



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES BASEADO NAS
CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO EM ÁREAS URBANAS LITORÂNEAS DO
ESTADO DA PARAÍBA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
GUSTAVO ARRUDA RAMALHO LIRA

João Pessoa – PB
Setembro – 2005

**Sistema de Informações Baseado nas Características
dos Poços de Abastecimento Público em Áreas
Urbanas Litorâneas do Estado da Paraíba**

GUSTAVO ARRUDA RAMALHO LIRA

Sistema de Informações Baseado nas Características dos Poços de Abastecimento Público em Áreas Urbanas Litorâneas do Estado da Paraíba

Gustavo Arruda Ramalho Lira

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Urbana da Universidade
Federal da Paraíba como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Alain M. B. Passerat de Silans
Co-Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

João Pessoa – PB
Setembro - 2005

Sistema de Informações Baseado nas Características dos Poços de Abastecimento Público em Áreas Urbanas Litorâneas do Estado da Paraíba

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. ALAIN M. B. PASSERAT DE SILANS
Universidade Federal da Paraíba
Orientador

Prof. Dr. TARCISO CABRAL DA SILVA
Universidade Federal da Paraíba
Co-Orientador

Prof. Dr. CELSO AUGUSTO GUIMARÃES SANTOS
Universidade Federal da Paraíba
Examinador Interno

Prof^a. Dr^a IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO
Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba
Examinadora Externa

Dedico

A meus pais, Milton Lira e Pedrina Arruda Ramalho Lira, por todo o incentivo dado à minha cultura, e pelos valores morais, éticos e sociais ensinados desde a infância.

À Pavlova Arcoverde Coelho Lira, minha esposa querida, pelo incentivo, carinho, compreensão, e sobretudo por ser uma das principais razões do meu crescimento pessoal, profissional e científico. E ao nosso filho Gustavo Coelho Lira, por nos mostrar um novo sentido para as nossas decisões.

A todos os meus amigos e familiares, em especial à Francisca Arruda Ramalho, que sempre me incentivaram como exemplos referenciais.

Finalmente a Deus, por me permitir o convívio com pessoas tão especiais e nos dá a saúde e o amor de que tanto necessitamos.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Alain M. B. de Silans e Tarciso Cabral, que souberam me conduzir durante as pesquisas, mostrando com todos seus conhecimentos os melhores caminhos a serem seguidos.

Ao colega, Cristiano das Neves Almeida, pelas contribuições valorosas na elaboração do Sistema de Informações, e ainda pelas orientações magistrais no desenvolver da pesquisa.

A todos os colegas do PPGEU, pelo companheirismo, amizade e força. Especialmente aos exemplos Ubiratan Pimentel e Enildo Tales.

Aos engenheiros Ricardo Brandão e Walter Arcosverde, por todo apoio fornecido em relação ao melhor conhecimento da hidrogeologia regional.

Aos professores do PPGEU por toda a atenção e conhecimento transmitido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro fornecido e sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

RESUMO

A importância das águas subterrâneas nos ambientes urbanos cresce virtuosamente nas últimas décadas, tanto como insumo para as indústrias quanto como fonte de abastecimento alternativa em algumas localidades, quando não, como única fonte de abastecimento. A cidade de João Pessoa, em 2003, teve aproximadamente 10% do seu abastecimento proveniente de poços operado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, responsável pelo abastecimento público d'água no Estado. O uso intensificado e desordenado dos recursos hídricos, bem como o gerenciamento inadequado, podem levar a situações perigosas e indesejáveis, como a subsidênciia do solo ou salinização de aquíferos. De acordo com a Lei 9.433/97, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um dos instrumentos desta Política, e é uma ferramenta de auxílio no gerenciamento hídrico. Neste sentido, desenvolveu-se um Sistema de Informações baseado nas características dos poços de uma das Unidades de Negócios da CAGEPA, a Regional Litoral, que envolve 24 municípios localizados na porção litorânea do Estado, com o objetivo de desenvolver um cadastro georreferenciado dos poços e contribuir para o gerenciamento e um melhor conhecimento dos recursos hídricos da região. O Sistema de Informações elaborado, o SIPOLI, mostrou-se como uma ferramenta útil para esta finalidade, apesar da pouca quantidade de poços com coordenadas disponíveis, além de fornecer uma estrutura modelo para futuros Sistemas. Recomenda-se uma campanha para levantamento de dados ausentes e atualização dos dados já cadastrados.

ABSTRACT

The importance of groundwater in urban areas is virtuously growing during the last decades, in some regions these are the only source of water supply. In 2003, ten percent of all water distributed to João Pessoa city, in northeast Brazil, proceeded from wells operated by CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, the government company which is responsible for the water distribution. The intensified and disordered water use, as well as the inadequate management, could lead to dangerous situations like land subsidence or aquifer salinization. The Brazilian law number 9.433/97 determines that the Water Resources Information System is one of the instruments of the national water resources management strategy. On this work, an Information System based on the characteristics of CAGEPA wells is developed. The Company divides the State in six areas, and the wells used on this research belong to one of them, the Litoral Branch. The aim of this work is to develop a georeferenced database of the wells and to contribute to the water resources management and to a better knowledge of the region water resources. The developed Information System, SIPOLI, is a useful tool to achieve these goals, despite the lack of wells with geographic coordinates. A campaign to fill the lack of data and to update the existing ones is recommended.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Dados climatológicos médios medidos na estação climatológica da cidade de João Pessoa.	63
Tabela 5.1	Tabela com informações a respeito das características dos poços operados pela Regional Litoral.	72
Tabela 5.2	Tabela com informações a respeito dos equipamentos instalados nos poços da Regional Litoral.	73
Tabela 6.1	Estatísticas referentes ao nível estático.	106
Tabela 6.2	Estatísticas referentes à vazão.	106
Tabela 6.3	Estatísticas referentes à vazão específica.	106
Tabela 6.4	Estatísticas referentes à profundidade útil.	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Visualização das unidades de negócio da CAGEPA.	17
Figura 2.1	Balanço hídrico médio anual por componente do ciclo hidrológico.	20
Figura 2.2	Províncias hidrogeológicas brasileiras.	24
Figura 2.3	Províncias hidrogeológicas presentes no nordeste brasileiro.	25
Figura 2.4	Divisão das Bacias Pernambuco, Paraíba e Potiguar.	27
Figura 2.5	Modelo da estratigrafia da Bacia Paraíba.	29
Figura 2.6	Descrição litológica do poço Marés.	33
Figura 3.1	Estrutura do sistema de geração da informação.	46
Figura 3.2	Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes).	49
Figura 3.3	Potociometria do aquífero Beberibe Inferior (1997 a 1999).	50
Figura 3.4	Potociometria do aquífero Beberibe Inferior (2000 a 2001).	50
Figura 3.5	Distribuição espacial da vazão.	53
Figura 3.6	Distribuição espacial da vazão específica.	54
Figura 3.7	Distribuição espacial de profundidades.	54
Figura 4.1	Mesorregiões do Estado da Paraíba.	56
Figura 4.2	Localização dos municípios da Regional Litoral.	57
Figura 4.3	Mapa simplificado das estruturas geológicas dos municípios da Regional Litoral	59
Figura 4.4	Potencial hidrogeológico da região litorânea do Estado da Paraíba.	61

Figura 4.5	Variação intra-anual da precipitação na área em estudo.	65
Figura 4.6	Mapa de solos de parte do Estado da Paraíba.	67
Figura 4.7	Mapa litológico superficial dos municípios da Regional Litoral.	68
Figura 5.1	Vista Informações Sobre os Poços.	82
Figura 5.2	Tabela Identificação dos Poços.	83
Figura 5.3	Página inicial do poço Pavilhão do Chá.	84
Figura 5.4	Página contendo a memória descritiva do poço Pavilhão do Chá.	85
Figura 5.5	Página contendo o perfil construtivo do poço Pavilhão do Chá.	86
Figura 5.6	Página contendo o perfil litológico do poço Pavilhão do Chá.	87
Figura 5.7	Página contendo o teste de produção do poço Pavilhão do Chá.	88
Figura 5.8	Tabela Características Técnicas.	89
Figura 5.9	Tabela Equipamentos Instalados.	90
Figura 5.10	Tabela Dados Sobre Ligações de Água.	91
Figura 5.11	Tabela Dados Sobre os Municípios.	91
Figura 6.1	Mapa Topográfico da cidade de João Pessoa e áreas de proteção.	95
Figura 6.2	Distribuição espacial do nível estático.	96
Figura 6.3	Distribuição espacial da vazão.	97
Figura 6.4	Distribuição espacial da vazão específica.	98
Figura 6.5	Distribuição espacial da profundidade útil.	99
Figura 6.6	Histograma do nível estático.	102
Figura 6.7	Histograma da vazão.	102
Figura 6.8	Histograma da vazão específica.	103
Figura 6.9	Histograma da profundidade útil.	103
Figura 6.10	Mapa potenciométrico do aqüífero Beberibe.	105
Figura 6.11	Estatísticas da produção trimestral do poço Ivan Bechara.	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	Quantidade de água presente em alguns componentes do ciclo hidrológico.	22
Gráfico 6.1	Produção trimestral do poço Ivan Bechara.	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Quantidade de água armazenada em alguns componentes do ciclo hidrológico.	21
Quadro 2.2	Identificação das formações baseada na descrição litológica.	34
Quadro 5.1	Estatísticas a respeito das informações disponíveis dos poços contidos no cadastro do PPRP.	71
Quadro 5.2	Quantidade de poços por município e situação operacional.	75
Quadro 5.3	Quantidade de poços por informação requerida.	77
Quadro 5.4	Total de poços por quantidade de informação.	77
Quadro 5.5	Correções ou complementações realizadas nos poços.	78

LISTA DE ABREVIATURAS

CAGEPA	- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
SIPOLI	- Sistema de Informações dos Poços da Regional Litoral
PRPP	- Programa de Recuperação e Perfuração de Poços
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	19
2.1 Importância das águas subterrâneas	20
2.2 Províncias hidrogeológicas brasileiras	23
2.3 A Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco	26
2.4 Hidrologia subterrânea	29
2.4.1 A Província Cristalina	30
2.4.2 A Província Sedimentar.....	30
2.5 Aspectos normativos com relação à construção de Unidades de captação subterrânea.....	34
2.5.1 Testes de bombeamento	35
2.5.2 Relatório técnico construtivo	38
2.6 Qualidade das águas subterrâneas.....	39
3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES	43
3.1 Informações geográficas	44
3.2 Representação de mapas	44
3.3 Sistemas de Informações e Sistemas de Informações Geográficas	45
3.4 Utilização de Sistemas de Informações	48
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	55
4.1 Localização	55
4.2 Relevo	58
4.3 Hidrogeologia	58
4.4 Climatologia	60
4.4.1 – Pluviometria	64
4.5 Solos	66

5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES	69
5.1 Aquisição dos dados	69
5.1.1 Dados coletados	70
5.1.2 Análise dos dados	74
5.1.3 Análise de consistência	78
5.2 Elaboração do Sistema de Informações SIPOLI	79
5.2.1 Visão geral do projeto	80
5.2.2 Tema Identificação dos Poços	81
5.2.3 Tema Características Técnicas	89
5.2.4 Tema Equipamentos Instalados	89
5.2.5 Temas Referentes aos Municípios	90
6 POTENCIALIDADES DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES	
SIPOLI	92
6.1 Utilização de recursos de geoprocessamento	92
6.2 Análises espaciais	93
6.2.1 Espacializações	94
6.2.2 Histogramas	101
6.2.3 Mapa potenciométrico	104
6.3 Determinação de parâmetros estatísticos	106
6.4 Análise da produção dos poços	107
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

Durante toda a história, o homem busca locais onde há, predominantemente, a presença de água em condições tais que possa ser usada no mínimo para suas necessidades básicas. Foi assim que se originou, nas margens dos rios Nilo e Eufrates, a nossa civilização.

A evolução das civilizações trouxe consigo uma busca por melhores condições sanitárias, o que pode ser comprovado pelos aquedutos e sistemas de abastecimento romanos. A construção de obras hidráulicas levou ao aprimoramento das mesmas e ao aumento no conhecimento técnico-científico, sendo possível na atualidade a construção de grandes barragens, poços, adutoras etc., de modo a fornecer ao homem, em boa parte das regiões urbanas, água com quantidade e qualidades necessárias a sua sobrevivência.

Devido à “facilidade” na obtenção da água, um sentimento de abundância é gerado nas sociedades urbanas, ocasionando, na maioria das vezes, o desperdício ou o uso inadequado da água captada, aduzida e tratada.

Em boa parte das regiões brasileiras há a ocorrência de água, seja superficial ou subterrânea, em quantidades superiores a necessidade demandada pelos consumidores. Ocorre, porém, que o mau gerenciamento dos recursos hídricos tem ocasionado diversas situações de desconforto, como exemplo a recente crise energética ocorrida em meados do ano 2001 (SILVEIRA; GUERRA, 2001) e os constantes racionamentos no abastecimento de água em diversas cidades. Além destes problemas tem-se em menor escala os constantes conflitos pelo uso da água, entre o trinômio indústria, agricultura e abastecimento humano.

De acordo com o art 1º da lei 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas” porém no mesmo artigo define-se que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação dos animais” (BRASIL, 1997). A proteção e a priorização da legislação para o consumo humano podem ser evidenciadas ainda no art. 15º

desta lei, que diz ser possível a suspensão total ou parcial das outorgas que possam vir a prejudicar este consumo e a dessedentação de animais (SILVA; PRUSKI, 2000). É justamente durante essas situações de escassez quando se buscam as mais variadas soluções para o problema do abastecimento.

A falta de gerenciamento ocorre, ainda, quando são analisados não só o aproveitamento incorreto ou sub-aproveitamento da disponibilidade hídrica, mas também através da construção de obras mal executadas e/ou com tecnologias inadequadas. Estes fatos podem gerar graves perdas ou até catástrofes, como no caso do desmoronamento da barragem de Camará na Paraíba, ocorrido em junho de 2004.

Devido a algumas características das águas subterrâneas que facilitam sua captação e utilização, a exploração desse recurso como auxílio ao abastecimento d'água vem sendo cada vez mais utilizada, tanto para o abastecimento humano quanto, intensamente, por parte das indústrias. Dentre estas facilidades pode-se citar: custo relativamente baixo para captação; boa qualidade na grande maioria dos casos, eliminando o uso de estações de tratamento de água; implantação da captação próxima ao consumidor; ausência de grandes obras tais como barragens, estações elevatórias, entre outras.

A utilização de águas subterrâneas em centros urbanos como fonte alternativa de abastecimento apresenta maiores concentrações nas regiões dos "distritos industriais", tal como pode se verificar em cidades como João Pessoa e Maceió (SANTOS et al., 2002b), e nas áreas de maior concentração de conjuntos residenciais, tais como os bairros de Cruz das Armas, Altiplano e Cristo Redentor, na capital paraibana.

Quando o crescimento na perfuração de poços e, consequentemente, na exploração das águas subterrâneas se dá de forma desordenada, tal como se verificou na cidade de Recife – PE (CABRAL et al., 2002), situações perigosas podem vir a ocorrer. Uma situação típica naquela cidade é a diminuição excessiva do nível do lençol freático devido à elevada quantidade de poços muito próximos (CABRAL et al., 2002), o que ocasiona uma queda na

resistência inicial do solo e constantes problemas de recalques de fundações, podendo levar a fissuras ou até desmoronamentos. Outra situação que pode ocorrer, devido a esta exploração excessiva, é a intrusão de água do mar, salinizando a água do aquífero (FARIAS et al., 2003).

As situações apresentadas anteriormente são problemáticas. A primeira traz desconforto e até risco de vida para a população urbana, já carente de habitação. Enquanto que a segunda pode ocasionar a impossibilidade do uso das águas do lençol freático devido à contaminação, podendo gerar até um colapso no sistema de abastecimento. Estas duas situações são apenas exemplos nos inúmeros problemas que podem ocorrer com a superexploração ou exploração desordenada de aquíferos. Esta preocupação é maior no ambiente urbano devido à grande concentração populacional e as maiores necessidades hídricas (indústrias, comércio, etc.).

Estas situações estão presentes nos demais países do mundo. No México, das 653 unidades hidrogeológicas ou aquíferos definidos para propósitos de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, 102 são superexplorados, representando 57% de toda água subterrânea utilizada para todos os usos. Além disto 17 sofrem de intrusão salina (COMISIÓN..., 2004).

Entre os anos de 1997 e 1999, o conglomerado urbano denominado Grande João Pessoa, bem como todo o nordeste brasileiro, viveu um período de seca, fazendo com que as disponibilidades hídricas dos mananciais superficiais se tornassem incapazes de suprir as diversas demandas em recursos hídricos, o que fez crescer a quantidade de poços perfurados (SILVA et al., 2001b). Durante este período, o principal manancial que abastece este centro, o açude Gramame-Mamuaba, teve sua capacidade reduzida consideravelmente e mostrou a necessidade do gerenciamento tanto das águas superficiais como subterrâneas.

O gerenciamento dos recursos hídricos na Paraíba exige maior conhecimento sobre as reservas hídricas subterrâneas, as potencialidades e as disponibilidades reais atuais, conforme recomendação do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (SCIENTEC/SEPLAN, 1997). Isto

requer estudos, ainda escassos ou mesmo praticamente insignificantes devido, principalmente, à falta de informações sobre as características dos aquíferos da região, quais sejam, Beberibe, Barreiras e a formação Gramame.

De acordo com Mendes e Cirilo (2001),

para que o planejamento e a administração dos recursos hídricos possam ser exercidos de forma racional e dinâmica, torna-se imperiosa a existência de informações sistematizadas e, sobretudo, de sistemas que articulem essas informações, de modo a processá-las para gerar subsídios às intervenções porventura necessárias e sua adequada operação, bem como a previsão e controle dos processos naturais ou induzidos pela ação do homem nas bacias hidrográficas.

Vê-se, portanto, a importância do uso dos sistemas de informações sobre recursos hídricos tanto no suporte à decisão quanto nas avaliações das situações já existentes.

A lei 9.433/97 regulamenta que o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, e os define como “um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão” (BRASIL, 1997).

No âmbito nacional, esta lei define os objetivos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, sendo dois deles “reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil” e “fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). Na esfera estadual, pode-se então, no desenvolvimento dos seus Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos, incorporar estes objetivos.

Desta forma, para um órgão responsável por prover o abastecimento de água de um Estado, a elaboração de um cadastro com informações sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos constitui uma etapa necessária e primordial no desenvolvimento de seu Sistema de Informação.

O órgão responsável pelo abastecimento de água e coleta de esgotos no estado da Paraíba é a CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. A CAGEPA foi criada em 1966 tendo ampliado a cada ano o número de localidades com acesso á água potável e implementando ações no sentido da coleta e tratamento de esgotos dos municípios atendidos. Em sua estrutura interna a CAGEPA é dividida em seis Unidades de Negócio, a saber: Litoral, Brejo, Borborema, Espinharas, Rio do Peixe e Alto Piranhas. A Figura 1.1 apresenta uma visualização das áreas de atuação destas unidades.



Figura 1.1: Visualização das unidades de negócio da CAGEPA.
Fonte: Modificado de CAGEPA (2005).

O interesse por todas essas questões motivou a realização desta pesquisa, que tem como objetivo geral desenvolver um cadastro georreferenciado das unidades de produção de água subterrâneas existentes na Regional Litoral, apresentando-o sob a forma de um Sistema de Informações voltado para o abastecimento público. Dentre seus objetivos específicos estão: (a) gerar informações a partir do cadastro, mostrando as suas potencialidades, (b) apresentar uma ferramenta de auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos da região, (c) fazer inferências quanto a algumas características dos aquíferos, vazões de exploração (Q), superfícies potenciométricas, entre outras.

A pesquisa está dividida em três grandes partes. A primeira trata da aquisição de dados referentes aos poços pertencentes a Regional Litoral. Estes dados são a identificação dos poços, os relatórios ou fichas dos poços, as suas características técnicas, os equipamentos instalados, a sua situação operacional, os reservatórios e/ou setores abastecidos pelos mesmos e as informações a respeito de suas produções.

Após a aquisição destes dados elaborou-se um Sistema de Informações, com auxílio do programa *ArcView 3.2 (ESRI)*¹. Para tanto utilizou-se cartas topográficas, mapas digitais com as delimitações dos municípios e temas utilizados em Sistemas de Informações desenvolvidos com outros propósitos.

Na terceira parte da pesquisa, utilizou-se o Sistema de Informações para a geração de novas informações que podem ser úteis em estudos dos recursos hídricos da região, além de servir como instrumento para, após atualizações futuras e inserção de novas informações, auxiliar nos processos decisórios, otimizar futuras intervenções e promover um melhor gerenciamento dos recursos hídricos no Estado da Paraíba.

¹ ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc.

2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A circulação de água no nosso planeta denomina-se ciclo hidrológico. Trata-se do caminho da água através de processos contínuos na terra, na atmosfera e nos oceanos, sendo a busca pela sua compreensão a base da ciência hidrológica.

Simplificando bastante a descrição do ciclo hidrológico, pode-se dizer que grande parte da água que evapora nos oceanos precipita sobre eles, sendo o restante conduzido a Terra para posterior precipitação. Ao atingir a superfície terrestre, parte dessa água precipitada infiltra no solo formando as águas subterrâneas e outra escoa sobre a superfície formando os rios e os lagos. Estas duas últimas parcelas, por buscar potenciais hidráulicos mais baixos, acabam por atingir os oceanos onde o ciclo será reiniciado.

Esta definição básica do ciclo hidrológico suprime processos bem mais complexos tais como a evapotranspiração, a interceptação da precipitação, a percolação de água sobre as camadas de rocha no interior da Terra, a própria evaporação sobre os rios e lagos, entre outros. Para a ciência hidrológica, há grande interesse em compreender estes processos e conseguir quantificar os volumes de água que circulam por eles, fazendo o que se chama de “balanço hídrico”.

Uma das grandes dificuldades de se realizar o balanço hídrico em uma região, está no fato da circulação de água não respeitar fronteiras, ou seja, a água precipitada na região em estudo pode ser proveniente de outro local, assim como a água infiltrada pode ultrapassar estas fronteiras e contribuir para outra região. Outra dificuldade está no aspecto temporal dos componentes do ciclo hidrológico, pois estes, possuindo velocidades diferentes para a movimentação da água, tornam difícil a identificação do evento que o originou. Um exemplo claro está nas formas de precipitação, enquanto que em geral a chuva demora poucos segundos para atingir o solo e alguns minutos para contribuir para um rio, a neve demora bem mais tempo para fazê-lo.

Estas dificuldades não impedem que seja feito um balanço hídrico global, apesar de mais estudos ainda serem necessários. A Figura 2.1 mostra o ciclo

hidrológico com balanço hídrico médio anual (setas azuis) em unidades relativa a um volume de 505 unidades para a precipitação total sobre a Terra (ALBUQUERQUE; REGO, 2004). Essa figura é bastante ilustrativa, pois mostra ainda a quantidade aproximada de água armazenada nos vários componentes (valores em preto).

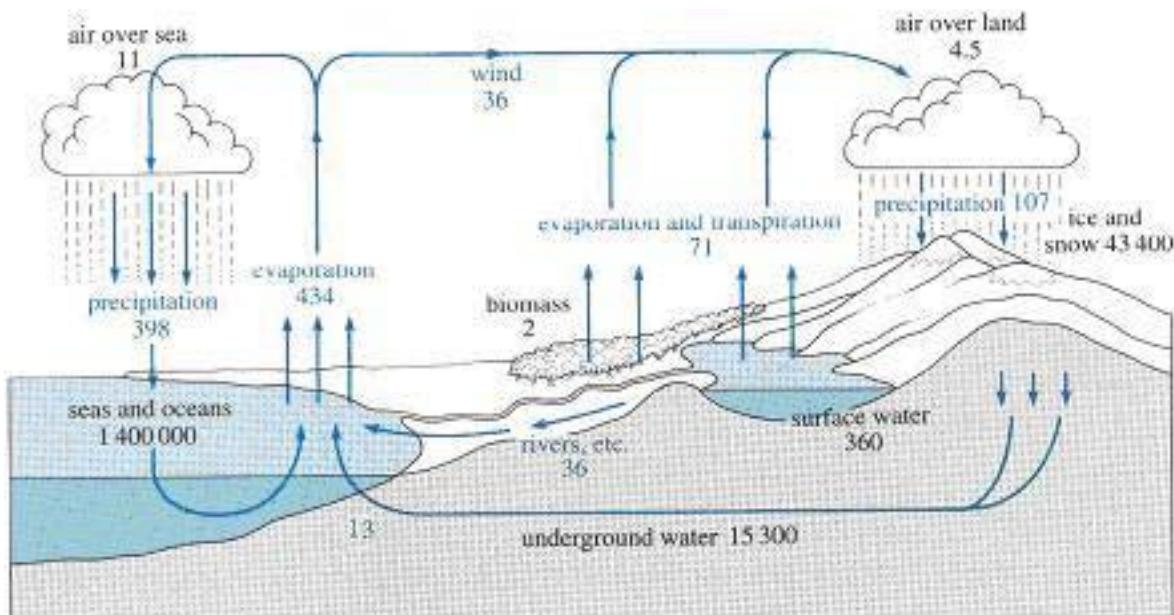


Figura 2.1: Balanço hídrico médio anual por componente do ciclo hidrológico.
Fonte: Albuquerque e Rego, 2004.

2.1 Importância das águas subterrâneas

De acordo com a UNESCO (apud CHOW et al., 1988) 96,5% de toda a água na Terra estão nos oceanos, e aproximadamente 1% são águas salinas contidas nas águas subterrâneas ou nos lagos, portanto apenas 2,5% do total de água no planeta é água fresca. Apesar disso, nem toda água fresca está disponível, visto que esta faz parte da demanda biológica e atmosférica, além de outra parte estar presente em pântanos, em forma de gelo polar ou em profundidades superiores a 800 metros. Desta forma, aproximadamente 0,3% do volume de água estão disponíveis para um consumo racional, sendo 0,29% de água subterrânea e apenas 0,01% de águas superficiais. O Quadro 2.1 ilustra a quantidade de água armazenada em alguns componentes do ciclo hidrológico.

Item	Área (10^6Km^2)	Volume (Km^3)	Porecentagem de água total	Porcentagem de água doce
Oceano	361,30	1.338.000.000	96,54	0,00
Rios	148,80	2.120	0,0002	0,01
Água Subterrânea				
Doce	134,80	10.530.000	0,76	30,10
Salina	134,80	12.870.000	0,93	
Lagos				
Doce	1,20	91.000	0,0066	0,26
Salina	0,80	85.400	0,0062	
Total de Água	510,00	1.385.984.610	100	
Total de Água Doce	148,80	35.029.210	2,53	100,00

Quadro 2.1: Quantidade de água armazenada em alguns componentes do ciclo hidrológico.

Fonte: Adaptado de UNESCO (apud CHOW et al., 1988).

O Gráfico 2.1 ilustra a quantidade de água presente em alguns componentes generalizados do ciclo hidrológico. Ao analisar este gráfico duas observações podem ser feitas: a primeira diz respeito à pequena quantidade de água doce disponível quando comparada com a quantidade total (0,3%), a segunda é quanto à relação entre a água subterrânea disponível e a água disponível em rios e lagos, sendo esta bem inferior àquela.

Ressalta-se que os valores que constam no Gráfico 2.1 são referentes à quantidade de água armazenada, sendo diferentes dos valores que circulam por estes dois componentes do ciclo hidrológico e que podem ser efetivamente utilizados pelo homem. Desta forma, como há menos água circulando subterraneamente, apesar de maior quantidade armazenada, há uma possibilidade menor de sua utilização.

Devido à sua maior acessibilidade, as águas superficiais são mais utilizadas em alguns países, o que vem causando, aliado à poluição dos mananciais e à crescente demanda de abastecimento para consumo humano e para irrigação, o comprometimento das disponibilidades deste recurso.

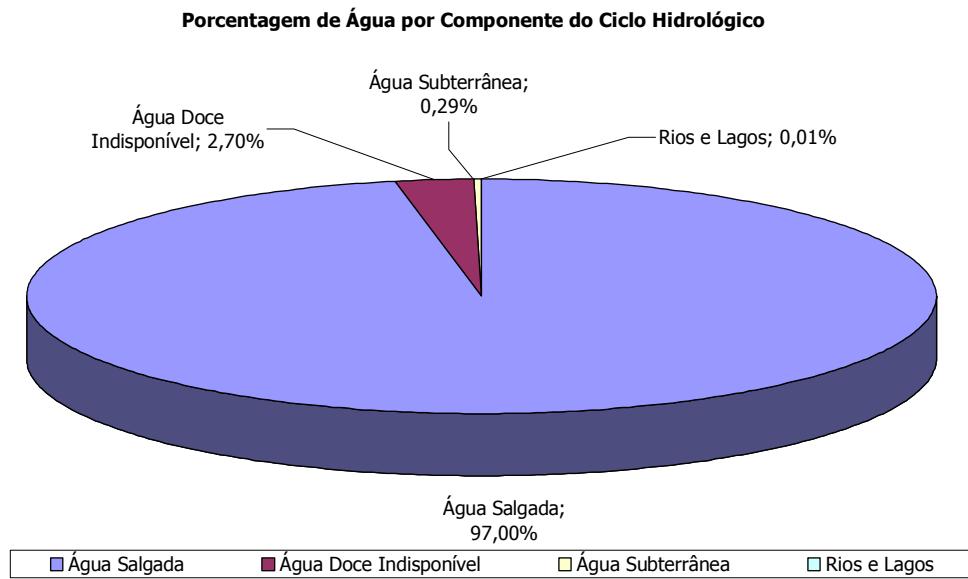


Gráfico 2.1: Quantidade de água presente em alguns componentes do ciclo hidrológico.

Fonte: Baseado em UNESCO (apud CHOW et al., 1988).

As vantagens associadas à captação das águas subterrâneas fazem com que estas venham sendo cada vez mais utilizadas para o abastecimento humano. Albuquerque e Rego (2004) afirmam que nos Estados Unidos, cerca de 39% dos serviços municipais de suprimento hídrico é proveniente de recursos subterrâneos, atingindo 75% na Comunidade Européia e até 90% em alguns países como Suécia, Dinamarca, Bélgica, Alemanha e Áustria.

Em relação ao Brasil, Feitosa e Manoel Filho (1997), baseados em dados do IBGE – 1991, afirmam que “61% da população é abastecida com água subterrânea”, sendo 75% deste valor através de poços tubulares. De acordo com Rebouças (1996, apud FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997), “90% das cidades dos estados do Paraná e Rio grande do Sul e 76% das cidades do estado de São Paulo são abastecidas por poços”. Este quadro de grande utilização das águas subterrâneas é mantido nas demais cidades do Nordeste, como Natal, Recife, Olinda e Maceió.

Na cidade de João Pessoa, segundo dados na CAGEPA referentes ao ano de 2003, aproximadamente 10% do abastecimento público anual fornecido à cidade foi proveniente de poços operados pela Companhia, sendo este valor correspondente a um volume de 5.426.839 m³ de água. Outras cidades,

pertencentes à área de estudo também possuem parte do seu abastecimento garantido com o auxílio de poços da Concessionária.

As águas subterrâneas são utilizadas ainda como insumos industriais diretos, como no caso das empresas que captam e vendem quantidades de águas subterrâneas sob a forma de água mineral e das empresas produtoras de bebidas. E em relação ao turismo, as águas subterrâneas termais são utilizadas como forma de estimulá-lo, como é o caso das cidades de Caldas Novas em Goiás, Araxá em Minas Gerais e Mossoró no Rio Grande do Norte.

2.2 As províncias hidrogeológicas brasileiras

A base para avaliação das condições hidrogeológicas do território nacional é o Mapa Hidrogeológico do Brasil. Este estudo, elaborado na escala de 1:2.500.000 e 1:5.000.000 durante os anos de 1979 e 1981, utilizou dados de 20.000 poços tubulares. A distribuição espacial destes poços mostra uma maior quantidade de informações nas regiões mais populosas, de forma geral na parte oriental do país. Em termos de qualidade, há poucas áreas com grau de desenvolvimento detalhado, e algumas outras, em especial a região nordeste, providas de mapas hidrogeológicos regionais.

Um produto do estudo supramencionado foi a elaboração de uma pesquisa sobre a capacidade de produção dos aquíferos, baseando-se em estudos pontuais, locais e regionais e utilizando-se o acervo de dados técnicos. Esta pesquisa permitiu a avaliação preliminar do potencial hidrogeológico de cada região.

Outro ponto importante foi a definição das grandes unidades hidrogeológicas existentes no país através da introdução do conceito de Província Hidrogeológica. Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997) “definindo-se uma província hidrogeológica como ocorrência de águas subterrâneas, destacam-se os fatores geológicos e o fisiográfico entre os elementos que contribuem para essa definição”. Os autores afirmam ainda que os fatores geológicos são mais importantes, sendo os fatores fisiográficos utilizados na determinação da

produtividade hídrica de uma região. A Figura 2.2 mostra a distribuição das dez províncias hidrogeológicas brasileiras.

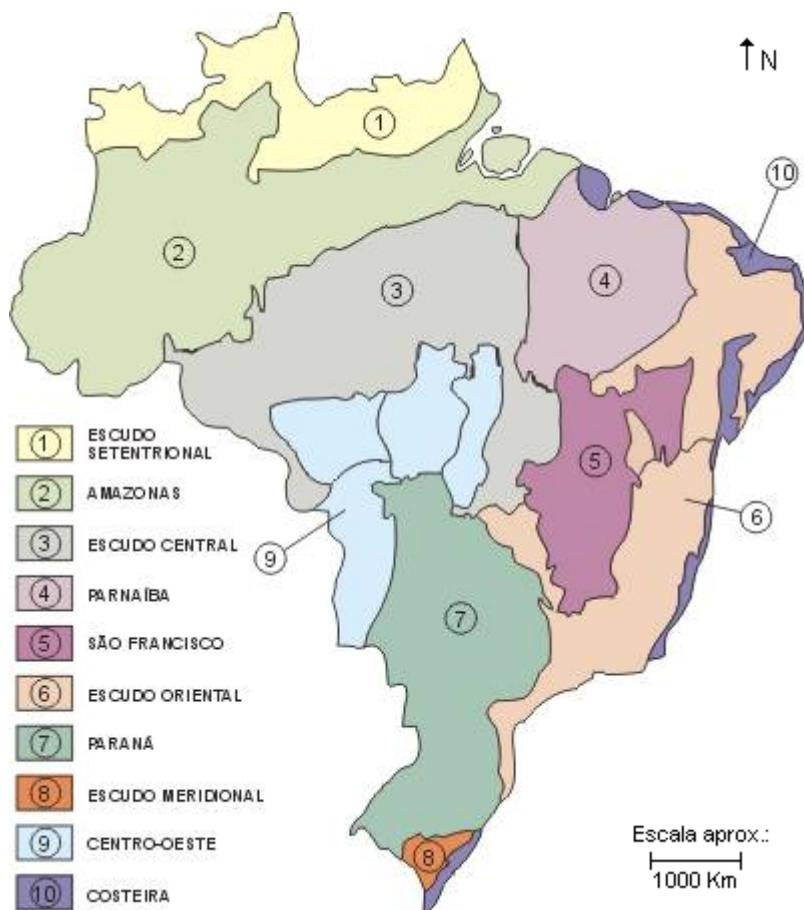


Figura 2.2: Províncias hidrogeológicas brasileiras.
Fonte: Modificado de ABAS (2004)

No nordeste brasileiro estão presentes quatro destas províncias, conforme mostra a Figura 2.3, são elas:

- *Parnaíba*: Com uma área de cerca de 600.000 km², é a principal província nordestina. Suas formações alternam-se entre camadas permeáveis e impermeáveis. Apresentam três sistemas aquíferos principais: (a) Cabeças; (b) Serra Grande; (c) Poti-Piauí.
- *São Francisco*: Há predominância de aquíferos restritos às zonas fraturadas em quartzitos, metagrauvacas, calcário e dolomitos, podendo tornar-se mais amplos quando associados com rochas porosas. Há ainda outro sistema formado por sedimentos mesozóicos, tendo, porém, seu potencial exploratório restrinido pela condição morfológica de

tabuleiro elevado, litologia fina e as espessuras restritas das camadas (CPRM, 2001).



Figura 2.3: Províncias hidrogeológicas presentes no nordeste brasileiro.

Fonte: Abas (2003)

- *Escudo Oriental Nordeste*: Apresenta potencial hidrogeológico fraco, devido principalmente às condições de circulação da água, predominando rochas cristalinas, podendo surgir pequenas ilhas de rochas sedimentares. As águas apresentam-se em geral salinizadas, podendo, contudo, de acordo com a localização, atender determinadas necessidades.
- *Costeira*: Extendendo-se por toda parte litorânea desde o Amapá até o Rio Grande do Sul, é formada por nove subprovíncias, das quais cinco estão totalmente inseridas na região nordeste e duas parcialmente, são

elas: (a) Barreirinhas e São Luís; (b) Ceará e Piauí; (c) Potiguar; (d) Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte; (e) Alagoas e Sergipe; (f) Tucano, Recôncavo e Jatobá; (g) Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Os aquíferos mais importantes são: o aquífero Barreiras, que apresenta maior área, o Jandaíra e Açu (Potiguar), Beberibe (Paraíba-Pernambuco-Rio Grande do Norte), Marizal, São Sebastião, Ilhas e Tacaratu (Recôncavo-Tucano-Jatobá).

2.3 A Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco

“Uma bacia sedimentar é o resultado do processo de subsidência de uma placa tectônica, que permite o acúmulo e a preservação dos sedimentos: cessando a subsidência, cessa a sua história deposicional” (SOUZA-LIMA; HAMSI-JUNIOR, 2003).

De acordo com a publicação Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba (SANTOS et al., 2002a), “a Bacia Pernambuco-Paraíba ocupa o litoral norte do Estado de Pernambuco, estende-se desde a cidade de Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa”, sendo constituída pelas sub-bacias de Olinda, Alhandra, Miriri, Canguaretama e Natal. Em termos de subprovíncias é limitada ao norte com a Bacia Potiguar pelo Alto de Touros e ao sul com a Bacia de Alagoas pelo Alto de Maragogi (SANTOS et al., 2002a). Estes limites são também adotados segundo Souza-Lima et al. (2003).

Em uma reconsideração sobre a estratigrafia da Bacia Paraíba, Barbosa et al. (2003) sugerem uma modificação quanto à extensão da Bacia Paraíba-Pernambuco individualizando ainda a Bacia Paraíba, que segundo os autores “abrange a faixa sedimentar costeira que existe desde o Lineamento Pernambuco, nas proximidades da cidade de Recife, até o alto estrutural de Mamanguape ao norte de João Pessoa”, conforme mostra a Figura 2.4. Os autores consideram não haver ligação com a Bacia Pernambuco, chamada de Sub-Bacia do Cabo, e suprimem da bacia Paraíba, as Sub-bacias Canguaretama e Natal, transferindo-as para o domínio da bacia Potiguar.

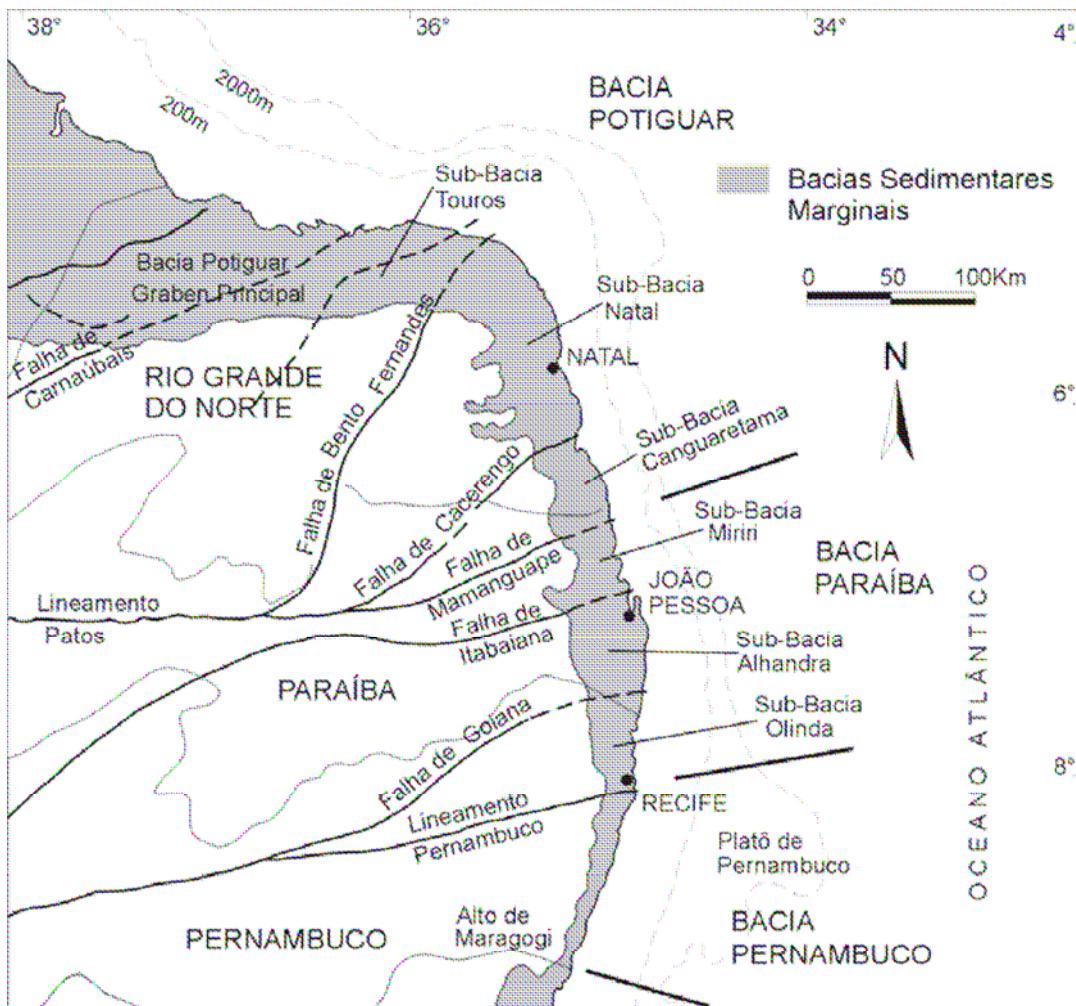


Figura 2.4: Divisão das Bacias Pernambuco, Paraíba e Potiguar.
Fonte: Barbosa et al. (2003) (Modificado de MABESOONE e ALHEIROS, 1988).

A Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco possui uma largura média aproximadamente igual a 25 km, tendo uma espessura máxima de 400m. Verifica-se uma subdivisão da Bacia Paraíba, conforme mostra a Figura 2.4, em três sub-bacias: Olinda, Alhandra e Miriri. Seu desenvolvimento começa no cretácio superior e se estende até os dias atuais. Nesta bacia, quatro formações são encontradas, quais sejam, da base para o topo: (a) Beberibe, (b) Itamaracá; (c) Gramame; (d) Maria Farinha.

- Formação Beberibe: A formação Beberibe apresenta cerca de 200m de espessura de arenitos friáveis desde conglomeráticos a finos, de cor amarela e branca e com grãos sub-arredondados até sub-angulosos. Em termos estratigráficos assenta-se diretamente sobre o embasamento cristalino e está sobreposto aos sedimentos carbonáticos da formação Gramame.

- Formação Itamaracá: Contemporânea da Formação Beberibe, esta formação “é composta por depósitos de arenitos carbonáticos, folhelhos e carbonatos com siliciclastos ricamente fossilíferos” (BARBOSA et al., 2003).
- Formação Gramame: Esta formação é constituída por calcários argilosos, com algumas intercalações finas de argila, compreendendo ainda os calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, servindo esse fato para diferenciar esta formação dos calcários das demais formações. Sua espessura varia entre 50 e 100 metros.
- Formação Maria Farinha: Restringe-se a uma faixa estreita entre Recife e o Vale do rio Goiana, sua espessura é de cerca de 30 metros (SCIENTEC, 2000). Segundo (BARROS, 2001) “é uma seqüência de calcários detríticos, bem estratificados, fossilíferos, variando para dolomíticos e argilosos nas camadas superiores”.

A formação Beberibe e a Formação Itamaracá sempre tiveram suas relações sob conflito entre estudiosos, isto se deve à ausência de uma completa interpretação da Formação Itamaracá, além de suas várias intercalações com a Formação Beberibe. Por isso, é usual a consideração de uma formação denominada Beberibe/Itamaracá, sendo inclusive aceita na publicação Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba (SANTOS et al., 2002a).

Nos limites do Estado da Paraíba, repousando sobre as formações da Bacia Paraíba-Pernambuco quando estas não afloram, encontram-se os Sedimentos Terciários e Quaternários.

Os Sedimentos Terciários são representados pelo Grupo Barreiras, que apresenta três formações: (a) Serra do Martins, formada por arenitos siliticados sem importância hidrogeológica e localizada nas cidades de Arauna, Solânea e Areia; (b) Guararapes, localizada ao longo da costa formando tabuleiros costeiros e falésias, e formada por areias, siltes e argilas em alternância e (c) Macaíba, unidade superior do Grupo Barreiras e constituída por areias às vezes argilosa.

Os Sedimentos Quaternários são representados pelos aluviões fluviais, sedimentos costeiros, recifes de arenitos e dunas, compostos por sedimentos inconsolidados areno-argilosos.

Barbosa et al. (2003) elabora um modelo da carta estratigráfica da Bacia Paraíba, para as três sub-bacias, Olinda, Alhandra e Miriri. A Figura 2.5 mostra este modelo estratigráfico.

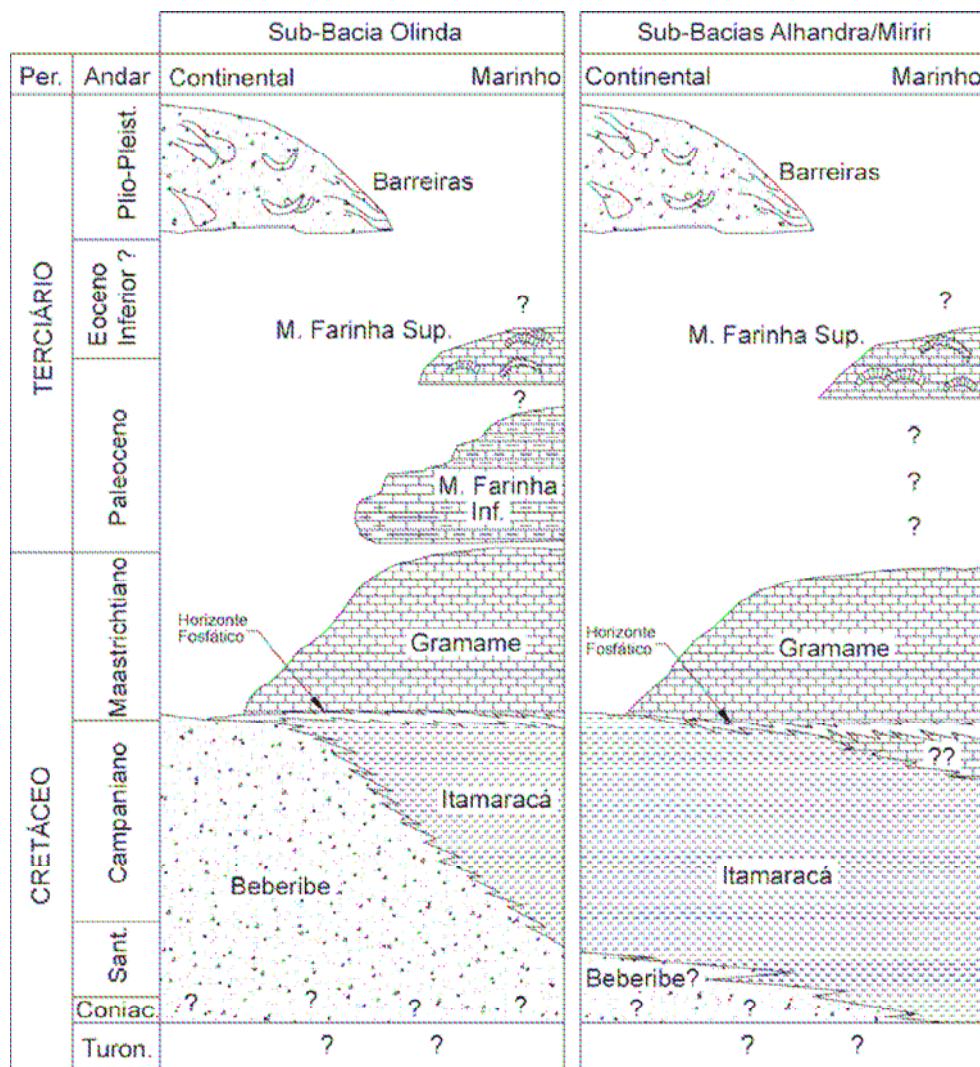


Figura 2.5: Modelo da estratigrafia da Bacia Paraíba.

Fonte: Barbosa et al. (2003).

2.4 Hidrologia subterrânea

Nas várias províncias hidrogeológicas estão contidos os diferentes tipos de reservatórios de águas subterrâneas brasileiros. Os sistemas aquíferos

resultantes são classificados em: (a) Sistemas Porosos, constituídos das rochas sedimentares; (b) Sistemas Fissurados, constituídos das rochas cristalinas e (c) Sistemas Cársticos, constituídos das rochas carbonáticas fraturadas ou descontínuas devido a processos de dissolução cárstica (LEAL, 2005).

Na região litorânea do Estado da Paraíba estão presentes os sistemas fissurados, na província cristalina e os aqüíferos porosos, na província sedimentar. Essas províncias, nesta região, serão discutidas nos dois sub-itens seguintes.

2.4.1 A Província Cristalina

As rochas da Província Cristalina, rochas ígneas e metamórficas, apresentam permeabilidades originais insignificantes ou nulas e datam do Pré-Cambriano. O armazenamento de águas subterrâneas se dá nas zonas fraturadas e é bastante restringido por motivos fisiográficos.

O sistema cristalino não se comporta na maior parte da sua área como aqüífero principalmente devido a sua baixíssima permeabilidade. Isto só acontece quando o sistema se apresenta profundamente alterado ou fraturado. Esta característica da permeabilidade faz com que seja discutível a ocorrência de fluxo horizontal, sendo a sua recarga proveniente de infiltração das águas de origem pluviométrica. O coeficiente de infiltração é difícil de ser estimado, e em estudos feitos para a Bacia do Mundaú-AL, para as regiões cristalinas, seu valor foi estimado em 2,41% da pluviometria anual (SCIENTEC, 2000).

2.4.2 A Província Sedimentar

A Província Sedimentar apresenta como aqüíferos as formações descritas no item anterior. Dentre estas formações os sedimentos quaternários e os calcários da formação Gramame não apresentam grande expressão hidrológica. O mesmo não pode ser dito com relação às outras duas formações, que se apresentam como importantes aqüíferos em toda a região Litorânea do Estado da Paraíba, e no nordeste brasileiro. Os aqüíferos presentes nesta província podem ser divididos em dois sub-sistemas, quais

sejam: (a) *Sub-sistema livre*, composto, predominantemente, pelo Grupo Barreiras e os depósitos sedimentares do quaternário podendo englobar, em alguns locais, os arenitos calcíferos da formação Gramame; (b) *Sub-sistema confinado*, representado pelos arenitos da Formação Beberibe.

- Sistema Aqüífero Livre:

Os depósitos sedimentares do quaternário, que apresentam espessuras saturadas de até 30 metros, têm sua importância devido ao caráter realimentador do sistema Barreiras. Com relação aos calcários da formação Gramame sua permeabilidade é baixa e a qualidade de suas águas é deficiente. Devido a estes fatores o Grupo Barreiras é o principal elemento formador deste sistema.

O aqüífero Barreiras tem litologia bastante variável, apresentando no seu escoamento elevadas perdas de carga. O seu processo de drenagem envolve a contribuição para os cursos d'água, para o aqüífero confinado subjacente e para o mar (SCIENTEC, 2000).

A sua recarga se faz por infiltração direta da precipitação ao longo de sua área de cobertura, podendo-se estimar um coeficiente de infiltração de 10 a 30% da precipitação anual. É importante conhecer as áreas de recarga de um aqüífero para que se possam elaborar políticas preventivas de combate a sua contaminação, isso se torna ainda mais preocupante em áreas urbanizadas. Segundo Pitt, Clark e Field (1999), que analisaram os problemas associados à contaminação de recursos hídricos subterrâneos por infiltração de águas de chuva,

com a urbanização, a área superficial permeável do solo por onde ocorre a infiltração é reduzida. Isto resulta em muito menos recarga para as águas subterrâneas e grande acréscimo do escoamento superficial. Além disso, as águas disponíveis para recarga geralmente carregam crescentes quantidades de poluentes.

Em estudo realizado na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, que tem 70% do seu abastecimento garantido por águas subterrâneas provenientes do sistema Barreiras/Dunas, Paiva e Nunes (2002) analisaram a contaminação dos

Recursos Hídricos Subterrâneos devido à implantação de lagoas de estabilização de esgotos no bairro de Ponta Negra. Concluiu-se que, por estas lagoas serem construídas numa zona urbana e em local de recarga de aquífero, estar havendo contaminação por nitritos e nitratos.

Com relação as suas características, de acordo com Feitosa e Manuel Filho (1997) o aquífero Barreiras apresenta, “em termos médios para um total de 1880 poços cadastrados: profundidade de 65 m, nível estático 13,8 m, vazão 8,7 m³/h, capacidade específica de 3,16 m³/h/m”.

- Sistema Confinado:

O sistema confinado é representado pelas formações Beberibe e Itamaracá, compondo um dos mais importantes aquíferos da região, denominado simplesmente de aquífero Beberibe.

Esse aquífero apresenta seu confinamento inferior no embasamento cristalino e o superior variável, podendo ser as margas da Formação Gramame, argilas do Grupo Barreiras ou lentes argilosas do topo da Formação Beberibe Inferior, tendo todo o seu pacote de arenitos, calcíferos ou não, saturado de água.

O aquífero apresenta-se com elevada permeabilidade e com espessura média em torno de 200 metros. A pluviometria elevada ao longo de suas faixas arenosas de exposição, com coeficientes de infiltração da ordem de 10 a 30% da pluviometria anual da região e as excelentes condições de alimentação indireta, já que “o aquífero Beberibe ainda recebe uma contribuição vertical do aquífero Barreiras” (BEZERRA et al., 1971), favorecem a sua recarga.

Com relação ao seu escoamento, o aquífero Beberibe tem como exutório principal o oceano. Neste caminho, suas águas vêm sendo cada vez mais utilizadas para abastecimento humano e para a utilização em indústrias.

De acordo com Feitosa e Manoel Filho (1997), para 254 poços cadastrados, as suas características são: “profundidade média 142 m, nível estático médio 13 m, vazão média 52 m³/h e capacidade específica média de 6,1 m³/h/m”.

O reconhecimento destes Grupos Geológicos, com base em perfis litológicos de poços perfurados é realizado de forma relativamente fácil, devido ao bom conhecimento das características de cada Grupo². A Figura 2.6 mostra como exemplo a descrição litológica, que faz parte do relatório de perfuração do poço Marés, operado pela CAGEPA. Nesta descrição, identifica-se os limites de cada formação, apresentados no Quadro 2.2, e consequentemente identifica-se os sub-sistemas livre e confinados.

7. DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

0,00 à 6,00 m	- Arenito, coloração creme a alaranjada, fino a médio, sub-anguloso, bem selecionado, matriz argilosa (~ 10%);
6,00 à 18,00 m	- Arenito, cor creme, médio a grosso, sub-anguloso, bem selecionado, matriz argilosa (~15%);
18,00 à 34,00 m	- Argila de coloração variando de arroxeadas a marrom, plástica, mole;
34,00 à 44,00 m	- Arenito argiloso, coloração amarelada, grosso, sub-anguloso, moderado selecionamento. Intercala-se por níveis de argila amarelada;
44,00 à 47,00 m	- Argila de coloração amarelada, plástica, mole;
47,00 à 56,00 m	- Calcário coloração amarelada, compacto, duro;
56,00 à 114,00 m	- Arenito calcífero, coloração cinza esbranquiçado, grosso, sub-anguloso, moderado selecionamento, duro. Intercala-se por níveis de argila acinzentada;
114,00 à 128,00 m	- Arenito argiloso, médio-grosso, coloração esbranquiçada, sub-anguloso, moderado selecionamento, matriz carbonática;
128,00 à 172,00 m	- Arenito argiloso, coloração acinzentada, grosso, sub-anguloso, bem selecionado, matriz selecionada, matriz carbonática. Intercala-se por níveis de argila acinzentada;
172,00 à 218,00 m	- Arenito argiloso, coloração acinzentada, grosso, sub-anguloso, sub-arredondado, moderado selecionamento, matriz carbonática. Intercala-se por níveis de argila acinzentada;
218,00 à 230,00 m	- Argila de coloração cinza esbranquiçada, plástica, mole. Intercala-se por pequenas lentes de areia;
230,00 à 236,00 m	- Arenito argiloso, coloração acinzentada, médio, sub-anguloso, moderado selecionamento, matriz carbonática;
236,00 à 252,00 m	- Arenito, coloração acinzentada, grosso a muito grosso, sub-anguloso, moderado, selecionamento, matriz carbonática;
252,00 à 253,00 m	- Embasamento cristalino.

Figura 2.6: Descrição litológica do poço Marés.
Fonte: CAGEPA (1999).

² Informação verbal através de contato pessoal fornecida por Ricardo Brandão, proprietário da empresa de perfuração de poços Hidrotec, por ocasião das visitas técnicas realizadas no decorrer da pesquisa.

Profundidade		Formação
Início (m)	Fim (m)	
0,00	47,00	Fr. Barreiras
47,00	114,00	Fr. Gramame
114,00	253,00	Fr. Beberibe

Quadro 2.2: Identificação das formações baseada na descrição litológica.
Nota: Quadro elaborado com base em CAGEPA (1999).

A revista Águas Subterrâneas traz, em sua edição número 17, um artigo onde são elaborados perfis geológicos para análise da geometria dos aquíferos costeiros da região metropolitana do Recife-PE (OLIVEIRA et al., 2003). O trabalho realiza previamente um cadastramento de 570 poços tubulares na região e com base nestes perfis litológicos elabora os perfis geológicos. Ao final deste estudo são definidos três sistemas aquíferos denominados da seguinte maneira: (a) Aquífero intergranular principal, formado pelas formações Beberibe e Itamaracá, onde se recomenda uma melhor caracterização; (b) Aquífero cárstico, formado pela formação Gramame/Maria Farinha e apresentando baixa produtividade e má qualidade de águas e (c) Aquífero Barreiras formado por formação de mesmo nome, onde se recomenda um melhor estudo para definição de sua área de recarga. Deve-se observar que no trabalho desses autores, apesar de terem sido cadastrados 540 poços foram utilizados apenas 390 devido a fatores diversos como ausência de coordenadas, entre outros.

2.5 Aspectos normativos com relação à construção de Unidades de captação subterrânea

A construção de Unidades de captação subterrânea é normatizada, no Brasil, pela ABNT através da norma *NBR – 12244: Construção de poço para captação de água subterrânea*, que se aplica a qualquer tipo de poço perfurado em qualquer tipo de rocha (ABNT, 1992).

De acordo com esta norma, a construção de um poço para captação de água subterrânea compreende uma série de 12 (doze) atividades, desde a

preparação do canteiro de obras à elaboração do relatório final das atividades, dentre estas estão inseridas a execução de testes de bombeamento e a coleta de água para análise.

2.5.1 Testes de Bombeamento

A NBR – 12244 não determina de forma direta a obrigatoriedade da execução de testes de bombeamento na construção de um poço de captação de águas subterrâneas. Contudo, no item 5.5.4 determina que “concluído o poço, o construtor deve encaminhar ao contratante o relatório técnico construtivo, **sem o qual não será recebido**” (ABNT, 1992, grifo nosso), e no item 5.5.4.1 determina que as planilhas de teste final de bombeamento, com todas as medidas efetuadas, duração, data, equipamentos e aparelhos utilizados é um dos elementos que devem estar contidos no relatório. Desta forma, acredita-se que o teste de bombeamento é uma etapa obrigatória na construção de um poço com aquelas finalidades.

Analizando-se a NBR – 12244, verifica-se que não há uma definição explícita do que sejam os testes de bombeamento, sendo estes muitas vezes confundidos com testes de aquífero e testes de produção. O item 3, que cita das definições utilizadas na norma, trata sobre *teste de aquífero*, definindo-o como “o bombeamento de um ou mais poços com o intuito de determinar as características hidrodinâmicas do aquífero” (ABNT, 1992). No item 6.1.1 a norma determina que se deve proceder ao **teste de produção** com a finalidade de se determinar a vazão explotável do poço após concluída a sua execução.

De acordo com Feitosa e Manuel Filho (1997) o teste de aquífero é um tipo de teste de bombeamento e “consiste em bombear um poço com vazão constante e conhecida, observando-se a evolução dos rebaixamentos (S) com o tempo em um poço de observação situado a uma distância conhecida do poço bombeado”.

Com relação aos testes de bombeamento, Albuquerque e Rego (2004) definem que estes testes são classificados em dois tipos: testes de aquífero e testes de produção, sendo esta classificação realizada de acordo com a finalidade de cada teste. Os autores consideram que o teste de aquífero tem por finalidade

“o conhecimento do comportamento das cargas hidráulicas em um aqüífero, no espaço e no tempo, e principalmente a determinação dos seus parâmetros hidráulicos”, e que o teste de produção objetiva “o conhecimento da vazão de produção de um poço a ser explorado, suas perdas de carga e sua eficiência”. Estas classificações e definições são adotadas nesta pesquisa.

- Testes de Aquífero

As informações obtidas após a realização e interpretação de um teste de aqüífero, quando corretamente executadas, são valiosas para a pesquisa hidrogeológica.

A realização de um teste de aqüífero é relativamente simples. Consiste no bombeamento de um poço com uma vazão constante e o acompanhamento do rebaixamento do nível estático de um outro poço, chamado de poço de observação, localizado a uma distância conhecida do poço bombeado. Após decidir-se pela interrupção do bombeamento, passa-se a registrar a recuperação do nível estático no poço de observação. Dessa forma o teste pode ser dividido em dois acompanhamentos: (a) rebaixamento e (b) recuperação.

A interpretação dos testes de aqüífero depende do regime de bombeamento (transitórios ou permanentes) e do tipo de aqüífero (confinado não drenante, confinado drenante ou livre). Esta interpretação permite determinar os parâmetros hidrodinâmicos do meio poroso, quais sejam: transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica.

- Testes de Produção

A realização dos testes de produção é semelhante ao teste anterior. Porém, neste caso, o acompanhamento do rebaixamento do nível estático, e a sua recuperação, é realizado no próprio poço bombeado. Além disso, a vazão é variável, assumindo no mínimo três valores diferentes para cada teste (Q_1 , Q_2 e Q_3, \dots, Q_k , sendo $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_k$).

Por objetivar a determinação de parâmetros do poço, como a vazão a ser explorada e perdas de carga, a interpretação dos testes de produção é

realizada de maneira diferente do teste de aqüífero. De maneira resumida, consiste em tentar adequar os pontos obtidos de vazão e rebaixamento a uma curva do tipo $S=BQ + CQ^k$. Como extrapolações da curva não são recomendadas, aconselha-se que o valor da maior vazão do teste (Q_k), seja igual ou maior que o valor da vazão que se deseja produzir através do poço.

A maneira pela qual a variação da vazão se processa determina dois tipos de testes de produção: os *testes sucessivos*, quando se interrompe o bombeamento e espera-se a recuperação do nível estático para poder bombear-se o próximo valor de vazão, e os *testes escalonados*, quando o aumento de vazão se processa de forma brusca, sem haver interrupção no bombeamento.

Com relação à maneira pela qual o teste de produção é executado, a NBR – 12244 estabelece duas condições. Caso o teste seja realizado sem variação de vazão, deve-se manter seu valor na máxima prevista no projeto, acompanhando o rebaixamento por no mínimo 24 horas e a recuperação por no mínimo 4 horas, ambos em intervalos de tempo recomendados. Caso o teste seja feito de forma escalonada, os valores da vazão devem corresponder a percentuais da vazão máxima prevista no projeto mantendo-se constante em cada etapa, que devem ter a mesma duração. Os testes de produção sucessivos não são tratados na citada norma.

Durante o teste de bombeamento deve-se efetuar a coleta de água para análise bacteriológica e para análise físico-química, quando devem ser medidos o seu pH e temperatura (ABNT, 1992).

Na cidade de João Pessoa o tipo de teste executado depende da empresa que realiza a perfuração do poço, só sendo alterado quando há pedido específico por parte do contratante ou em condições específicas³.

³Informação verbal através de contato pessoal fornecida por Walter Arcoverde, proprietário da empresa de perfuração de poços Gomes & Arcoverde, por ocasião das visitas técnicas realizadas no decorrer da pesquisa.

2.5.2 Relatório Técnico Construtivo

Conforme discutido no subitem anterior, o relatório técnico construtivo deve ser encaminhado ao contratante, e sem este o poço não será recebido. Ainda de acordo com a NBR – 12244, o relatório deverá conter os seguintes itens: (a) nome do proprietário; (b) *localização do poço* (local, sítio, rua, fazenda, município, estado); (c) *cota do terreno*; (d) método de perfuração e equipamentos utilizados; (e) *perfil litológico* e profundidade final; (f) *perfil composto*; (g) materiais utilizados (diâmetro, tipo, espessura); (h) cimentações; (i) *planilhas de teste final de bombeamento com todas as medidas efetuadas, duração data, equipamentos e aparelhos utilizados*; (j) *análise fisioco-química e bacteriológica da água, firmada por laboratório idôneo*; (k) indicação da vazão de exploração do poço e respectivo nível dinâmico e (l) nome, número de registro do CREA e assinatura do profissional habilitado.

Analizando as informações exigidas pela norma observa-se, inicialmente, uma certa desatualização da mesma a luz da nova tendência do gerenciamento dos recursos hídricos, trata-se da omissão das coordenadas geográficas do poço na determinação de sua localização.

Pode-se ainda realizar outra observação no que diz respeito ao perfil composto, que a norma define de modo subjetivo como sendo uma montagem baseada na correlação entre vários perfis, quais sejam: litológico, perfilagens elétricas, radioativas, de diâmetros, de densidade, sônicas, laterais e outras.

A identificação dos níveis estáticos, dinâmicos e vazão de exploração de um poço, exigidos no relatório técnico construtivo, também é de grande utilidade na pesquisa hidrogeológica. A realização de um cadastro contendo estas informações, as coordenadas de diversos poços, entre outras, permite conhecer características importantes dos aquíferos de cujas águas são produzidas.

Cabral et al. (2002), estabeleceu uma rede de monitoramento e acompanhou os níveis potenciométricos dos poços na planície de Recife – PE, tanto para o sistema aquífero livre quanto confinado. Para o aquífero livre monitorou-se 23 poços entre os meses de outubro de 2001 e julho de 2002, como resultado

observou-se que estes poços “apresentaram uma boa recuperação com o período de chuvas, indicando que há uma recarga efetiva devido à infiltração e que os volumes infiltrados são superiores aos volumes bombeados na época chuvosa” (Cabral et al., 2002). Com relação ao aquífero profundo monitorou-se 2 poços em bairros diferentes. No primeiro (Iputinga), com menor nível de exploração observou-se que a recarga tem condições de suprir a demanda atual dos poços existentes e no outro (Boa Viagem), cujo estágio de superexploração é consenso, observou-se um rebaixamento excessivo, chegando a 10 metros nos últimos 3 anos. Observa-se, portanto, a importância do monitoramento das características dos aquíferos para que se evite situações de superexploração e todos os problemas que com ela podem advir.

2.6 Qualidade das águas subterrâneas

A utilização de parâmetros de qualidade da água visa determinar as características a serem atendidas para determinada utilização. Estes parâmetros são divididos em físicos, químicos e biológicos.

Os parâmetros físicos são: cor, turbidez, temperatura, sabor e odor. Em geral, estes parâmetros não apresentam riscos diretos à saúde, porém, o aspecto estético é importante, pois consumidores podem procurar águas esteticamente melhores, porém de qualidade duvidosa.

Dentre os parâmetros químicos destacam-se: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos (VON SPERLING, 1995). Despejos industriais podem acarretar alterações nos valores de praticamente todos os parâmetros químicos, variando de acordo com o tipo de despejo.

A determinação de organismos indicadores de contaminação fecal fornece uma forma indireta de determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças, sendo, portanto, um parâmetro biológico a ser determinado.

A portaria 1469/00 do Ministério da Saúde, substituída pela portaria 518/04 deste mesmo Ministério, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. A quantidade de parâmetros abordados por esta portaria é bastante grande, sendo comum nos estudos de qualidade de água desenvolvidos a adoção de apenas alguns destes parâmetros.

Com relação aos padrões de qualidade para as águas subterrâneas não há legislação específica, sendo isto alvo de constantes discussões entre estudiosos, técnicos e pesquisadores.

É claro que, quando está se avaliando a potabilidade de uma água, por exemplo, não importa se a sua origem é superficial, subterrânea ou de outra fonte qualquer, o que importa mesmo é se a água obedece aos padrões de potabilidade estabelecidos (LANNA, 2000 apud FREIRE; CARVALHO, 2001).

De acordo com indicação de Freire & Carvalho (2001)

a análise qualitativa da água subterrânea é um problema que deve ser considerado com especificidade devido às situações características, mas a aplicação de uma legislação própria para tal não é absolutamente necessária.

No estado de São Paulo, o monitoramento das águas subterrâneas é desenvolvido pela CETESB desde 1990. Um dos produtos deste monitoramento é o Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, uma publicação trianual que analisa a evolução da qualidade das águas subterrâneas no Estado.

Em sua mais recente atualização, compreendendo coletas no triênio 2001-2003, o estudo aumentou a quantidade de poços monitorados de 147 para 162, realizando coletas semestrais. O total de parâmetros analisados também aumentou, de 33 para 40 parâmetros, além de monitorar substâncias orgânicas tóxicas em algumas áreas. No total foram realizadas mais de 32000 análises, cujos resultados foram comparados com os padrões de potabilidade

estabelecidos na Portaria nº1469/00 do MS (Ministério da Saúde), já que a portaria 518/04 ainda não estava em vigor.

Segundo o relatório, “de modo geral, os aquíferos apresentam águas subterrâneas de boa qualidade para consumo humano e devem ser preservadas para essa finalidade por meio do licenciamento e controle das fontes potências de poluição” (CETESB, 2004). A origem das substâncias em desacordo com os padrões de potabilidade será analisada posteriormente em programa especial da CETESB em parceria com Instituições de Pesquisa.

A ausência de legislação brasileira específica sobre valores admissíveis para qualidade das águas subterrâneas e busca pela prevenção e controle da poluição no Estado de São Paulo, levou a CETESB a desenvolver um estudo sobre valores orientadores para solos e águas subterrâneas neste estado. Esse estudo procurou fornecer um auxílio no processo de tomada de decisão sobre áreas suspeitas de contaminação, de modo a permitir uma proteção da qualidade das águas subterrâneas ou até controlar e mitigar a contaminação em áreas já contaminadas.

Procurando adequar-se às metodologias internacionais, a CETESB propõe três valores de referência: (a) valor de referência de qualidade - R: valor indicativo de águas subterrâneas com qualidades naturais; (b) valor de alerta – A: valor indicativo de alterações na qualidade das águas subterrâneas, “com caráter preventivo e quando excedido, requer monitoramento, identificação das fontes de poluição e seu controle” (CETESB, 2001) e (c) valor de intervenção – I: indica o limite de contaminação havendo necessidade de uma ação imediata na área (investigação detalhada e a adoção de medidas emergenciais).

O desenvolvimento da metodologia é a definição de cada um destes valores para que, ao ser analisada uma área, possa ser feita a análise rápida do seu “grau de intervenção” verificando as ações remediadoras a serem tomadas. Ao final do relatório são desenvolvidos valores orientadores para 37 substâncias, baseando os valores de intervenção nos Padrões de Potabilidade da Portaria 36/90 do Ministério da Saúde, atualizada pela Portaria 1.469/00. Como propostas para continuação do estudo pretende-se efetuar um banco de dados

sobre as águas subterrâneas contaminadas no estado. A utilização deste cadastro, no sentido de espacializar as informações sobre a qualidade destas águas seria uma das etapas em pesquisas sobre o transporte de poluentes nos aquíferos e na definição de áreas de proteção.

Forte et al. (2002) faz uma caracterização físico-química das águas subterrâneas nos municípios de Limoeiro do Norte e Quixeré – CE. “Nas amostras coletadas foram analisados a condutividade elética (CE), pH, cloretos (Cl-), dureza, Alcalinidades, Nitrito (NO2-), Nitrato (N)3-, Amônia (NH3) e ferro” (FORTE et al., 2002). Estes valores analisados foram comparados com os valores máximos permitidos pela portaria nº 1469/00 MS ou nº 36/90 MS.

Em estudo na Bacia do Rio Gramame, inserida na área de estudo desta pesquisa, Quinino et al (2000) faz uma avaliação sobre a qualidade das águas subterrâneas na referida bacia. O estudo aponta uma escassez de dados, além de falhas e falta de atualização dos mesmos. A avaliação é feita com base em 41 poços cadastrados junto ao órgão público encarregado de gerir os recursos hídricos da região, e indica, entre outras conclusões “uma falta de controle rigoroso por parte dos órgãos competentes, na exploração dos mananciais subterrâneos na região da bacia” e “o sistema aquífero do rio Gramame oferece muito poucas restrições qualitativas à irrigação” (QUININO et al., 2000).

Conforme se pode verificar a determinação dos parâmetros de qualidade da água subterrânea a serem analisados varia de acordo com cada estudo, sendo estes valores em sua maioria comparados com os padrões estabelecidos pela portaria 1469/00 do MS.

Observa-se ainda, a necessidade de um cadastramento de pontos de coleta de água subterrânea no sentido de ser formada uma verdadeira rede de monitoramento para análise da qualidade destas águas em uma região, além de procurar aumentar a quantidade de informações a este respeito, mantendo atualizadas estas informações. O estudo da qualidade da água e a definição de parâmetros norteadores são de grande ajuda no sentido de se formar um sistema de suporte a decisão para auxiliar na proteção dos aquíferos.

3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES

A utilização de mapas faz parte da história do homem desde as mais antigas civilizações, e a importância do seu uso é incontestável no processo de expansão geográfica e tecnológica das sociedades.

A forma mais primitiva dos mapas é a representação sistemática de territórios através da superfície do terreno. O desenvolvimento das ciências naturais elevou a necessidade de uma nova metodologia para a sua elaboração, não considerando apenas a topografia do terreno, mas algum outro tema que se desejasse pesquisar, conhecer ou mapear. Desta forma foram originados os primeiros *mapas temáticos*, que continham informações como os tipos de solo, a cobertura vegetal, entre outros.

A etapa seguinte no desenvolvimento da ciência cartográfica foi a utilização de métodos matemáticos e estatísticos como forma de tratar as informações geográficas contidas nos mapas temáticos. Estes métodos tiveram o seu uso facilitado e intensificado com o advento do computador, sua evolução e massificação.

O estágio atual representa uma evolução necessária e inevitável na utilização de mapas e informações geográficas. Trata-se da elaboração de um sistema capaz de armazenar, manipular e recuperar informações geográficas das mais diversas, sejam estas, mapas temáticos, mapas cadastrais, imagens ou informações não espaciais, combiná-las gerando novas informações, realizar análises espaciais utilizando técnicas de geoprocessamento e utilizar critérios definidos como forma de suporte a decisão. Sistemas desta natureza são chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ou em inglês, *Geographic Information System (GIS)*.

A definição do que são os Sistemas de Informações Geográficas varia de acordo com a visão percebida para a sua utilização. Estas várias definições possíveis decorrem da grande variedade de aplicações que estes sistemas encontram nas mais diversas ciências, além de permitirem, em um sistema único a utilização interdisciplinar.

3.1 Informações Geográficas

A definição de uma informação a respeito de qualquer elemento pode ser realizada de forma simples através da determinação de seus atributos. Desta forma, definido por exemplo o elemento (país) Brasil, podemos definir atributos demográficos como população total, urbana e rural e densidade demográfica; ou atributos econômicos como PIB, renda per capita, dívida externa e crescimento econômico.

A definição da localização de um ponto no espaço pode ser feita através da determinação de sua posição em um sistema de coordenadas geográficas adotado. Em se tratando de linhas no espaço pode-se definir as várias posições que esta ocupa, sendo feito o mesmo para o caso de superfícies, como no caso da localização geográfica do Brasil.

Uma informação geográfica é caracterizada quando se associam, a uma entidade do espaço dotada de localização, atributos específicos. Assim estando disposta em um mapa cadastral, dotado de localização geográfica, uma unidade de captação de água subterrânea, a associação de informações referentes a esta unidade, como vazão captada, profundidade do poço, entre outras, faz com que estas informações sejam caracterizadas como informações geográficas.

De acordo com Mendes e Cirillo (2001) uma terceira característica pode ser associada a esta informação, que é o tempo onde estes atributos e localizações ocorreram.

3.2 Representação de Mapas

Em consonância com a nova tendência da cartografia, os mapas podem ser representados no computador sob duas grandes classes: vetoriais e matriciais (ou rasters).

A estrutura vetorial representa os elementos ou objetos como vetores possuindo três formas básicas: ponto, linha ou polígono (área). Em geral são

representados desta forma mapas de rede de drenagem, divisão geopolítica de municípios, malha viária, rios, estações meteorológicas, poços, entre outros.

A estrutura matricial utiliza uma malha quadriculada formando uma matriz de células, onde para cada uma destas é atribuído um valor. São representados desta forma imagens de satélite, mapas temáticos, e alguns tipos de análises espaciais.

A utilização de mapas do formato de matriz é útil na geração de novas informações, quando processos de cálculo devem ser efetuados. Um exemplo deste tipo de cálculo seria a determinação do mapa potenciométrico de um aquífero a partir da subtração dos valores da cota do terreno, obtida em um mapa topográfico, e o nível estático do aquífero, obtido através de uma espacialização do mesmo baseando-se em vários pontos.

3.3 Sistemas de Informações e Sistemas de Informações Geográficas

Conforme discutido anteriormente não há uma única definição sobre o que sejam os Sistemas de Informações Geográficas. Dentre as várias definições consideradas pelos especialistas, verifica-se que algumas destas consideram um banco de dados georreferenciados como sendo condição suficiente para a existência de um SIG, enquanto que outras consideram que a definição de um SIG deve incorporar planos de informações variados, relacionados entre si e capazes de gerar informações a respeito de objetos de estudo. Ocorre de fato que as várias definições conferem também diferentes graus de complexidade para que um Sistema de Informações seja classificado como um SIG.

Assad e Sano (1998) indicam as principais características de SIGs:

integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Observa-se pelas indicações dos autores, que não é considerada uma das principais características de SIGs a possibilidade de ser usado como um sistema de suporte à decisão.

Cowen (1988, apud ASSAD; SANO, 1998) já definia o SIG como “um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas”. Este conceito de integrar o suporte à decisão como uma das potencialidades dos SIG é compartilhado também por Rufino et al. (2002), que partem do princípio “que um SIG é, em última instância, um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que permite a integração de dados espaciais e não espaciais em um ambiente único”.

Campos e Studart (2003) consideram que o processo de tomada de decisão é o objetivo final do sistema de informações e apresentam as partes essenciais de um sistema de informações, mostrado na Figura 3.1.

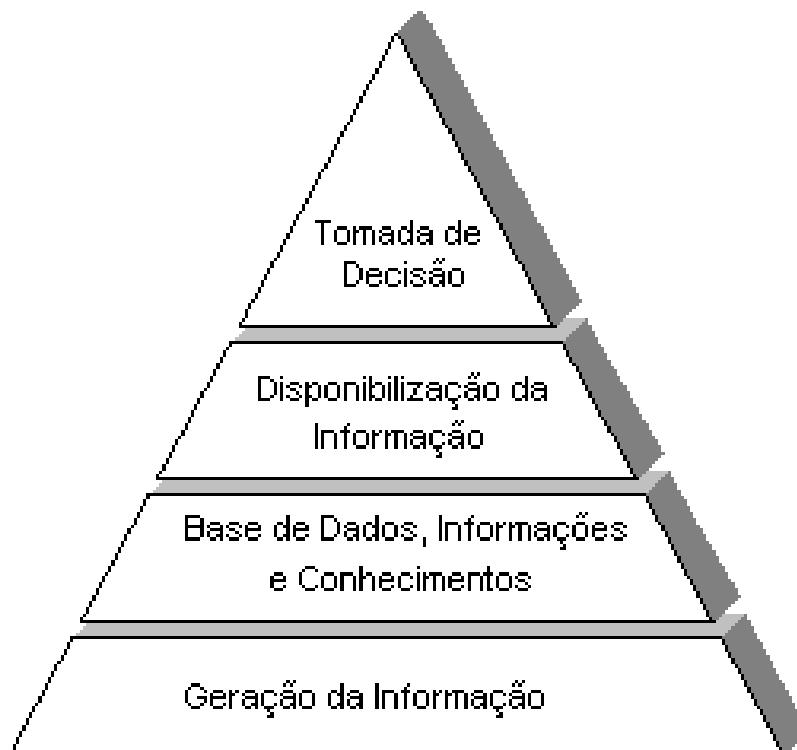


Figura 3.1: Estrutura do sistema de geração da informação.
Fonte: Campos e Studart (2003).

Rufino et al. (2002) tentam “estabelecer uma metodologia de combinação de critérios espaciais que sirva de suporte para decisões na gestão de recursos hídricos na cidade de João Pessoa”. O principal resultado deste estudo foi a

identificação das áreas de maior risco de alagamento baseando-se em mapas de declividade, ocupação urbana e distância aos corpos hídricos. Para a obtenção do resultado utilizou-se uma análise multicriterial espacial, atribuindo pesos específicos para cada mapa e uma escala de aptidão. Além disso, foram inseridos critérios restritivos, como forma de diferenciar alternativas a serem consideradas ou não.

Figueiredo (1999) apresenta um modelo de SIG, utilizado no Estado de Minas Gerais, que fornece um auxílio na decisão sobre pedidos de outorga do uso de águas superficiais. Neste sistema, após ser informada a coordenada do ponto onde se pede a outorga, as respostas fornecidas são: (i) a listagem das outorgas cedidas dentro da área de drenagem cujo ponto está contido e (ii) a disponibilidade hídrica no ponto. O suporte a decisão está presente na comparação entre estes dois valores.

Verifica-se, nessas duas referências anteriores, que há diferentes graus de respostas como auxílio na tomada de decisões. Considera-se que o auxílio por parte de um SIG não deve obrigatoriamente envolver uma resposta exata fornecida pelo Sistema a uma situação específica, ou seja, que o sistema indique qual decisão deva ser tomada. Este suporte fornecido pelo SIG pode ser realizado de forma indireta, indicando ao gestor informações subjetivas, mas úteis no processo decisório. De qualquer forma, considerou-se nesta pesquisa, que os Sistemas de Informações, para serem considerados como SIGs devem possuir ferramentas de suporte a decisão, além de envolverem informações integradas de vários temas correlacionados.

Assim, os Sistemas de Informações, apesar de utilizarem banco de dados georreferenciados, contém informações a respeito de um tema específico, e não apresentam uma integração com outros planos de informação. Além disso, os Sistemas de Informações, apesar de proporcionarem alguma visualização e análise espacial, não são capazes de fornecer grande auxílio no processo decisório, sendo importantes nos casos de consultas, atualização de bancos de dados e visualização das informações.

3.4 Utilização de Sistemas de Informações

Considerando como uma das características dos Sistemas de Informações a visualização de informações espaciais e a correlação de diversos temas, um exemplo bastante ilustrativo da sua utilização pode ser fornecido.

De acordo com Tufte (1983, apud ASSAD; SANO, 1998), o doutor John Snow, em 1854, no que pode ser considerado um dos primeiros estudos de Sistemas de Informações, verificando a grave epidemia de cólera na cidade Londres, e cuja forma de contaminação não era conhecida na época, indicou no mapa da cidade a localização dos doentes e dos poços de água (principal fonte de abastecimento para a cidade na época). Após a espacialização dos dados, conforme mostra a Figura 3.2, o doutor Snow ordenou o fechamento do poço da Broad Street e contribuiu bastante para o final da epidemia. Este exemplo, mostra a importância da visualização espacial das informações já que “a relação espacial entre os dados muito dificilmente seria inferida pela simples listagem dos casos de cólera e dos poços” (ASSAD; SANO, 1998).

Em estudo um pouco mais recente Silva et al.(2001a), a partir do monitoramento da qualidade dos recursos hídricos superficiais do Estado do Amapá, calcula o Índice de Qualidade da Água – IQA para sete bacias hidrográficas na região sul do Estado e inicia a elaboração o Sistema de Informações Ambientais Georeferenciadas - SIAG. Segundo os autores, realiza-se o cálculo do IQA “para tornar os resultados do monitoramento mais acessíveis à sociedade e dotá-los de maior efetividade na tomada de decisão”. Como resultado do estudo gerou-se uma carta deste índice dos rios monitorados, além de desenvolver o SIAG visando o auxílio da gestão dos recursos naturais do Amapá. Com relação ao SIAG, a fase inicial de elaboração apresenta a rede hidrográfica e todos os pontos da rede de monitoramento, existindo para cada ponto informações descritivas do local onde se encontra (posicionamento geográfico, características naturais, acesso, fontes potenciais de degradação) e uma imagem fotográfica panorâmica do local, além disso, todos os parâmetros monitorados e os valores medidos para cada campanha também podem ser consultados, bem como a carta do IQA.

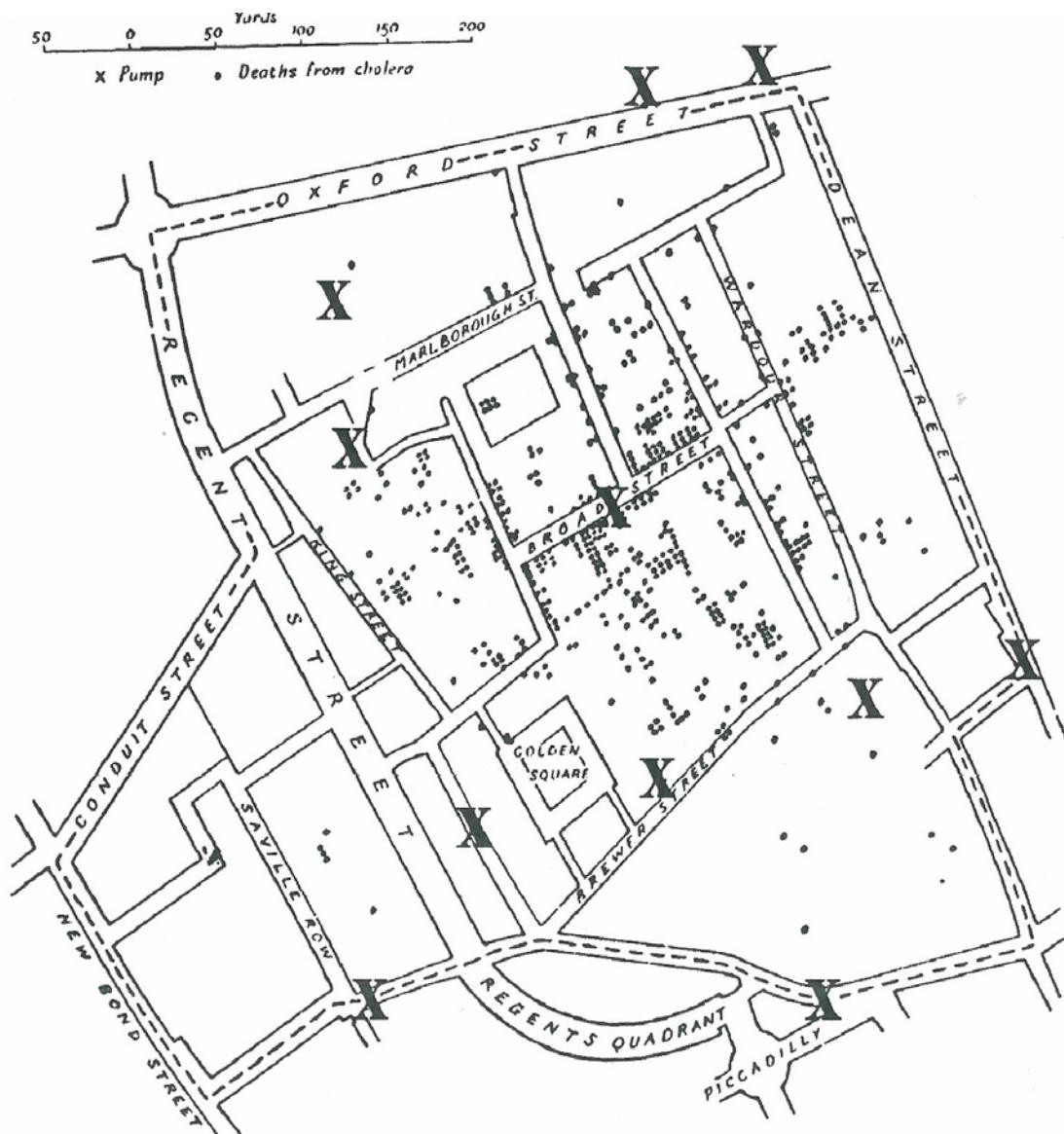


Figura 3.2: Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes).

Fonte: Tufte (1983, apud ASSAD; SANO, 1998).

Farias et al. (2003), baseando-se em informações de 1707 poços, dos quais 765 captavam água do aquífero Beberibe, analisa os problemas de salinização que têm ocorrido na região central da planície de Recife e a exploração de água subterrânea na região. Realiza-se uma análise espacial da distribuição dos poços e da salinização de suas águas, e verifica-se a variação temporal da superfície potenciométrica do aquífero Beberibe. Observa-se nas Figuras 3.3 e 3.4 estas variações.

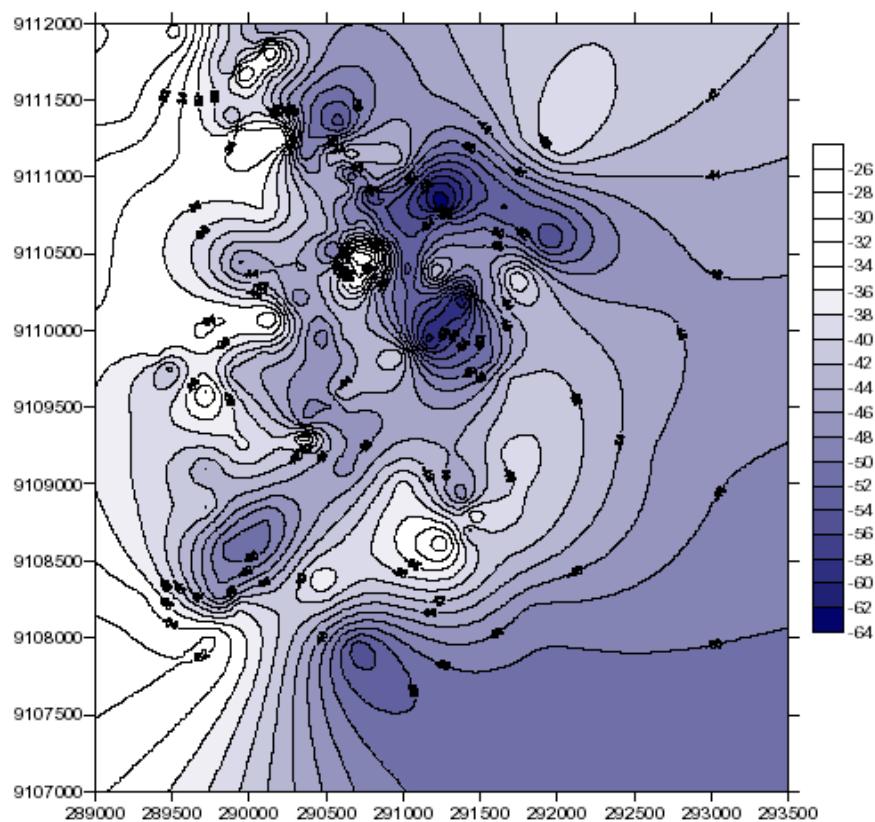


Figura 3.3: Potociometria do aqüífero Beberibe Inferior (1997 a 1999).
Fonte: Farias et al., 2003.

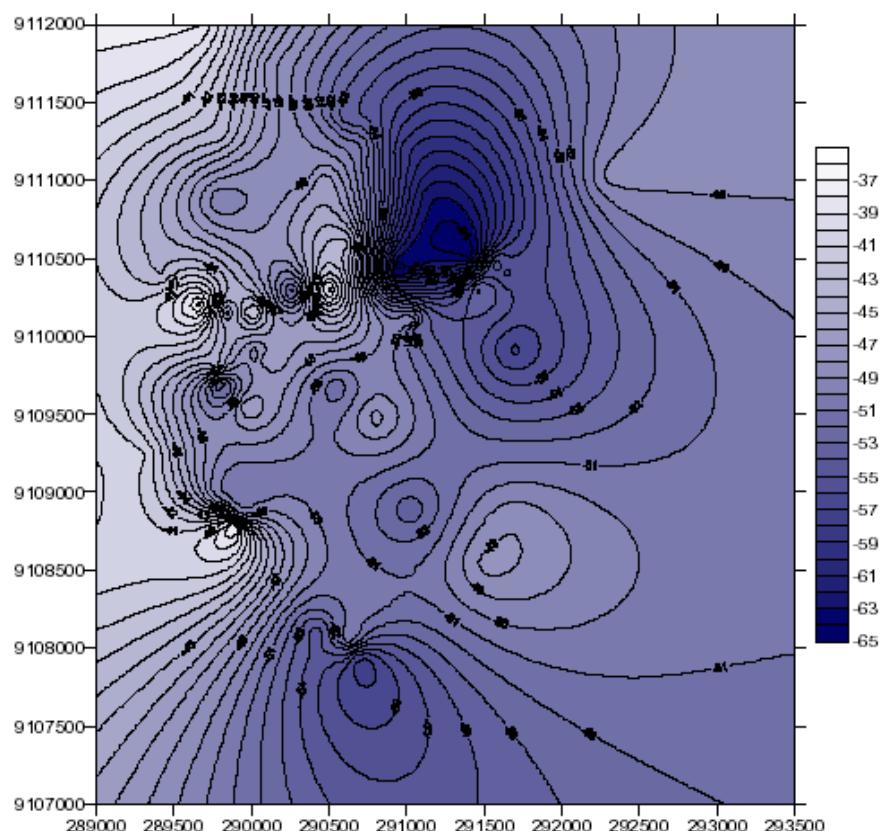


Figura 3.4: Potociometria do aqüífero Beberibe Inferior (2000 a 2001).
Fonte: Farias et al., 2003.

Analisando as Figuras 3.3 e 3.4 observa-se uma clara redução na superfície potenciométrica dos aqüíferos, além da junção de dois cones de depressão existentes no primeiro momento, causando em alguns poços uma redução de até 2 metros no nível estático. A metodologia do estudo, na elaboração da superfície potenciométrica, apesar de individualizar apenas os poços que produzem do aqüífero a ser analisado, não faz distinção quanto à época em que observou-se os níveis estáticos.

No Estado da Bahia o Sistema de Informações de Águas Superficiais e Subterrâneas - SIASS, “é uma ferramenta de apoio ao gerenciamento de recursos hídricos, que reúne informações de qualidade das águas dispersas em instituições públicas” (MEDEIROS et al., 2001). A aplicação deste Sistema está relacionada com o subsídio fornecido a instrumentos de gestão como cobrança pelos recursos hídricos e enquadramento de corpos d’água. O sistema apresenta as informações sobre a forma de tabelas e gráficos relativos à qualidade das águas superficiais e subterrâneas monitoradas, contendo, além disso, informações sobre suas coordenadas geográficas e possibilitando a visualização dos poços no estado da Bahia. A consulta ao banco de dados é realizada através de tabelas virtuais desenvolvidas no *software Microsoft Access*.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul, Silva et al. (2003), utilizando um cadastro de 252 poços de um total de 430, compôs o Índice de Vulnerabilidade do Sistema Aqüífero Guarani naquela região. A metodologia utilizada para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Natural do Aqüífero foi proposta por Foster e Hirata (1993, apud SILVA et al, 2003). Nesta metodologia utiliza-se dados básicos de geologia, estes dados são: a ocorrência da água subterrânea, a profundidade do lençol freático e os substratos litológicos penetrados pelo poço. Estes dados básicos de geologia são disponíveis nos perfis litológicos dos poços, sendo este fato uma das vantagens da metodologia, já que não são necessários dados adicionais.

No estado da Paraíba, Silvino e Diniz (2002) elaboraram um SIG aplicado “aos pontos de tomada d’água por bombeamento existentes às margens do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)”, cria-se então um banco de dados

georreferenciados e gera-se mapas temáticos objetivando otimizar o monitoramento daquele manancial. O SIG mostrou-se como uma ferramenta importante no auxílio do planejamento de programas de monitoramento e fiscalização dos recursos hídricos. O cadastro identificou 141 pontos de captação, e ao final do levantamento gerou-se o banco de dados georreferenciado contendo nove campos, dentre os quais estão: (a) número de identificação; (b) coordenadas planas (oeste e leste); (c) coordenadas geográficas (latitude e longitude) e (d) quantidade de bombas identificadas.

A primeira etapa do desenvolvimento do Sistema de Informações da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba (SEMARH) foi discutida por Maurílio Júnior et al. (2001). Segundo os autores, devido a grande quantidade de dados e informações a serem manipuladas, o Sistema de Informações será desenvolvido em módulos, sendo a primeira etapa a elaboração do módulo de manipulação dos dados pluviométricos. A implementação do Sistema foi realizada através da criação de um banco de dados para as Informações utilizando o *Microsoft SQL Server*, sendo estruturado em quatro tabelas contendo os registros da pluviometria diária, da pluviometria mensal, das características dos postos e do observador. Observa-se nesta implementação a preocupação dos autores em consultar os técnicos da Secretaria a respeito de quais informações deveriam ser armazenadas e como estas seriam manipuladas, devido à importância da fase de elaboração do cadastro para os Sistemas de Informações. Após a estruturação do banco de dados passou-se para elaboração de um aplicativo para o seu gerenciamento e manipulação.

Silva et al. (2001b), utilizando as características de 217 poços cadastrados da região de João Pessoa, realizam estatísticas básicas e avaliações espaciais da vazão, vazão específica e profundidade conforme as Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 respectivamente. As estatísticas destas características foram média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo. Com relação às avaliações espaciais, utilizou-se o *software ArcView 3.2* com seu módulo de avaliação espacial *Spatial Analyst* e observou-se altas variações de profundidade nos poços e baixas variações de vazão e vazão específica, não sendo feita esta análise para o rebaixamento. A metodologia do estudo é interessante, porém, de

acordo com os autores, “este cadastro, apesar de conter diversas informações, não informa sobre o sistema aquífero” (SILVA et al., 2001b).

A CPRM desenvolveu o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), disponível desde 1997. Este sistema, em sua mais recente atualização, permite o acesso, via Internet, de um acervo de dados obtido de fichas de poços da própria CPRM, de instituições públicas e privadas e fontes particulares de captação de água subterrânea. Segundo a CPRM (2005), o SIAGAS “é um sistema de informações para dar suporte ao gerenciamento de águas subterrâneas” e “incorpora em seus programas ferramentas gráficas, para consistência de dados, sistema de informações geográficas...”. Com relação à aplicação via Internet, é possível visualizar as informações disponíveis do poço, como sua identificação, seu perfil e suas características técnicas.

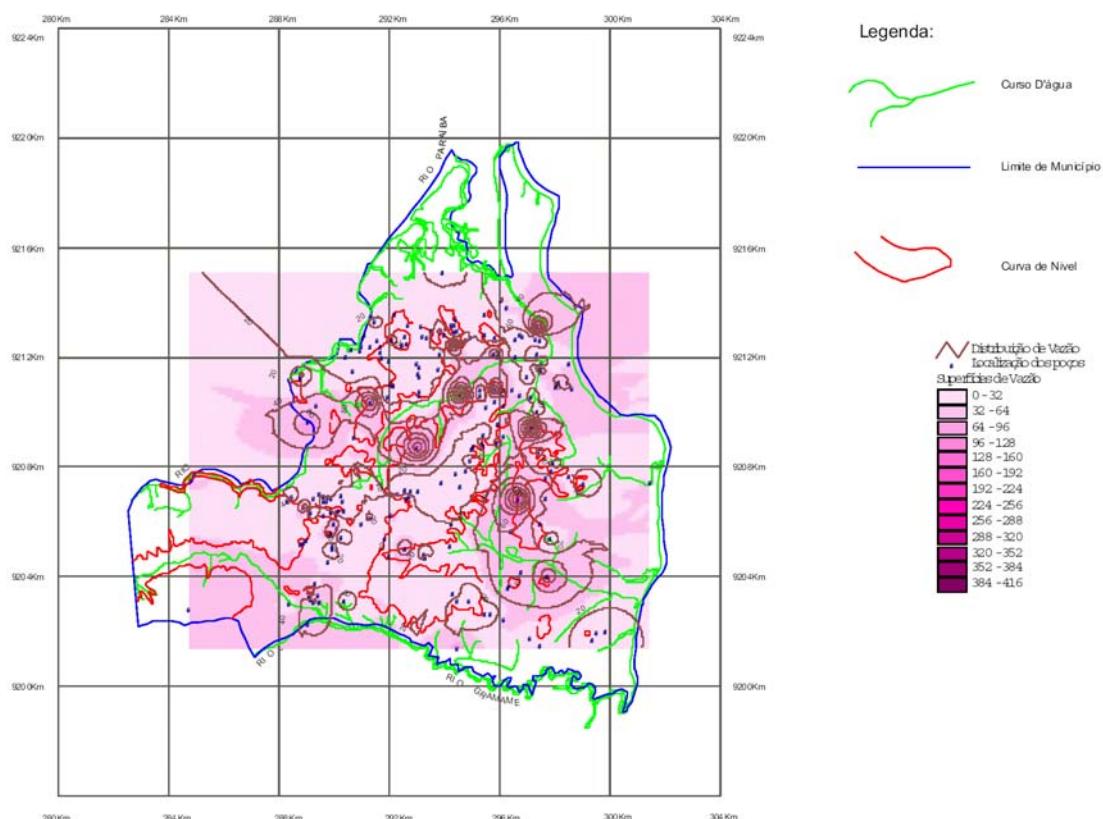


Figura 3.5: Distribuição espacial da vazão.
Fonte: Silva et al. (2001b).

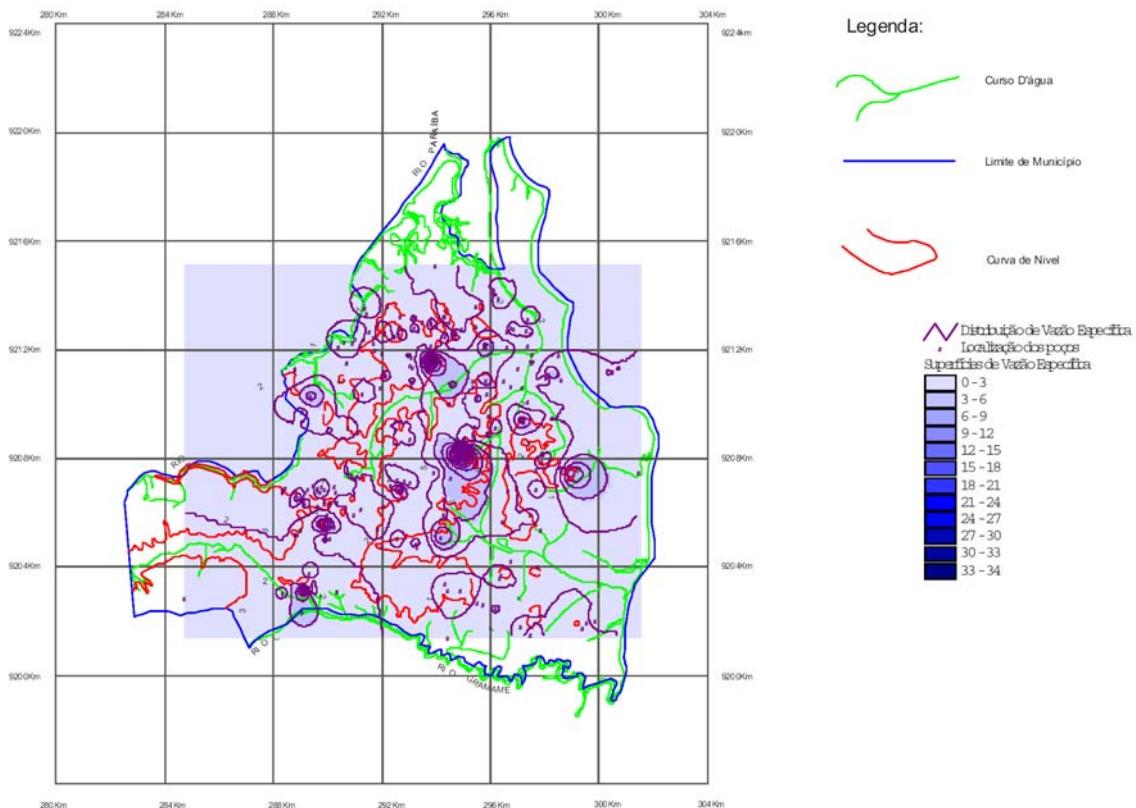


Figura 3.6: Distribuição espacial da vazão específica.
Fonte: Silva et al. (2001b).

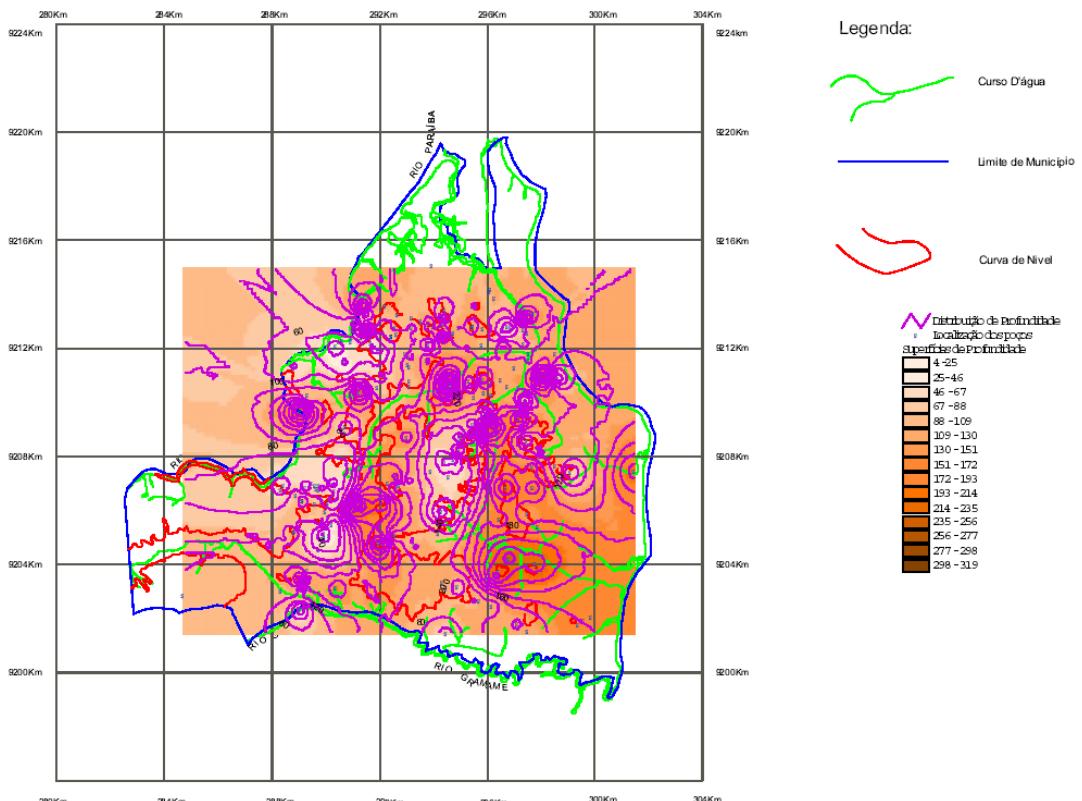


Figura 3.7: Distribuição espacial de profundidades.
Fonte: Silva et al. (2001b).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Estado da Paraíba, localizado na região nordeste brasileira, possui uma área de 56.439,838 km², ocupando 0,66% do território nacional e cerca de 3,63% do território nordestino. Possui 223 municípios agrupados em 4 mesorregiões geográficas, a saber: (a) Mesorregião da Mata Paraibana, (b) Mesorregião Agreste Paraibano, (c) Borborema e (d) Sertão Paraibano, a Figura 4.1 mostra esta divisão. Sua população urbana apresentou um crescimento de 8,18% no período entre 1996 a 2000, representando 71% da população do Estado neste último ano, já a população rural sofreu um decrescimento de 4,5% neste mesmo período, representando 29% da população total do Estado.

Dentre as 23 microrregiões que compõem o Estado, a sua capital João Pessoa dá o nome a uma delas, englobando os municípios de João Pessoa, Bayeux, Santa Rita, Cabedelo, Conde e Lucena, essa microrregião é também chamada de Grande João Pessoa.

4.1 - Localização

A área de estudo desta pesquisa, denominada pela CAGEPA como Unidade de Negócio Regional Litoral, envolve 24 municípios localizados na porção leste do Estado da Paraíba. Em termos de coordenadas geográficas a área está limitada entre os meridianos de 34° 45' 00" e 35° 45' 00" de longitude oeste de Greenwich e os paralelos de 6° 30' 00" e 7° 45' 00" de latitude sul. Limita-se ao sul com o estado de Pernambuco, ao norte com o estado do Rio Grande do Norte, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com outros municípios do Estado da Paraíba. A forma como foram divididas as Unidades de Negócio da CAGEPA, não obedece a nenhum critério geográfico, político ou econômico, sendo feita com base na estratégia da Companhia.

A Regional Litoral ocupa uma área de aproximadamente 4.489 Km². A Figura 4.2 mostra o nome e a localização destes municípios.

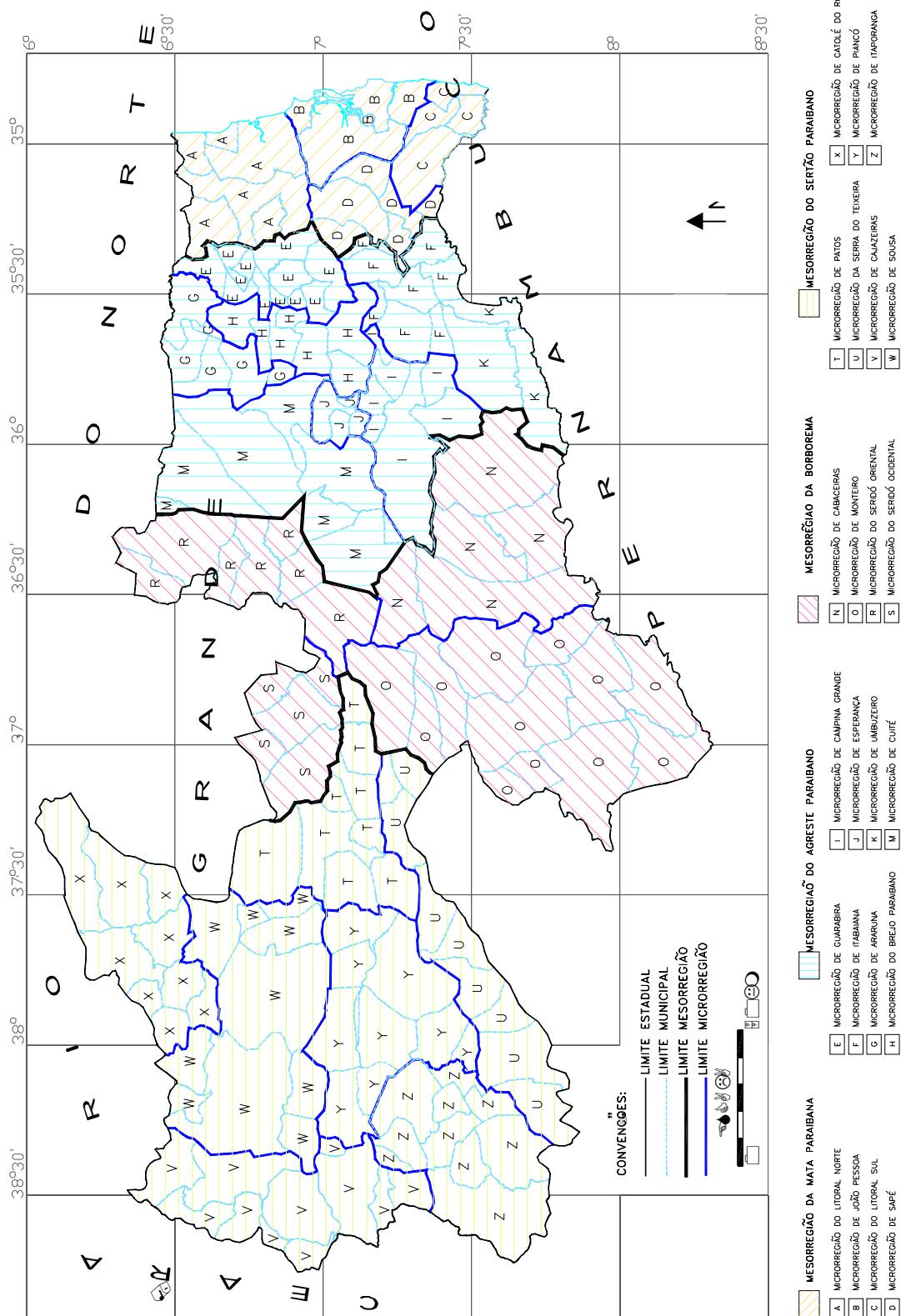


Figura 4.1: Mesorregiões do Estado da Paraíba.
Fonte: SCIENTEC/SEPLAN (1997).

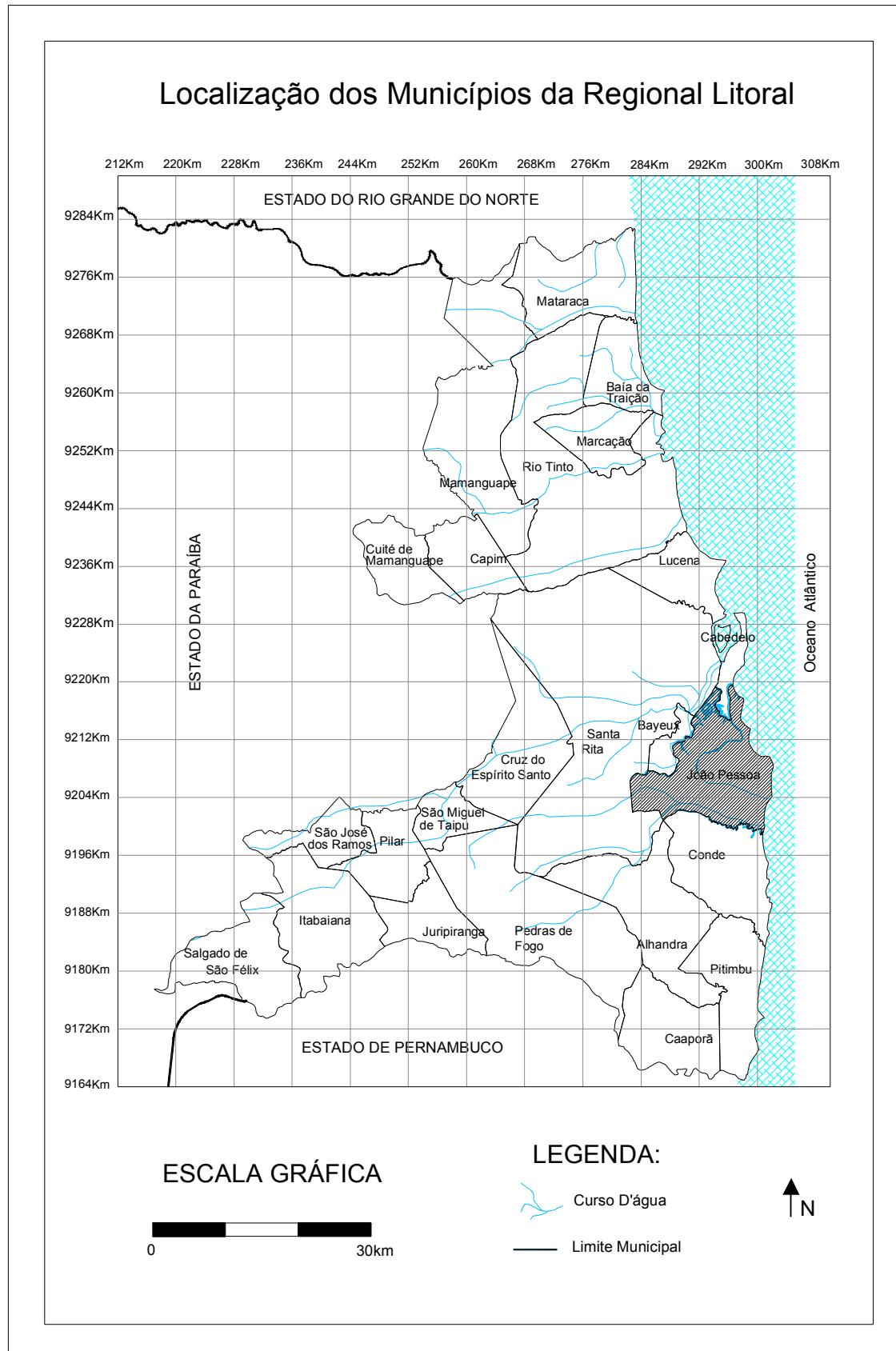


Figura 4.2: Localização dos municípios da Regional Litoral.