737200	9393100						
364 915		Ipanguaçu				736200	9387200						
365 921		Ipanguaçu				735400	9391300						
366 922		Ipanguaçu				734300	9386800						
367 928		Ipanguaçu				740700	9391900						
368 939		Ipanguaçu				741300	9392400						
369 990		Ipanguaçu				743500	9395400						
370 1200		Ipanguaçu				736700	9389000						
371 1203		Ipanguaçu				741500	9383900						
372 1790		Ipanguaçu				737900	9389000						
373 1798		Ipanguaçu				737200	9389300						
374 *PS0066	PROSENG	Ipanguaçu	Baldum	SUDENE	01/06/1998	735540	9385200	20,0					
375 *PS0352	AR	Ipanguaçu	Tira Fogo	SUDENE	30/11/1998	750650	9394100	88,0	3,28	49,5	50,3	217,0	
376 *PSA030	SAAB	Ipanguaçu	Itú	Manoel de Melo Montenegro	07/02/1997	740480	9388970	52,0	17,217	6,0	8,2		
377 *PSA047	SAAB	Ipanguaçu	Bairro Manoel Bonifácio	SUDENE	27/02/1997	737210	9392600	54,0	16,744	6,0	6,3		
378 PS0395	AR	Assu	Sítio Pal	SUDENE	08/03/99	750627	9390636	62,0	2	24,0	44,0	861,0	
379 S6788	PROPOCO	Ipanguaçu	Tira Fogo	Poço publico	30/11/1998	750714	9394201	88,0					
380 S8727		Ipanguaçu	Ipanguaçu		16/11/1974	738900	9392900	40,0					
381 S8728	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	18/10/1974	738800	9392600	45,0					
382 S8729	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	23/10/1974	738820	9392600	96,0					
383 S8730	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	25/10/1974	737100	9392200	67,0					
384 S8731	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	01/11/1974	737900	9392000	65,0					
385 S8732	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	23/11/1974	737000	9391000	50,0					
386 S8733	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu	DNOCS	24/11/1974	737700	9391800	192,0					
387 S8986	CONESP	Ipanguaçu	Mulungu		05/08/1971	737650	9391850	60,0					
388 S8988	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu 2		17/08/1971	737650	9392000	51,0					
389 S9015	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu-Sede			737600	9391700	79,0					
390 S9457	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu P-8		07/09/1975	737410	9391680	164,0					
391 S9458	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu P-9		12/12/1974	737595	9391570	109,0					
392 S9459	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu P-11		20/12/1974	737690	9391680	191,0					
393 S9462	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu P-15		20/09/1975	737560	9391900	122,0					
394 S9463	CONESP	Ipanguaçu	Ipanguaçu P-16		03/10/1975	737410	9391845	98,0					

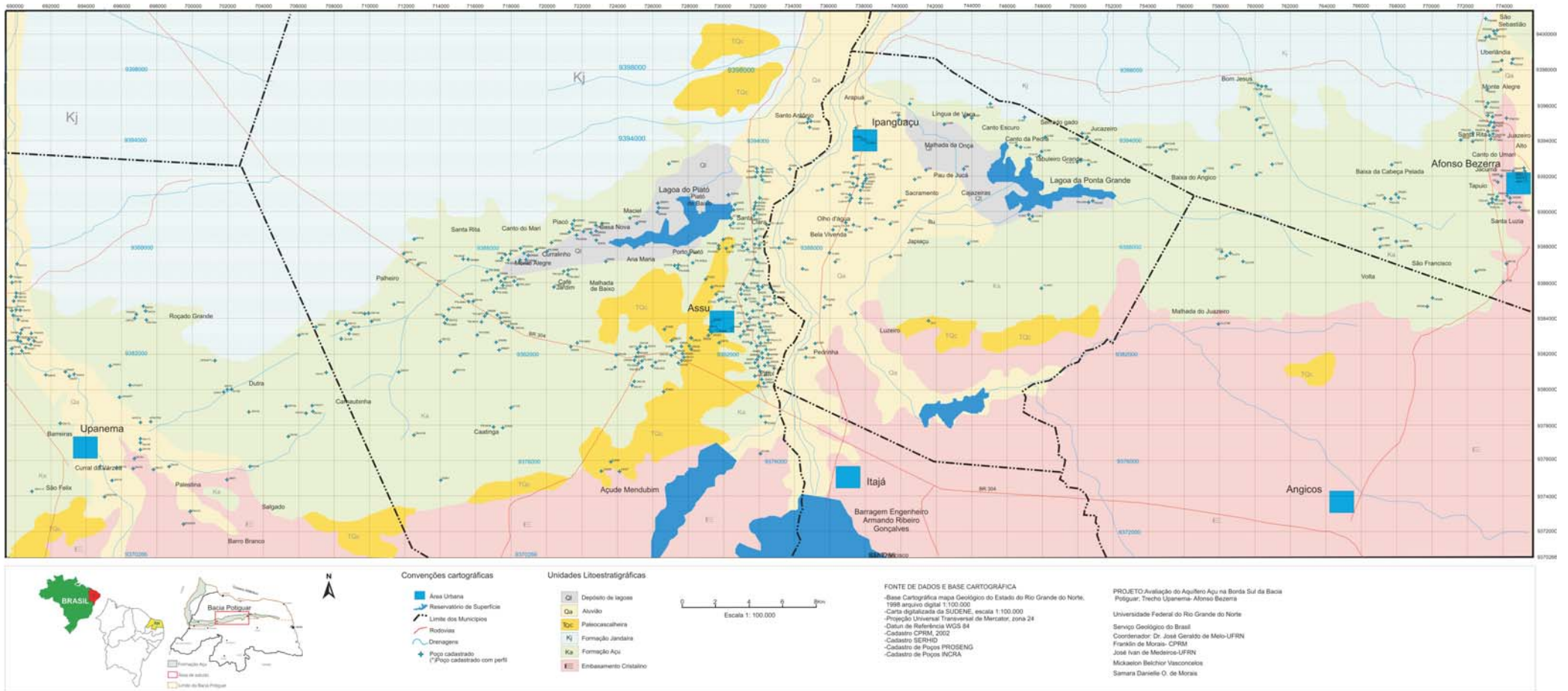
395 S3425	CDM	Ipanguaçu	Faz Baixa		27/9/1992	736000	9391500	105,0					
396 S3418	CDM	Ipanguaçu	Baixa do		14/9/1992	736000	9389000	96,0					
397 S3413	CDM	Ipanguaçu	Agro Knol	Agro Knol	17/7/1991	733500	9388500	74,0					
398 S3412	CDM	Ipanguaçu	Agro Knol	Agro Knol	8/2/1991	733250	9388250	70,0					
399 S3411	CDM	Ipanguaçu	Agro Knol	Agro Knol	23/1/1991	733000	9388000	70,0					
400 IP1		Ipanguaçu				736991	9390728				50		
401 18 in 97	PROSENG	Ipanguaçu	Sta Maria/Agroville 1	INCRA	14/04/1997	746515	9393771	102,0		50	30,1	42,9	
402 16 IN 97	PROSENG	Ipanguaçu	Sta Maria/Agroville 2	INCRA	31/01/1997	749913	9392844	83,0		25	25,6	32,6	
403 15 IN 97	PROSENG	Ipanguaçu	Sta Maria/ Agroville 1	INCRA	22/01/1997	747745	9393310	87,0		25	30,8	35,0	
404 PS-0395	AR	Ipanguaçu	Sítio Palheiro - II	SUDENE	08/03/99	750627	9390636	62,0		1,68	24,5	43,8	860,8
405 S6971	PROPOCO	Angicos	Riacho da Volta	José Maria da Costa(DEDE)		757857	9386433	64,0					
406 CL571		Angicos	Sítio Ubaeira		15/10/2001	758102	9387953						1200,0
407 CL572		Angicos	Ubaeira		2001	758412	9387823						2158,0
408 CL573		Angicos	Ubaeiras		2001	758486	9387841	50,0					2216,5
409 DN285		Angicos	Faz Flores 1	Ari Tibira de Macedo		769778	9384882	21,0			4,0		3490,5
410 CL573F		Angicos				759274	9387406	80,0					4712,5
411 DN286		Angicos				770045	9385323	40,0		2,0	9,7	19,8	2503,0
412 CL273B		Angicos	Bom Sucesso			757900	9383800						2870,0
413 CL568		Af. Bezerra	Santarém	Francisco Ferreira Sobrinho	06/04/2001	766966	9388428	40,9			32,0		1800,0
414 CL569		Af. Bezerra	Santarém	Justino Marroco	18/03/2001	766646	9388991						3971,5
415 CL570		Af. Bezerra	Santarém	Jodeceno Marroco da Silva	2001	767238	9390735	48,0			30,2		3523,0
416 CT628		Af. Bezerra	St Felicidade 1	Gov Federal	2002	760466	9397108	130,0		60			358,8
417 CT629		Af. Bezerra	St Felicidade 1	Gov Federal	2002	760238	9397133	110,0		50			431,6
418 CT630		Af. Bezerra	St Felicidade 1	Gov Federal	2002	760258	9396666	84,0		30			
419 CT631	PROSEM	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	05/1997	760201	9394779	72,0		50			199,0
420 CT632	DNOCS	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	1963	760947	9392619	100,0		10			
421 CT633	PRO-POCO	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	06/2001	757059	9392330	76,0		35			
422 CT634		Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	06/2001	758582	9392539	90,0		35			219,0
423 CT635	DNOCS	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	1963	760397	9394348						
424 CT636	PROSEM	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	09/1997	759565	9395815	84,0		15			315,9
425 CT637	CAERN	Af. Bezerra	St Sta Maria	Gov Federal	12/2002	760021	9395210	72,0		60			
426 DN265		Af. Bezerra	Cantos	Sebastião Roque		773285	9395065	50,0			15,0		2782,0
427 DN278		Af. Bezerra	Faz São Cirilo	Manoel Felix de Medeiros		767643	9392657	101,0					871,7
428 DN279		Af. Bezerra	Santarém	Magnum Guilherme de Sousa		766154	9390358						1160,0
429 DN280		Af. Bezerra	Faz Santarém	Pedro Moreira Lima		767894	9390917	98,0		1,5			1423,5
430 DN281		Af. Bezerra	Tapuio	José Felix da Cunha		773289	9390753	60,0			10,0		2548,0

431 DN282		Af. Bezerra	Faz Dom Bosco	Anto Fernando de Sousa		773193	9390554												1208,4
432 DN283		Af. Bezerra	Tapuio	Luis de Puro		773567	9390801												758,0
433 DN284	PROSENG	Af. Bezerra	Tapuio	José Edson de Lacerda		774220	9390851	42,0			8,0								317,2
434 DN287		Af. Bezerra	Faz Bela Colina	José dos Santos		771501	9394006												442,7
435 DN288	PROPOCO	Af. Bezerra	Canto Branco	Antonio Belarmino da Silva		773148	9394583	64,0		6									1527,5
436 DN289		Af. Bezerra	Canto Branco	José Romulo Pinheiro de Araújo		773342	9394761	42,0		7									1664,0
437 DN290		Af. Bezerra	Barro Vermelho	Assoc Barro Vermelho		773869	9398551	50,0		7									1384,5
438 DN291		Af. Bezerra	São Sebastião	José Patrício Medeiros		773482	9400166	95,0											797,6
439 DN292		Af. Bezerra	São Sebastião	Evaristo Villar Dantas3		773083	9399882	100,0		15									1600,0
440 DN293	PROSENG	Af. Bezerra	Cantos	Prefeitura		773034	9396053	80,0		10									1070,0
441 DN294		Af. Bezerra	Cantos	Assoc Comunidade Atira Fogo		773044	9395493	70,0											1644,5
442 DN295		Af. Bezerra	Cantos	José Candido Filho		773296	9395363	53,0		7,5									
443 DN296		Af. Bezerra	São Francisco de Flores	Inácio Bebem de Oliveira		772391	9386592	20,0		1									2410,0
444 DP730		Af. Bezerra	Fazenda São João	José Aguielo Bezerra	1991	774078	9387065	59,9		1		26,9							
445 AB001		Af. Bezerra	Sede do município	Público	1984	775113	9391975	15,0		12									626,0
446 AB002		Af. Bezerra	Sede do município	Público	1984	775114	9392024	15,0		8									
447 AB003		Af. Bezerra	Sede do município	Público	1984	775122	9392075	15,0		12									
448 AB004		Af. Bezerra	Sede do município	Público	1984	775114	9392124	15,0		12									
449 AB005		Af. Bezerra	Sede do município	Público	1984	775110	9392179	15,0		12									
450 DN267B		Af. Bezerra	Canto Branco	Leão Felix de Sousa	1998	773259	9394375	72,0		12		19,0							
451 CL568A		Af. Bezerra	Santarém	José Rodrigues da Silva	2002	767933	9388357	63,0		2		30,0							
452 CL568B		Af. Bezerra	São Francisco	Fco Edson Cavalcante	2002	768162	9387973	63,0		2		40,0							1940,0
453 CL568C		Af. Bezerra	Santarém	Fco Ferreira		766964	9388000												
454 PS153A		Af. Bezerra	Faz Canto dos Bois	Hosano da Rocha Bezerra	1998	773034	9396053	85,0		10									
455 DN267A		Af. Bezerra				773150	9394582												1430,0
456 CL580		Af. Bezerra				750124	9394369												
457 130		Af. Bezerra				773650	9391700												
458 749		Af. Bezerra				760000	9392100												
459 774		Af. Bezerra				768000	9390800												
460 2129		Af. Bezerra				769000	9389200												
461 2186		Af. Bezerra				774000	9386000												
462 *PS0120	PROSENG	Af. Bezerra	Alto da Felicidade I		26/08/1998	760280	9397150	89,0		10		28,5	29,9						355,6
463 PS0124A		Af. Bezerra	Faz Nova Descoberta/Rapo João Venâncio da Cunha			754577	9393690	94,0				40,0							553,0
464 PS0124B		Af. Bezerra	Faz Nova Descoberta/Rapo Marcos Batista			754680	9393746	94,0		18		28,2	32,4						
465 *PS0124	PROSENG	Af. Bezerra	Nova descoberta/Raposo -II		30/08/1998	754890	9393410	100,0		14		26,1	28,1						260,4
466 *PS0130	PROSENG	Af. Bezerra	Raposo III		11/09/1998	753450	9392560	78,0		10,4		24,8	24,8						320,0



467	*PS0131	PROSENG	Af. Bezerra	Canto		05/09/1998	773030	9395470	76,0	9,65	18,0	28,8	1434,8
468	*PS0136	PROSENG	Af. Bezerra	Santarém		13/09/1998	767630	9390800	115,0	3,5	60,0	67,4	630,0
469	*PS0152	PROSENG	Af. Bezerra	Santa Rita do Juazeiro		17/09/1998	774110	9395330	61,0	5,5	14,0	17,4	1116,5
470	*PS0153	PROSENG	Af. Bezerra	Canto da Escola		19/09/1998	772980	9395980	80,0	7,8	20,5	35,4	1078,2
471	*PS0154	PROSENG	Af. Bezerra	Canto Branco do Leão		22/09/1998	773170	9394300	78,0	8	20,0	31,3	826,1
472	*PS0155	PROSENG	Af. Bezerra	Dom Bosco		24/09/1998	773210	9390530	70,0	6,2	12,6	24,5	892,2
473	*PS0157	PROSENG	Af. Bezerra	Santa Rita		18/09/1998	772240	9393980	88,0	5	39,0	47,0	431,8
474	*PS0158	PROSENG	Af. Bezerra	Alto Alegre/Tapuio		15/09/1998	773530	9390750	60,0	4,35	20,0	32,8	772,8
475	*PS0163	PROSENG	Af. Bezerra	São Sebastião		25/09/1998	773450	9400130	110,0	18	6,5	11,4	789,3
476	PS0164	PROSENG	Af. Bezerra	Barro Vermelho		25/09/1998	774430	9398550	100,0	16,5	6,5	14,8	797,5
477	*PS0165	PROSENG	Af. Bezerra	Canto Branco do Jonas		23/09/1998	772200	9394360	70,0	8	17,3	26,3	826,0
478	*PS0195	PROSENG	Af. Bezerra	Faz. São Luiz		05/10/1998	774270	9390790	48,0	3,3	11,6	26,1	1702,0
479	PS0197	PROSENG	Af. Bezerra	Tapuio do Gado		29/09/1998	773150	9390540	65,0	3,88	15,3	37,6	1027,0
480	*PS0198	PROSENG	Af. Bezerra	Faz. Canto do Gato		09/10/1998	773200	9395000	58,0	7,47	16,2	24,6	
481	PS0213	PROSENG	Af. Bezerra	Canafistula		23/10/1998	774430	9398560	90,0	6	11,0	28,8	2276,8
482	PS0309	PROSENG	Af. Bezerra	São Sebastião	SUDENE	02/11/1998	773450	9400140	96,0	4,7	20,0	24,7	1062,2
483	PS0310	PROSENG	Af. Bezerra	Cantos	SUDENE	30/10/1998	773050	9395470	52,0	7,47	13,8	24,3	769,6
484	*PS0435	SERHID	Af. Bezerra	Faz. Canto	Berlamino	25/10/1999	773140	9394880	64,0	5	20,0	26,4	
485	*PS0469	SERHID	Af. Bezerra	Canto do Cumbe	Germano Severino	06/04/2000	772940	9400960	80,0				
486	*PS0548	SERHID	Af. Bezerra	Faz. Alto Alegre/Cantinhos	Odete Bezerra	06/03/2000	774610	9392320	31,0	4,8	7,1	13,4	780,0
487	*PS0561	SERHID	Af. Bezerra	Sítio Barro Vermelho	Juarez Cunha	23/01/2001	774158	9398680	46,0	5,838	10,3	11,9	1153,4
488	*PS0581	SERHID	Af. Bezerra	Faz. Nova Esperança	José Expedito	21/03/2001	774880	9390260	31,0	1	14,8	27,0	2811,2
489	S4524	CDM	Af. Bezerra	Mulungu			773000	9396900	100,0				
490	S6922	PROSENG	Af. Bezerra	São Sebastião	Evaristo Vilar Dantas	02/11/1998	773006	9399836	96,0				1600,0
491	S8700	T. JANNER	Af. Bezerra	Juazeiro(Barro Vermelho)		22/08/1965	773800	9398050	100,0				
492	S8995	CONESP	Af. Bezerra	Jacuma		08/03/1971	773800	9392000	50,0				
493	PT1ABZ		Af. Bezerra	Sta Rita			773214	9394155		1			

Anexo 4 - Mapa da rede de poços cadastrados



Anexo 5 - Mapa da rede poços de monitoramento

