

ZONEAMENTO DE AQUÍFEROS ATRAVÉS DA DETERMINAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA: o caso da cidade de João Pessoa – PB

Laise Kelley Lemos Barbosa¹ & Tarciso Cabral da Silva²

RESUMO – As sucessivas secas ocorrentes na região Nordeste, inclusive atingindo a região litorânea e os seus sistemas de abastecimento de água, têm provocado aumento significativo do uso de águas subterrâneas captadas através de poços. Entretanto, verifica-se a deficiência de estudos hidrogeológicos, uma vez que o conhecimento sobre os aquíferos, os poços existentes e suas zonas de proteção não são ainda satisfatórios para subsidiar a gestão eficiente das águas subterrâneas. Ademais, verifica-se a ausência de legislação específica nacional, existindo normas apenas em alguns estados. Uma das formas mais eficazes de proteger a captação de água subterrânea é restringir o uso dos terrenos circunvizinhos. Esta comunicação tem como objetivo principal mostrar a determinação de perímetros de proteção dos aquíferos contribuintes a captações, especificando diferentes zonas de restrição para 30 poços utilizados para abastecimento público na zona urbana do município de João Pessoa, Paraíba. Utilizou-se como referencial teórico e legal a legislação portuguesa expressa no Decreto-Lei Nº. 282/99. Os perímetros foram delimitados utilizando uma metodologia de base analítica denominada Raio Fixo Calculado, citada na referida legislação. Para isto, foi elaborado um SIG -Sistema de Informações Geográficas- contendo todas as características dos poços em estudo, bem como as zonas de proteção estabelecidas.

ABSTRACT – The droughts that occur successively in the Northeast region, also reaching the littoral region and its systems of water supply, have significantly increased the groundwater use through wells. However, it is verified deficiencies of the hydrogeologic studies. The existing knowledge about aquifers, wells and its zones of protection is not still satisfactory to subsidize the efficient management of groundwater. Furthermore, it is verified the absence of specific national legislation, being present rules only in some states. The delimitation is one of the most efficient ways to protect the groundwater restricting the use of surrounding lands. In this communication, the delimitation of the protection perimeters and the specific restriction zones of 30 wells used for public water supply in the urban zone of the city of João Pessoa, Paraíba, is done. The specific portuguese legislation was used as legal and theoretical reference. The perimeters had been delimited using a methodology of analytical base called Calculated Fixed Ray, cited in the portuguese legislation. A GIS - Geographic Information System - was elaborated including all the characteristics of the wells, as well as the established zones of protection.

Palavras-Chave: Aquíferos, poços, perímetros de proteção.

¹⁾ Mestre em Engenharia Urbana - Universidade Federal da Paraíba – Campus I – Centro de Tecnologia – LARHENA – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – João Pessoa/PB CEP: 58.059-900 Fone/Fax: (83) 3216-7684 E-mail: laisecivil@yahoo.com.br

²⁾ Professor Titular da Universidade Federal da Paraíba – Campus I – Centro de Tecnologia – Coordenador do LARHENA – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – João Pessoa/PB CEP: 58.059-900 Fone/Fax: (83) 3216-7684 E-mail: tarciso@lrah.ct.ufpb.br

1.0 - INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação de toda a sociedade com a disponibilidade e qualidade da água decorre do fato de que, por mais abundante que pareça este recurso, não é raro ocorrer sua escassez, tanto pela ocorrência de períodos prolongados de seca como pelas superexploração ou carga poluidora a que é submetida.

O uso da água para abastecimento humano é uma das funções mais nobre a que se destina. Porém a maior problemática com relação a esta exploração está intimamente ligada à disponibilidade superficial e as condições de potabilidade às quais esta água se encontra. Neste contexto, as águas subterrâneas tornam-se uma alternativa atraente para o atendimento às demandas do abastecimento público urbano ou apenas suplementação.

No Brasil o conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas representam ainda uma situação deficitária séria. Os estudos regionais além de insuficientes encontram-se defasados. As pesquisas publicadas ligadas à qualidade da água subterrânea apresentam geralmente caráter pontual.

Em algumas cidades do Nordeste do Brasil, em especial as capitais, o uso de águas subterrâneas para abastecimento de água se faz, ora pelas empresas públicas, ora por particulares. Não raro comparecem problemas com estes usos, quer de rebaixamento excessivo dos níveis potenciométricos, quer de contaminação, ou até intrusão salina, Barbosa (2007).

Em razão disso, enfatiza-se a necessidade de se caracterizar satisfatoriamente os recursos hídricos subterrâneos disponíveis e de planejar adequadamente seu uso, assegurando-se a constante oferta real à população.

A crescente expansão dos centros urbanos, muitas vezes de forma inadequada, propicia interferências diretas e indiretas nas condições de quantidade e qualidade dos recursos subterrâneos.

O gerenciamento dos usos dos recursos subterrâneos proporciona benefícios econômicos. Segundo Rebouças (1996), estima-se que os investimentos realizados são amortecidos num prazo de apenas um terço da vida útil média dos poços que foram construídos com tecnologia adequada. Isto implica na solução dos problemas resultantes da baixa eficiência das concessionárias do abastecimento público de água, tal como as freqüentes faltas de água ou racionamentos.

A zona urbana do município de João Pessoa, objeto do estudo de caso referido nesta pesquisa, em função da seca de 1997-1999, sofreu racionamento de água devido às indisponibilidades temporárias de águas superficiais. Durante o período do racionamento de água imposto nesta ocasião, a Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba – CAGEPA desenvolveu uma política imediata de implantação e recuperação de poços para o abastecimento urbano. No entanto,

conforme Lira et al. (2002), uma análise mais aprofundada das condições urbanas, no tocante ao uso do solo relacionado à locação dos novos poços não foi feita.

O controle do uso e ocupação do solo, através de restrições e fiscalização das atividades antrópicas, é uma das estratégias de proteção da água subterrânea, ANA (2005). Para este controle, dois enfoques poderão ser atribuídos. O primeiro relaciona-se a proteção geral do aquífero, partindo da identificação das áreas mais suscetíveis de contaminação, de forma a promover um controle regional do uso do solo em toda a sua extensão. O segundo ponto direciona-se a proteção pontual, estabelecida nos locais de captação de água subterrânea.

É bastante difundida a técnica de definição de áreas de proteção de captações de águas subterrâneas através de zoneamento interno a perímetros de proteção. Nas zonas internas aos perímetros do círculo centrado no local da captação são estabelecidas restrições quanto ao uso do solo em diversas gradações regulamentadas, admissíveis ou até proibidas.

A determinação de perímetros de proteção fundamenta-se em estudos hidrogeológicos e econômicos, objetivando a interdição e/ou condicionamento de determinadas instalações e atividades susceptíveis de comprometerem a qualidade das águas subterrâneas.

Os poços examinados e referidos nesta pesquisa encontram-se inseridos na malha urbana do município de João Pessoa, o que os torna mais vulneráveis, uma vez que este meio é obviamente propenso à poluição do subsolo, além do que, restrições ao uso do solo a serem aplicadas nas áreas de proteção das captações são dificultadas.

Nesta pesquisa, são relatados os trabalhos realizados no sentido de determinar perímetros de proteção de poços públicos na cidade de João Pessoa, Paraíba. Utilizou-se como referencial teórico e legal a legislação portuguesa expressa no Decreto-Lei Nº 282/99. Faz-se uso de uma metodologia com base analítica para aquíferos confinados denominada “Raio Fixo Calculado”, Moinante (2004). Utilizou-se para espacialização dos resultados um Sistema de Informações Geográficas - SIG, elaborado com auxílio do programa *ArcView*® 3.0.

2.0 - CARACTERÍSTICAS REGIONAIS

O Estado da Paraíba, situado na região nordeste do país, é constituído por 223 municípios agrupados em quatro mesorregiões geográficas: (a) Mesorregião da Mata Paraibana, (b) Mesorregião Agreste Paraibano, (c) Borborema e (d) Sertão Paraibano. Apresenta uma população de 3.595.886 habitantes distribuídos numa área total de 56.439 km², cerca de 0,66% do território nacional e 3,63% do território nordestino, SCIENTEC/SEPLAN (1997). Sua população urbana apresentou um crescimento de 8,18% no período entre 1996 a 2000, representando 71% da

população total do Estado neste último ano. Já a população rural sofreu um decréscimo de 4,5% neste mesmo período, Lira (2005).

Dentre as 23 microrregiões que compõem o Estado, a sua capital João Pessoa, localizada na zona costeira, conjuntamente com os municípios de Bayeux, Santa Rita, Cabedelo, Conde e Lucena, formam a microrregião denominada Grande João Pessoa.

O município de João Pessoa, localizado entre as latitudes 7°00' e 7°30' Sul e as longitudes 34°30' e 35°00' Oeste, (Figura 1) apresenta área de 211 km², com população estimada em 2005 pelo IBGE (2005) de 660.798 habitantes, representando 18,4 % da população estadual. Representa, portanto, a maior concentração populacional do Estado da Paraíba. Apresenta índice de urbanização bastante alto, o que segundo as informações do IBGE, configura uma população totalmente urbana, com espaços vazios representando áreas de preservação (mata atlântica, manguezais, vegetação de restinga, espelhos de água) e loteamentos ainda não ocupados ou parcialmente ocupados.

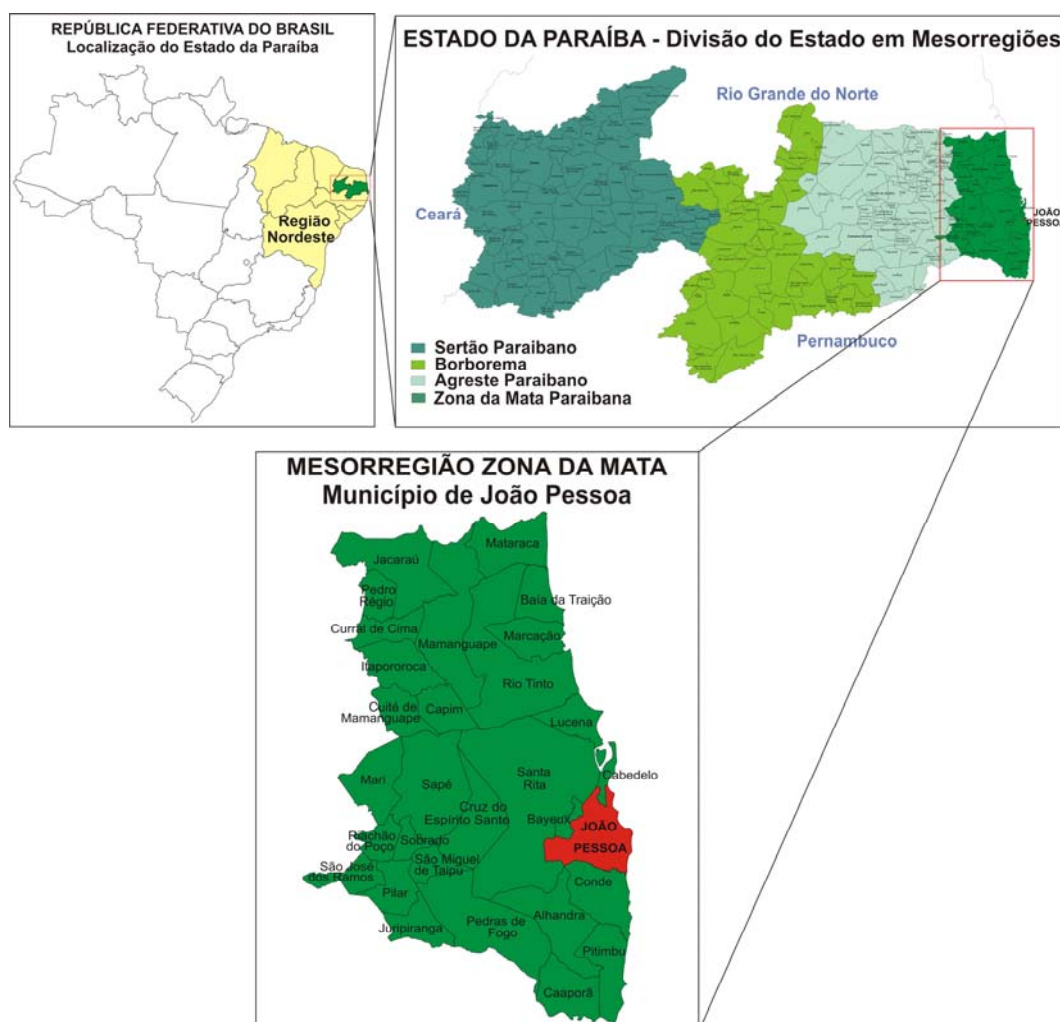


Figura 1 – Localização do Município de João Pessoa

Em termos de índices meteorológicos, a cidade apresenta uma precipitação média anual de 1.700 mm e evaporação média anual em tanque classe A de 1.310 mm. Seu clima é classificado segundo Koeppen como Aw'i, indicando clima tropical úmido com estações do ano bem definidas,

apresentando verão seco, sendo a variação de temperatura média mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível. A temperatura média anual do ar é de 26,1 °C, Silva et al.(2001).

3.0 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba (Figura 2) possui uma largura média aproximada de 25 km, com espessura máxima de 400 m. Ocupa em sua porção emersa uma faixa estreita de cerca de 9.000 km² ao longo do litoral dos estados de Pernambuco e Paraíba, estendendo-se por 24.000 km² pela plataforma continental. É a bacia sedimentar mais setentrional da costa leste brasileira, situando-se entre os paralelos 6 e 9 sul. Limita-se ao norte pelo Alto de Touros com a Bacia Potiguar e ao sul pelo Alto de Maragogi com a Bacia de Alagoas, Acquatoool (2002).

Figura 2 - Províncias hidrogeológicas presentes no nordeste brasileiro. Fonte: Abas (2003)

nomeadas segundo Lira (2005), da base para o topo de: (a) Beberibe, (b) Itamaracá; (c) Gramame; (d) Maria Farinha.

Formação Beberibe: A Formação Beberibe apresenta cerca de 200 m 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, Barbosa et al. (2003).

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, Barbosa et al.(2003).

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”.

As formações Beberibe e Itamaracá apresentam suas relações ainda sob conflito entre estudiosos, Lira (2005). Isto se deve à ausência de uma completa interpretação da Formação Itamaracá, além de suas várias intercalações com a Formação Beberibe. Em virtude deste fato é comum considerar a formação Beberibe/Itamaracá, sendo inclusive aceita na publicação Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba.

Como expressões hidrogeológicas no município de João Pessoa apresentam-se os sistemas aquíferos Beberibe e Barreiras, sendo o primeiro do tipo confinado e mais importante e o segundo um sistema livre presente na formação do mesmo nome. Comparecem também como sistemas aquíferos menos importantes as aluviões dos rios Gramame e Mumbaba, além dos sedimentos praieiros do município.

Com referência à província costeira correspondente ao sistema Paraíba-Pernambuco, em particular ao aquífero Beberibe, que constitui o principal manancial hídrico subterrâneo da região de João Pessoa, utilizado amplamente para abastecimento público de água, tabula-se os coeficientes característicos conforme o Quadro 2.1, segundo os autores citados.

Quadro 1 – Valores dos coeficientes característicos do Aquífero Beberibe

Autores	Transmissividade (m ² /s)	Coeficiente de Armazenamento	Condutividade Hidráulica (m/s)	Porosidade Eficaz
Costa (1998)	$1,70 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-5}$	-
Costa apud Espíndola (2004)	$2,20 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-1}$
Lummertz (1977)	$2,09 \times 10^{-3}$	$1,84 \times 10^{-2}$	-	-
SUDENE/OESA/CONESP(1976)	$1,90 \times 10^{-3}$	$1,97 \times 10^{-4}$	-	-

No município de João Pessoa, para o aquífero Beberibe, os levantamentos efetuados por Acquatoool (2002) referentes a 19 poços de abastecimento da CAGEPA, apresentaram os valores de transmissividade variando de $1,69 \times 10^{-4}$ a $2,58 \times 10^{-3}$ m²/s, sendo o valor médio de $1,37 \times 10^{-3}$ m²/s. Os valores de permeabilidade variaram de $3,01 \times 10^{-6}$ a $7,86 \times 10^{-5}$ m/s, com média de $4,08 \times 10^{-5}$ m/s, enquanto que o coeficiente de armazenamento variou de $6,76 \times 10^{-6}$ a $1,3 \times 10^{-3}$, com média de $6,53 \times 10^{-4}$.

O capítulo 13 do livro Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações, Feitosa e Manoel Filho (1997), expõem uma breve descrição sobre as “Condições Geológicas do Brasil”. Neste capítulo são apresentadas características básicas médias dos aquíferos Barreiras e Beberibe, com base nos estudos feitos para a elaboração do Mapa Hidrogeológico do Brasil pela CPRM/DNPM de 1979 a 1981. Os valores médios de vazão de poços, profundidade e vazão específica para o aquífero Barreiras foram 8,7 m³/h, 65 m e 3,16 m³/h/m, enquanto que para o Beberibe os valores foram 52,0 m³/h, 142 m e 6,1 m³/h/m. Segundo Lummertz (1977) os valores médios de vazão específica dos poços tubulares para o aquífero Barreiras e o aquífero Beberibe respectivamente foram de 0,56 m³/h/m e 1,94 m³/h/m.

4.0 - COLETA E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS UTILIZADA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, duas fases de coletas foram consideradas. Primeiramente realizou-se a coleta de dados e informações a respeito dos poços existentes na área urbana do município de João Pessoa, os quais são destinados ao abastecimento público de água e são operados pela concessionária CAGEPA. Posteriormente, foram utilizadas estas informações em conjunto com a metodologia utilizada e com os mapas temáticos do município.

Após a consolidação desta fase, passou-se para a busca de dados a fim de compor o cadastro georreferenciado das características dos poços situados na região urbana do município. Obtiveram-se os primeiros dados a este respeito através do Relatório Final – Preliminar do Programa de Recuperação e Perfuração de Poços - PRPP. Este estudo foi iniciado em janeiro de 1999 na microrregião da Grande João Pessoa. Apresentou como finalidade, auxiliar o abastecimento de água durante o período de racionamento imposto pela quase exaustão dos reservatórios Gramame/Mamuaba e Marés que abastece a microrregião citada. Segundo o relatório da CAGEPA

(1999), após o levantamento da situação dos poços existentes, constatou-se que muitos deles encontravam-se abandonados, obstruídos, sem cadastro operativo, com os terrenos e instalações invadidas, entre outros aspectos.

Além dos dados fornecidos pela CAGEPA, o cadastro dos poços existentes foi revisado e atualizado, para utilização neste trabalho, na busca de resultados mais completos. Foram analisados os dados do Relatório Final da primeira etapa dos serviços de estudos, denominada Avaliação das Potencialidades, Disponibilidades e Condições de Exploração das Águas Subterrâneas da Região da Grande João Pessoa, Acquatool (2002).

No cadastro utilizado neste trabalho constam dados de 30 poços pertencentes à CAGEPA, de exploração do aquífero confinado Beberibe, com características quanto ao seu estado e todos inseridos na área urbana do município. No Quadro 2 estão resumidas algumas das características gerais dos poços.

Quadro 2 – Localização dos poços utilizados para abastecimento público de João Pessoa

Nº Ordem	Bairro	Firma Perfuração (*) e Nº ou Referência da Unidade	Ano da Perfuração	LOCALIZAÇÃO		
				Latitude (KM)	Longitude (KM)	Endereço e/ou Ponto de Referência
1	Marés	(1)Marés	1999	9208948,0	289065,0	ETA Marés - BR 101 - Km 02
2	Mangabeira I	(2)Mang. I-P-I	1980	9206868,0	296723,0	R. Amauri Marcelino Pereira, S/N
3	Mangabeira II	(2)Mang. II-P-II	1982	9205764,0	296492,0	R. Josefa Taveira, S/N
4	Mangabeira III	(2)Mg. VII-PM7-A	1991	9206912,0	298093,0	R. Profª. Vanda de F. Coutinho, S/N
5	Mangabeira IV	(2)Mg. VII-PM7-B	1991	9207629,0	297765,0	R. Manoel Ângelo de Oliveira, S/N
6	Funcionários I	(2)Funcion. II (PI)	1982	9206170,0	291208,0	R. Des. João Santa Cruz, 21
7	Funcionários II	(3)Funcion. IV (PII)	1980	9206314,0	292125,0	R. Irani Almeida de Menezes, 742
8	Grotão I	(1)Grotão-P-I	1985	9204766,0	291973,0	R. Adão Viana da Rosa
9	Grotão II	(3)Grotão-P-II	1981	9205424,0	292052,0	R. Nossa Senhora da Paz (No R-27)
10	Valentina III	(2)Valentina III-P-III	1999	9203774,0	296416,0	R. Dr. Valdevino Gregório de Andrade
11	Valentina II	(3)Valentina II-P-II	1982	9202814,0	296625,0	R. Joemir Sever. dos Santos, S/N
12	Valentina I	Valentina I-P-I	1983	9204114,0	296804,0	R. Brasilino A. da Nóbrega, S/N
13	Conj. Vieira Diniz	(3)J. Vieira Diniz	1980	9206626,0	288947,0	R. Edson de Moura Machado, S/N
14	José Américo	(1)José Américo	2000	9207664,0	294688,0	R. Estêvão G. da Cunha
15	Anatolia	(2)Anatolia	1980	9209110,0	296319,0	R. Da Imbiribeira, S/N
16	Bancários	(1)Bancários	1978	9209424,0	297223,0	R. Merando Gomes Vieira, S/N
17	Cristo Redentor	(4)Parque de Exposição	1999	9207508,0	292366,0	No Parque de Exposição de Animais
18	Alto do Mateus	(3)Betel - Conj. Ivan Bichara	1980	9209696,0	289129,0	R. Cel. Joca Velho, S/N, Conj. Ivan Bichara
19	Alto do Mateus	(3)Alto do Mateus-R-17	1977	9211034,0	288378,0	R. Dolores Duran, S/N
20	Alto do Mateus	(3)Alto do Mateus-R-15	1978	9211316,0	288813,0	R. Assis Valente, 52
21	Miramar	(1)Rui Carneiro	1978	9213188,0	297429,0	Av. Rui Carneiro, S/N
22	Torre	(5)Torre	1999	9212518,0	294388,0	Av. Júlia Freire, S/N
23	Centro	(5)Pav. Chá	1999	9212272,0	291807,0	Praça Venâncio Neiva, S/N, Centro
24	Cruz das Armas	(5)Cruz das Armas	1999	9210440,0	291356,0	R. Porfírio Costa, S/N
25	Cristo Redentor	(3)Cristo	1979	9208688,0	293163,0	R. José Francisco da Silva, S/N
26	Castelo Branco	(1)Castelo Branco	2000	9211160,0	295953,0	Cont. da Tito Silva
27	Altiplano	(3)Altiplano Cabo Branco	1976	9211098,0	298194,0	R. Francisco Leite Piancó, S/N
28	Penha	(6)Penha	1990	9207556,0	301507,0	No Início da escada da Penha
29	Torre	(3)Buraquinho	1977	9210856,0	294558,0	Av. Dom Pedro II - Jardim Botânico
30	Alto do céu	(1)Alto do Céu	1999	9214966,0	293925,0	R. João Brito de Sousa [

(*) (1)-Hidrogesp; (2)-Comer; (3)-Conesp; (4)-Hidrotec; (5)-Civiltec; (6)-CDRM

5.0 - METODOLOGIA

Os estudos efetuados, resumidos neste item são divididos em três partes: a) Descrição geral das características principais dos poços cadastrados: localização, vazão, profundidade e rebaixamento específico; b) Cálculo dos perímetros de proteção para zonas imediata, intermediária

e alargada de proteção, conforme o tempo de propagação do poluente (tempo decorrente da entrada do poluente no aquífero e sua saída ou extração) e c) Delimitação dos perímetros de proteção.

Após a descrição geral das características dos poços, com base nos relatórios técnicos consultados (Quadro 3), tornou-se possível a aplicação da metodologia de delimitação das áreas de proteção dos poços de uso público.

O método de delimitação de perímetros de proteção consiste em traçar círculos concêntricos ao redor dos poços destinados à captação de água. Nestas áreas definidas circunvizinhas aos poços, restrições podem ser estabelecidas com relação à utilização pública e ao uso do solo, como sequencialmente será abordado.

O procedimento de demarcação das zonas é função do tempo de viagem do poluente. Estas áreas de proteção permitem a atenuação de concentrações de contaminantes no aquífero ou o provimento de zonas monitoradas.

Quadro 3 – Características técnicas dos poços utilizados

Nº de Ordem	Bairro	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											
		Profundidade (m)			Diâmetros (")			Níveis (m)		Rebaixamento (m)	Vazões (m³/h)		Reservatório Alimentado
		Total	Útil	Câmara Bomba	Poço	Filtros	Colunas	Estático	Dinâmico		Poço	Bomba	
1	Marés	292,0	285,5	132,0	10"	6"	6"	29,5	109,5	80,1	129,6	145,0	R - 0
2	Mangabeira I	222,0	217,0	108,0	10"	6"	6"	40,0	73,0	33,0	180,0	180,0	R - 07
3	Mangabeira II	154,0	152,0	120,0	8"	6"	4"	53,0	78,0	25,0	60,0	40,0	R - 07
4	Mangabeira III	299,7	152,0	121,0	10"	6"	5"	47,0	65,0	18,0	60,0	60,0	R - 07
5	Mangabeira IV	300,0	194,0	132,0	10"	6"	5"	41,0	74,0	33,0	40,0	40,0	R - 07
6	Funcionários I	303,0	221,4	132,5	10"	6"	6"	33,6	89,2	55,6	21,8	-	R - 21
7	Funcionários II	303,0	250,0	132,5	10"	10"	4"	36,0	120,0	84,0	35,0	-	R - 21
8	Grotão I	255,0	245,0	-	8"	4"	3"	-	-	-	24,8	-	R - 27
9	Grotão II	190,0	129,0	120,0	10"	6"	6"	43,0	109,4	66,4	25,0	30,0	R - 27
10	Valentina III	260,0	256,4	145,0	10"	6"	6"	42,0	140,0	98,0	50,0	50,0	R - 29
11	Valentina II	250,0	123,0	123,0	10"	6"	6"	36,0	96,0	60,0	60,0	60,0	R - 29
12	Valentina I	230,0	-	120,0	8"	6"	4"	30,0	76,0	46,0	93,6	90,0	R - 29
13	Conj. Vieira Diniz	322,0	100,0	48,0	10"	6"	4"	28,0	38,0	10,0	70,0	62,0	R - 04
14	José Américo	264,0	256,0	138,0	10"	10"	6"	60,2	94,1	33,9	150,0	145,0	R - 22
15	Anatólia	264,0	170,0	131,0	10"	6"	6"	32,9	88,1	55,2	41,0	-	R - 10
16	Bancários	222,0	218,4	108,0	10"	6"	6"	48,0	70,0	22,0	180,0	170,0	R - 10
17	Cristo Redentor	170,0	150,0	72,0	8"	-	3"	35,0	59,0	24,0	55,0	20,0	R - 11
18	Alto do Mateus	300,0	240,0	100,0	10"	8"	4"	46,0	88,9	42,9	86,4	92,0	R - 03
19	Alto do Mateus	300,0	275,0	120,0	10"	6"	4"	45,0	88,0	43,0	99,0	99,0	R - 17
20	Alto do Mateus	58,0	55,0	50,0	8"	6"	2½"	30,0	45,0	15,0	25,0	24,0	R - 15
21	Miramar	311,0	234,3	108,0	10"	-	6"	34,0	90,0	56,0	117,0	177,0	R - 09
22	Torre	194,0	189,0	112,5	10"	6"	5"	34,0	90,0	56,0	116,0	110,0	R - 06
23	Centro	210,0	199,7	122,0	10"	8"	6"	67,0	99,0	32,0	150,0	75,0	R - 02
24	Cruz das Armas	220,0	202,7	120,0	10"	8"	5"	49,0	60,0	11,0	64,8	54,0	R - 05
25	Cristo Redentor	218,0	146,0	120,0	12"	6"	4"	43,0	91,0	48,0	125,0	125,0	R - 11
26	Castelo Branco	253,0	246,8	144,0	8"	6"	6"	66,3	102,1	35,8	132,0	145,0	R - 13
27	Altiplano	217,0	110,0	90,0	8"	6"	3"	39,0	80,0	41,0	55,0	45,0	R - 14
28	Penha	205,0	201,3	72,0	8"	6"	3"	5,0	55,0	50,0	40,0	30,0	R - 28
29	Torre	373,0	314,0	68,0	12"	6"	6"	5,0	55,0	50,0	342,0	194,4	R - 06
30	Alto do céu	255,0	245,0	182,0	10"	6"	2½"	26,0	154,0	128,0	30,0	55,0	R - 23

Perímetro de proteção, segundo Lobo et al. (2003), é a área de superfície e subsuperfície envolvente de uma ou mais captações destinadas ao abastecimento público, onde atividades susceptíveis de alterar a qualidade da água subterrânea são limitadas, proibidas ou regulamentadas de modo progressivo.

A delimitação destes perímetros de proteção visa nas suas funções: (a) prevenir, reduzir e controlar a chegada de substâncias poluentes à captação; (b) assegurar a atenuação do poluente durante o seu percurso entre o foco de poluição e a captação, por atuação dos processos naturais de diluição e de autodepuração; (c) recorrer, antecipadamente, a fontes de abastecimento alternativas em caso de descargas acidentais de poluentes que coloquem em perigo o sistema de abastecimento público e (d) garantir a proteção das águas subterrâneas no interior da zona de contribuição da captação, Lobo et al. (2003).

Segundo Ciabatti & Lobo Ferreira (1994), nas zonas de proteção ao redor dos poços, as atividades susceptíveis de contaminação são proibidas ou restringidas. Neste propósito, estes autores definem três zonas de proteção (Figura3):

- **Zona de Proteção Imediata** – zona contígua à captação. No seu interior é proibida toda atividade e/ou instalações, exceto as relacionadas à conservação, manutenção ou exploração da captação. Na sua delimitação é utilizado um tempo de propagação de 24 horas.
- **Zona de Proteção Intermediária** – área ao redor da zona de proteção imediata. Tem como objetivo proteger o aquífero contra a poluição microbiológica reduzindo ou eliminando a poluição antes de alcançar a captação. No seu dimensionamento é utilizado um tempo de propagação de 50 dias.
- **Zona de Proteção Alargada** - área ao redor da zona de proteção intermediária. Nesta são proibidas atividades e/ou instalações capazes de poluir os recursos subterrâneos com contaminantes persistentes, como combinações orgânicas, substâncias radioativas, metais pesados, hidrocarbonetos e nitratos, levando em conta a natureza do terreno, a quantidade de contaminantes, como também o modo de emissão destes contaminantes. A sua área é delimitada com base em um tempo de propagação aproximadamente igual a 10 anos.

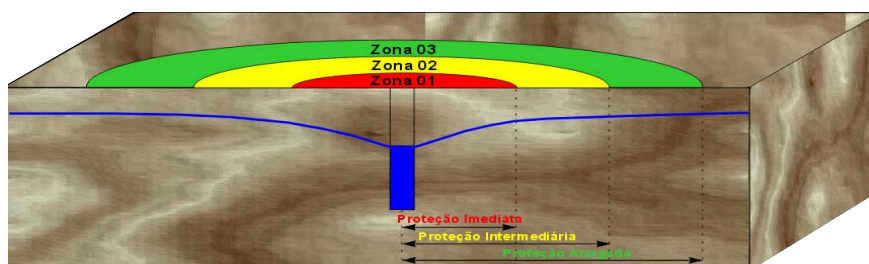


Figura 3 – Desenho esquemático das zonas de proteção no entorno dos poços.
(Adaptado de Krijgsman & Lobo Ferreira, 2001)

Segundo o Decreto-Lei n.º 382/99 de 22 de Setembro de Portugal, algumas atividades podem ser proibidas ou restringidas conforme a zona delimitada de proteção resumidas no Quadro 4, Portugal (1999).

Quadro 4 – Atividades restringidas ou proibidas conforme zona delimitada.

ATIVIDADES QUE DEVEM SER RESTRITAS OU CONDICIONADAS	
ZONA DE PROTEÇÃO IMEDIATA (ZONA 01)	-
ZONA DE PROTEÇÃO INTERMEDIÁRIA (ZONA 02)	Pastoreio; Usos agrícolas e pecuários; Aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que formem substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; Edificações; Estradas e caminhos de ferro; Parques de campismo; Espaços destinados a práticas desportivas; Estações de tratamento de águas residuais; Coletores de águas residuais; Fossas de esgoto; Unidades industriais; Cemitérios; Pedreiras ou escavações; Explorações mineiras; Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; Depósitos de sucata.
ZONA DE PROTEÇÃO ALARGADA (ZONA 03)	Utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; Coletores de águas residuais; Fossas de esgoto; Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; Estações de tratamento de águas residuais; Cemitérios; Pedreiras e explorações mineiras; Infra-estruturas aeronáuticas; Oficinas e estações de serviço de automóveis; Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; Depósitos de sucata.
ATIVIDADES QUE DEVEM SER PROIBIDAS	
ZONA DE PROTEÇÃO IMEDIATA (ZONA 01)	Qualquer instalação ou atividade, com exceção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Nesta zona o terreno é vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água de captação.
ZONA DE PROTEÇÃO INTERMEDIÁRIA (ZONA 02)	Infra-estruturas aeronáuticas; Oficinas e estações de serviço de automóveis; Depósitos de materiais radiativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radiativos ou de outras substâncias perigosas; Canalizações de produtos tóxicos; Lixeiras e aterros sanitários.
ZONA DE PROTEÇÃO ALARGADA (ZONA 03)	Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radiativos e de outras substâncias perigosas; Depósitos de materiais radiativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; Canalizações de produtos tóxicos; Refinarias e indústrias químicas; Lixeiras e aterros sanitários.

Fonte: Decreto-Lei nº 382/99, 22/09 – Portugal.

No Anexo Decreto-Lei nº 382/99, Portugal (1999), são estabelecidas as dimensões de cada uma das três zonas constituintes dos perímetros de proteção para cada tipo de aquífero. No caso de aquífero confinado, os valores do raio são: a) zona imediata igual a 20 m; b) zona intermediária 40 m ou raio calculado para tempo de propagação de 50 dias (adota-se o de maior valor) e c) zona alargada 350 m ou raio calculado para 3.500 dias (adota-se o de maior valor).

5.1 - Metodologias de Delimitação de Perímetros de Proteção

As metodologias disponíveis para determinação dos perímetros de proteção variam conforme custos de implantação e complexidade do projeto. Porém, é conhecido que os custos associados a um programa de proteção de águas subterrâneas são em muito ultrapassados pelos custos de reabilitação de um aquífero poluído ou contaminado, afora as dificuldades envolvidas neste último caso.

Quando o tempo de propagação assume um valor definido, podem ser considerados diversos modelos conceituais consoante, sejam considerados problemas bi ou tridimensionais. As abordagens baseiam-se em modelos numéricos de águas subterrâneas que podem ser aproximados por métodos que incorporam dados hidrogeológicos representativos da realidade, Lobo Ferreira et al. (2003).

A abordagem mais simples é a do método do raio fixo, referenciado na legislação portuguesa, Portugal (1999). Neste método, o raio determinado é igual em redor de todo o furo, o que configura um raio de proteção provavelmente excessivo a jusante, visto que, no decorrer do tempo há o deslocamento das partículas para jusante do poço.

Uma abordagem mais elaborada, que necessita do conhecimento da piezometria regional é a do método de Krijgsman e Lobo Ferreira (2001). De acordo com este método, numa situação de gradiente hidráulico inclinado, a zona de proteção intermediária para um tempo de deslocamento de 50 dias, terá a forma de uma elipse cuja forma depende do gradiente hidráulico, isto é, quanto menor for o gradiente mais a sua forma se aproxima de um círculo.

O método do raio fixo permite que o raio do perímetro de proteção seja definido com base numa equação analítica, utilizando o tempo de propagação do poluente até a captação.

Na equação conhecida como equação volumétrica determina-se o raio de uma seção cilíndrica do aquífero, com centro na captação, e com capacidade de comportar o volume de água captada durante um determinado tempo de propagação. Admite-se ainda, que a captação é a única a drenar o aquífero e que não existem direções preferenciais de fluxo, com todas as linhas de corrente a convergir para a captação. Este método é mais indicado para aquíferos verdadeiramente confinados, visto que o cone de rebaixamento não é cilíndrico e a recarga é desconsiderada, Cabral et al. (2004). A Equação 1 representa o raio do perímetro de proteção:

$$r = \sqrt{\frac{Q.t}{n.H.\pi}} \quad (1)$$

Onde o único parâmetro hidrogeológico necessário é a porosidade eficaz, e:

Q - vazão de exploração da captação (m³/dia);

t - tempo de propagação (dias);

n - porosidade eficaz do aquífero;

H - espessura saturada na captação (m);

r - raio do perímetro de proteção (m).

6.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Cálculo dos Perímetros de Proteção

Na aplicação do método do raio fixo, determina-se o raio para a zona imediata, intermediária e alargada em função do tipo de sistema aquífero considerado, tomando-se como referência as zonas especificadas na legislação portuguesa. No caso presente, o sistema de suporte litológico do aquífero é confinado, constituído por formações em rochas sedimentares consolidadas - arenitos, tendo-se obtido os valores apresentados no Quadro 5. Neste quadro mostram-se as informações básicas e os raios calculados para caracterizar cada um dos poços em estudo.

Quadro 5 – Cálculo dos perímetros para as zonas de proteção dos poços públicos

Nº de Ordem	Bairro	Profundidades Características (m)			Vazão (m³/dia)	Espessura Saturada na Captação (m)	Raio Calculado - Zonas de Proteção(m)		
		Total	Útil	Início Beberibe			Imediata (Zona 1)	Intermediária (Zona 2)	Alargada (Zona 3)
1	Marés	292,0	285,5	30,0	3110,40	262,0	6,15	43,47	363,68
2	Mangabeira I	222,0	217,0	88,0	4320,00	134,0	10,13	71,63	599,31
3	Mangabeira II	154,0	152,0	107,0	1440,00	47,0	9,88	69,83	584,24
4	Mangabeira III	299,7	152,0	130,0	1440,00	169,7	5,20	36,75	307,47
5	Mangabeira IV	300,0	194,0	144,0	960,00	156,0	4,43	31,30	261,84
6	Funcionários I	303,0	221,4	70,0	523,20	233,0	2,67	18,90	158,17
7	Funcionários II	303,0	250,0	89,0	840,00	214,0	3,53	24,99	209,12
8	Grotão I	255,0	245,0	66,0	595,20	189,0	3,17	22,39	187,31
9	Grotão II	190,0	129,0	89,0	600,00	101,0	4,35	30,75	257,26
10	Valentina III	260,0	256,4	112,0	1200,00	148,0	5,08	35,92	300,55
11	Valentina II	250,0	123,0	130,0	1440,00	120,0	6,18	43,70	365,64
12	Valentina I	230,0	-	70,0	2246,40	160,0	6,69	47,27	395,50
13	Conj. Vieira Diniz	322,0	100,0	195,0	1680,00	127,0	6,49	45,88	383,89
14	José Américo	264,0	256,0	118,0	3600,00	146,0	8,86	62,64	524,12
15	Anatólia	264,0	170,0	108,0	984,00	156,0	4,48	31,68	265,09
16	Bancários	222,0	218,4	117,0	4320,00	105,0	11,44	80,92	677,03
17	Cristo Redentor	170,0	150,0	97,0	1320,00	73,0	7,59	53,65	448,83
18	Alto do Mateus	300,0	240,0	61,0	2073,60	239,0	5,26	37,16	310,90
19	Alto do Mateus	300,0	275,0	180,0	2376,00	120,0	7,94	56,14	469,67
20	Alto do Mateus	65,0	55,0	58,0	600,00	7,0	16,52	116,80	977,21
21	Miramar	311,0	234,3	114,0	2808,00	197,0	6,74	47,63	398,50
22	Torre	194,0	189,0	92,0	2784,00	102,0	9,32	65,91	551,43
23	Centro	210,0	199,7	75,0	3600,00	135,0	9,21	65,15	545,06
24	Cruz das Armas	220,0	202,7	77,0	1555,20	143,0	5,88	41,60	348,08
25	Cristo Redentor	218,0	146,0	99,0	3000,00	119,0	8,96	63,34	529,96
26	Castelo Branco	253,0	246,8	114,0	3168,00	139,0	8,52	60,23	503,90
27	Altiplano	217,0	110,0	150,0	1320,00	67,0	7,92	56,00	468,50
28	Penha	205,0	201,3	149,0	960,00	56,0	7,39	52,23	437,02
29	Torre	373,0	314,0	70,0	8208,00	303,0	9,29	65,66	549,36
30	Alto do céu	255,0	245,0	65,0	720,00	190,0	3,47	24,56	205,47

A circulação e o armazenamento de água neste aquífero estão relacionados com a camada saturada, ou seja, o início da camada confinada do aquífero Beberibe visto que todos os poços estudados encontram-se estacionados nesta camada. A espessura da camada saturada é determinada a partir dos níveis de profundidade total dos poços e o início da formação confinada. As variações desta camada foram da ordem de 7,00m para o poço de nº 20, a 303,00m para o poço nº29.

Para a zona imediata, os resultados dos raios calculados variaram de 2,7 m no poço nº 6 a 16,5 m no poço de nº 20. Na zona intermediária, os raios calculados para estes poços foram de 18,9

m e 16,8 m, enquanto que na zona alargada os valores foram 158,2 e 977,2 m, significando os valores mínimos e máximos.

Na zona imediata, apenas 3 poços (n^{os} 2, 16 e 20) apresentaram raios de proteção calculados com valores maiores do que 10 m. Nenhum dos poços apresentou raio maior ou igual a 20 metros.

Para zona intermediária 10 poços (n^{os} 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 18 e 30) resultaram em raios de proteção inferiores a 40 m. O valor máximo calculado foi de 116,80 m para no poço n^o 20. Já na zona alargada, 19 poços (n^{os} 1, 2, 3, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29), excederam o valor mínimo estipulado para esta zona (Decreto-Lei n^o 382/99, Portugal 1999), que é de 350 m, atingindo valor máximo no poço n^o 20 de 977,21 m.

A Figura 4 ilustra espacialmente a delimitação dos perímetros de proteção pra as três zonas de cada poço destinado ao abastecimento público no setor urbano do município de João Pessoa.

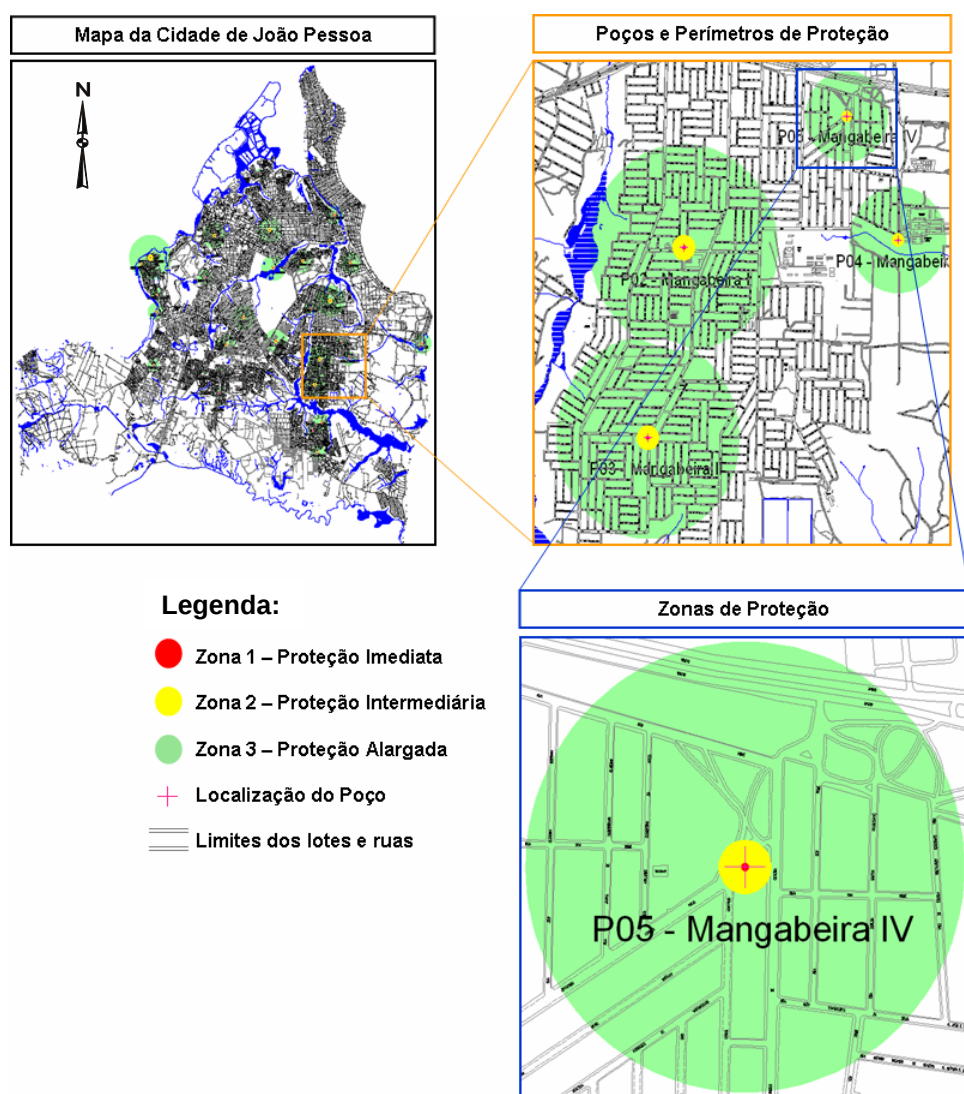


Figura 4 - Delimitação dos perímetros de proteção para os poços públicos da zona urbana do Município de João Pessoa com destaque para o poço P05.

6.2 - Elaboração do Sistema de Informações Geográficas

Na elaboração do Sistema de Informações dos Poços, procurou-se, além de disponibilizar os dados sobre as características das unidades de produção subterrânea, visualizar as áreas de proteção estabelecidas para os 30 (trinta) poços, possibilitando ao mesmo tempo, a geração de novas informações, com análises espaciais baseadas no cadastro georreferenciado.

Utilizou-se o software ArcView® 3.0 para a elaboração do Sistema de Informações. Para estruturação dos mapas, foram utilizados os dados cartográficos do IBGE, no formato Shapefile IBGE (2000). A base cartográfica foi fornecida pelo Setor de Geoprocessamento da Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa - SEPLAN. Esta base é uma restituição digital de um levantamento aerofotogramétrico realizado em 1998.

Os mapas, originalmente no formato dwg (Autocad Drawing), foram exportados para o formato Autocad dxf (Data Exchange Format) e posteriormente importados temas ao Arcview 3.0. Utilizando a extensão Make Rectangles, Circles, Ovals 4.0, foram inseridos os raios de proteção para cada zona a partir das planilhas de dados vinculadas. A Figura 5 representa as três zonas de proteção de cada poço. Pode-se acessar a ficha individual do poço, que contém, em formato de planilha eletrônica, boa parte dos dados e o raio calculado.

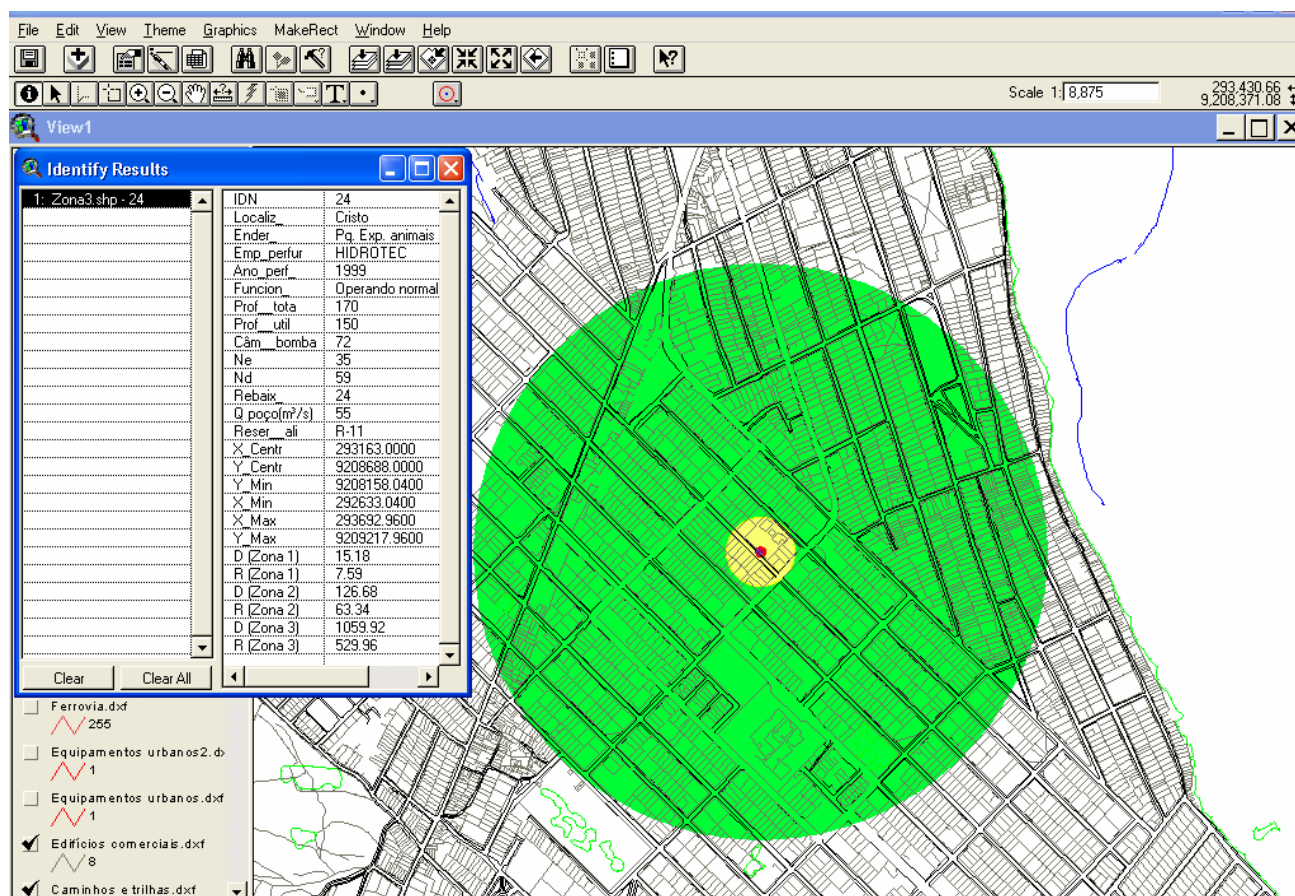


Figura 5 - Zonas de proteção e características dos poços

7.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurou-se apresentar uma síntese de aspectos úteis ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos subterrâneos objetivando protegê-los das principais ameaças de poluição que potencialmente os possam afetar, referindo-se ao meio urbano. Nesse contexto apresentam-se os conceitos principais sobre perímetros de proteção de captações para o abastecimento público.

Sendo as águas subterrâneas um recurso estratégico, merecedor de proteção contra agentes nocivos e ações prejudiciais, recomenda-se que a adoção de estratégias que evitem a chegada de contaminantes aos aquíferos são mais apropriadas. Instituir o controle das atividades nas áreas de recarga e na captação através do estabelecimento de zonas de proteção especial em torno dos poços tubulares para abastecimento urbano torna-se extremamente vantajoso, uma vez que, o custo ligado a remediação de águas contaminadas dos aquíferos é uma tarefa bastante onerosa

A informação georeferenciada produzida no âmbito do projeto dos perímetros de proteção das captações de água subterrânea para o abastecimento público consiste numa aplicação que permite gerir a informação temática com o objetivo de facilitar a gestão das águas subterrâneas por parte da administração regional competente. O trabalho desenvolvido permite a introdução e validação de informação, otimizar a preparação dos trabalhos de campo, futuras análises espaciais, cruzamento de informação, reajuste das áreas territorialmente delimitadas e melhorar a qualidade dos resultados produzidos, entre outras que no futuro se julgue necessárias.

O Brasil não conta ainda com rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas consolidada. Com isso, uma lacuna de informações a respeito da qualidade dos mananciais subterrâneos fica evidenciada. As poucas fontes de informação sobre este tema, apresentam geralmente, caráter pontual e correspondem aos trabalhos desenvolvidos nas universidades e alguns elaborados pelas secretarias estaduais ou órgãos federais como o DNOCS e CPRH. De forma semelhante, os dados sobre as características dos aquíferos referidos neste trabalho também são bastante escassos apresentando às vezes entre os poucos autores que informam a este respeito, valores discrepantes.

A análise da legislação brasileira, feita por Barbosa (2007), indicou ausência de normas legais a nível federal para as águas subterrâneas. Com relação às legislações estaduais, apenas cinco Estados (São Paulo, Pernambuco, Distrito Federal, Mato Grosso e Rio Grande do Sul) contam com leis ou decretos sobre perímetros de proteção sanitária de poços de captação. Assim, utilizou-se como referencial teórico e legal a legislação portuguesa expressas no Decreto-Lei nº 282/99 de 22 de setembro de 1999.

A proteção e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, incluindo a prevenção da ocorrência de possíveis fenômenos futuros de poluição, devem basear-se no planejamento dos recursos disponíveis, atendendo a aspectos básicos como a caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição, a definição de perímetros de proteção das captações e a salvaguarda das áreas de recarga.

O estabelecimento de zonas de proteção das águas subterrâneas constitui uma importante forma de intervenção e ordenamento territorial, de forma que se condicionam direta ou indiretamente as atividades inerentes ao meio urbano, industriais, agrícolas, florestais, de transporte. Evidentemente, a sua fixação é dependente da participação dos organismos competentes, comprometidos com a gestão da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa CTHIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos, concedida à primeira autora.

BIBLIOGRAFIA

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2003). *Minimização das Conseqüências da Seca no Nordeste*. Disponível em: < http://www.abas.org/downloads/SEDE_ZERO.PDF>. Acesso em: 27/04/2006.

ACQUATOOL CONSULTORIA (2002). Relatório Final. *Avaliação das Potencialidades, Disponibilidades e Condições de Exploração das águas subterrâneas da região da Grande João Pessoa*. Projeto da Usina termoeletrica movida a gás natural na cidade de João Pessoa.

BARBOSA, L. K. L. (2007). *Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: O caso da cidade de João Pessoa - PB*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana. João Pessoa, Estado da Paraíba. 95p.

BARBOSA, J.A.; SOUZA, E.M. de; LIMA FILHO, M.F.; NEUMANN, V.H. (2003). *A Estratigrafia da Bacia Paraíba: Uma Reconsideração*. Estudos Geológicos. Recife. Vol 13, pp. 89-108.

BARROS, H.D. de. (2001). *As Fontes de Água Mineral da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame: Aspectos Legais, Geológicos e Ambientais*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. João Pessoa, Estado da Paraíba, 2001.

- CABRAL, J.J.S.P.; LOBO FERREIRA, J.P.C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; COSTA, W.D. (2004). *Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade Aproveitamento. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos*. Vol 4, Cap 8, pp. 323 – 363. Recife.
- CAGEPA – Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (1999). *Relatório Final – Preliminar do Programa de Recuperação e Perfuração de Poços*. João Pessoa.
- CIABATTI, P.; LOBO FERREIRA, J.P.C. (1994). *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal. Análise da Legislação sobre Zoneamento de Proteção de Captações de Águas Subterrâneas*. Aplicação a Dois Casos de Estudo Portugueses. Lisboa, LNEC, Relatório 247/94 – GIAS.
- COSTA, W.D.; COSTA, W.D. (1997). *A água em Revista. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas na Região Nordeste do Brasil*. Ano V. Nº 9, novembro.
- SUDENE/OESA/CONESP – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Organização e Engenharia S.A. Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações. (1976). *Estudos de Reconhecimentos e Estudos Hidrogeológicos para aproveitamento Integrado*. Região Centro-Leste da Bacia Potiguar e Bacias Costeiras da Paraíba e Pernambuco. Área A. Minuta do Relatório Final. Vol 3.
- CONGRESSO AMERICANO (1974). Lei Pública 93-523 "Safe Drinking Water Act" (SDWA).1998.
- ESPINDOLA, J.C. (2004). *Caracterização Bacteriológica e Físicoquímica das Águas do Aquífero Freático do Cemitério da Várzea - Recife*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Geociências. Recife, Estado de Pernambuco, 2004.
- FEITOSA, F.A.C.; FILHO, J.M. (1997). *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Serviço Geológico do Brasil – SPRM. Fortaleza, Ceará.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005). *Anuário Estatístico do Brasil*.
- KRIJGSMAN; LOBO FERREIRA, J.P.C. (2001). *A Methodology for Delineating Wellhead Protection Areas*. Lisboa, LNEC, Informação Técnica de Hidráulica, INCH 7, ISBN 972-49-1882-3.
- LIRA, G.A.R.; SILVA, A.C.S.; SILVA, T.C. (2002). *Potencialidades e Disponibilidades de Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Gramame*. In anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, Alagoas, dezembro. 2002.
- LIRA, G.A.R. (2005). *Elaboração de um Sistema de Informações Baseado nas Características dos Poços da CAGEPA - Regional Litoral*. João Pessoa. Dissertação de Mestrado apresentada à

Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana. João Pessoa, Estado da Paraíba, 2005.

LOBO, J.P.F; LEITÃO, T.E.; OLIVEIRA, M.M.; MOINANTE, M.J. (2003). *Poluição de Águas Subterrâneas: Principais Problemas, Processos de Prevenção e Reabilitação*. In anais do VI SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cabo Verde, Portugal, 10 - 3 de novembro. 2003.

LUMMERTZ F.B. (1977). *Aspectos de Hidráulica Subterrânea na Área da Grande João Pessoa (PB)*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Geociências. Recife, Estado de Pernambuco, 1977.

MORAES, L.R.S.; TORRES, L.F.; DIAS, G.S. (1995). *Recursos hídricos, saneamento e saúde. Planejamento Ambiental para Salvador*. Documentos Preliminares. Prefeitura Municipal de Salvador. pp. 139-226.

PORTUGAL (1999). Ministério do Ambiente. Decreto-Lei nº 382/99, de 22 de Setembro de 1999. Lisboa, Portugal. Disponível em: <<http://www.diramb.gov.pt>>. Acesso em: 18/05/2006.

REBOUÇAS, A.C. (1996). *Água Subterrânea no Novo Modelo do Saneamento Básico*. Instituto de Estudos Avançados – USP. Hidro Ambiente Projetos, Consultoria e Serviços Ltda.

SCIENTEC/SEPLAN (1997). *Plano Diretor de Recursos Hídricos no Estado da Paraíba*. Diagnóstico, Inventário Hidrológico Básico do Nordeste. João Pessoa – PB.

SCIENTEC (2000). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*. João Pessoa, Vol 1, Cap 3.

SILVA, T.C. da; PEDROSA FILHO, L. de A.; SILVA, A.C.S. (2001). *Avaliação e Espacialização das Características dos Poços do Município de João Pessoa – Paraíba*. In anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe, novembro. 2001.