



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO -

**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**

Laise Kelley Lemos Barbosa

***Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Mestre***

***João Pessoa - Paraíba
Fevereiro – 2007***



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO -

**ZONEAMENTO DE AQÜÍFEROS ATRAVÉS DA DELIMITAÇÃO DE
PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DE ÁGUA: O CASO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

MESTRANDA: Laise Kelley Lemos Barbosa

João Pessoa - Paraíba
Fevereiro – 2007

B238z	Barbosa, Laise Kelley Lemos. Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa / Laise Kelley Lemos Barbosa - João Pessoa, UFPB, 2007. 101f. il.: Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Centro de Tecnologia/Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Inclui bibliografia. 1. Uso de águas subterrâneas. 2. Proteção de aquíferos. 3. Poços. 4. Perímetros de proteção. I. Título CDU 62:711 (043)
UFPB/BC	

LAISE KELLEY LEMOS BARBOSA

**ZONEAMENTO DE AQÜÍFEROS ATRAVÉS DA DELIMITAÇÃO DE
PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE
ÁGUA: O CASO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**

APROVADA EM: / /

BANCA EXAMINADORA:

**PROF. DR. TARCISO CABRAL DA SILVA - UFPB
(ORIENTADOR)**

**PROF. DRA CARMEM LÚCIA MOREIRA GADELHA - UFPB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PROF. DR. LAUDELINO DE ARAÚJO PEDROSA FILHO - UFPB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PROF. DR. AUGUSTO FRANCISCO DA SILVA NETO - CEFET
(EXAMINADOR EXTERNO)**

*A meu esposo, Francisco,
Aos meus pais, Josivaldo e Vera e
Ao meu irmão, Josiverton,
Pelo incentivo, carinho compreensão.
E por contribuírem acima de tudo,
Para o meu crescimento pessoal, profissional e científico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por permitir à conclusão deste trabalho de dissertação.

Aos meus pais Josivaldo e Vera por me ensinarem os valores da vida, incentivando-me e concedendo-me a oportunidade de estudar, pelo amor sempre incondicional.

Ao meu querido esposo Francisco pelo apoio, segurança e amor que me tem dedicado sempre, pelas horas de ensinamentos e dedicação nestes anos de convivência.

Ao meu irmão Josiverton que sempre me trouxe alegria e ânimo nos momentos de preocupação.

Ao meu orientador Professor Tarciso Cabral da Silva, pelos anos de convivência e pela sua infinita paciência, por sua dedicação e ensinamentos, não apenas como um mestre, mas como um grande amigo.

Ao Professor Celso Augusto Guimarães, coordenador deste curso, pelas gentilezas, sugestões e colaborações nesta pesquisa.

Ao Engenheiro Gustavo Lira pelas importantes informações que muito auxiliaram na elaboração deste trabalho.

Ao Professor Laudelino Pedrosa Filho pela contribuição e pela atenção sempre disponível.

A Professora Maria João Moinante pela imensa contribuição na elaboração deste trabalho.

Ao Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental - LARHENA, pelo apoio acadêmico que recebi, pelos conhecimentos adquiridos e, principalmente, pela dedicação demonstrada pelos professores deste laboratório e pela disponibilização de equipamentos e material para a realização da pesquisa.

Aos amigos do LARHENA Alana Rodrigues, Nayra Vicente, Valéria Diniz dos Santos, Isabelly Cícera, Wamberto Junior, Louvania Werlang, Maurício Goldfarb, Joana, Richarde Marques, Leonardo, e a todos que fizeram e fazem parte desta família, pela amizade que pude compartilhar ao longo da minha passagem pelo Laboratório.

A todos os colegas do mestrado, pela companhia nos momentos difíceis e pelas boas conversas.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, pelos conhecimentos técnicos e científicos transmitidos.

À Universidade Federal da Paraíba, ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao CTHIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos pela bolsa concedida que possibilitou a realização deste trabalho.

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. A delimitação de zonas de proteção de poços se faz importante para ressaltar os sistemas de abastecimento d' água. Trata-se de uma das formas mais eficazes de proteger a captação de água subterrânea restringindo o uso dos terrenos circunvizinhos. Este trabalho tem como objetivo principal realizar a delimitação de perímetros de proteção dos aquíferos contribuintes, 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 N°. 282/99. Os perímetros foram delimitados utilizando uma metodologia de base analítica denominada Raio Fixo Calculado, citada na referida legislação. Para melhor apresentação dos resultados, foi elaborado um SIG (Sistema de Informações Geográficas) contendo todas as características dos poços em estudo, bem como as zonas de proteção estabelecidas.

PALAVRAS-CHAVE: uso de águas subterrâneas, proteção de aquíferos, poços, perímetros de proteção.

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 of zones of protection of wells is important to protect the systems of water supplying. The delimitation is one of the most efficient ways to protect the groundwater restricting the use of surrounding lands. In this work, 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 method Calculated Fixed Ray, this, cited in the portuguese legislation. For better presentation of the results, a GIS (Geographic Information System) was elaborated including all the characteristics of the wells, as well as the established zones of protection.

KEYWORDS: groundwater use, aquifer protection, wells, protection perimeters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ciclo hidrológico	16
Figura 2.2	Fluxos subterrâneos	17
Figura 2.3	Zona saturada e zona não-saturada do solo	18
Figura 2.4	Distribuição de água no planeta	19
Figura 2.5	Mapa hidrogeológico do Brasil	22
Figura 2.6	Esquema dos tipos de aquíferos	23
Figura 2.7	Desenho esquemático dos tipos de aquíferos	24
Figura 2.8	Províncias hidrogeológicas presentes no nordeste brasileiro	26
Figura 3.1	Aspectos tecnológicos de SIG	32
Figura 3.2	Estrutura geral de um sistema de informações geográficas	34
Figura 4.1	Definição do perímetro de proteção utilizando o método do raio fixo calculado	45
Figura 4.2	Definição do perímetro de proteção utilizando a equação de fluxo uniforme	48
Figura 4.3	Determinação de isócronas - Método de Wyssling	49
Figura 4.4	Países que apresentam legislação específica sobre delimitação de perímetros de proteção	60
Figura 5.1	Localização do município de João Pessoa	62
Figura 5.2	Desenho esquemático das zonas de proteção no entorno dos poços	67
Figura 6.1	Delimitação dos perímetros de proteção para os poços públicos da zona urbana do município de João Pessoa	73
Figura 6.2	Temas de identificação do município de João Pessoa	74
Figura 6.3	Planilhas vinculadas das características dos poços	75
Figura 6.4	Utilização da extensão Make Rectangles, Circles, Ovals 4.0	76
Figura 6.5	Janela de vinculação de dados – Tabelas	76
Figura 6.6	Zonas de proteção – tema recursos hídricos ativado	77
Figura 6.7	Janela com delimitação dos perímetros e características dos poços	77

Figura 6.8	Zonas de proteção e características dos poços	78
Figura 6.9	Quadro de características dos poços	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Valores dos coeficientes característicos do Aquífero Beberibe	27
Quadro 4.1	Perímetros de proteção estabelecidos pelos estados brasileiros	57
Quadro 5.1	Localização dos poços utilizados para abastecimento público de João Pessoa	65
Quadro 5.2	Características técnicas dos poços utilizados	66
Quadro 5.3	Atividades restringidas ou proibidas conforme zona delimitada.	68
Quadro 5.4	Valores de r estipulados no Decreto-Lei 382/99, de acordo com o tipo de aquífero	69
Quadro 6.1	Cálculo dos perímetros para as zonas de proteção dos poços públicos	71

LISTA DE SIGLAS

ABAS	- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	- Agência Nacional de Águas
CAGEPA	- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CNRH	- Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONESP	- Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações
CPRH	- Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
CPRM	- Serviço Geológico do Brasil
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
DRM	- Departamento de Recursos Minerais
EPA	- Environmental Protection Agency
ETA	- Estação de Tratamento de Água
FUNASA	- Fundação Nacional da Saúde
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISA/JPI	- Indicador de Salubridade Ambiental
ITGE	- Instituto Tecnológico Geominero de Espana

OECD	- Organization For Economic Cooperation and Development
PBGAS	- Companhia Paraibana de Gás
PPP	- Perímetro de Proteção de Poços
PRPP	- Programa de Recuperação e Perfuração de Poços
SADE	- Sistema de Apoio à Decisão Espacial
SCIENTEC	- Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia
SDWA	- Safe Drinking Water Act
SEINPE	- Secretaria de Estado de Energia da Indústria Naval e do Petróleo
SEMADS	- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEPLAN	- Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SIPOLI	- Sistema de Informações dos Poços da Regional Litoral
SUDENE	- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
WHPP	- Wellhead Protection Program

SUMÁRIO

Resumo	i
Abstract	ii
Lista de figuras	iii
Lista de quadros	iv
Lista de siglas	iv
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	08
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.1 Objetivos Específicos	14
1.3 Estrutura Geral da Dissertação	15
Capítulo 2 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	16
2.1 O Ciclo Hidrológico e as Águas Subterrâneas	16
2.2 Importância das Águas Subterrâneas	18
2.3 Províncias Hidrogeológicas Brasileiras	21
2.4 Hidrologia Subterrânea	22
2.5 A Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco	25
2.6 Captação das Águas Subterrâneas	28
Capítulo 3 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	30
3.1 Sistema de Informações Geográficas - SIG	30
3.2 Informações Geográficas	32
3.3 Estrutura Geral de um SIG	33
3.4 Utilização de Sistemas de Informações	34
Capítulo 4 - DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	37
4.1 Generalidades	37
4.2 Metodologias para delimitação de Perímetros de Proteção	40
4.2.1 Raio Fixo Arbitrário	42
4.2.2 Métodos Analíticos	42
4.2.3 Lei de Darcy	43
4.2.4 Raio Fixo Calculado	44
4.2.5 Equação do Fluxo Uniforme.....	47

4.2.6 Método de Wussling (Gradiente Hidráulico Inclinado)	48
4.2.7 Método de Krijgman e Lobo Ferreira	50
4.2.8 Métodos Numéricos	51
4.3 Aspectos Legais das Águas Subterrâneas	53
4.3.1 Legislação Nacional	53
4.3.2 Legislação Internacional	58
Capítulo 5 - ESTUDO DE CASO	61
5.1 Caracterização da Área de Estudo	61
5.2 Coleta e Organização da Base de Dados	63
5.3 Metodologia Utilizada	64
5.4 Elaboração dos Mapas	69
Capítulo 6 - RESULTADOS	71
6.1 Resultados e Discussão	71
Capítulo 7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	79
7.1 Conclusões	79
7.2 Conclusões e Sugestões	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	88

CAPÍTULO 1

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 rara também sua escassez, tanto pela ocorrência de períodos prolongados de seca como pela carga poluidora a que é submetida.

A importância da água subterrânea pode ser avaliada a partir de suas reservas em relação às das águas superficiais. Estima-se que, de toda a água existente no mundo, os oceanos e mares representam 97,5%, ficando 2,5%, para toda a água doce existente na terra. Deste último total, 0,36% são as águas superficiais, 0,04% estão na atmosfera, 22,4% representa águas subterrâneas e 77,2% as geleiras e calotas polares. Isto é, a água subterrânea representa 98,0% de toda água doce disponível na Terra (DRM/RJ, 2003).

O Brasil é um dos países mais ricos do mundo em termos de água doce, possuindo uma descarga média de 197.500 m³/s, correspondendo a aproximadamente 59% da produção de água doce do continente Sul Americano (334.000 m³/s) e 13% do total mundial (1.488.000 m³/s) (COSTA, 2006).

As águas subterrâneas constituem a parcela do ciclo hidrológico que circula "escondida" no subsolo da terra, sendo toda aquela água de sub-superfície que se move sob o efeito da força gravitacional preenchendo os espaços vazios entre os grãos minerais e as fraturas das rochas.

Atualmente grande parte dos países utiliza o manancial subterrâneo para suprir suas demandas de água, seja no atendimento total suplementar do abastecimento público ou em atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria, entre outras.

Os sistemas de abastecimento de água na Europa são supridos por 75% da água subterrânea para atendimento da população. Em países como a Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria, este percentual é acrescido para 90%. Os mananciais subterrâneos abastecem 100% dos núcleos urbanos da Argélia, 58% do Irã e 50% nos Estados Unidos. No Brasil, estima-se que 50% das cidades recebem contribuição das águas subterrâneas. O Estado

de São Paulo é o maior usuário nacional, com 70% das cidades e, 90% das indústrias (FUNASA, 2004).

O uso da água para abastecimento humano é uma das funções mais nobre a que ela 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. O número de pesquisas publicadas ligadas a qualidade da água subterrânea apresentam geralmente caráter pontual.

Assim, mesmo em locais de clima e geologia favoráveis ao acúmulo de água superficial, como na região Sul e Sudeste do Brasil, a importância da água subterrânea é destacada em períodos críticos de secas, quando esses recursos superficiais não conseguem atender parcial ou totalmente a demanda em termos quantitativos e qualitativos.

Em algumas cidades do Nordeste, 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.

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 hídricos subterrâneos.

Um dos aspectos notáveis da captação de águas subterrâneas através de poços é a possibilidade de instalação muito próxima do ponto ou centro de consumo. Além disso, a desocupação dos espaços úteis na superfície, a filtração e a purificação natural das águas dispensando tratamentos prévios, a possibilidade de temperatura sempre constante, a maior quantidade de reservas, a capacidade de grande proteção contra agentes poluidores, a baixa variabilidade temporal de seus níveis, e o relativo curto tempo para implantação de poços de

captação, conferem às águas subterrâneas o caráter estratégico para o gerenciamento de recursos hídricos, no que se refere à disponibilidade hídrica (MORAES & TORRES, 1995).

Desta forma, para as cidades, principalmente as inseridas em regiões onde as variações climáticas, como as estiagens prolongadas e a poluição dos mananciais de superfície são ameaças presentes, as águas subterrâneas representam uma significativa fonte de água potável. Contudo, essas águas vêm sendo utilizadas nos últimos anos, muitas vezes de forma indiscriminada pela população, e sem o devido controle e planejamento por parte dos órgãos competentes.

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.

As águas subterrâneas encontram-se naturalmente melhor protegidas do que as superficiais. No entanto, ocorrendo problemas de poluição, a recuperação ao estado anterior é bastante difícil. Assim, surge a necessidade de assegurar a proteção, restringindo os usos inadequados que possam comprometer os aquíferos, salvaguardando a qualidade de suas águas.

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 delimitação 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 tornam mais vulneráveis, uma vez que este meio é obviamente propenso a poluição do subsolo, além do que, restrições ao uso do solo a serem aplicadas nas áreas de proteção das captações são dificultadas.

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.

Nesta pesquisa, são relatados os trabalhos realizados no sentido de delimitar 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.

As crescentes necessidades de água, a limitação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos superficiais e os conflitos de usos exigem que tanto o planejamento como o gerenciamento da utilização e do domínio da água se faça em termos racionais e otimizados, devendo ser integrados na política de desenvolvimento econômico-social da região. Por sua vez, o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos devem ser associados com a avaliação dos impactos quanto aos aspectos ambientais, hidrológicos e sócio-econômicos, de forma a direcionar os diversos projetos de exploração desses recursos hídricos para demandas crescentes de água (NOBRE et al., 2002).

A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços são geralmente os principais fatores determinantes na exploração dos aquíferos. Contudo, em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que podem contaminar os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento dos recursos hídricos no país.

Em virtude das secas que ocorrem na região Nordeste do Brasil, afetando os sistemas de abastecimento d'água supridos por mananciais de superfície nas capitais dos Estados, a exploração dos recursos subterrâneos com a implantação de novos poços tem aumentado consideravelmente. Entretanto, verifica-se ainda hoje, por parte dos órgãos responsáveis, deficiências na gestão de recursos hídricos, uma vez que, os dados cadastrais de poços, os estudos hidrogeológicos nos aquíferos, o conhecimento dos níveis potenciométricos, entre outras necessidades não são ainda satisfatórios para subsidiar a gestão eficiente das águas subterrâneas (SILVA et al., 2001).

Registre-se ainda como agravante a ausência de legislação específica de águas subterrâneas na grande maioria dos estados brasileiros, bem como a escassez de estudos sobre os aquíferos regionais a despeito da importância que estes representam para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de forma integrada.

Os projetos de proteção de poços são essenciais para a otimização de sistemas de abastecimento d'água urbanos e também para programas de prevenção de contaminação de mananciais de sub-superfícies.

A fim de garantir uma melhor eficiência na exploração dos recursos hídricos subterrâneos faz-se necessário, inicialmente, o estabelecimento da proteção adequada especificada através de um planejamento setorial e do monitoramento do uso do solo nas suas áreas de influência.

Assim, o estabelecimento de programas de zoneamento para a proteção de aquíferos contribuintes aos poços de exploração trata-se de importante providência como forma de regulamentar a construção de poços em locais mais susceptíveis à contaminação dos mananciais subterrâneos. Desta forma, a implantação de diversos estabelecimentos que possam contribuir com potenciais riscos de poluição ao aquífero, como por exemplo, indústrias, postos de gasolina, cemitérios, aterros sanitários, entre outros, deve ser alvo da regulamentação já que torna-se crucial para a saúde pública o planejamento específico relacionado à proteção das fontes subterrâneas.

Portanto, o conhecimento das áreas de influência, do monitoramento do uso do solo e da qualidade da água é imprescindível, principalmente para locais próximos ou no interior de áreas urbanas onde há concentração populacional considerável. Nestas condições a captação de grandes volumes de água subterrânea pode ocasionar danos ao aquífero contribuinte, como os rebaixamentos excessivos, intrusão de águas salobras em zonas costeiras, problemas de contaminação e outras questões associadas.

No caso da cidade de João Pessoa, assim como na grande maioria das cidades brasileiras, inexistem programas de proteção de águas subterrâneas a partir do estabelecimento de zonas de restrições de uso do solo, apesar de a CAGEPA contar com 30 poços para abastecimento público na sua zona urbana.

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar metodologias de delimitação de perímetros de proteção de poços de uso público em zona urbana, e fazer aplicação do método analítico do raio fixo calculado no município de João Pessoa, no estado da Paraíba, de modo a subsidiar políticas de zoneamento e proteção do aquífero confinado contribuinte.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar a base legal a nível federal e estadual sobre proteção de aquíferos e poços;
- Inventariar os dados referentes às características e a localização dos poços existentes na cidade de João Pessoa de uso para o abastecimento público de água;
- Apresentar metodologias de delimitação de perímetros de proteção de poços;
- Definir as áreas de proteção máxima, áreas de restrição de controle e áreas de proteção dos poços, seguindo a metodologia escolhida;
- Elaborar mapas constituídos dos limites e áreas permissíveis de ocupação do solo nas zonas de proteção para os poços de uso público;
- Gerar um banco de dados e elaborar um Sistema de Informações Geográficas (SIG), contendo todas as informações observadas e coletadas para apresentação dos resultados.

1.3 Estrutura Geral da Dissertação

O Capítulo 1 trata da introdução onde são abordados, de forma geral, o tema águas subterrâneas e os conceitos básicos de perímetros de proteção de poços de uso público, além da justificativa, objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica do principal tema abordado nesta dissertação: águas subterrâneas, sua ocorrência, importância, hidrologia, províncias hidrogeológicas brasileiras e tipos de captações.

O Capítulo 3 traz os principais conceitos sobre Sistema de Informações Geográficas. São abordados aspectos gerais sobre este tema. Serão mostradas as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, mais especificamente sobre a elaboração dos mapas temáticos, através da utilização de um programa de SIG.

O Capítulo 4 aborda as metodologias existentes para delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas. São feitas referências a respeito da legislação vigente sobre o tema águas subterrâneas, compreendendo o âmbito nacional e internacional.

O Capítulo 5 apresenta características da área do estudo de caso e a aplicação das metodologias escolhidas.

O Capítulo 6 apresenta os resultados da aplicação das metodologias através da elaboração de mapas temáticos constituídos da Delimitação das Áreas destinadas a Proteção dos Poços situados no perímetro urbano do município de João Pessoa.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões e recomendações do trabalho.

CAPÍTULO 2

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.1 O Ciclo Hidrológico e as Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas são águas armazenadas nas rochas e/ou depósitos sedimentares que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, sob condições naturais, numa situação de equilíbrio governada por um mecanismo de recarga e descarga (MANOEL FILHO, 2000).

As fontes subterrâneas são componentes importantes do processo mais natural de reciclagem, o ciclo hidrológico (Figura 2.1). O ciclo hidrológico compreende o movimento contínuo da água entre a terra e a atmosfera através de processos de evaporação da superfície da água e do solo, além da transpiração das plantas e a precipitação. Esta água é infiltrada no subsolo, e está presente nos espaços intergranulares dos solos ou nas fraturas das rochas (EPA, 1990).

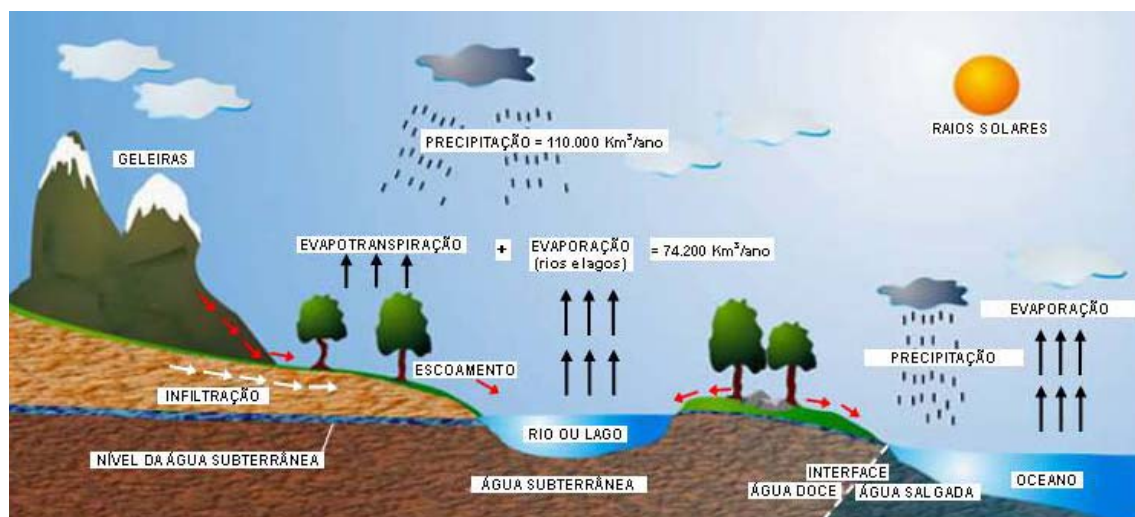


Figura 2.1 - Ciclo hidrológico (adaptado de ABAS, 2003)

O caminho subterrâneo das águas é o mais lento de todos. Por outro lado, a água de uma chuva que não se infiltrou levará poucos dias para percorrer muitos e muitos quilômetros (Figura 2.2). Já a água subterrânea poderá levar dias para percorrer poucos

metros. Havendo oportunidade esta água poderá voltar à superfície, através das fontes, indo se somar às águas superficiais, ou então, voltar a se infiltrar novamente (ANA, 2002).

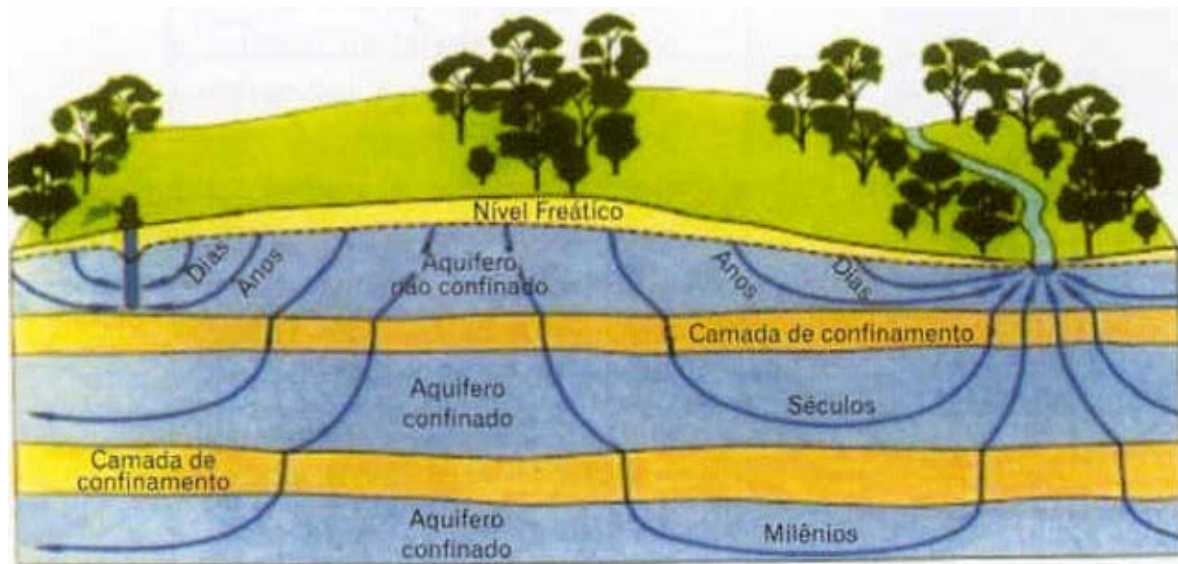


Figura 2.2 - Fluxos subterrâneos (Fonte: MILLON, 2004)

As águas dos mares, rios e lagos evaporam-se e formam nuvens por efeito da radiação solar. Estas águas, ao se depararem com correntes frias de ar ou baixas pressões atmosféricas, condensam e precipitam sob forma de chuvas, granizo ou neve. Da parcela precipitada, uma porção evapora antes de atingir o solo ou é interceptada pelas folhas dos vegetais e a outra parte infiltra-se no subsolo originando os reservatórios naturais de águas subterrâneas. A água dos lagos, rios e mares ou emergente à superfície são remanescentes da precipitação e do escoamento. Estas águas evaporam-se outra vez e assim o ciclo é reiniciado (SEMADS/SEINPE, 2003).

Quando a água se infiltra no solo, avança verticalmente por gravidade através dos poros (vazios) existentes entre os grãos até chegar ao reservatório subterrâneo. Estes se encontram conectados entre si através de pequenos canais onde a água é armazenada circulando muito lentamente. A zona de solo localizada acima do reservatório subterrâneo é chamada *zona não saturada*, e é constituída de água e ar (Figura 2.3). Já a camada abaixo do nível da água subterrânea (superfície freática) apresenta seus poros preenchidos por água e é conhecida como *zona saturada* (ALBERT et al., 2005).

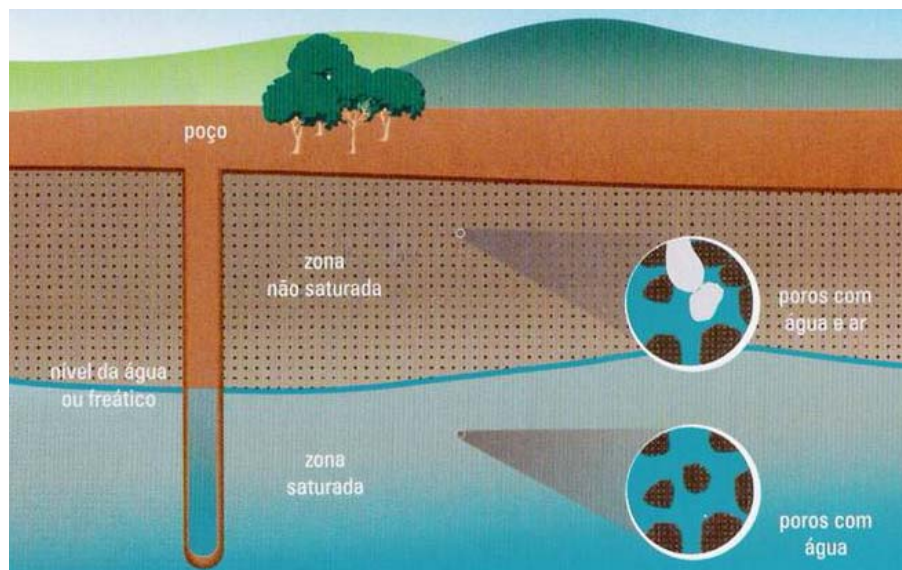


Figura 2.3 - Zona saturada e zona não-saturada do solo (Fonte: GOUVÊA DA SILVA, 2004)

No contexto geral do ciclo hidrológico, a água sofre alterações de qualidade devido a vários fatores, entre eles os relacionados com atividades antrópicas. Esses fatores, também alteram direta ou indiretamente as partes componentes do ciclo hidrológico. Assim o uso e a ocupação do solo e a impermeabilização em áreas urbanas, podem ocasionar a diminuição da infiltração e conseqüentemente a recarga aos aquíferos. Já o desmatamento junto a nascentes de água e a redução de matas ciliares junto às áreas de drenagem superficial, influenciam na evapotranspiração. A contaminação de rios, córregos e lagoas por efluentes de origem doméstica, industrial e agrícola influenciam todo o ciclo hidrológico (MILLON, 2004).

2.2 Importância das Águas Subterrâneas

As relações entre o homem e o meio têm provocado profundas transformações e graves desequilíbrios ao planeta, acarretando a destruição do patrimônio natural e o esgotamento de reservas.

O homem sempre teve a idéia de que os recursos naturais são inesgotáveis por apresentarem-se de forma abundante no meio, passando a utilizá-los irracionalmente e, quase sem nenhum controle. Essa falsa sensação de inesgotabilidade da água cai por terra quando se toma consciência de que, nem toda a água do planeta pode ser aproveitada para o consumo humano. Daí a necessidade imperiosa de preservação deste recurso natural. Neste caso a

preservação das águas subterrâneas, assume grande importância, não só porque representa uma das maiores porcentagens das águas doces de fácil acesso, mas também porque a sua descontaminação seria economicamente inviável e tecnicamente complexa.

Aproximadamente 3/4 da superfície da Terra é coberta por água. A água é uma substância essencial para manutenção dos seres vivos, sendo reconhecida pela ciência como o ambiente em que surgiu a própria vida. Configura a contínua circulação entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, resultando na renovação constante da água doce, há pelo menos 3,8 bilhões de anos. Pela Figura 2.4, observa-se que 97,5% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,5% restante, sendo que a maior parte está situada nas calotas polares e geleiras (1,93%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,57%), mais de 98% é constituída pelas águas subterrâneas (DRM/RJ, 2003).

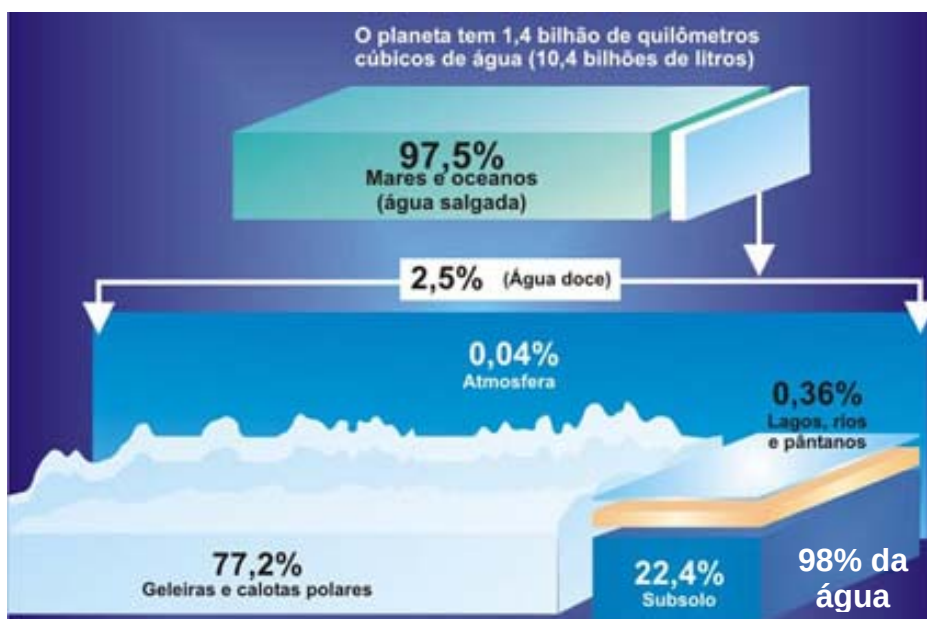


Figura 2.4 - Distribuição de água no planeta (Disponível em: www.geografiaparatodos.com.br)

A disponibilidade superficial de água doce tende a diminuir na medida em que a degradação de sua qualidade aumenta em função de ocupações antrópicas inadequadas nas bacias hidrográficas influentes, explorações excessivas e disposição no ambiente de efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais sem o devido tratamento.

A água subterrânea vem assumindo um papel de grande relevância como fonte de abastecimento. Trata-se de uma alternativa reconhecidamente viável aos usuários, tendo apresentado uso crescente nos últimos anos, face a uma série de fatores que restringem a

utilização das águas superficiais, tais como o crescente aumento dos custos da sua captação, adução e tratamento, além dos problemas de poluição e contaminação.

O desenvolvimento tecnológico também tem contribuído para o maior aproveitamento das águas subterrâneas, uma vez que promove uma melhoria na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil.

As águas subterrâneas, quando captadas de forma adequada, seu tratamento é simplificado, sendo geralmente os custos de clarificação, tratamento ou purificação, processos de filtração e biogeoquímicos de depuração do subsolo anulados (DRM, 2003). Normalmente, uma simples cloração é suficiente para garantir água em condições apropriadas para o consumo humano.

Na União Européia 75% dos sistemas públicos de abastecimento d'água utilizam água subterrânea, sendo que em alguns países como Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria esse percentual chega a superar os 90% (OECD, 2000).

Os Estados Unidos perfuram em média 400.000 poços por ano, com os quais garantem a irrigação de 13 milhões de hectares e o suprimento hídrico de 39% dos serviços municipais de água e de 75% da população rural. A exploração de água subterrânea naquele país em 1990 foi de 300 milhões de metros cúbicos (REBOUÇAS, 2002).

A utilização das águas subterrâneas de forma indiscriminada no Brasil resulta provavelmente em falhas consideráveis no que se refere aos dados disponíveis, aos usos e a disponibilidade considerada. Mesmo assim, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2005), aproximadamente 61 % da população brasileira utiliza água subterrânea para fins domésticos, sendo que 6% se auto-abastece das águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos.

São cerca de 300.000 o número de poços tubulares em operação no Brasil, com aproximadamente 10.000 perfurações por ano. Esse número pode ser considerado irrisório diante das necessidades de água potável das populações além de comparado a outros países. Os estados com maior número de poços perfurados são: São Paulo (40.000), Bahia, Rio Grande do Sul, Paraná, Ceará e Piauí (ABAS, 2003).

No Nordeste, para parcelas significativas das populações de várias cidades importantes, como, Maceió em Alagoas, Recife e Olinda em Pernambuco e Natal e Mossoró no Rio Grande do Norte, o abastecimento público é feito através de poços (FEITOSA, 1997).

Em algumas das cidades litorâneas, capitais de maiores concentrações urbanas têm ocorrido problemas com a exploração de águas subterrâneas. São conhecidos os problemas de contaminação por Nitrato em Natal (MELO, 1996), salinização em Maceió (ROCHA et al., 2006) e acentuados rebaixamentos dos níveis potenciométricos em Recife (COSTA, 2004).

Para a cidade de João Pessoa, conforme informações da CAGEPA referentes ao ano de 2003, cerca de 10% do abastecimento público anual fornecido à cidade é proveniente de poços operados pela Companhia, correspondendo a um volume de 5.426.839 m³ de água. No entanto, a disponibilidade hídrica subterrânea, expressa como o total das vazões dos poços da CAGEPA corresponde a 17.067.984 m³/ano, representando aproximadamente 35,4 % do volume demandado anualmente.

2.3 Províncias Hidrogeológicas Brasileiras

As províncias hidrogeológicas são extensões territoriais, definidas por suas características geológicas, principalmente a litológica, tectônica e estrutural. Baseando-se nestas características são identificados 10 (dez) domínios onde as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares e compostas de diferentes sistemas de aquíferos (Figura 2.5). Estes domínios compõem as 10 (dez) províncias hidrogeológicas brasileiras (MILLON, 2004).

Nos domínios de características sedimentares são encontrados dois tipos principais de aquíferos. Os associados aos sedimentos aluviais e dunas, e os relacionados as rochas sedimentares. Nas bacias sedimentares, os depósitos constituem camadas ou corpos rochosos, relativamente extensos e geralmente consolidados. Os aquíferos predominantes nestas áreas são do tipo confinado, os quais são captados normalmente por poços tubulares profundos (entre 30 e 3000 m de profundidade). São encontrados nestas bacias os maiores potenciais de água subterrânea do Brasil, sejam em termos de reservas, ou em termos de recarga (MILLON, 2004).

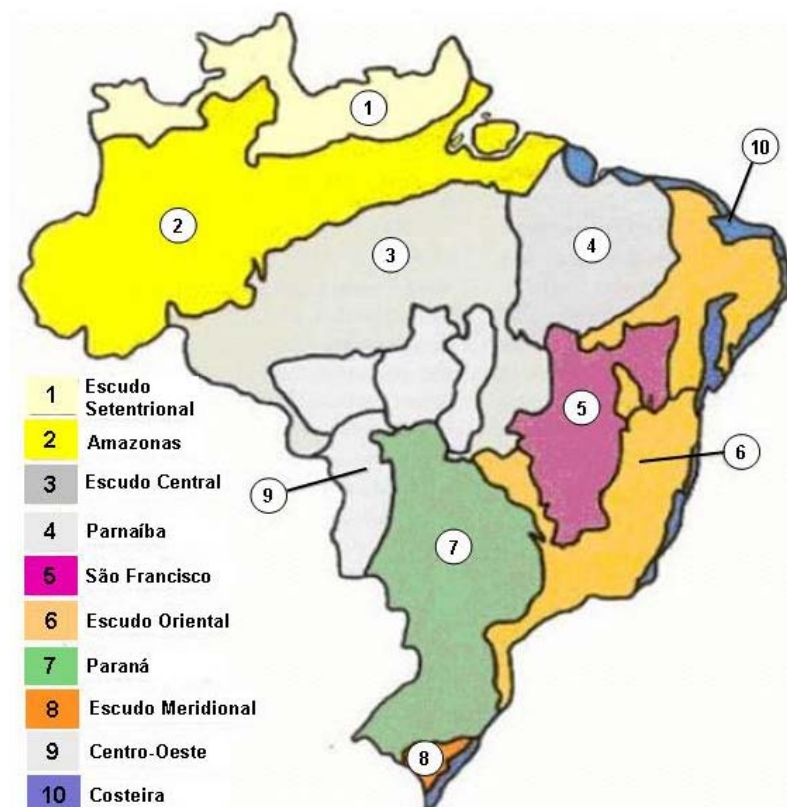


Figura 2.5 - Mapa hidrogeológico do Brasil (adaptado de MILLON, 2004)

2.4 Hidrologia Subterrânea

Embora a parcela de água situada abaixo da superfície da Terra receba a atribuição de subterrânea, apenas a água que circula na zona saturada tem esta denominação, isto é, àquela situada na zona abaixo da superfície freática (Figura 2.3). O nível freático é uma superfície teórica que separa a zona saturada da zona não saturada (zona intermediária) (MANOEL FILHO, 2000).

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas de aquíferos são águas que se acumulam ao longo de milhares de anos e se encontram em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, governado por um mecanismo de recarga (entrada) e descarga (saída). Além dessas águas não se encontrarem diretamente expostas às influências climáticas, o seu movimento é muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo.

Ao infiltrar-se no solo a água está submetida a basicamente duas forças: a da gravidade e a da adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo, chamada de força de capilaridade. A força de adesão é mais forte do que a força da gravidade que age

sobre esta água. Como consequência desta força, a água fica retida, praticamente imóvel, não atingindo zonas mais profundas. Chuvas finas e passageiras fornecem somente água suficiente para repor esta umidade do solo. Porém para que esta água atinja a zona saturada a força capilar deve ser superada (ANA, 2002).

Denomina-se aquífero a uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais (Figura 2.6). As formações permeáveis, como as areias e os arenitos, são exemplos de aquíferos (MANOEL FILHO, 2000). Os aquíferos têm tamanhos variados podendo alcançar alguns quilômetros de extensão até milhares de quilômetros. Como exemplo, tem-se o Aquífero Guarani, que se estende por um milhão, e duzentos mil quilômetros quadrados, ocupando uma área de aproximadamente 18% do território nacional.

Devido a grande utilização das águas subterrâneas para o consumo humano e a agricultura, percebe-se a grande importância deste recurso para a vida humana advindo daí a necessidade de uma gestão planejada e sustentável do seu uso (MILLON, 2004).

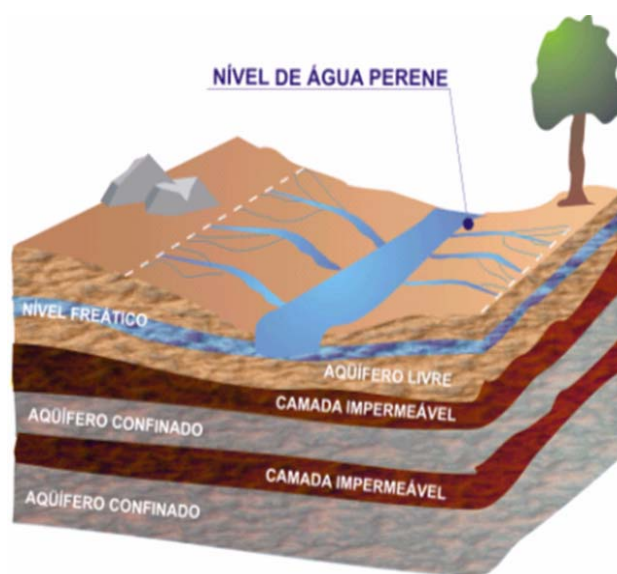


Figura 2.6 - Esquema dos tipos de aquíferos (Fonte: BOSCARDIN BORGHETTI et al., 2004)

Os aquíferos são caracterizados por parâmetros dimensionais como extensão, espessura e geometria os quais são condicionados pela Geologia Estrutural, Estratigrafia e Parâmetros Hidrodinâmicos (transmissividade, armazenamento ou porosidade efetiva), que dependem dos padrões faciológicos, condições de recarga e descarga além de variáveis de

estado que descrevem a situação do reservatório subterrâneo em cada instante (superfície piezométrica, qualidade, condições de exploração etc) (ANA, 2002).

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com as pressões das superfícies limitantes, superior também chamada de topo e inferior conhecida como base. Também podem ser classificados a partir da capacidade de transmissão de água entre estas camadas limitantes como camada confinante superior e camada confinante inferior (FEITOSA, 1997).

Conforme sejam os comportamentos hidrostáticos e hidrodinâmicos, os aquíferos são classificados em livre, confinado e semi-confinado (Figura 2.7). Os aquíferos livres ou freáticos são os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. Sua base é representada por uma rocha ou formação rochosa impermeável e seu limite superior por uma superfície hídrica livre, diretamente em contato com o ar, submetido diretamente a pressão atmosférica, o que os torna mais vulneráveis a problemas de contaminação (FEITOSA, 1997).

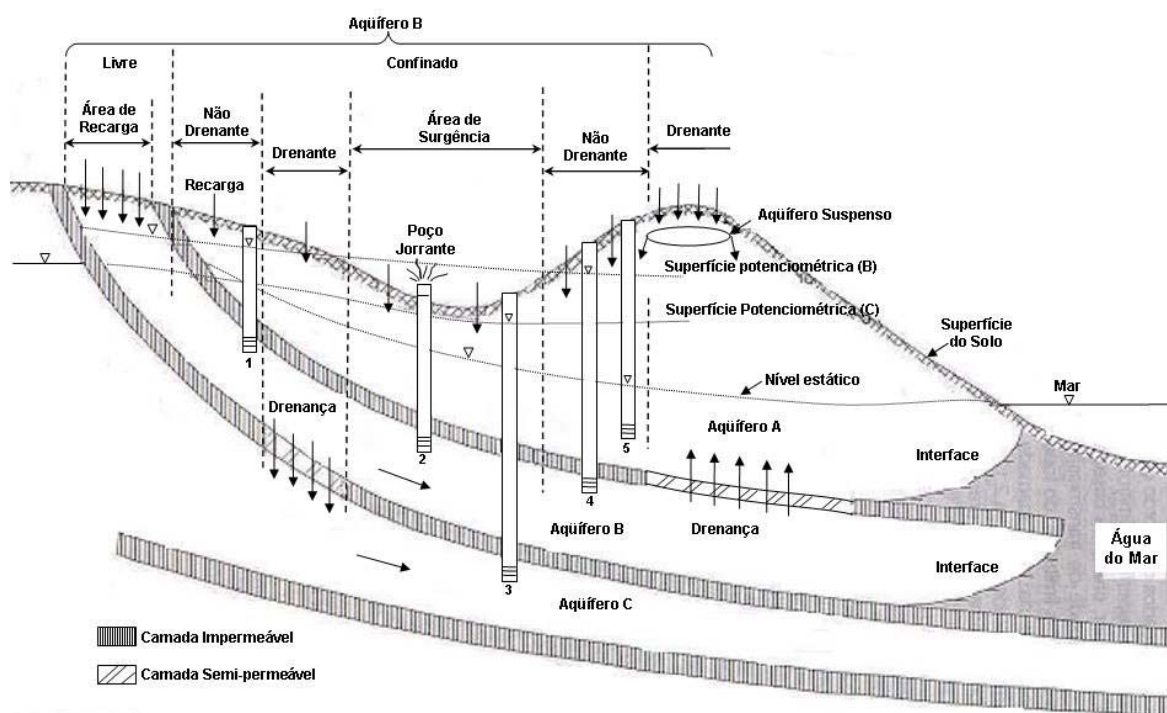


Figura 2.7 - Desenho esquemático dos tipos de aquíferos (adaptado de FEITOSA, 1997)

Os aquíferos confinados ou sob pressão são aqueles que se encontram estacionados sobre uma rocha impermeável, apresentando-se saturados em toda sua espessura com pressão da água no topo, superior a pressão atmosférica. Este tipo de aquífero é representado por dois tipos: confinado não drenante ou confinado drenante.

No aquífero confinado não drenante, também chamado de artesiano, a camada saturada está confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis, de forma que a pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto. Se a pressão for suficientemente forte a água poderá jorrar espontaneamente pela boca do poço. Neste caso, tem-se um poço jorrante. Já o aquífero confinado drenante ao menos uma das camadas limitantes é semipermeável, fazendo com que a entrada e saída da água pelo topo e/ou pela base se faça por drenança.

No aquífero semi-confinado, onde a base e o topo são rochas semi-permeáveis ocorre além do fluxo horizontal da água, também um fluxo vertical (FEITOSA, 1997).

2.5 A Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco

Os terrenos sedimentares conformam a totalidade do município de João Pessoa, representados pelos sedimentos mesocenozóicos do Grupo Paraíba compostos das formações Beberibe e Gramame. São pertencentes à bacia sedimentar costeira denominada Pernambuco-Paraíba, além de exposições terciárias, constituídas do Grupo Barreiras e Quaternárias formadas por aluviões, dunas e sedimentos de praia, tais como recifes e mangues.

A Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba (Figura 2.8) 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 (ACQUATOOL, 2002).

A Bacia Paraíba, parcela da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba, é subdivida, em três sub-bacias: Olinda, Alhandra e Miriri. Nesta bacia, quatro formações são encontradas e 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”.



Figura 2.8 - Províncias hidrogeológicas presentes no nordeste brasileiro (Fonte: ABAS, 2003)

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.

O sistema aquífero Beberibe aflora nos estados de Pernambuco e Paraíba, ocupando uma área aproximada de 318 km². As águas são do tipo mistas sódicas com pontos prováveis de contaminação, decorrentes das altas taxas de concentrações de sais, principalmente, de sódio e de cloreto, e pelos altos valores de condutividade elétrica. A produtividade do aquífero varia de média a elevada. Os poços que captam água desse aquífero possuem uma vazão específica média em torno de 3 m³/h/m e vazões médias de 58 m³/h (COSTA, 1998).

A recarga do sistema aquífero Beberibe ocorre, principalmente, por infiltração da precipitação pluviométrica, na área de afloramento da Formação Beberibe e, secundariamente, por filtração vertical descendente, na porção confinada.

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 praiheiros 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 2.1 – Valores dos coeficientes característicos do Aquífero Beberibe

Autores	Transmissividade (m²/s)	Coefficiente de Armazenamento	Condutividade Hidráulica (m/s)	Porosidade Eficaz
Costa (1998)	1,70 x 10 ⁻³	2,20 x 10 ⁻⁴	3,8 x 10 ⁻⁵	-
Costa apud Espíndola (2004)	2,20 x 10 ⁻³	2,00 x 10 ⁻⁴	2,20 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻¹
Lummertz (1977)	2,09 x 10 ⁻³	1,84 x 10 ⁻²	-	-
SUDENE/CONESP(1976)	1,90 x 10 ⁻³	1,97 x 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 x 10⁻⁴ a 2,58 x 10⁻³ m²/s, sendo o valor médio de

$1,37 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Os valores de permeabilidade variaram de $3,01 \times 10^{-6}$ a $7,86 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, com média de $4,08 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, enquanto que o coeficiente de armazenamento variou de $6,76 \times 10^{-6}$ a $1,3 \times 10^{-3}$, com média de $6,53 \times 10^{-4}$.

No capítulo 13 do livro Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações, Feitosa (1997), faz-se 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 $8,7 \text{ m}^3/\text{h}$, 65 m e $3,16 \text{ m}^3/\text{h/m}$, enquanto que para o Beberibe os valores foram $52,0 \text{ m}^3/\text{h}$, 142 m e $6,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

Segundo Lummertz (1977) os valores médios de vazão específica dos poços tubulares para os aquíferos Barreiras e o Beberibe, respectivamente, foram de $0,56 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e $1,94 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

Algumas áreas de recarga do aquífero Beberibe são bastante vulneráveis à poluição. Esta característica é reflexo, em parte, de sua porção aflorante, onde são constatadas existência de loteamentos não regularizados, moradias sem esgotamento sanitário ou grandes plantações de cana-de-açúcar. Estas atividades geram contaminação difusa, além da instalação de indústrias, postos de gasolina e disposição de resíduos urbanos sem o devido controle hidrogeológico, ou seja, caracterização hidrogeológica da área, poços de observação para água subterrânea, medidas para proteção em caso de alerta, etc (CPRH, 2003).

2.6 Captação das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas tornam-se disponíveis ao uso humano principalmente através da perfuração de poços. Podem também aflorar na forma de fontes quando a superfície do terreno intercepta o lençol freático ou a partir do aquífero confinado através de fraturas que permitem o fluxo ascendente da água.

A perfuração e a forma de construção dos poços são fundamentais para garantir a qualidade da água captada maximizando a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero. Essa questão encontra-se regulamentada através de duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT publicadas em 1990. O projeto de poço para captação

de água subterrânea é regulamentado pela norma ABNT NBR N° 12.212 de 1992, que prevê a elaboração de especificações técnicas de construção, planilha orçamentária e croquis construtivos. O projeto executivo deve seguir as normas técnicas para construção de poços, apresentada na norma ABNT NBR-12.244 de 1990 (MILLON, 2004).

Em função do crescimento da utilização de águas subterrâneas no Brasil, a perfuração de novos poços tem sido acompanhada de construções sem critérios técnicos adequados. A perfuração de poços, feita desta maneira, e as locações inadequadas colocam em risco a qualidade das águas subterrâneas, à medida que cria uma conexão entre águas mais rasas, mais suscetíveis à contaminação, com águas mais profundas e menos vulneráveis.

Entre os principais fatores construtivos dos poços tubulares, que podem representar risco de contaminação das águas subterrâneas estão:

- O não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, como por exemplo, a parte de rochas alteradas mais superficiais, que são mais vulneráveis à contaminação;
- Ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço;
- Proximidade com pontos potencialmente contaminantes da água como fossas, postos de gasolina e lixões;
- A não desinfecção do poço após a construção;
- Não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, que facilita a entrada de águas superficiais.

A Resolução N°.15, do CNRH, considera que poços abandonados e desativados devem ser adequadamente lacrados, a fim de que não se tornem possíveis fontes de contaminação para o aquífero. A inadequação da colocação do filtro e pré-filtro em relação à formação geológica normalmente reflete em problemas de dureza, cor e turbidez da água subterrânea. Por isso, é comum que vários estudos mostrem o não atendimento destes parâmetros aos padrões de potabilidade no caso das águas subterrâneas (MILLON, 2004).

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.1 Sistema de Informações Geográficas - SIG

A importância dos mapas para avaliar o processo de expansão geográfica e tecnológica das sociedades está presente desde as mais antigas civilizações, fornecendo suporte a evolução humana, retratando as características do ambiente.

Com o surgimento das ciências naturais tornou-se necessário a introdução e utilização de novas metodologias para a elaboração de mapas visto que, anteriormente, sua representação baseava-se na superfície dos terrenos. Sua elaboração passou a considerar não apenas a topografia do terreno, mais 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 (LIRA, 2005).

Como forma de tratamento das informações geográficas contidas nos mapas temáticos, passa-se a desenvolver métodos matemáticos e estatísticos que vêm auxiliar na construção da ciência cartográfica, apresentando com advento computacional a completa transformação e evolução.

A utilização de mapas e informações geográficas vem crescendo rapidamente em todo o mundo. Esta nova tecnologia possibilita um melhor gerenciamento de informações e conseqüente melhoria nos processos de tomada de decisões em áreas de grande complexidade como planejamento municipal, estadual e federal, proteção ambiental, redes de utilidade pública, etc. É o resultado da elaboração de um sistema capaz de armazenar, manipular e recuperar informações geográficas.

Sistema de Informação Geográfica - SIG é um "conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação" (TEIXEIRA, 1995 apud FILHO & IOCHPE, 1996).

Dentre as várias definições consideradas pelos especialistas para o que sejam Sistemas de Informações Geográficas, verifica-se que algumas destas consideram um banco de dados georreferenciados como sendo condição suficiente para a existência de um SIG. 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.”

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 a decisão como uma das potencialidades do SIG é compartilhado também por Rufino et al. (2002),

“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”.

É estabelecido 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.

Sendo uma tecnologia em franco processo de desenvolvimento, os Sistemas de Informações Geográficas, apresentam complexa definição que não possibilitam aos novos usuários o seu desenvolvimento rápido. Variam de acordo com a visão percebida para a sua utilização. Estas diversas 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.

Uma das vantagens dos SIGs é que eles podem manipular dados gráficos e não gráficos de forma integrada, provendo uma forma consistente para análise e consulta envolvendo dados geográficos.

Os SIGs constituem-se na integração de três aspectos distintos da tecnologia computacional (Figura 3.1): Sistemas de gerenciamento de banco de dados (dados gráficos e não gráficos); Procedimentos para obtenção, manipulação, exibição e impressão de dados com representação gráfica e Algoritmos e técnicas para análise de dados espaciais (ANTENUCC, 1991).



Figura 3.1 - Aspectos tecnológicos de SIG (Fonte: ANTENUCC, 1991)

3.2 Informações Geográficas

Um SIG integra dados espaciais e de outros tipos num único sistema. Esta interação permite combinar informações de variadas fontes e tipos, provenientes de diferentes bancos de dados. O processo de converter mapas e outros tipos de informações espaciais numa forma digital, via SIG, torna possíveis métodos novos e inovadores para a manipulação e exibição de dados geográficos.

O desenvolvimento de um SIG oferece diversos benefícios (MANOEL FILHO, 2000):

- Aumenta o conhecimento acerca dos recursos disponíveis numa dada área geográfica;
- Facilita a formulação e avaliação de diferentes estratégias alternativas, respondendo questões relativas a políticas, análises e distribuição de recursos;
- Reduz o tempo gasto para preparação de relatórios, gráficos e mapas, o que melhora a eficácia da informação geográfica usada em análise de políticas e avaliação de opções de planejamento;
- Melhora o planejamento de futuras pesquisas, por disponibilizar os dados já existentes e estabelecer linhas mestras para coleta, armazenagem e processamento dos novos dados a serem capturados;
- Melhora o tempo de resposta aos pedidos de informações gerados por gerentes e planejadores, por tornar as informações mais acessíveis;
- Produz novas informações pela sua capacidade de manipular dados anteriormente disponíveis, graças à capacidade de manipulação de dados via computador;
- Facilita o desenvolvimento de modelos dinâmicos para apoio ao planejamento, e;
- Permite uma utilização mais adequada dos recursos humanos disponíveis para coleta e análise de dados, pela eliminação de redundâncias e sobreposições de dados e esforços.

3.3 Estrutura Geral de um SIG

Um SIG é constituído de alguns elementos (BATISTA, 2005):

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se integram de forma hierárquica. Considerando um nível próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG apresenta mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). Já no nível mais interno, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

A Figura 3.2 indica o relacionamento dos principais componentes de um SIG. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados estão presentes num SIG (CÂMARA & ORTIZ, 1998).

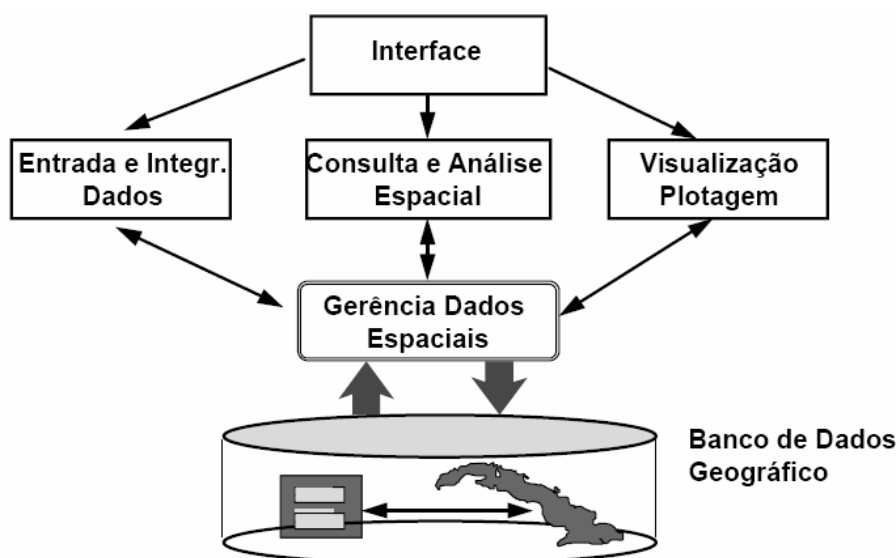


Figura 3.2 - Estrutura geral de um sistema de informações geográficas (Fonte: CÂMARA & ORTIZ, 1998)

3.4 Utilização de Sistemas de Informações

Os SIGs apresentam enorme variedade de aplicações nos campos de Logística, Geologia, Agricultura, Planejamento, Segurança Pública, Preservação de Recursos Naturais e muitos outros. Em quase todos esses campos, há necessidade de ênfase na coleta, integração e análise de dados espaciais que naturalmente, podem ser tratados por um SIG.

Sistemas de Informações Geográficas, aplicados em áreas urbanas, configuram uma real exigência tecnológica do Planejamento Urbano na atualidade brasileira. Com o

crescimento das cidades, o volume de dados e informações necessários para compreensão do espaço e dos fenômenos urbanos passou a requerer longo período de tempo e inúmeros técnicos para sistematização, análise e representação.

A utilização de SIGs proporciona confiabilidade, exatidão e eficácia na realização dessas tarefas e, ainda, ganho de produtividade, uma vez que oferece diversas ferramentas capazes de armazenar e manipular simultaneamente grande volume de dados, além de técnicas para agilizar e garantir a correção da sistematização e da expressão gráfica das informações geradas.

Esses sistemas permitem, entre outras coisas, gerir e atualizar a cartografia, elaborar e gerenciar cadastros urbanos, manipular dados de uso e ocupação do solo, fazer análises e previsões sobre eventos urbanos, bem como espacializá-los, planejar e gerir recursos de habitação, transportes, etc. Integrar, processar e reagregar dados de fontes diversas em informações sobre a cidade e seus processos, gerenciar estas informações, monitorar as mudanças, simular o impacto produzido por novos projetos e simular o crescimento urbano segundo várias hipóteses.

Os SIGs podem ser, então, verdadeiros modelos de sistemas do mundo real, desde que concebidos e implementados para um dado propósito. Como toda representação do mundo real, esses sistemas são de natureza extremamente complexa, o que pressupõe a elaboração de um projeto, onde sejam identificados minuciosamente os seus propósitos, tendo em vista suas aplicações específicas.

Como exemplo de aplicação de Sistema de Informações em Recursos Hídricos, 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.

Para a gestão urbana, Batista (2005), em sua dissertação de Mestrado, utiliza um Sistema de Informações Geográficas. Apresenta o Indicador de Salubridade Ambiental -

ISA/JPI, para análise intra-urbana da salubridade ambiental por setor censitário e bairro no município de João Pessoa/PB, como uma contribuição que visa o diagnóstico das condições de salubridade do meio ambiente. Utiliza um SIG para os cálculos e espacialização das informações e como um Sistema de Apoio à Decisão Espacial - SADE para auxílio à tomada de decisão na elaboração de políticas públicas mais eficazes. Constitui um instrumento útil ao planejamento urbano, tanto no aspecto do sistema de saneamento ambiental, como também para o processo de gestão da saúde e na melhoria das condições de vida e do meio ambiente.

Lira (2005), em sua pesquisa de mestrado, desenvolveu 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 leste do estado da Paraíba. Tinha como objetivo elaborar 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, apresentou-se como uma ferramenta útil nesse sentido, além de fornecer uma estrutura modelo para futuros Sistemas.

CAPÍTULO 4

DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 Generalidades

Um dos maiores desafios para a gestão dos recursos hídricos é assegurar um suprimento de água de qualidade e em quantidade satisfatória, atendendo de forma otimizada, à crescente demanda de água para diversos fins.

Segundo Rebouças (1996), no Brasil os problemas de abastecimento de água nas áreas metropolitanas decorrem, fundamentalmente, de duas circunstâncias principais: em primeiro lugar, nas bacias hidrográficas de grande concentração urbana, a escassez decorre da poluição, na medida em que 90% do volume de esgotos domésticos, 70% dos efluentes industriais são lançados sem tratamento em nossos rios e 99% dos quase 90 milhões de toneladas/ano de resíduos urbanos são dispostos no solo na forma de aterros e lixões. Em segundo, no domínio do semi-árido, a degradação da qualidade é agravada pelo clima, que também gera insuficiência periódica das disponibilidades em face das demandas.

As águas provenientes do sub-solo são capazes de minorar os efeitos dos problemas de abastecimento de água. Destacam-se por apresentarem algumas vantagens em relação às águas superficiais, evidentemente que levando em consideração as características locais. Todavia em termos gerais, os custos são minimizados na exploração destes recursos comparados aos altos investimentos exigidos para construção de adutoras, barragens, estações elevatórias e estações de tratamento, no caso de águas superficiais. A captação de águas subterrâneas apresenta as seguintes vantagens frente às de águas superficiais (COSTA, 2006):

- Dispensa tratamento químico, o que onera a captação das águas superficiais em dispendiosas ETA's;
- Não acarreta inundação de áreas aproveitáveis na superfície, muitas vezes representadas por excelentes solos agricultáveis;
- A área de captação e proteção é extremamente reduzida;

- Permite uma distribuição setorizada, com baterias de exploração constituindo sistemas isolados ou interligados;
- A rede de adução até o reservatório ou caixa d'água é, em geral, de pequena extensão, ao contrário das barragens que requerem redes adutoras de vários quilômetros de extensão;
- A implantação do sistema pode ser efetuada de maneira gradativa, ao longo do tempo, à medida que aumente a demanda, evitando períodos de sobra logo que se constrói uma barragem e períodos de déficit quando a demanda ultrapassa a sua capacidade. Essa flexibilidade evita a aplicação de grandes investimentos concentrados em curto espaço de tempo;
- Não implica em desapropriação de grandes áreas como as barragens, que representam vultosos gastos financeiros;
- Independe de períodos de estiagem prolongados para recarga anual como nos reservatórios de superfície;
- Os prazos de execução de um poço são de dias, em contraposição a dezenas de meses e até anos no caso do barramento de um rio;
- Os estudos e projetos para implantação das obras de captação são mais rápidos e menos onerosos;
- As águas subterrâneas não estão sujeitas como as superficiais, ao intenso processo de evaporação, que implica na região semi-árida numa perda anual de cerca de 2.500 mm de lâmina d'água acumulada na superfície;
- O sistema é melhor protegido de eventuais poluições químicas ou atômicas;
- Não se verificam impactos ambientais como os decorrentes do barramento dos cursos d'água superficiais;
- A manutenção é mais segura, pois a paralização para conservação ou substituição de uma unidade de bombeamento, pode ser efetuada sem prejuízo do conjunto;
- Os poços que apresentam um bom nível técnico nas fases de projeto, construção e operação, segundo as normas da ABNT, têm vida útil superior a vinte anos, com amortização dos investimentos em 5 a 8 anos;

A análise do processo de migração de contaminantes entre águas de superfície e aquíferos mais superficiais, por exemplo, é de interesse crescente, e diversos projetos de remediação de solos e águas subterrâneas vêm sendo direcionados à proteção sistêmica dos ambientes hídricos e ao controle de descargas hidráulicas de efluentes contaminados em ecossistemas de naturezas diversas (NOBRE et al., 1998).

A recuperação de aquíferos contaminados é uma tarefa bastante complexa, visto que o processo de renovação das águas é lento, a velocidade de fluxo é extremamente reduzida, além dos elevados custos de remediação. Os aquíferos impactados podem levar, a depender do caso, centenas de anos para ter sua qualidade natural recuperada.

Neste contexto, ressalva-se que ações preventivas são as mais indicadas para um gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, com reduzido custo para a sociedade, evitando que poluentes de diversas origens atinjam as principais fontes de abastecimento de água. Cabe ainda ressaltar que o uso dos mananciais subterrâneos em larga escala requer uma gestão adequada dos aquíferos a nível regional. Inclui-se o conhecimento dos montantes de recarga e descarga nas bacias hidrográficas, demandas futuras de extração, usos múltiplos de água e o conhecimento das questões relativas à qualidade da água derivada de fontes de contaminação diversas, abrangendo a recarga artificial e a intrusão marinha (HOPPENSTEDT, 1998).

Como vulnerabilidade de um aquífero, define-se o maior ou menor grau de disponibilidade que esse aquífero apresenta de sofrer contaminação. O risco potencial de contaminação das águas subterrâneas, em sua conceituação básica, é atribuído à interação entre dois fatores fundamentais: primeiro, a carga contaminante lançada no solo como resultado de atividade humana e segundo, à vulnerabilidade natural do aquífero de ser afetado por essa carga contaminante (FOSTER, 1987).

A carga contaminante é caracterizada em função de sua classe, intensidade, modo de disposição no terreno e duração, enquanto que a vulnerabilidade do sistema de aquífero depende das unidades litológicas e das características hidrogeológicas da área. Portanto, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, o que não acontece com a vulnerabilidade do aquífero, a não ser quando as condições naturais são alteradas mediante a remoção de solos (para a construção de fossas séptica, por exemplo) ou de material da zona não saturada, o que pode tornar o aquífero mais vulnerável.

Deve-se considerar que, onde existir água subterrânea, esta está de algum modo sob risco de ser afetada por ações humanas. Mesmo que exista solos ou rochas complementares impermeáveis, não se pode evitar completamente a contaminação.

4.2 Metodologias para Delimitação de Perímetros de Proteção

Apesar da inquestionável importância que as águas subterrâneas assumem, em termos de quantidade, não só para o abastecimento público como privado, nem sempre é considerada esta importância na manutenção da sua qualidade natural. Segundo Rebouças (2002), poucos são os países que adotam políticas de proteção das águas subterrâneas em relação à poluição e à super exploração. Este processo envolve geralmente o controle dos usos, regulamentado as atividades que geram poluição ou controlando a entrada de poluentes nas águas de superfície.

O critério de zona de proteção não é aplicado em todos os países do mundo. Este fato deve-se a inúmeros fatores, inclusive pela falta de informação adequada no que tange a hidrogeologia dos ambientes. Além disso, a falta de recursos, as ocupações inadequadas das cidades e a quantidade limitada de profissionais capacitados sugerem que os métodos são de difíceis aplicações, principalmente em países em desenvolvimento.

A delimitação de zonas de proteção das águas subterrâneas envolve uma gama de conceitos e de princípios. Porém, todos visam controlar as atividades poluentes em torno do ponto de captação a fim de impedir que contaminantes atinjam a água extraída.

Para proteção eficaz dos mananciais subterrâneos deve-se impedir a implantação de qualquer atividade e/ou instalação potencialmente poluente na área de recarga da captação. Mesmo estando mais bem protegidas que as águas superficiais, as águas subterrâneas, quando contaminadas recuperam a sua qualidade muito lentamente e de forma mais dispendiosa. Além disto, quando um aquífero é comprometido torna-se muito difícil restabelecer a sua condição natural, mesmo que a fonte poluente já esteja inativa. Normalmente esta poluição é detectada muito tempo após iniciado o processo (MOINANTE, 2003).

As estratégias de proteção da água subterrânea podem apresentar dois enfoques. O primeiro está ligado a proteção geral de um aquífero, identificando áreas mais suscetíveis de forma a promover um controle regional do processo de uso do solo em toda a sua extensão. O segundo, trata da proteção pontual, voltada a uma captação de água subterrânea, em especial

àquelas destinadas ao abastecimento humano. Sob este aspecto, a área mais vulnerável é aquela que representa a área de recarga desta captação. Toda a água contida nesta área de recarga fluirá até o ponto de captação e é denominada de Zona de Contribuição (ZC) ou Zona de Captura, onde se deve adotar medidas mais rígidas de controle das atividades antrópicas para garantir a proteção da qualidade da água destinada ao abastecimento. Como, em geral, a Zona de Contribuição abrange grande extensão, são definidas áreas menores contidas dentro da ZC denominadas de perímetros ou áreas de proteção de poços e outras captações, de forma a viabilizar medidas de proteção mais rígidas quanto mais próximo for do ponto da captação (KRIJGMAN, 2001).

As estratégias baseadas em delimitação de áreas de proteção de poços visam adotar medidas mais rígidas de controle e prevenção da poluição nas porções mais próximas das captações, de forma a otimizar os esforços e os custos de fiscalização.

Segundo Lobo Ferreira et al. (2003), define-se perímetro de proteção como: “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 (LOBO FERREIRA et al., 2003):

- Prevenir, reduzir e controlar a chegada de substâncias poluentes à captação;
- 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;
- Recorrer, antecipadamente, a fontes de abastecimento alternativas em caso de descargas acidentais de poluentes que coloquem em perigo o sistema de abastecimento público e;
- Garantir a proteção das águas subterrâneas no interior da zona de contribuição da captação.

São apresentadas na sequência algumas metodologias existentes para a delimitação dos perímetros de proteção. O método utilizado nesta pesquisa baseia-se na definição e aplicação da metodologia, bem como na realidade física e hidrogeológica da área de estudo, conforme será abordado posteriormente.

4.2.1 Raio Fixo Arbitrário

Este método é o mais simplificado. Baseia-se na definição de uma área circular, centrada no ponto de captação e com raio escolhido arbitrariamente. Este processo pode ser usado também para determinar uma área de proteção provisória, numa fase preliminar, até que se estabeleça qual processo deverá ser utilizado ou estudos mais profundos da região sejam efetivados (ITGE, 1991).

A determinação deste raio deve considerar as condições hidrogeológicas locais, como por exemplo, diante de materiais com grande condutividade, o raio deverá ser suficientemente grande para permitir uma proteção adequada da captação.

Como a metodologia não apresenta critérios estabelecidos, sua utilização pode gerar erros. Pode ocorrer sobreposição de áreas de recarga, aumentando os custos de aquisição ou o excesso de controle do uso do solo nestas áreas onde não haveria necessidade de proteção. Ou ocorrer o contrário, as áreas de recarga distantes do ponto de captação não sejam integradas na zona de proteção.

Apresenta como vantagem o fato de ser bastante simples e rápida, uma vez que não necessita de grande quantidade de informações nem grande experiência.

4.2.2 Métodos Analíticos

Através de equações de simples resolução, os métodos analíticos permitem o cálculo das áreas das zonas de proteção. Para sua aplicação são necessários o conhecimento de alguns parâmetros hidrogeológicos ou a sua estimação, como por exemplo, a transmissividade, a porosidade, o gradiente hidráulico, a condutividade hidráulica, a vazão de extração e a espessura saturada do aquífero.

São notoriamente os métodos mais utilizados, pois possibilitam a comparação com outras metodologias de delimitação de perímetros de proteção. Apesar do grande número de simplificações quanto à geometria e as influências exteriores nas águas subterrâneas, os métodos analíticos possibilitam soluções adequadas (EPA, 1994).

Esta metodologia apresenta duas deficiências: (1) são consideradas características uniformes para todo o aquífero e (2) a calibração e a validação do modelo não é possível, uma vez que ao assumir suposições para o sistema, podem ou não representar sua realidade.

Nos modelos analíticos, portanto, a orientação do perímetro de proteção, baseia-se nos dados referentes a direção do fluxo da água subterrânea. Os parâmetros utilizados são originados de estudos regionais ou medições diretas do nível hidrostático em determinadas captações e em determinados momentos.

4.2.3 Lei de Darcy

A lei de Darcy descreve a velocidade linear média da água no meio poroso. Constitui a equação mais simples no cálculo do tempo de propagação de um poluente - tempo decorrente entre a entrada do poluente no aquífero até a sua saída ou extração - (EPA, 1994):

$$v = \frac{K.i}{n} \quad (01)$$

Onde:

v - velocidade linear média (metros/dia);

K - condutividade hidráulica horizontal (m/dia);

i - gradiente hidráulico horizontal;

n – porosidade.

Conhecida a velocidade média, pode ser calculado o tempo de propagação ao longo de uma determinada distância:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{d.n}{K.i} \quad (02)$$

Onde:

t - tempo de propagação (dia);

d – distância (m).

Ainda pode ser calculada a distância aos limites que definem o tempo de propagação:

$$d = v.t = \frac{K.i.t}{n} \quad (03)$$

Onde:

d - distância da captação ao limite que define o tempo de propagação, a montante (m).

Esta equação é mais indicada para aquíferos porosos (não é válida para aquíferos cársticos e vulcânicos com cavernas). No caso de aquíferos fraturados a lei só é válida se a densidade de fraturação permitir que seja assumido o carácter poroso do aquífero. Aplica-se também em aquíferos verdadeiramente confinados, com uma superfície piezométrica quase plana, ou em aquíferos livres, com uma superfície freática plana e com pequeno rebaixamento relativamente a espessura do aquífero ou a zona de ralos ($< 10\%$). Pode ser empregada também no cálculo do tempo de propagação de um poluente desde um ponto de entrada até um ponto a jusante da captação, mas apenas se as linhas equipotenciais forem aproximadamente espaçadas entre os dois pontos, isto é, se o aquífero for homogêneo. A aplicação deste método implica em razoável precisão na medição ou na estimação da geometria do cone de rebaixamento.

4.2.4 Raio Fixo Calculado

Na metodologia com base analítica para aquíferos confinados denominada Raio Fixo Calculado, o perímetro de proteção é definido a partir de uma equação (Equação Volumétrica), que pode utilizar em seu conceito o tempo de propagação do poluente até a captação ou o rebaixamento do nível piezométrico.

Com relação ao tempo de propagação, a equação volumétrica permite calcular o raio de uma seção cilíndrica do aquífero, com centro no ponto de captação e com capacidade de contenção do volume de água captada durante um determinado tempo de propagação. Este tempo é necessário para que um potencial poluente seja minimizado até apresentar concentrações seguras, antes de alcançar a captação (MOINANTE, 2004).

O tempo de propagação define o raio da área de proteção, ou raio da seção cilíndrica através da qual a água subterrânea e os poluentes se propagam durante um determinado período (Figura 4.1).

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 (MOINANTE, 2004). A Equação 04 representa o raio do perímetro de proteção:

$$r = \sqrt{\frac{Q.t}{n.H.\pi}} \quad (04)$$

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

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

t - tempo de propagação (dia);

n - porosidade eficaz do aquífero;

H - espessura saturada na captação (m);

r - raio do perímetro de proteção (m).

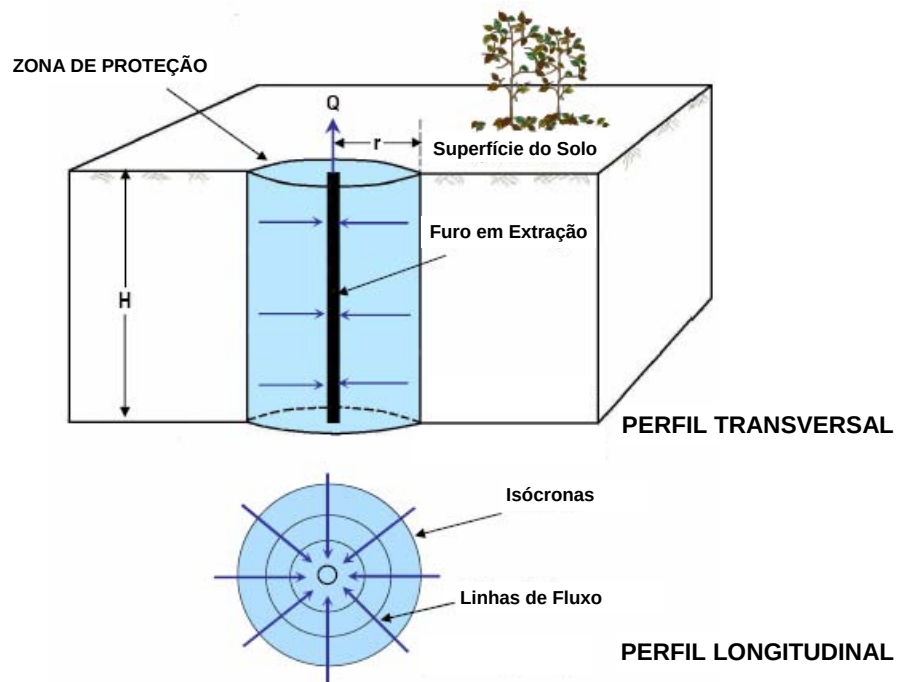


Figura 4.1 - Definição do perímetro de proteção utilizando o método do raio fixo calculado (adaptado de MOINANTE, 2003)

Já em função do rebaixamento do nível piezométrico, a área definida é aquela na qual é produzido um determinado rebaixamento do nível piezométrico de um aquífero. São configurados melhores resultados quando fatores condicionantes da realidade física são admitidos. São relacionadas as seguintes condições (ITGE, 1991):

- Ausência de recargas anteriores;
- O aquífero é homogêneo e isótropo com relação a sua permeabilidade;
- O aquífero é infinito na sua extensão;
- A captação tem diâmetro igual a zero;

- A captação atravessa completamente a formação aquífera;
- A água captada é descarregada instantaneamente e não volta ao aquífero;
- O fluxo de água é radial em torno da captação, não existem componentes verticais;
- A superfície piezométrica regional é praticamente plana;
- A vazão de extração é constante.

A equação utilizada na aplicação deste método é a Equação de Theis para regime variável:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (05)$$

Em que u é uma função auxiliar com a seguinte expressão:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{u 4Tt}{S}} \quad (06)$$

Onde:

r – raio da zona de proteção (m);

Q – vazão de extração constante (m³/dia);

T – transmissividade do aquífero (m²/dia);

S – coeficiente de armazenamento do aquífero;

t – tempo decorrido desde o início da extração (dia).

Definiu-se então uma Função de Poço, $W(u)$, que não apresentando solução analítica, é resolvida por aproximação:

$$W(u) = \frac{4\pi T s}{Q} \quad (07)$$

Onde s é o rebaixamento no ponto localizado a uma distância r da captação (m).

A utilização do raio fixo calculado, seja em função do tempo de propagação ou função do rebaixamento é um processo simples, pouco dispendioso, exige pouca experiência e os dados necessários estão quase sempre disponíveis. Apresenta maior precisão que o método anterior, porém trata-se de um método pouco exato, uma vez que não considera todos os

fatores hidrogeológicos que influenciam o transporte de poluentes, além de conduzir, na maioria das vezes a uma área superior a obtida pelos restantes dos métodos.

4.2.5 Equação do Fluxo Uniforme

A equação de fluxo uniforme tem sido amplamente utilizada para delimitação de perímetros de proteção. Este método é aplicado quando há ocorrência de uma superfície piezométrica inclinada, gerando um cone de rebaixamento assimétrico (EPA, 1994). A equação geral que representa a fronteira da região onde se produz o fluxo na captação é:

$$-\frac{Y}{X} = \tan\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot b \cdot i}{Q} \cdot Y\right) \quad (08)$$

Onde:

X, Y – coordenadas;

Q – vazão de extração (m³/dia);

K – condutividade hidráulica (m/dia);

b – espessura saturada (m);

i – gradiente hidráulico.

A definição da zona de contribuição baseia-se em duas equações derivadas da equação anterior, e que representam, respectivamente, a fronteira de fluxo a jusante e a largura máxima da zona de contribuição a montante (Figura 4.2).

A equação de fluxo uniforme é aplicada para aquíferos confinados. Este método não considera a drenância, com isso origina zonas de proteção amplas quando utilizado o tempo de propagação. Pode também ser aplicada em aquíferos livres, a partir da espessura saturada do aquífero e considerando que o rebaixamento é pequeno (menos de 10 %), com relação à espessura saturada.

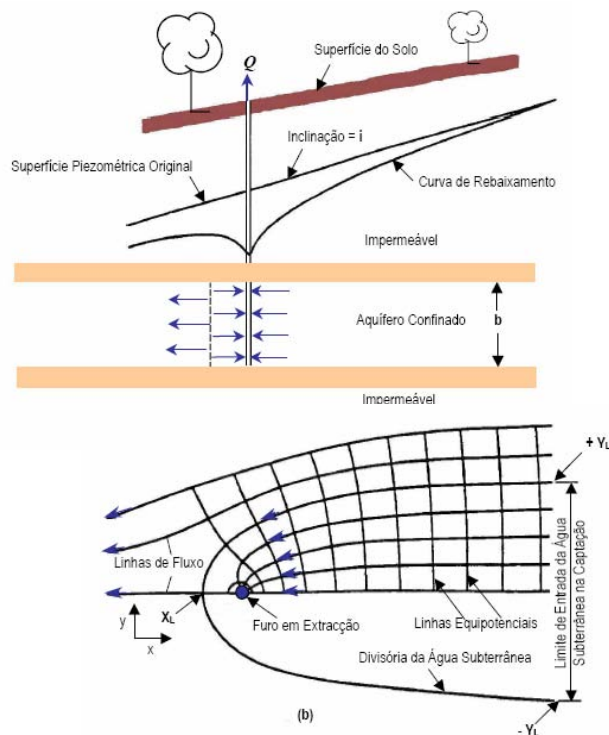


Figura 4.2 - Definição do perímetro de proteção utilizando a equação de fluxo uniforme (Fonte: MOINANTE, 2003)

4.2.6 Método de Wyssling (Gradiente Hidráulico Inclinado)

Metodologia de aplicação simples, utilizada para aquíferos porosos homogêneos, considera captações em extração e superfícies piezométricas inclinadas. Além da porosidade, considera também a condutividade hidráulica e o gradiente hidráulico. Permite, com auxílio das equações, determinar a distância de proteção a jusante e a montante da captação.

$$Q = K.B.b.i \Leftrightarrow B = \frac{Q}{K.b.i} \quad (09)$$

Onde:

Q – vazão de extração (m³/dia);

K – condutividade hidráulica (m/dia);

b – espessura saturada do aquífero (m);

i – gradiente hidráulico (declive da superfície freática).

O raio de chamada X_0 (distância da captação ao ponto neutro a jusante) pode obter-se do seguinte modo:

$$X_0 = \frac{Q}{2.\pi.K.b.i} \quad (10)$$

E a largura B' da zona de chamada, medida perpendicular a direção do fluxo que passa na captação, é:

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2.K.b.i} \quad (11)$$

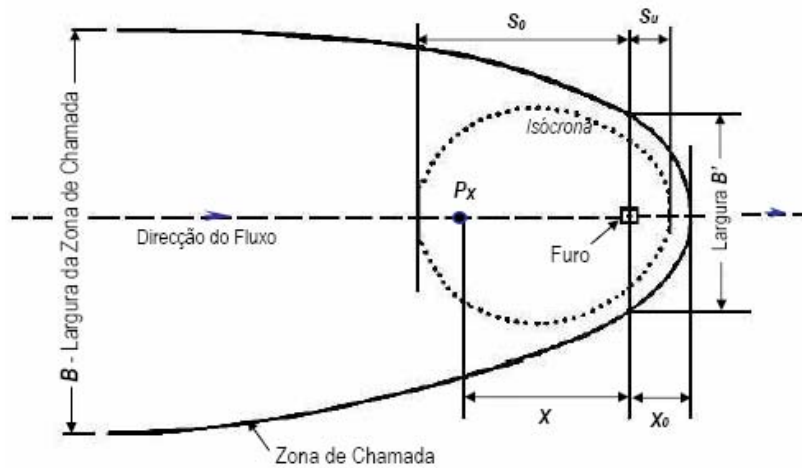


Figura 4.3 - Determinação de isócronas - Método de Wyssling (Fonte: MOINANTE, 2003)

Depois de definida a zona de chamada, é necessário determinar, na direção do fluxo, qual o tempo de propagação pretendido, empregando-se as equações:

$$v_e = \frac{K.i}{n} \quad (12)$$

v_e - velocidade eficaz (m/dia)

n - porosidade eficaz

$$l = v_e.t \quad (13)$$

t - tempo de propagação (dia)

$$S_0 = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (14)$$

S_0 - distância correspondente ao tempo t no sentido do fluxo a montante da captação (m)

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (15)$$

S_u - distância correspondente ao tempo t no sentido contrário do fluxo a jusante da captação (m)

4.2.7 Método de Krijgsman e Lobo Ferreira

Aplicável em aquíferos de caráter livre, incidindo particularmente na zona de proteção intermédia definida na legislação portuguesa e cuja dimensão corresponde a um tempo de propagação de 50 dias. Segundo Krijgsman e Lobo Ferreira (2001), são três as equações para o cálculo das três dimensões da zona de proteção intermédia de uma captação, a montante, a jusante e também na perpendicular à direção de fluxo:

$$x = 2.K.i = \sqrt{\frac{\pi.b.t}{Q.n}} \quad (16)$$

$$F = \frac{2.\pi.K.b.i}{Q} \quad (17)$$

Onde:

K - condutividade hidráulica (m/d);

n - porosidade eficaz;

i - gradiente hidráulico (obtido a partir do nível freático);

b - espessura do aquífero (m);

Q - vazão de extração ou produtividade média das formações (m³/d);

t - tempo de propagação (d).

Distância de proteção a montante:

$$r_{\max} = \frac{(0,00002.x^5 - 0,00009.x^4 + 0,015.x^3 + 0,37.x^2 + x)}{F} \quad (18)$$

Limitação: não devem ser utilizados parâmetros que conduzam a valores de x superiores a 18.

Distância de proteção a jusante:

$$r_{\min} = \frac{(0,042.x^3 - 0,37.x^2 + 1,04x)}{F} \quad (19)$$

Limitação: se $x < -3,5$ deve aplicar-se uma distância mínima de proteção igual a 25 m como medida de segurança, uma vez que se torna muito arriscado aplicar distâncias de proteção muito pequenas (< 25 m); a equação não deve ser aplicada no caso de valores de $n < 0,1$ (10%).

Distância de proteção perpendicular à direção de fluxo:

$$r_p = 4 \cdot \sqrt{\frac{Q}{n \cdot b}} \quad (20)$$

Limitação: equação do RFC substituindo t por 50 dias e que representa o valor máximo de r_p , que ocorre no caso de gradiente hidráulico nulo.

Alguns outros métodos para delimitação de perímetros de proteção estão citados em Moinante (2003), porém de uso menos simples devido à diversidade de parâmetros exigidos.

4.2.8 Métodos Numéricos

Como explicado, os modelos analíticos apresentam algumas limitações visto que, para facilitar a resolução das equações, algumas simplificações são efetivadas. Com isso, há uma transformação da realidade configurando condições homogêneas no interior do aquífero.

Os modelos semi-analíticos oferecem informações relativas ao fluxo subterrâneo e ao tempo de propagação no espaço e no tempo, através de expressões numéricas ou analíticas. Assim tornam-se mais flexíveis, incorporando ao mesmo tempo variações hidrogeológicas e pressões externas, sem que para isso seja necessário acrescentar informações (EPA, 1994).

No entanto, na maioria das vezes, os aquíferos não são homogêneos e seus contornos não são polígonos regulares, de modo que fica difícil ou impossível obter-se uma solução analítica. Surgiram então os métodos numéricos em que as equações diferenciais do fluxo subterrâneo são resolvidas utilizando-se técnicas de aproximação numéricas obtidas através de discretização do aquífero e da solução de um sistema de equações com incógnitas obtidas da discretização (FEITOSA, 1997).

Os modelos numéricos apresentam-se matematicamente com maior complexidade. Permitem solucionar problemas mais sofisticados. Para sua aplicação, é estabelecida uma malha sobre o sistema de água subterrânea em estudo, onde um conjunto de valores e parâmetros é atribuído em cada nó, escolhido aleatoriamente (como por exemplo, nível freático ou piezométrico, condutividade hidráulica, espessura do aquífero). Esta ação denomina-se discretizar. A malha constitui a base de uma matriz de equações a serem resolvidas. O programa permite a previsão das alterações que surgem ao longo do tempo, com base nas soluções desse sistema de equações (MOINANTE, 2003).

A utilização destes modelos justifica-se apenas nos casos em que existe informação suficiente para suportar as necessidades de dados do programa. Quando é necessário estimar grandes quantidades de parâmetros, os modelos analíticos fornecem o mesmo nível de precisão (MOINANTE, 2003).

Entre os métodos numéricos mais utilizados atualmente para resolução de equações diferenciais, o Método das Diferenças Finitas é o mais antigo e mais difundido entre os geólogos e engenheiros. Neste método, a região é aproximada por uma malha retangular ou quadrangular e os valores médios da piezometria são determinados nos pontos centrais da malha (FEITOSA, 1997).

Nos modelos baseados no Método de Elementos Finitos, as células da malha podem ser elementos triangulares que se adaptam a localização das captações. Em cada célula da malha existe um balanço de massa que está relacionado com o balanço das células vizinhas. É gerada assim uma equação para cada célula. Com o modelo numérico, torna-se possível resolver estas equações simultaneamente a fim de que o equilíbrio seja alcançado (FEITOSA, 1997).

Os modelos numéricos apresentam diferentes vantagens. Possuem flexibilidade de aplicação para diversos tipos de problemas e facilidades de modelação de contornos irregulares. Fornecem um elevado grau de exatidão, podendo ser aplicados a uma grande variedade de situações hidrogeológicas.

A utilização de modelos matemáticos para delimitação dos perímetros de proteção, permite prever alterações de comportamento, a partir das variações nas condições para as quais foram calculados (por exemplo, vazão de extração), ou eventuais impactos de origem natural. Isto remete, de um modo geral, a delimitação de áreas de proteção inferiores que as obtidas por outros métodos (ITGE, 1991).

Fica evidente que a utilização dos modelos matemáticos é uma tarefa complexa, exigindo a participação de técnicos especializados e uma extensa quantidade de informação. Com isso, os custos associados são elevados, conseqüentemente sua aplicação se restringe a necessidade de grande exatidão de resultados, em função de problemas complexos, ou situações cujo perímetro proposto obriga a desapropriações e indenizações dispendiosas de áreas (ITGE, 1991).

4.3 Aspectos Legais das Águas Subterrâneas

4.3.1 Legislação Nacional

O Brasil, no transcorrer de sua história, tem apresentado seus preceitos fundamentados em características de organizações internacionais. Estas adaptações resultaram em algumas inadequações visto as grandes diferenças ambientais, sociais, econômicas e culturais das populações. Portanto, a edição de novas leis com conteúdos avançados de regras e colocações gramaticais filosóficas, não refletem as grandes desigualdades e diversidade do país, resultando em esforços dispensáveis na implantação de tais normas.

Algumas das leis e normas editadas no âmbito dos recursos hídricos e meio ambiente apresentam suas eficácias comprometidas, talvez em função da inadequabilidade das mesmas frente às demandas e cultura inerentes à sociedade brasileira.

Ademais, em se tratando de águas subterrâneas, não há conhecimento pleno sobre os recursos e o comportamento desses mananciais. Também a capacitação técnica, em curto prazo, ainda apresenta-se deficiente principalmente no que tange à obtenção de parâmetros que possam garantir quanto deve ser captado, quem deve captar e como captar.

As primeiras atenções no que tange a política de utilização da água subterrânea no Brasil são estabelecidas, segundo Carvalho et al., (2003), a partir do Primeiro Reinado (1822 – 1831) até o final do Segundo Reinado (1840 – 1889) quando o uso das águas subterrâneas necessitava de autorização central. Este controle foi dissipado até a promulgação do Código das Águas em 10 de julho de 1934, instituído pelo Decreto N°. 24.643/34 às vésperas da publicação da Constituição Federal em 16 de julho de 1934. Foi o primeiro documento na questão das águas subterrâneas, já abordando em seus artigos 96 a 101 a questão da distância mínima entre os poços, além de problemas relacionados à poluição das águas dos poços de abastecimento:

“Art. 96. O dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias, etc., das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares.

Parágrafo único. Se o aproveitamento das águas subterrâneas de que trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particulares, a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamentos.

Art. 97. Não poderá o dono do prédio abrir poço junto ao prédio do vizinho, sem guardar as distâncias necessárias ou tomar as precisas precauções para que ele não sofra prejuízo.

Art. 98. São expressamente proibidas construções capazes de poluir ou inutilizar para o uso ordinário a água do poço ou nascente alheia, a elas preexistentes.

Art. 99. Todo aquele que violar as disposições dos artigos antecedentes, é obrigado a demolir as construções feitas, respondendo por perdas e danos.

Art. 100. As correntes que desaparecerem momentaneamente do solo, formando um curso subterrâneo, para reaparecer mais longe, não perdem o caráter de coisa pública de uso comum, quando já o eram na sua origem.

Art. 101. Depende de concessão administrativa a abertura de poços em terrenos do domínio público.”

Entre seus relevantes aspectos este código assegura o uso de qualquer corrente ou nascente de água sendo gratuito para as primeiras necessidades da vida e permite que todos utilizem quaisquer águas públicas, conformando-se com os regulamentos administrativos. Esse dispositivo passou a ser visto como precursor do princípio usuário-pagador, no que diz respeito ao uso para assimilação e transporte de poluentes, determinava que o dono de qualquer terreno poderia apropriar-se por meio de poços, galerias, etc., das águas que existam abaixo da superfície de seu prédio, contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares.

De acordo com aquele código, a abertura de poços em terrenos públicos era permitida somente através de concessão administrativa. Em 1967, o Código de Mineração estabelece que as águas subterrâneas passem a ser considerada como jazidas minerais. O Projeto de Lei N°. 7.127/86, elaborado pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS (2003),

foi um dos primeiros específicos para a gestão dos mananciais subterrâneos e aborda a necessidade de restrições da captação dessas águas através da delimitação de “áreas de controle”. São também abordadas as “áreas de proteção” para as águas subterrâneas, visando a sua preservação e conservação.

A Constituição Federal de 1988 pouco alterou o Código de Águas, exceto através de seu artigo 26, que estabelece que as águas passem a ser de domínio público e que as águas subterrâneas, fluentes e emergentes são bens dos Estados.

Não há uma lei específica, a nível federal, que trate de questões legais das águas subterrâneas. A Lei Federal Nº. 9.433/97 de 08 de janeiro de 1997 cria a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. No entanto, a questão sobre a gestão dos mananciais subterrâneos é pouco discutida. Como pela Constituição de 1988 o domínio das águas subterrâneas é do Estado, estes passaram a implementar legislação específica neste contexto. Porém, mesmo diante da importância destes mananciais subterrâneos, as legislações estaduais, bem como a federal, não abrangem de forma satisfatória este tema.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil ganhou um grande estímulo com a aprovação da Lei Federal Nº 9.433/97. Em seu contexto são publicados os princípios básicos praticados hoje em todos os países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos. No que se refere ao reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável; o valor econômico da água, indutor do uso racional desse recurso natural, dado que serve de base à instituição da cobrança pela utilização de recursos hídricos e da gestão descentralizada e participativa.

Na Lei Federal Nº 9.433/97 às águas subterrâneas são contempladas em alguns artigos. O artigo 12, por exemplo, afirma que “estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:...II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo”. Como os usos sujeitos à outorga são passíveis de cobrança (artigo 20), as águas subterrâneas também o são segundo sua utilização.

Se há carência na legislação no que se referem as águas subterrâneas, a deficiência ainda é maior quanto ao referencial da proteção das captações de poços para o abastecimento público de água.

No Brasil, são escassos os estados que contemplam legislação específica para proteção das águas subterrâneas. Mesmo tendo a maioria deles despertado para a necessidade de criar

mecanismos de gerenciamento das águas de um modo geral, disciplinando a gestão e garantindo o planejamento do uso da água em todas as suas formas, a questão da proteção dos recursos subterrâneos ainda é deficitária.

O estado de São Paulo é o pioneiro nesta questão. A Lei Estadual Nº 6.134 de 02/06/1988, regulamentada pelo Decreto Nº. 32.955 de 07/02/1991, dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do estado através de programa permanente de proteção e conservação. O decreto paulista é o mais completo na questão das “áreas de proteção”, reservando um capítulo específico sobre o assunto. Essas são classificadas conforme a vulnerabilidade dos aquíferos e a existência de fontes poluidoras. São definidas as “áreas de proteção máxima”, “áreas de restrição e controle” e “área de proteção de poços e outras captações”. É instituído o “perímetro imediato de proteção sanitária” com raio de 10 m e são estabelecidos os “perímetros imediatos de alerta”, para tempos de trânsito de 50 dias.

Com relação a captações de águas minerais, a Portaria DNPM Nº 231 de 31 de julho de 1988 especifica a obrigatoriedade de se estabelecer áreas de proteção para fontes naturais. Esta Portaria visa regulamentar, através do capítulo III, artigos 12 a 18, ações e procedimentos necessários à definição de áreas de proteção das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional, objetivando sua preservação, conservação e racionalização de uso.

Outros quatro estados brasileiros apresentam no contexto de suas legislações estaduais menções sobre delimitação de Perímetro Imediato de Proteção Sanitária. O resumo dos estados, bem como seus respectivos limites de proteção, encontra-se discriminados no Quadro 4.1:

Quadro 4.1 - Perímetros de Proteção estabelecidos pelos estados brasileiros

ESTADOS	NÚMERO DA LEI OU DECRETO	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO	
		SANITÁRIA	ALERTA CONTRA POLUIÇÃO
Distrito Federal	Decreto Nº. 22.358 de 31 de agosto de 2001	30 m	-
Dispõe sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território do Distrito Federal de que trata o inciso II, do artigo 12, da Lei Nº 2.725 de 13 de junho de 2001, e dá outras providências.			
Mato Grosso	Decreto Nº. 1.291 de 14 de abril de 2000	3 m	-
Regulamenta o inciso VI do artigo 2º da Lei Nº 7.153 de 21.07.99, que altera o 4º do artigo 1º da Lei Nº 7.083 de 23/12/98, que dispõe sobre o licenciamento de poços tubulares no Estado de Mato Grosso, consoante a Lei Nº 6.945, de 05/1/.97, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências.			
Pernambuco	Decreto Nº. 20.423 de 26 de março de 1998	10 m	Distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de 50 dias.
Regulamenta a Lei Nº 11.427 de 17/1/1997, que dispõe sobre a Conservação e a Proteção de Águas Subterrâneas do Estado de Pernambuco e dá outras providências (regulamentada através do Decreto Nº 20.423/98).			
Rio Grande do Sul	Decreto Nº. 42.047, 26 de dezembro de 2002	10 m	Deverá coincidir com a zona de contribuição do poço.
Regulamenta disposições da Lei Nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos.			
São Paulo	Decreto Nº. 32.955 de 07 de fevereiro de 1991	10 m	Distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de 50 dias.
Regulamenta a Lei Nº 6.134, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.			

4.3.2 Legislação Internacional

A preocupação com a preservação dos recursos hídricos subterrâneos é crescente em todo o planeta. No entanto, não são todos os países que apresentam em sua legislação menções e preocupações com o estabelecimento de perímetros de proteção em torno de captações de água subterrâneas. Contudo, muitos locais adotam a questão preventiva como forma de salvaguardar os recursos hídricos mantendo sua qualidade.

O conceito de perímetro de proteção das captações surgiu inicialmente na Europa. As águas subterrâneas são fortemente utilizadas como alternativa para o abastecimento público em diversos países como Espanha, Alemanha, França, Bélgica e Dinamarca. Segundo a Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera – Alemanha (2004), na década de 80, do volume captado de água subterrânea, mais de 60% era destinado ao consumo humano. Este cenário gerou preocupações com a proteção dos recursos subterrâneos.

A eficiência na aplicação do conceito de perímetros de proteção das captações na Europa, que visava a otimização dos custos e dos esforços neste tema, levou outros países como EUA e Canadá a adotarem esta mesma estratégia de proteção de forma a garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público.

Os critérios estabelecidos para limitar estas áreas são variáveis de um país para outro. Em geral, um fator em comum, é a delimitação de três zonas de contorno superficiais crescentes a partir da captação. Nestas zonas algumas atividades humanas ficam submetidas a restrições e ou proibições numa proporção cada vez menos rigorosa a medida que se afasta do ponto de captação.

Analisando as legislações internacionais, Pacheco et al. (1991), observou que alguns países da Europa, como também os Estados Unidos da América do Norte, apresentam em seu quadro legislativo leis relacionadas a captação de águas subterrâneas. Estas normas recebem forte apoio dos órgãos institucionais que garantem sua aplicação.

Algumas observações são requisitadas nestas leis, a fim de que sejam determinados e delimitados os perímetros de proteção. Como exemplo pode-se citar: as áreas determinadas devem ser variadas em torno das captações, devem ser criados órgãos financeiros que subsidiem os recursos necessários às obras de saneamento e as diretrizes a serem seguidas devem ser fixadas por instituições nacionais.

Pacheco et al. (1991), ainda destaca que a legislação francesa é a mais adequada e precisa no que concerne à proteção da qualidade das águas subterrâneas. Em 1902, esta legislação já previa a instituição de perímetro de proteção contra a poluição ao redor das captações de água, enquanto que, somente a partir da década de 50 os países industrializados modificaram suas legislações para melhor combater a degradação de seus recursos hídricos, instituindo os perímetros de proteção.

Na legislação americana, destaca-se o *U.S. Safe Water Drinking Water Act* de 1974 que definiu Perímetro de Proteção de Poços - PPP como sendo “a área superficial e sub-superficial em torno de um poço ou rede de poços, que abasteça um sistema de água pública, através do qual exista a possibilidade de contaminantes se moverem, atingindo o poço, durante um determinado intervalo de tempo”.

O *Safe Drinking Water Act* (SDWA) estabeleceu, em Junho de 1986, o programa *Wellhead Protection Program* (WHPP), com o objetivo de proteger as águas subterrâneas contribuintes para os sistemas de abastecimento de água, estabelecendo áreas de proteção em torno das captações. Coube a *Environmental Protection Agency* - EPA, orientar o desenvolvimento dos programas, trabalhando diretamente com os estados na implantação dos aspectos hidrogeológicos envolvidos no WHPP (EPA, 1994).

Cada estado americano é, assim, responsável pela elaboração de um WHPP no respectivo território, que é submetido posteriormente ao parecer do administrador da EPA, no prazo de três anos. Após aprovado o programa, cada estado tem um prazo de dois anos para implantar, caso contrário perderá o direito a fundos monetários. A EPA não tem autonomia para estabelecer um WHPP nos estados que optem pela não participação no programa (EPA, 1994).

Segundo Waegeningh (1985), os países utilizam sistemas multidisciplinares para confrontar a questão da proteção das águas subterrâneas. Torna-se difícil comparar sistemas de proteção em diferentes países. Este fato deve-se às circunstâncias sócio-econômicas e políticas de cada país. A Figura 4.4, gerada a partir das informações constantes em Coelho (2003), EPA (1994) e Ciabatti (1994), mostra esquematicamente como alguns países definem suas áreas de proteção.

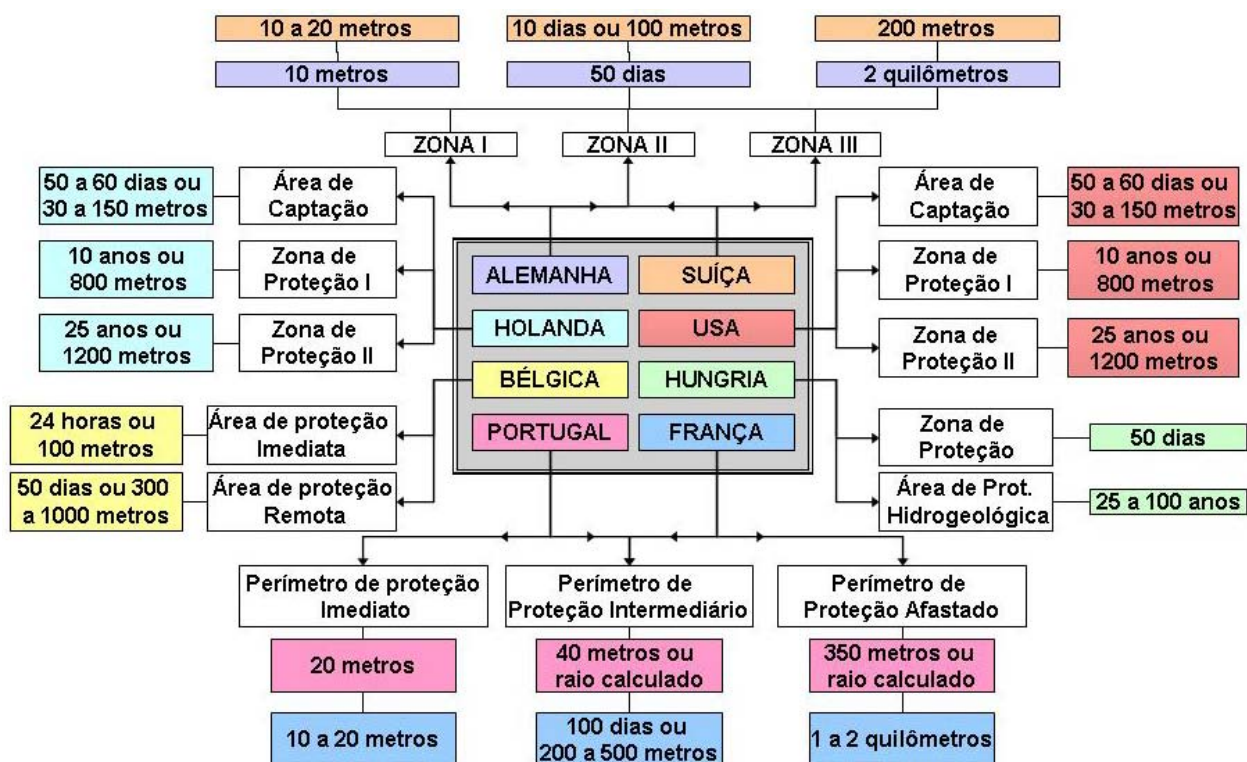


Figura 4.4 - Países que apresentam legislação específica sobre delimitação de perímetros de proteção.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

Neste item apresenta-se um estudo de caso para a cidade de João Pessoa, delimitando-se os perímetros de proteção dos poços destinados ao abastecimento público, através do método do raio fixo calculado. Além da caracterização da área de estudo e da descrição da coleta e organização da base de dados, apresentam-se mais detalhes sobre a metodologia utilizada e os procedimentos para a elaboração dos mapas e círculos de proteção.

5.1 Caracterização da Área de Estudo

A região do nordeste do Brasil representa uma área de 1.561.177 km², 18,3% do território nacional, com uma população de 44.768.200 habitantes, correspondendo a 28,5% da população brasileira. Apresenta clima predominantemente semi-árido com precipitações pluviométricas que variam entre 300 e 800 mm/ano, com média abaixo dos 600 mm/ano.

Esta região apresenta um potencial médio de água doce equivalente a 186,2 km³/ano, 3% do total das disponibilidades hídricas do país. Tem disponibilidade social de água doce, nos rios de 4.384 m³/hab/ano e escoamento específico superficial de apenas 4 l/s/km², contra 21 l/s/km² para todo o país (COSTA, 2006).

O estado da Paraíba, situado na região nordeste do país, é constituído por 223 municípios agrupados em quatro mesorregiões geográficas: (a) Mata Paraibana, (b) 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). A 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 decréscimo de 4,5% neste mesmo período, representando 29% da população total do Estado (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 5.1) 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.

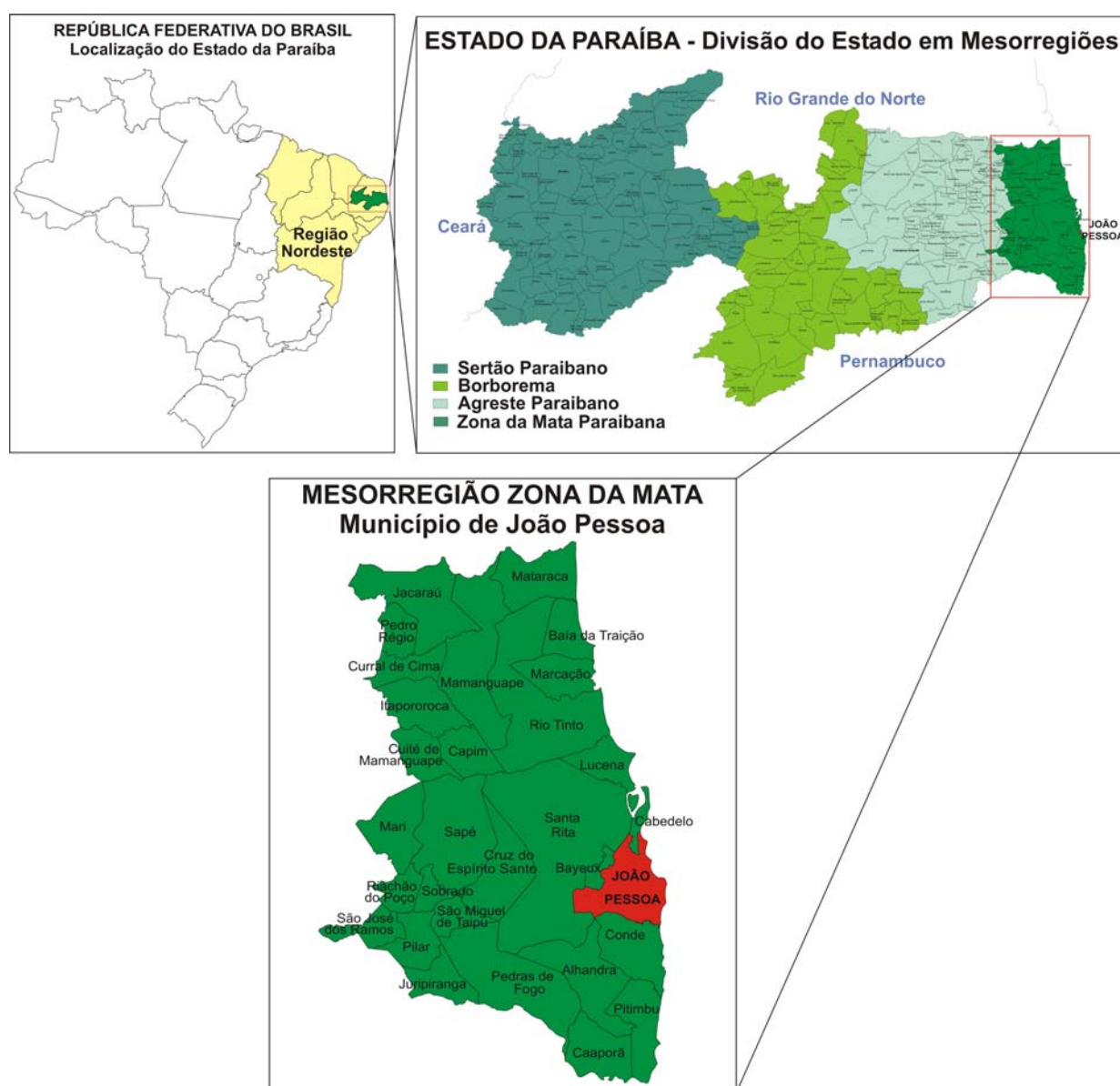


Figura 5.1 - Localização do município de João Pessoa

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 é praticamente desprezível, em média 26,1^oC (SILVA et al., 2001).

A economia do município fundamenta-se nos setores de serviços (comércio, serviços em geral inclusive serviço público, turismo), transferências (aposentadorias e pensões) e indústrias.

5.2 Coleta e Organização da Base de Dados

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, Acquatoool (2002). Este trabalho foi encomendado pela empresa STEAG AG à Acquatoool Consultoria, em atendimento à solicitação da Companhia Paraibana de Gás – PBGAS que, em conjunto com a empresa PETROBRÁS e STEAG AG, desenvolviam um projeto da usina termoeletrica movida a gás natural na cidade de Bayeux, vizinha a João Pessoa.

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 5.1 estão resumidas algumas das características gerais dos poços.

5.3 Metodologia Utilizada

Após a descrição geral das características dos poços, com base nos relatórios técnicos consultados (Quadro 5.2), 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 perímetros 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.

Entre os métodos de delimitação de perímetros de proteção citados no Capítulo 4, um dos que permite efetuar uma análise mais quantitativa, necessitando de dados mais gerais sobre as condições hidrogeológicas do aquífero, é método do Raio Fixo. Este é recomendado na Legislação Portuguesa através do Decreto Lei N°382/99 de 22 de Setembro de 1999 para a definição das áreas de proteção de captações.

Com base neste critério, o Método do Raio Fixo Calculado foi utilizado no presente trabalho para efetuar o cálculo das áreas de proteção das Zonas Imediata, Intermédia e Alargada, da área urbana do município de João Pessoa, estado da Paraíba.

Quadro 5.1 - Localização dos poços utilizados para abastecimento público de João Pessoa

CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA REGIONAL DO LITORAL								
Nº Ordem	Bairro	Firma Resp Perfuração	Nº ou Referência da Unidade	Condição de Funcionamento	Ano da Perfuração	Latitude (KM)	Longitude (KM)	Endereço e/ou Ponto de Referência
1	Marés	HIDROGESP	Marés	Operando Normal	1999	9208948,00	289065,00	ETA Marés - BR 101 - Km 02
2	Mangabeira I	CORNER	Mang.I-P-I	Operando Normal	1980	9206868,00	296723,00	R.Amauri Marcelino Pereira, S/N (No R-7)
3	Mangabeira II	CORNER	Mang.II-P-II	Operando Normal	1982	9205764,00	296492,00	R. Josefa Taveira, S/N (após o Fantást.Club)
4	Mangabeira III	CORNER	Mg.VII-PM7-A	Parado	1991	9206912,00	298093,00	R.Profª. Vanda de F. Coutinho, S/N(Quartel)
5	Mangabeira IV	CORNER	Mg.VII-PM7-B	Stand By(Operando)	1991	9207629,00	297765,00	R.Manoel Ângelo de Oliveira,S/N(pl/traç ESPEP)
6	Funcionários I	CORNER	Funcion. II (PI)	Desativado	1982	9206170,00	291208,00	R.Des.João Santa Cruz, 21(terr.da CAGEPA)
7	Funcionários II	CONESP	Funcion. IV (PII)	Desativado	1980	9206314,00	292125,00	R.Irani Almeida de Menezes, 742 (Casa)
8	Groão I	HIDROGESP	Groão-P-I	Desativado	1985	9204766,00	291973,00	R.Adão Viana da Rosa (terreno CAGEPA)
9	Groão II	CONESP	Groão-P-II	Operando Normal	1981	9205424,00	292052,00	R.Nossa Senhora da Paz (No R-27)
10	Valentina III	CORNER	Valentina III-P-III	Operando Normal	1999	9203774,00	296416,00	R.Dr.Valdevino Gregório de Andrade (No R-29)
11	Valentina II	CONESP	Valentina II-P-II	Stand By(Operando)	1982	9202814,00	296625,00	R.Joemir Sever.dos Santos, S/N (Pç. ENARQ)
12	Valentina I	-	Valentina I-P-I	Operando Normal	1983	9204114,00	296804,00	R.Brasilino A da Nóbrega, S/N (Pç. Stª. Bárbara)
13	Conj. Vieira Diniz	CONESP	J.Vieira Diniz	Operando Normal	1980	9206626,00	288947,00	R.Edson de Moura Machado, S/N, (No R-4)
14	José Américo	HIDROGESP	José Américo	Stand By(Operando)	2000	9207664,00	294688,00	R. Estêvão G. da Cunha(por trás condomínio
15	Anatólia	CORNER	Anatólia	Desativado	1980	9209110,00	296319,00	R. Da Imbiribeira, S/N (Cont.rua do 2º Sinal))
16	Bancários	HIDROGESP	Bancários	Desativado	1978	9209424,00	297223,00	R.Merando Gomes Vieira, S/N (Terreno do R-10)
17	Cristo Redentor	HIDROTEC	Parque de Exposição	Operando Normal	1999	9207508,00	292366,00	No Parque de Exposição de Animais
18	Alto do Mateus	CONESP	Betel - Cnj Ivan Bichara	Operando Normal	1980	9209696,00	289129,00	R.Cel.Joca Velho, S/N, Conj.Ivan Bechara
19	Alto do Mateus	CONESP	Alto do Mateus-R-17	Parado	1977	9211034,00	288378,00	R.Dolores Duran, S/N (Terreno do R-17)
20	Alto do Mateus	CONESP	Alto do Mateus-R-15	Stand By(Operando)	1978	9211316,00	288813,00	R.Assis Valente, 52, (próx.do term. ônibus)
21	Miramar	HIDROGESP	Rui Carneiro	Operando Normal	1978	9213188,00	297429,00	Av.Rui Carneiro, S/N (No terreno do R-09)
22	Torre	CIVILTEC	Torre	Parado	1999	9212518,00	294388,00	Av.Júlia Freire, SN (No R-06)
23	Centro	CIVILTEC	Pav.Chá	Operando Normal	1999	9212272,00	291807,00	Praça Venâncio Neiva, S/N, Centro (R-02)
24	Cruz das Armas	CIVILTEC	Cruz das Armas	Operando Normal	1999	9210440,00	291356,00	R.Porfírio Costa, S/N (Na área murada do R-05)
25	Cristo Redentor	CONESP	Cristo	Operando Normal	1979	9208688,00	293163,00	R.José Francisco da silva, S/N (No R-11)
26	Castelo Branco	HIDROGESP	Castelo Branco	Desativado	2000	9211160,00	295953,00	Cont.da Tito Silva (entre Cast.Bran.e Banc)
27	Altiplano C.Branco	CONESP	Altiplano Cabo Branco	Stand By(Operando)	1976	9211098,00	298194,00	R.Francisco Leite Plancó, S/N, (Terr.do R-14)
28	Penha	CDRN	Penha	Operando Normal	1990	9207556,00	301507,00	No Início da escada da Penha (lado direito)
29	Torre	CONESP	Buraquinho	Operando Normal	1977	9210856,00	294558,00	Av. Dom Pedro II - Jardim Botânico
30	Alto do céu	HIDROGESP	Alto do Céu	Stand By(Operando)	1999	9214966,00	293925,00	R.João Brito de Sousa (No R-23)

Quadro 5.2 - Características Técnicas dos Poços Utilizados

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS UNIDADES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DO REGIONAL DO LITORAL															
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	NOME	TIPO (*)	
1	Marés	292,00	285,50	132,00	10"	6"	6"	29,5	109,5	80,1	129,6	145,00	R - 0	S/Ent.	
2	Mangabeira I	222,00	217,00	108,00	10"	6"	6"	40,0	73,0	33,0	180,0	180,00	R - 07	REL	
3	Mangabeira II	154,00	152,00	120,00	8"	6"	4"	53,0	78,0	25,0	60,0	40,00	R - 07	REL	
4	Mangabeira III	299,70	152,00	121,00	10"	6"	5"	47,0	65,0	18,0	60,0	60,00	R - 07	REL	
5	Mangabeira IV	300,00	194,00	132,00	10"	6"	5"	41,0	74,0	33,0	40,0	40,00	R - 07	REL	
6	Funcionários I	303,00	221,40	132,50	10"	6"	6"	33,6	89,2	55,6	21,8	-	R - 21	REL	
7	Funcionários II	303,00	250,00	132,50	10"	10"	4"	36,0	120,0	84,0	35,0	-	R - 21	REL	
8	Groão I	255,00	245,00	-	8"	4"	3"	-	-	-	24,8	-	R - 27	REL	
9	Groão II	190,00	129,00	120,00	10"	6"	6"	43,0	109,4	66,4	25,0	30,00	R - 27	REL	
10	Valentina III	260,00	256,40	145,00	10"	6"	6"	42,0	140,0	98,0	50,0	50,00	R - 29	REL	
11	Valentina II	250,00	123,00	123,00	10"	6"	6"	36,0	96,0	60,0	60,0	60,00	R - 29	REL	
12	Valentina I	230,00	-	120,00	8"	6"	4"	30,0	76,0	46,0	93,6	90,00	R - 29	REL	
13	Conj. Vieira Diniz	322,00	100,00	48,00	10"	6"	4"	28,0	38,0	10,0	70,0	62,00	R - 04	RAP	
14	José Américo	264,00	256,00	138,00	10"	10"	6"	60,2	94,1	33,9	150,0	145,00	R - 22	REL	
15	Anatólia	264,00	170,00	131,00	10"	6"	6"	32,9	88,1	55,2	41,0	-	R - 10	REL	
16	Bancários	222,00	218,40	108,00	10"	6"	6"	48,0	70,0	22,0	180,0	170,00	R - 10	REL	
17	Cristo Redentor	170,00	150,00	72,00	8"	-	3"	35,0	59,0	24,0	55,0	20,00	R - 11	REL	
18	Alto do Mateus	300,00	240,00	100,00	10"	8"	4"	46,0	88,9	42,9	86,4	92,00	R - 03	REL	
19	Alto do Mateus	300,00	275,00	120,00	10"	6"	4"	45,0	88,0	43,0	99,0	99,00	R - 17	RAP	
20	Alto do Mateus	58,00	55,00	50,00	8"	6"	2 1/2"	30,0	45,0	15,0	25,0	24,00	R - 15	RAP	
21	Miramar	311,00	234,30	108,00	10"	-	6"	34,0	90,0	56,0	117,0	177,00	R - 09	REL	
22	Torre	194,00	189,00	112,50	10"	6"	5"	34,0	90,0	56,0	116,0	110,00	R - 06	RAP	
23	Centro	210,00	199,70	122,00	10"	8"	6"	67,0	99,0	32,0	150,0	75,00	R - 02	RAP	
24	Cruz das Armas	220,00	202,70	120,00	10"	8"	5"	49,0	60,0	11,0	64,8	54,00	R - 05	RAP	
25	Cristo Redentor	218,00	146,00	120,00	12"	6"	4"	43,0	91,0	48,0	125,0	125,00	R - 11	REL	
26	Castelo Branco	253,00	246,80	144,00	8"	6"	6"	66,3	102,1	35,8	132,0	145,00	R - 13	REL	
27	Altiplano do C.Branco	217,00	110,00	90,00	8"	6"	3"	39,0	80,0	41,0	55,0	45,00	R - 14	REL	
28	Penha	205,00	201,30	72,00	8"	6"	3"	5,0	55,0	50,0	40,0	30,00	R - 28	REL	
29	Torre	373,00	314,00	68,00	12"	6"	6"	5,0	55,0	50,0	342,0	194,40	R - 06	RAP	
30	Alto do céu	255,00	245,00	182,00	10"	6"	2 1/2"	26,0	154,0	128,0	30,0	55,00	R - 23	REL	

(*) REL - Reservatório Elevado; RAP - Reservatório Apoiado

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 (Figura 5.2):

- **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.

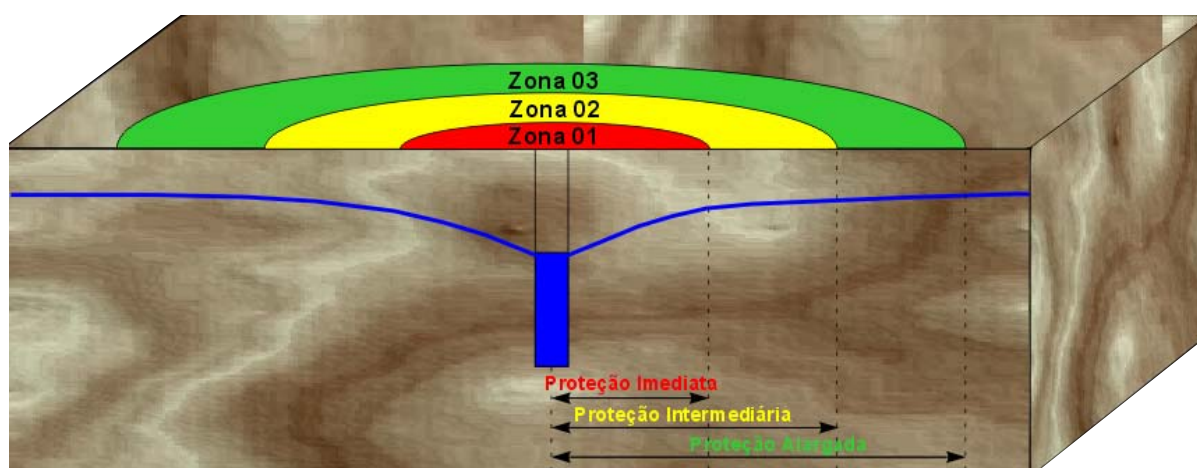


Figura 5.2 - Desenho esquemático das zonas de proteção no entorno dos poços (adaptado de KRIJGSMAN & LOBO FERREIRA, 2001)

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 5.3 (PORTUGAL, 1999).

Quadro 5.3 - 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 a 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 a 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 N.º 382/99, 22/09 – Portugal.

No Anexo Decreto-Lei N.º 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 Quadro 5.4 são mostrados os valores de r para cada tipo de aquífero.

Quadro 5.4 - Valores de r estipulados no Decreto-Lei 382/99, de acordo com o tipo de aquífero

FORMAÇÕES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE AQUÍFERO	ZONA DE PROTEÇÃO				
	IMEDIATA	INTERMEDIÁRIA		ALARGADA	
Formações Porosas	r (m)	r é o maior valor entre		r é o maior valor entre	
Aquífero Confinado	20	40 m	r (50 d)	350 m	r (3.500 d)
Aquífero Livre	40	60 m	r (50 d)	500 m	r (3.500 d)
Aquífero Semiconfinado	30	50 m	r (50 d)	400 m	r (3.500 d)
Formações Carbonatadas	60	280 m	r (50 d)	2.400 m	r (3.500 d)
Formações Fissuradas	60	140 m	r (50 d)	1.200 m	r (3.500 d)
Formações Fissuradas e/ou Alteradas	40	60 m	r (50 d)	500 m	r (3.500 d)

Fonte: Decreto-Lei N° 382/99, 22/09 – Portugal.

5.4 Elaboração dos Mapas

O recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do *software* ArcView® 3.0, facilitou a delimitação espacial e permitiu georeferenciar os perímetros de proteção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, tendo como ponto de partida as características dos pontos de captação.

As informações geográficas existente e os mapas de caracterização física do município referentes ao ordenamento do território e dos recursos hídricos, foram utilizados como ferramenta de sobreposição e cruzamento de informação, permitindo uma análise morfológica, hidrológica e de ocupação e uso do solo.

Na fase subsequente e paralelamente à realização do cadastro de informações, procedeu-se aos trabalhos de delimitação dos perímetros de proteção das captações sobre a plataforma ArcView® 3.0 e o georeferenciamento das três zonas de proteção: imediata, intermediária e alargada.

Para as operações de elaboração e interceptação dos resultados, foi utilizada uma extensão do programa denominada *Make Rectangles, Circles, Ovals 4.0*. Esta extensão possibilita criar retângulos, círculos ou elipses dentro da plataforma do programa, a partir dos dados de dimensão, local e raio, especificados em janelas com campos de preenchimento definidos dentro do projeto ou vinculado a planilhas de informações. A combinação entre

polígonos criados (zonas de proteção imediata, intermédia e alargada), possibilitou a produção de áreas consistentes e coincidentes com a realidade do local de cada poço considerado.

As operações executadas resultaram na delimitação dos três perímetros de proteção contíguos às captações, em que a cada perímetro ou ponto encontra-se associado a uma informação correspondente. Esta informação possibilita a interligação entre as diferentes camadas produzidas a partir dos campos (*Identify*) da tabela de atributos.

O georeferenciamento dos perímetros encontra-se, assim, associada à informação alfanumérica, apresentada sobre a forma de tabela de atributos. Estes resultados, a título de ilustração e exemplificação, também foram transportados para as fotografias aéreas do local em estudo, possibilitando uma melhor visualização das áreas de proteção, conforme pode ser observado em anexo.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 Resultados e Discussão

Na aplicação do método do Raio Fixo, definem-se os raios 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, todos os poços encontram-se localizado no Aquífero Beberibe que apresenta sistema de suporte litológico confinado, constituído por formações em rochas sedimentares consolidadas – arenitos. Tendo-se obtido, a partir da equação 04 os valores dos perímetros de proteção, apresentam-se no Quadro 6.1 os resultados. Neste quadro especificam-se os raios calculados para caracterizar cada um dos 30 poços em estudo.

Quadro 6.1 - Cálculo dos perímetros para as zonas de proteção dos poços públicos da CAGEPA

Nº de Ordem	Bairro	CARACTERÍSTICAS			Vazão (m³/dia)	Espessura Saturada na Captação (m)	Raio Calculado - Zonas de Proteção(m)		
		Profundidade (m)					Imediata (Zona 1)	Intermediária (Zona 2)	Alargada (Zona 3)
		Total	Útil	Início Beberibe					
1	Marés	292,0	285,5	30,0	3110,4	262,0	6,1	43,5	363,7
2	Mangabeira I	222,0	217,0	88,0	4320,0	134,0	10,1	71,6	599,3
3	Mangabeira II	154,0	152,0	107,0	1440,0	47,0	9,9	69,8	584,2
4	Mangabeira III	299,7	152,0	130,0	1440,0	169,7	5,2	36,7	307,5
5	Mangabeira IV	300,0	194,0	144,0	960,0	156,0	4,4	31,3	261,8
6	Funcionários I	303,0	221,4	70,0	523,2	233,0	2,7	18,9	158,2
7	Funcionários II	303,0	250,0	89,0	840,0	214,0	3,5	25,0	209,1
8	Grotão I	255,0	245,0	66,0	595,2	189,0	3,2	22,4	187,3
9	Grotão II	190,0	129,0	89,0	600,0	101,0	4,3	30,7	257,3
10	Valentina III	260,0	256,4	112,0	1200,0	148,0	5,1	35,9	300,6
11	Valentina II	250,0	123,0	130,0	1440,0	120,0	6,2	43,7	365,6
12	Valentina I	230,0		70,0	2246,4	160,0	6,7	47,3	395,5
13	Conj. Vieira Diniz	322,0	100,0	195,0	1680,0	127,0	6,5	45,9	383,9
14	José Américo	264,0	256,0	118,0	3600,0	146,0	8,9	62,6	524,1
15	Anatólia	264,0	170,0	108,0	984,0	156,0	4,5	31,7	265,1
16	Bancários	222,0	218,4	117,0	4320,0	105,0	11,4	80,9	677,0
17	Cristo Redentor	170,0	150,0	97,0	1320,0	73,0	7,6	53,6	448,8
18	Alto do Mateus	300,0	240,0	61,0	2073,6	239,0	5,3	37,2	310,9
19	Alto do Mateus	300,0	275,0	180,0	2376,0	120,0	7,9	56,1	469,7
20	Alto do Mateus	65,0	55,0	58,0	600,0	7,0	16,5	116,8	977,2
21	Miramar	311,0	234,3	114,0	2808,0	197,0	6,7	47,6	398,5
22	Torre	194,0	189,0	92,0	2784,0	102,0	9,3	65,9	551,4
23	Centro	210,0	199,7	75,0	3600,0	135,0	9,2	65,1	545,1
24	Cruz das Armas	220,0	202,7	77,0	1555,2	143,0	5,9	41,6	348,1
25	Cristo Redentor	218,0	146,0	99,0	3000,0	119,0	9,0	63,3	530,0
26	Castelo Branco	253,0	246,8	114,0	3168,0	139,0	8,5	60,2	503,9
27	Altiplano do C.Branco	217,0	110,0	150,0	1320,0	67,0	7,9	56,0	468,5
28	Penha	205,0	201,3	149,0	960,0	56,0	7,4	52,2	437,0
29	Torre	373,0	314,0	70,0	8208,0	303,0	9,3	65,7	549,4
30	Alto do céu	255,0	245,0	65,0	720,0	190,0	3,5	24,6	205,5

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 captam água deste aquífero. 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 7,0 m para o poço de nº 20, situado no bairro do Alto do Mateus, a 303,0 m para o poço nº29 localizado no bairro da Torre.

Para a Zona Imediata, os resultados dos raios calculados variaram de 2,7 m no poço Nº 6 (Funcionários I) a 16,5 m no poço de Nº 20 (Alto do Mateus). Na Zona Intermediária, os raios calculados para estes poços foram de 16,8 m a 18,9 m, enquanto que na Zona Alargada os valores foram 158,2 a 977,2 m, significando os valores mínimos e máximos.

Na Zona Imediata, apenas três poços (Nºs 2, 16 e 20) apresentaram raios de proteção calculados com valores maiores do que 10,0 m, valor este mais presente nas legislações nacionais. Nenhum dos poços apresentou raio maior ou igual a 20,0 metros para Zona Imediata, em comparação com a legislação Portuguesa (Formações Porosas – Aquíferos Confinados).

Para Zona Intermediária 10 poços (Nºs 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 nº 20. Já na Zona Alargada, 19 poços (Nºs 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 Nº 382/99, Portugal 1999), que é de 350,0 m, atingindo valor máximo no poço nº 20 de 977,2 m. Neste caso, os valores calculados caracterizariam a área de proteção a ser estabelecida.

As Figuras 6.1 e 6.2 ilustram espacialmente a delimitação dos perímetros de proteção para as três zonas de cada poço destinado ao abastecimento público no setor urbano do município de João Pessoa. A Figura 6.2 foi obtida utilizando o *Software ArcView® 3.0*, a partir da sobreposição de mapas (vegetação, loteamentos, arruamentos, etc) da cidade de João Pessoa e os pontos georreferenciados relativos a localização de cada poço, e a técnica do Raio Fixo Calculado para os perímetros de proteção, conforme descrito na sequência.

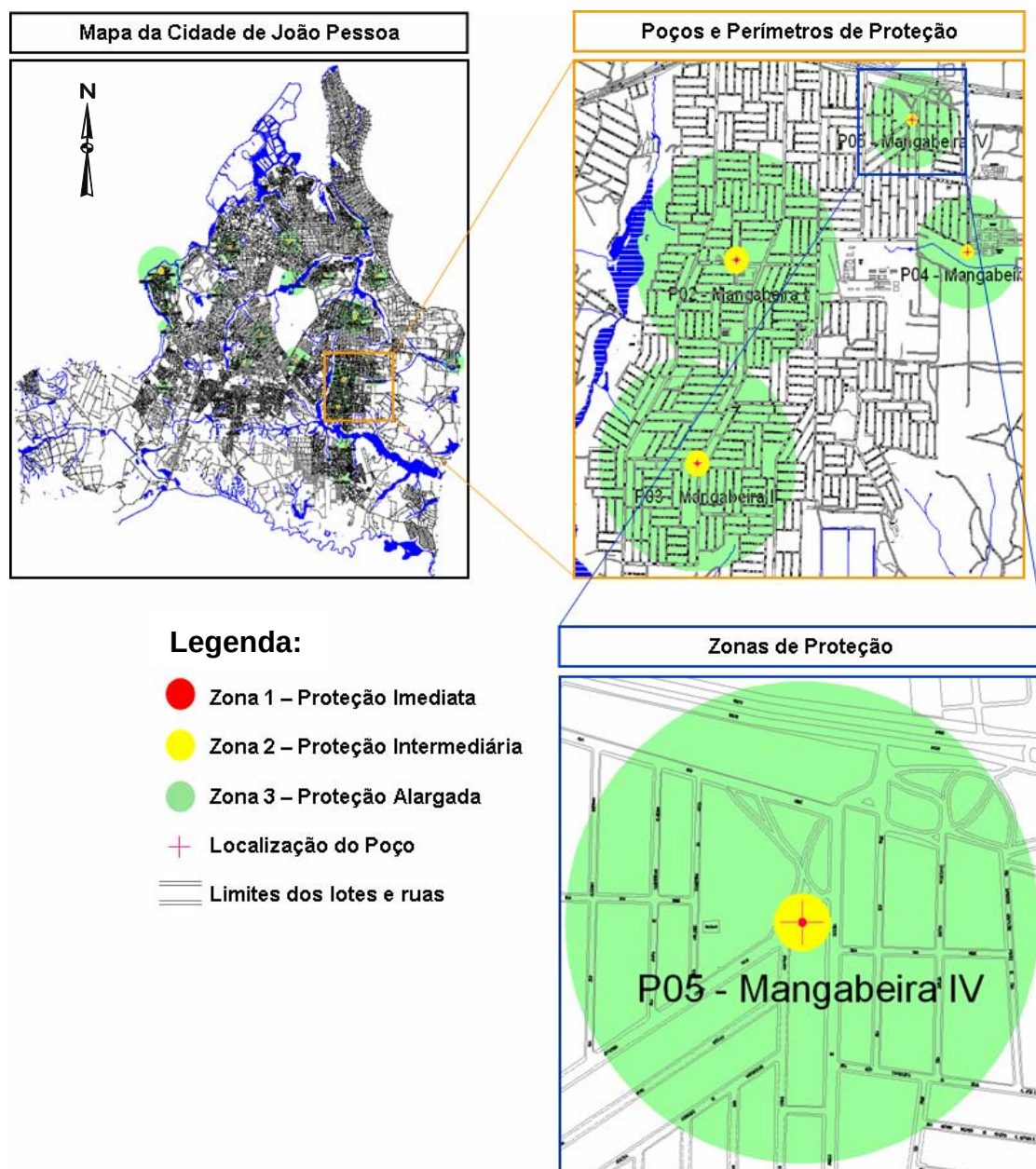


Figura 6.1 - Delimitação dos perímetros de proteção para os poços públicos da zona urbana do município de João Pessoa

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 da pesquisa, 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*, conforme observa-se na Figura 6.2.

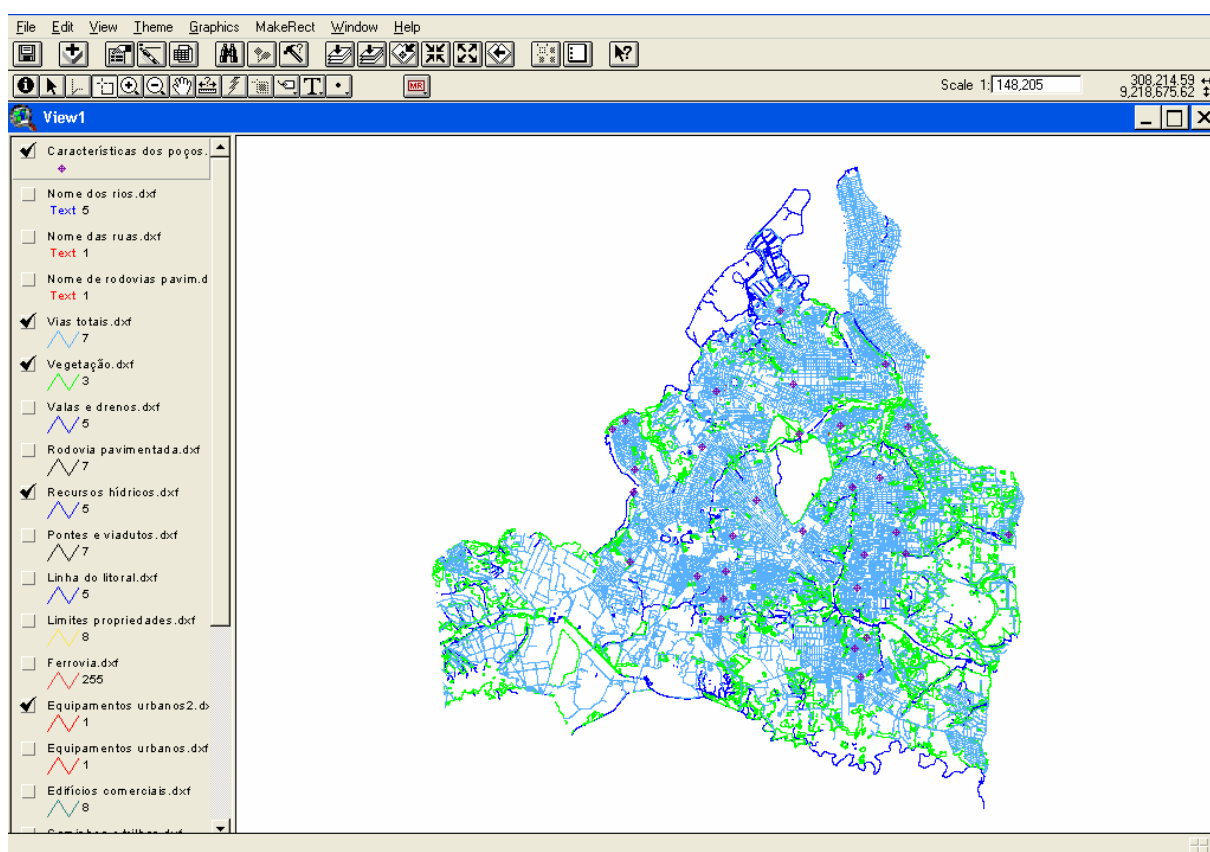


Figura 6.2 - Temas de identificação do município de João Pessoa

Após a elaboração das planilhas referentes às características dos poços em estudo, no formato tabular (xls), iniciou-se a estruturação e modelagem de migração dos dados para o

Sistema de Informações. As tabelas foram exportadas do *Excel* no formato *dbaseIV*, contendo informações a respeito dos poços, nome, localização, níveis, a situação operacional do poço, além da identificação dos poços propriamente dita. Ao ser solicitada a informação a respeito de algum poço, tabelas semelhantes à apresentada no Quadro 5.1 e 5.2 são mostradas na Figura 6.3.

IDN	Localiz	Endez	Emp_perfur	Ano_perf	Função	Prof_tota	Prof_util	Cam_bomba	Ne	Nid	Retbaiz	Q_poço	m³/Reser	X_Centr	Y_Centr
0	Marés	ETA - Marés	HIDROGESP	1999	Operando normal	292	286	132	30	110	80	130	R - 0	289065.0000	9208948.0000
1	Mangabeira I	R. Amauri M. Per	CORNER	1980	Operando normal	222	217	108	40	73	33	180	R-07	296723.0000	9206868.0000
2	Mangabeira II	R. Josefa Taveir	CORNER	1982	Operando normal	154	152	120	53	78	25	60	R-07	296492.0000	9205764.0000
3	Mangabeira III	R. Vanda F. Cout	CORNER	1991	Parado	300	152	121	47	65	18	60	R-07	298093.0000	9206912.0000
4	Mangabeira IV	R. Manoel A. Oli	CORNER	1991	Stand by (Operan	300	194	132	41	74	33	40	R-07	297765.0000	9207629.0000
5	Funcionários I	R. João S. Cruz	CORNER	1982	Desativado	303	221	132	34	89	56	22	R-21	291208.0000	9206170.0000
6	Funcionários II	R. Irani A. Mene	CONESE	1980	Desativado	303	250	132	36	120	84	35	R-21	292125.0000	9206314.0000
7	Grotão I	R. Adão V. Rosa	HIDROGESP	1985	Desativado	255	245	0	0	0	0	25	R-27	291973.0000	9204766.0000
8	Grotão II	R. Nos. S. Paz	CONESE	1981	Operando normal	190	129	120	43	109	66	25	R-27	292052.0000	9205424.0000
9	Valentina III	R. Valdevino G.	CORNER	1999	Operando normal	260	256	145	42	140	98	50	R-29	296416.0000	9203774.0000
10	Valentina II	R. Joemir S. San	CONESE	1982	Stand by (Operan	250	123	36	96	60	60	60	R-29	296625.0000	9202814.0000
11	Valentina I	R. Bras. A. Nobr	-	1983	Operando normal	230	0	120	30	76	46	94	R-29	296804.0000	9204114.0000
12	Cj. Vieira Diniz	R. Edson N. Mach	CONESE	1980	Operando normal	322	100	48	28	38	10	70	R-04	288947.0000	9206626.0000
13	José Américo	R. Est. G. Cunha	HIDROGESP	2000	Stand by (Operan	264	256	138	60	94	34	150	R-22	294688.0000	9207664.0000
14	Anatólia	R. da Imbitibeir	CORNER	1980	Desativado	264	170	131	33	88	55	41	R-10	296319.0000	9209110.0000
15	Bancários	R. Merando G. Vi	HIDROGESP	1978	Desativado	222	218	108	48	70	22	180	R-10	297223.0000	9209424.0000
16	Cristo	Pq. Exp. animais	HIDROTEC	1999	Operando normal	170	150	72	35	59	24	55	R-11	292366.0000	9207508.0000
17	Alto do Mateus	R. Cor. Joca Vel	CONESE	1980	Operando normal	300	240	100	46	89	43	86	R-03	289129.0000	9209696.0000
18	Alto do Mateus	R. Dolores Duran	CONESE	1977	Parado	300	275	120	45	88	43	99	R-17	288378.0000	9211034.0000
19	Alto do Mateus	R. Assis Valente	CONESE	1978	Stand by (Operan	58	55	50	30	45	15	25	R-15	288813.0000	9211316.0000
20	Miramar	Av. Rui Carneiro	HIDROGESP	1978	Operando normal	311	234	108	34	90	56	117	R-09	297429.0000	9213188.0000
21	Torre	Av. Julia Freire	CIVILTEC	1999	Parado	194	189	112	34	90	56	116	R-06	294388.0000	9212518.0000
22	Centro	Praça V. Vieira	CIVILTEC	1999	Operando normal	210	199	122	67	99	32	150	R-02	291807.0000	9212272.0000
23	Cruz das Armas	R. Porfirio Cost	CIVILTEC	1999	Operando normal	220	203	120	49	60	11	65	R-05	291356.0000	9210440.0000
24	Cristo	R. J. F. da Silv	CONESE	1979	Operando normal	218	146	120	43	91	48	125	R-13	293163.0000	9208688.0000
25	Castelo Branco	Av. Tito Silva	HIDROGESP	2000	Desativado	253	247	144	66	102	36	132	R-11	295953.0000	9211160.0000
26	Altiplano	R. Franc. A. Pia	CONESE	1976	Stand by (Operan	217	110	90	39	80	41	55	R-14	298194.0000	9211098.0000
27	Penha	Penha	CDRN	1990	Operando normal	205	201	72	5	55	50	40	R-28	301507.0000	9207556.0000
28	Torre	Av. D. Pedro II	CONESE	1977	Operando normal	373	314	68	5	55	50	342	R-06	294558.0000	9210856.0000
29	Alto do Céu	R. João B. Sousa	HIDROGESP	1999	Stand by (Operan	255	245	182	26	154	128	30	R-23	293925.0000	9214966.0000

Figura 6.3 - Planilhas vinculadas das características dos poços

Este mesmo procedimento estendeu-se para exportação georeferenciada da localização dos poços, bem como a delimitação das zonas de proteção previamente calculadas e organizadas em planilhas do *Excel*. Utilizando a extensão *Make Rectangles, Circles, Ovals 4.0* (Figura 6.4), foram inseridos os raios de proteção para cada zona a partir das planilhas vinculadas (Figura 6.5). A Figura 6.6 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.

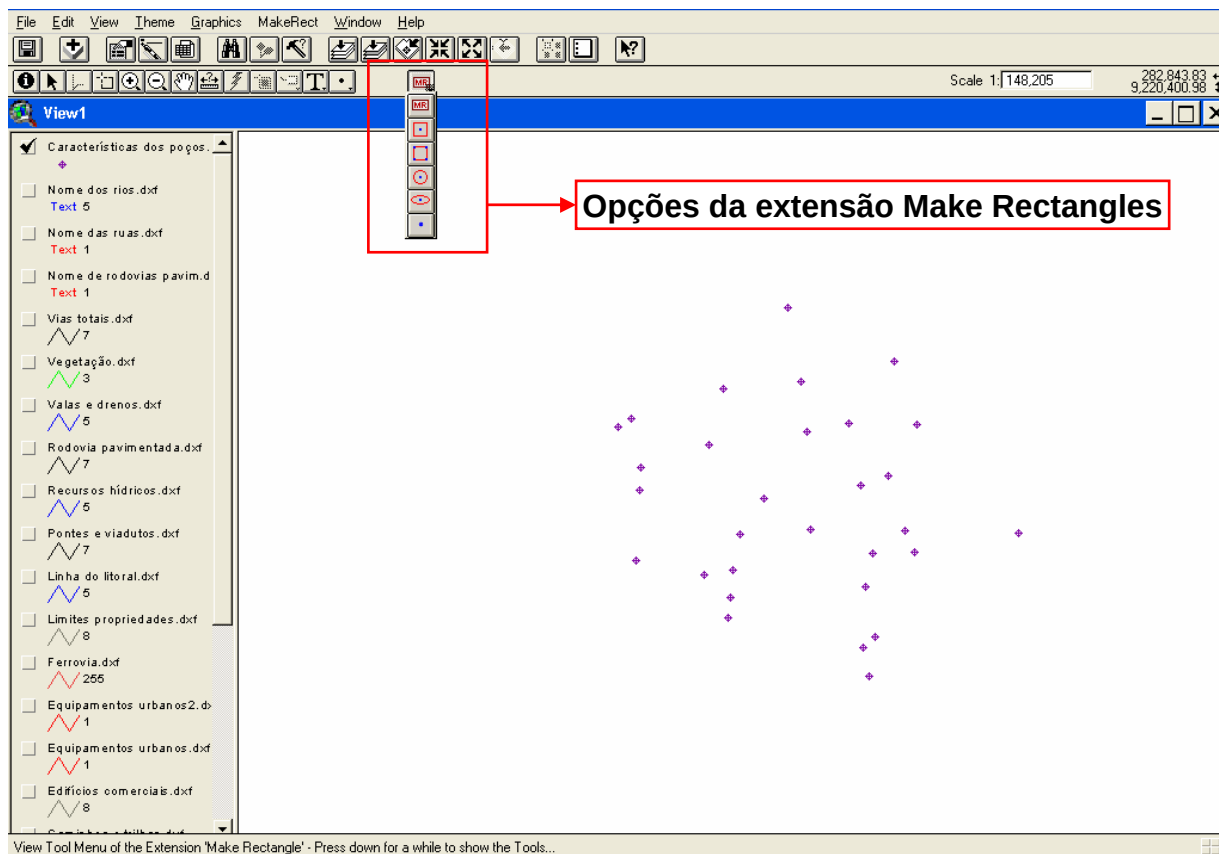


Figura 6.4 - Utilização da extensão Make Rectangles, Circles, Ovals 4.0

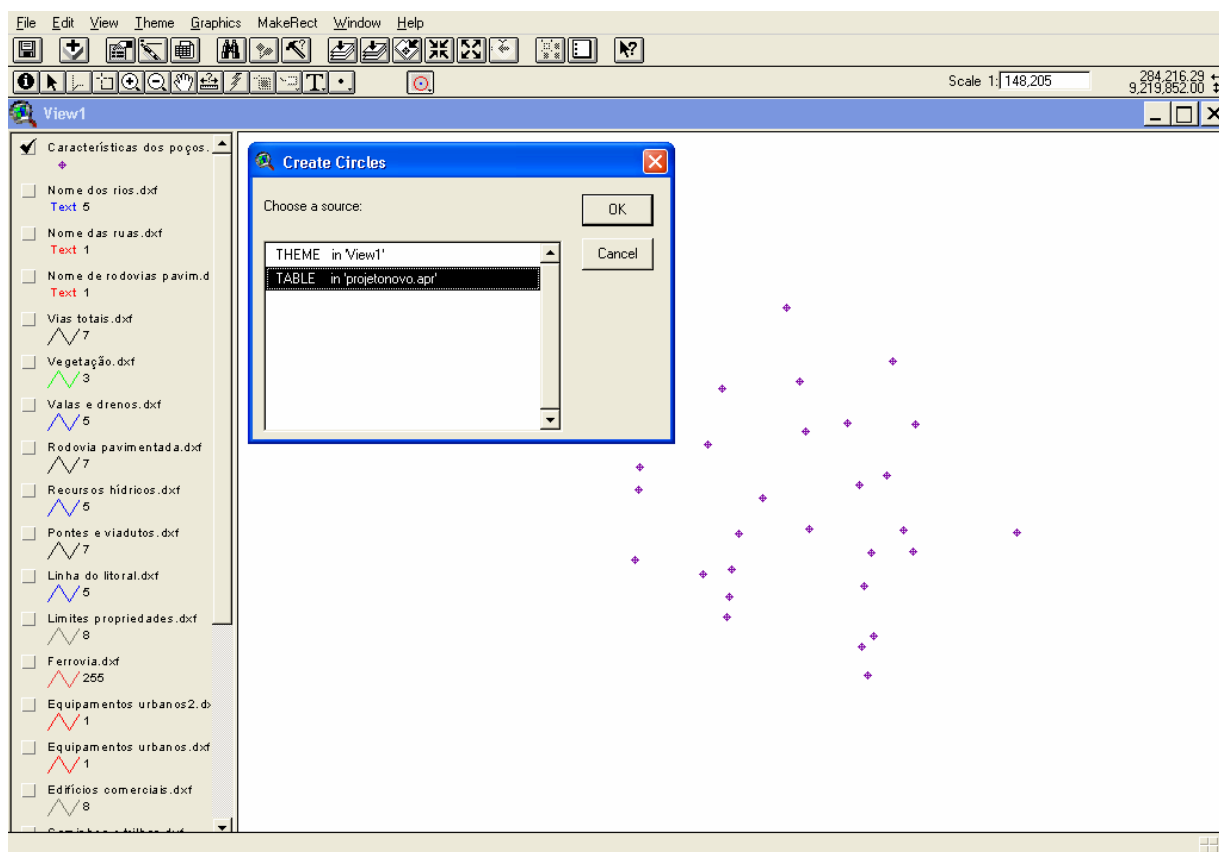


Figura 6.5 - Janela de vinculação de dados – Tabelas.

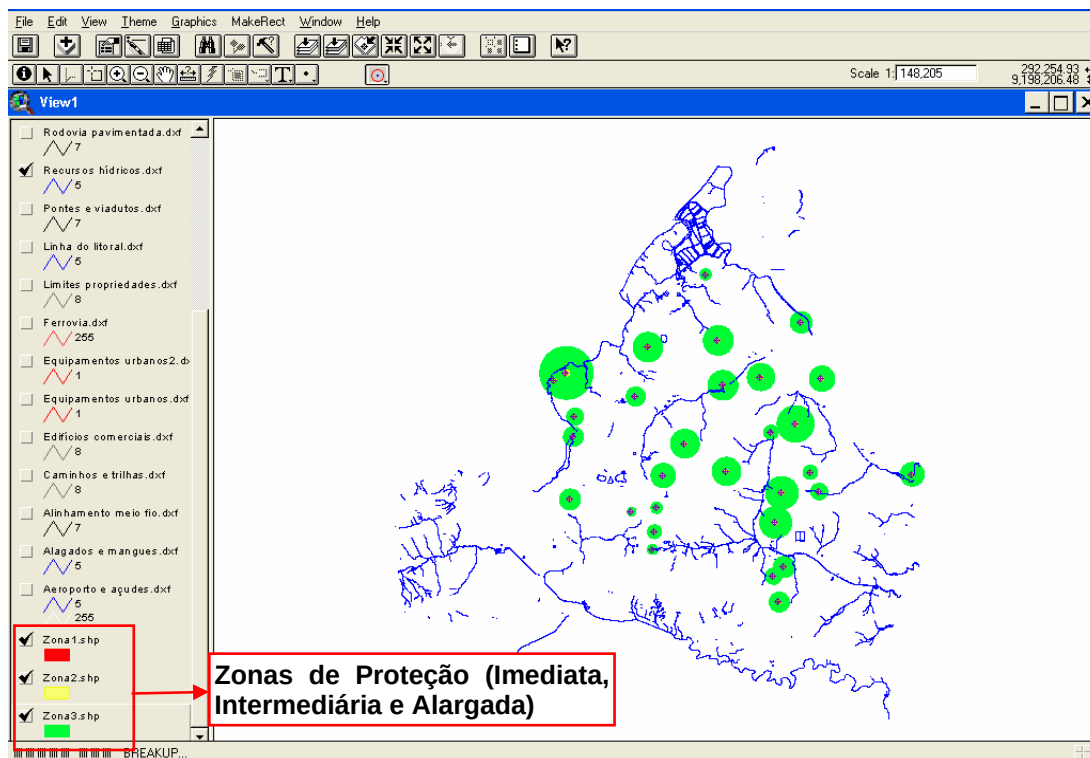


Figura 6.6 - Zonas de proteção – tema recursos hidricos ativado

Após a realização de todos os ajustes visuais, para proporcionar uma melhor apresentação da tela chamada de informações sobre os poços, obteve-se a imagem mostrada na Figura 6.7, que mostra também a distribuição espacial dos poços. Nesta tela, pode-se perceber a existência das características das três zonas apresentados anteriormente.

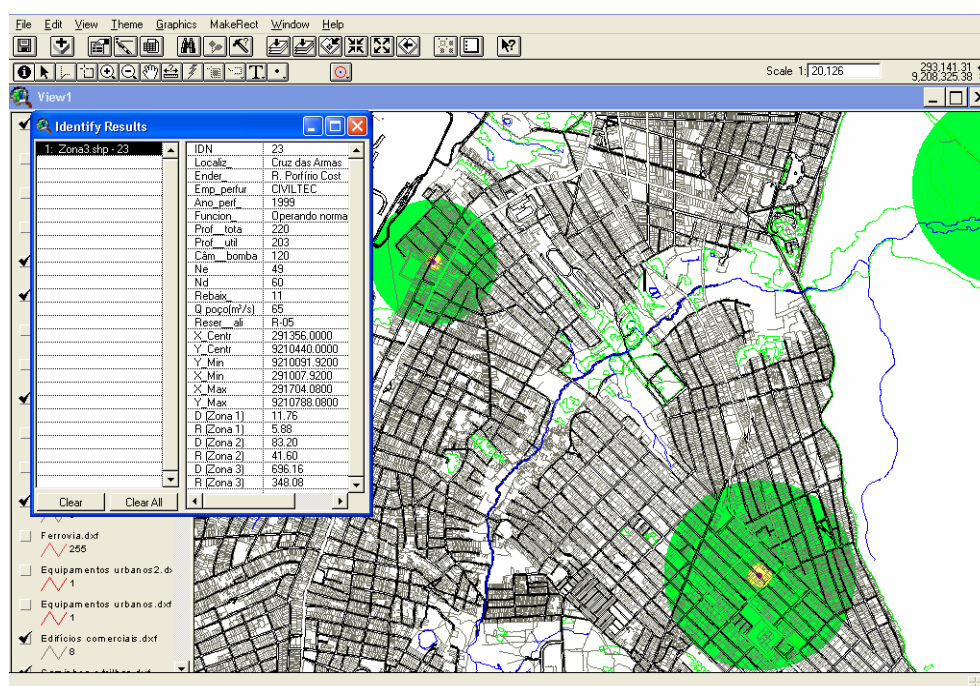


Figura 6.7 - Janela com delimitação dos perímetros e características dos poços

A Figura 6.8 mostra um detalhe do poço Cristo no Parque de Exposições enquanto que a Figura 6.9 mostra a tabela de detalhamento das características do poço.

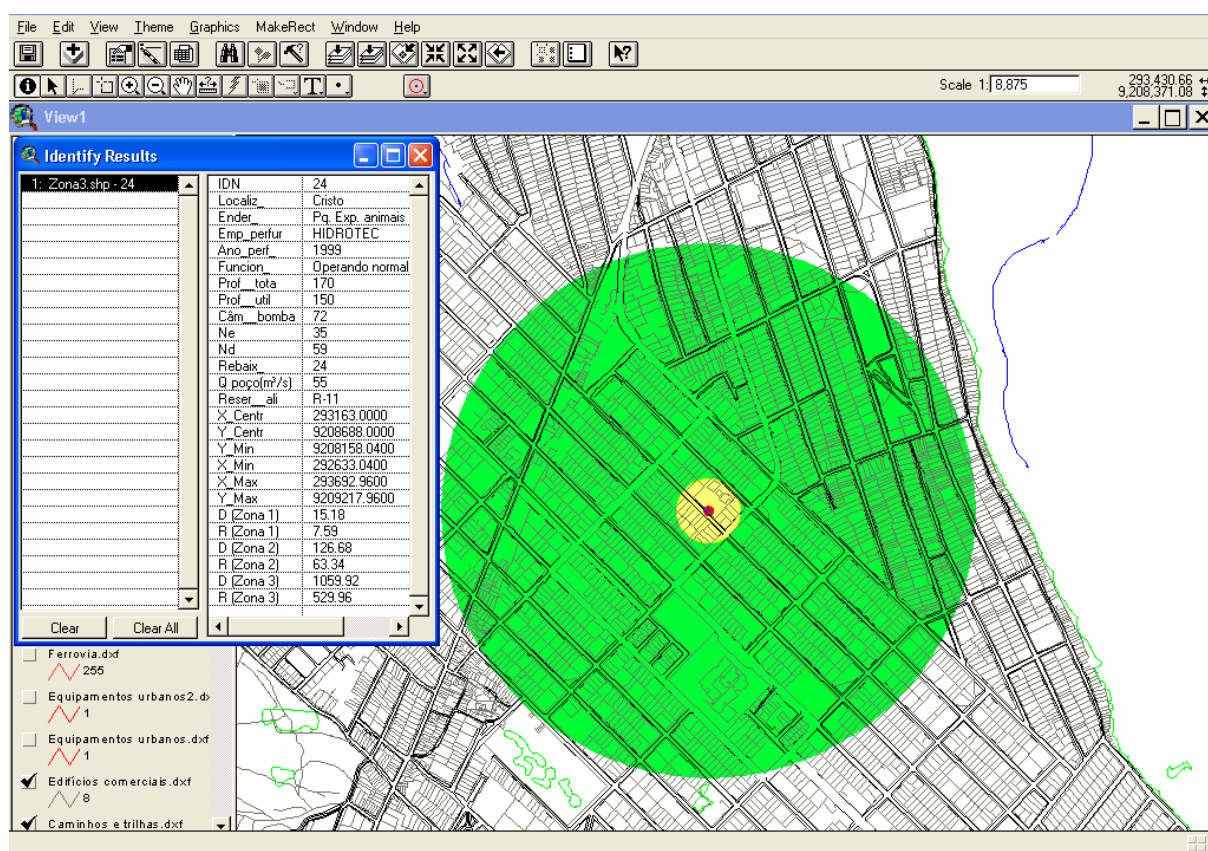


Figura 6.8 - Zonas de proteção e características dos poços

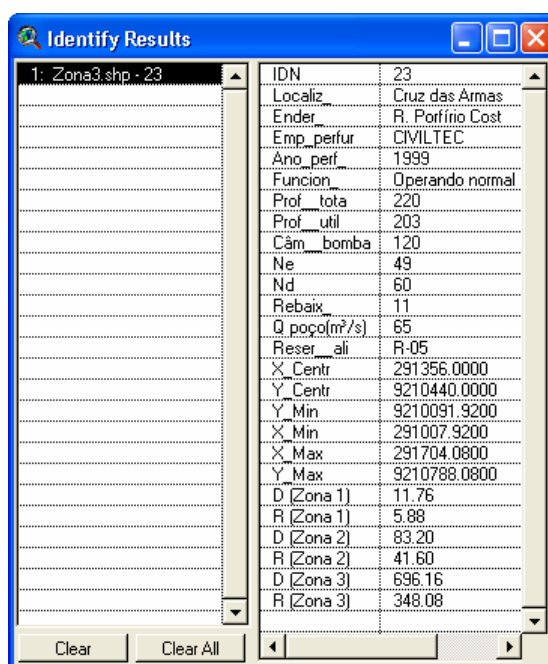


Figura 6.9 - Quadro de características dos poços

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 Conclusões

No Brasil, grande parcela da população é abastecida por água dos mananciais subterrâneos, seja através de poços profundos, rasos, nascentes e/ou poços escavados. Portanto, estudos que induzam a preservação das potencialidades e características naturais dos aquíferos são de extrema relevância para a conservação destas fontes.

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.

Nesta pesquisa, procurou-se apresentar os principais 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 fundamentais sobre perímetros de proteção de captações para o abastecimento público.

O uso desta metodologia torna-se um facilitador na tomada de decisões com relação ao planejamento do uso da terra. Surge com o propósito de disciplinar o uso das águas subterrâneas, exigindo-se maior cuidado do legislador na instalação de aterros sanitários, distritos industriais, postos de combustíveis, lava-jatos, entre outras atividades humanas que possam contaminar os aquíferos.

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 até então 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.

Os dados geográficos encontram-se, assim, estruturados de modo a permitir uma fácil e expedita análise, criação e edição de novos dados, bem como a criação de mapas temáticos para impressão, inclusão dos mesmos em outros documentos ou publicação eletrônica.

É imprescindível que as medidas de proteção das águas sejam consolidadas em legislação própria estadual e/ou federal e que, a necessidade da preservação dos aquíferos e sua condição de bem estratégico, seja transmitida à população através de campanhas educativas.

A análise da legislação brasileira indicou ausência de normas legais a nível federal. 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.

O Brasil não apresenta rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas. Com isso, uma grande 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. 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.

Ficou claramente mostrada uma involução relativa à legislação federal sobre águas subterrâneas, principalmente no que se refere à proteção de aquíferos, no período concernente à edição do Código de Águas e a época atual. Com efeito, a ausência de diplomas legais no que diz respeito à proteção das captações subterrâneas, bem como a ocorrência de problemas associados que despontam principalmente nas cidades, indicam a necessidade urgente de edição de regras para este fim.

Neste contexto, estabelecer restrições legais para o planejamento da ocupação de áreas de recarga e captação, além do zoneamento dos aquíferos de forma a orientar a ocupação futura do solo através dos planos diretores, é fundamental. Tal ação é de particular relevância

nas áreas críticas onde a demanda por água subterrânea é elevada e onde são fortes as tendências de crescimentos populacional, industrial e agrícola.

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 condicionam-se 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.

Por fim, cabe destacar que os estudos de proteção das águas subterrâneas dependem diretamente das atividades antrópicas e, portanto, só se tornarão válidos se adotados conjuntamente dentro dos planos diretores de uso e ocupação dos solos dos municípios.

7.2 Sugestões para Futuras Pesquisas

Considerando a importância desta temática para o abastecimento de água das cidades e os relevantes questionamentos ainda a serem pesquisados sobre a gestão de aquíferos, recomenda-se como decorrência deste trabalho o desenvolvimento dos estudos e pesquisas a seguir:

- i) Identificar e analisar os diversos usos e ocupação do solo nas áreas de influência de cada captação subterrânea, bem como a possível existência de atividades incompatíveis nas zonas determinadas para proteção;
- ii) Propor medidas administrativas de proteção das áreas de captações de poços públicos a serem incorporadas aos planos diretores das cidades;
- iii) Avaliar o desempenho dos modelos analíticos para determinação de perímetros de proteção de poços frente aos modelos numéricos na cidade de João Pessoa;
- iv) Propor um sistema de monitoramento de qualidade de águas subterrâneas, a partir de águas captadas de poços públicos e privados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Minimização das Consequências da Seca no Nordeste, 2003. Disponível em: <http://www.abas.org/downloads/SEDE_ZERO.PDF>. Acesso em: 27/04/2006.
2. ACQUATOOL CONSULTORIA. 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, 2002.
3. ALBERTI, E.A.; SILVÉRIO DA SILVA, J.L. Estudo da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos no Perímetro Urbano de Tupanciretã - RS. In: I ÁGUASUL - I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul. Santa Maria. Anais... Rio Grande do Sul/RS. 20 a 23 de Março, 2005.
4. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH. Águas Subterrâneas. Fonte: Diversas. Elaborado e Editado por: Célio Augusto Pedrosa e Francisco A. Caetano. Brasília, agosto 2002.
5. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e Superintendência de Conservação de Água e Solo. Caderno de recursos Hídricos. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Equipe Técnica: José Luiz Gomes Zoby e Fernando Roberto de Oliveira. Brasília, maio 2005.
6. ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L. Geographic Information Systems: A guide to the technology. Van Nostrand Reinhold, 1991.
7. ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. EMBRAPA-CPAC, Brasília, 1998, 274p.
8. BARBOSA, J.A. et al. Estratigrafia da Bacia Paraíba: Uma Reconsideração. Estudos Geológicos. Recife, v. 13, pp. 89-108, 2003.
9. BARROS, H.D. de. 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.
10. BATISTA, M.E.M. Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para Gestão Urbana Baseado em Indicadores Ambientais. 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.
11. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DA PARAÍBA - CAGEPA. Relatório Final – Preliminar do Programa de Recuperação e Perfuração de Poços. João Pessoa/PB, 1999.

12. CÂMARA, G.; ORTIZ, M.J. Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral. In: Souza e Silva, M, Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento, Lavras UFLA/SBEA. Cap. 2, pp. 59-88, 1998.
13. CARVALHO, T.L.C. et al. Quadro Atual da Legislação da Água Subterrânea no Brasil. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
14. CIABATTI, P.; LOBO FERREIRA, J.P.C. 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, 1994.
15. COELHO V.M.T.; DUARTE U. Perímetros de Proteção para Fontes Naturais de Águas Minerais. Revista Águas Subterrâneas. São Paulo/SP. n. 17, Maio de 2003.
16. COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAGENS E PERFURAÇÕES – CONESP. 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. v. 3, 1976.
17. USA. Congresso Americano. Lei Pública n. 93-523, 1974. Safe Drinking Water Act (SDWA), 1998.
18. COSTA, W.D. (Coordenador). Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife. Relatório Técnico HIDROREC I. Recife, v. 1, 1998.
19. COSTA, W.D. et al. Monitoramento dos Aquíferos Costeiros de Pernambuco na região do Recife. In: Cabral, J.J.S.P., et al. Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade Aproveitamento. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos. v. 4, Cap. 9, pp. 365 – 390, 2004.
20. COSTA, W.D. As Águas Subterrâneas no Nordeste do Brasil. Apresentação Oral do Plano Nacional de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB, 2006.
21. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – CPRH. Diagnóstico Socioambiental - Litoral Norte. O Meio Físico da Área. Recursos Hídricos Subterrâneos. Recife, Cap. 2, 214p. abril de 2003. Disponível em: www.cprh.pe.gov.br. Acesso em: 24/08/2006.
22. DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - DRM/RJ. Poços Tubulares e Outras Captações de Águas Subterrâneas. Orientação aos Usuários, 2003. Disponível em <www.drm.rj.gov.br>. Acesso em 05/06/2006.
23. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Guia Para La Proteccion de Las Aguas Subterraneas. April 1990. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/protect>. Acesso em: 12/05/2006.

24. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Ground Water and Wellhead Protection: Handbook. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Water, EPA/625/R-94/001, set 1994.
25. ESPINDOLA, J.C. 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.
26. FEITOSA, F.A.C.; FILHO, J.M. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Serviço Geológico do Brasil – SPRM. Fortaleza, Ceará, 1997.
27. FIGUEIREDO, L.C. de C. Sistema Georreferenciado de Cadastro e Análise de Pedidos de Outorga do Direito de Uso de Águas Superficiais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte. Anais... ABRH CD ROM, 1999.
28. FILHO, J.L.; IOCHPE, C. Introdução a Sistema de Informações Geográficas com Ênfase em Bancos de Dados. Apostila editada no XV JAI - Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC, Recife-PE, 4 a 9 de agosto de 1996.
29. FOSTER, S.S.D. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. TNO Committee on Hydrological Research Information. n. 38, 1987.
30. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. Manual de Projeto e Construção de Poços Tubulares Profundos. Maio, 2004. Disponível em: www.perfuradores.com.br. Acesso em: 14/07/2006.
31. GOUVÊA DA SILVA, R.B. Águas Subterrâneas: Um Valioso Recurso que Requer Proteção. Departamento de Águas e Engenharia Elétrica/ DAEE. Programa de Prevenção e Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas. 2º Ed. São Paulo/SP, 2004.
32. HOPPENSTEDT, A.; RIEDL, U. Estudo de Impacto Ambiental na Captação de Águas Subterrâneas. In: Previsão de Impactos. ABRH, Editora da Universidade de São Paulo/SP, 95p, 1998.
33. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Anuário Estatístico do Brasil, 2005.
34. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA - ITGE. Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterrâneas, Madrid, dezembro, 1991.
35. KRIJGSMAN; LOBO FERREIRA, J.P.C. A Methodology for Delineating Wellhead Protection Areas. Informação Técnica de Hidráulica INCH 7, ISBN 972-49-1882-3 LNEC. Lisboa, 2001.

36. LARSON, D.R.; MEHNERT, E.; HERZOG, B.L. The Mahomet Aquifer. A Transboundary Resource in East-Central Illinois. International Water Resources Association. v. 28, n. 2, pp. 170-180. June 2003.
37. LIRA, G.A.R.; SILVA, A.C.S.; SILVA, T.C. Potencialidades e Disponibilidades de Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Gramame. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió. Anais... Maceió/Alagoas, dez 2002.
38. LIRA, G.A.R. 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.
39. LOBO FERREIRA, J.P.C; LEITÃO, T.E.; OLIVEIRA, M.M.; MOINANTE, M.J. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais Problemas, Processos de Prevenção e Reabilitação. In: VI SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cabo Verde. Anais... Portugal, 10 - 3 de nov 2003.
40. LUMMERTZ F.B. 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.
41. MANOEL FILHO, J. Água Subterrânea: Histórico e Importância. In: Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 391p, 2000.
42. MELO, J.G.; REBOUÇAS, A.C. Contaminação de Águas Subterrâneas por nitrato na zona sul de Natal, RN. Revista Água Subterrânea, São Paulo, v. 1, p. 71-83, 1996
43. MILLON, M.M.B. Águas Subterrâneas e Política de Recursos Hídricos Estudo de Caso: Campeche, Florianópolis/SC. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção. Florianópolis, Estado de Santa Catarina, 2004.
44. MOINANTE, M.J. de A. Delimitação de Perímetros de Proteção de Captações de Águas Subterrâneas Estudo Comparativo Utilizando Métodos Analíticos e Numéricos. Tese de Mestrado apresentada à Universidade Técnica de Lisboa, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Georrecursos Lisboa/ Portugal, 2003.
45. MOINANTE, M.J.; LOBO FERREIRA, J.P.C. Delimitação de Perímetros de Proteção de Captações de Águas Subterrâneas Destinadas ao Abastecimento Público do Conselho de Montemor-O-Novo. In: Cabral, J.J.S.P., et al. Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade Aproveitamento. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos. v. 4, Cap. 8, pp. 323 – 363, 2004.

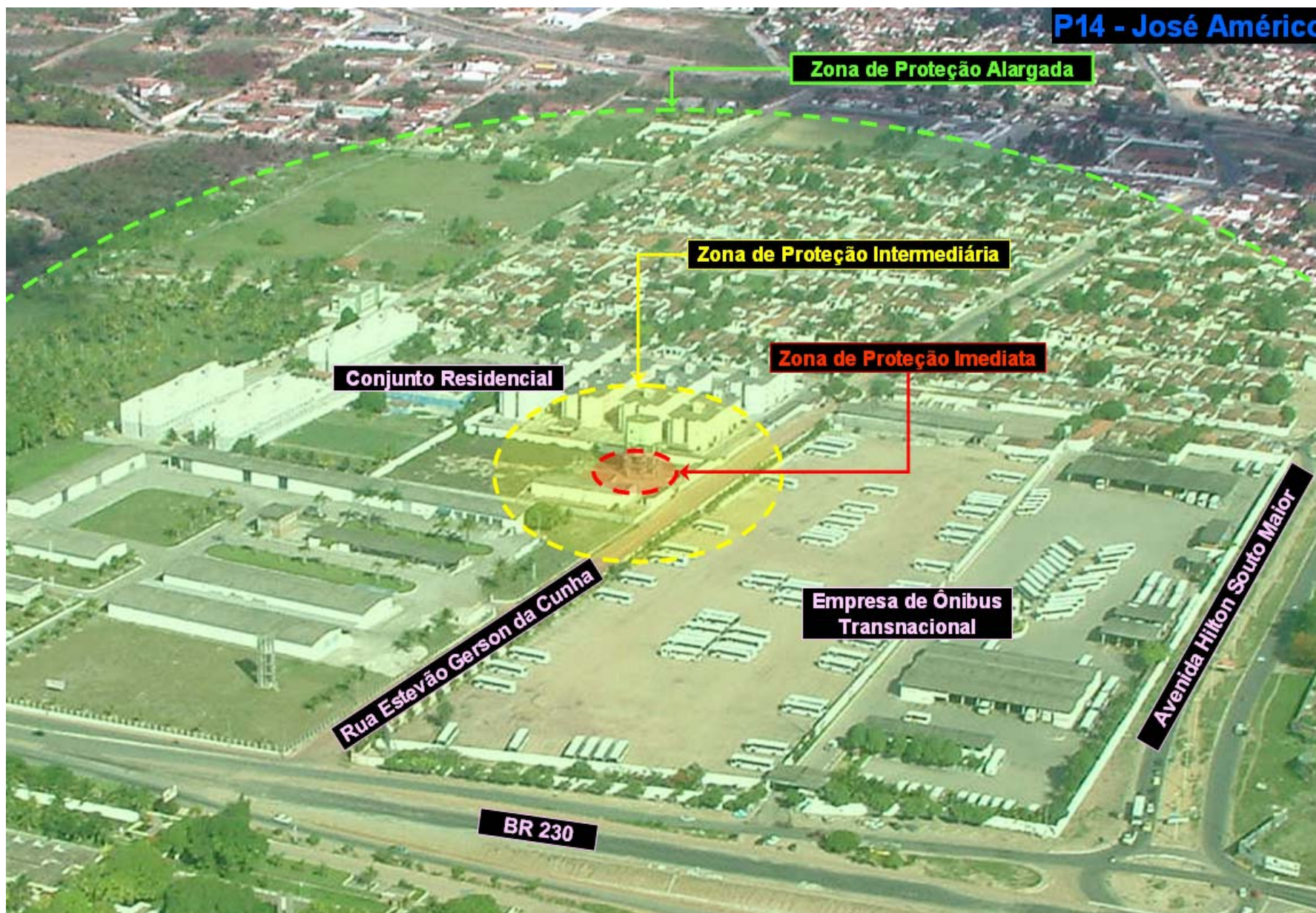
46. MORAES, L.R.S.; TORRES, L.F. Recursos Hídricos, Saneamento e Saúde. Planejamento Ambiental para Salvador. Documentos Preliminares. Prefeitura Municipal de Salvador. pp. 139-226, 1995.
47. NOBRE, M.M.M.; NOBRE, R.C.M.; DANTAS, J.A. Utilização de Técnicas não Convencionais na Remediação de Solos e Águas Subterrâneas Subjacentes a um Pólo Industrial. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. ABMS/ABGE. Brasília. pp.1731-1738. 06-10 novembro, 1998.
48. NOBRE R.C.M.; NOBRE M.M.M.; PEREIRA P.A.; PAIVA P.O.R. Zoneamento e Proteção de Aquíferos em Maceió/AL. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió. Anais... Maceió, ABRH CD-ROM, 2002.
49. WORLD HEALTH ORGANIZATION - OMS. Rolling Revision of the Who Guidelines for Drinking-Water Quality. Draft for review and comments. Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. Chapter 17. October 2004.
50. ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. Water Resources Management Integrated Policies. In Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 391p, 2000.
51. PACHECO, A.et al. Cemeteries - A Potential Risk To Groundwater. Water Science and Technology, v. 24, n. 11, pp. 97-104, 1991.
52. PORTUGAL. Ministério do Ambiente. Decreto-Lei nº 382/99, de 22 de setembro de 1999.
53. REBOUÇAS, A.C. Água Subterrânea no Novo Modelo do Saneamento Básico. Instituto de Estudos Avançados – USP. Hidro Ambiente Projetos, Consultoria e Serviços Ltda, 1996.
54. REBOUÇAS, A. da C. O Sistema Aquífero Guarani – SAG. Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo, n.16, 119p, maio 2002.
55. ROCHA, W.J.S.da; CAMPOS, J.E.G.; LIMA, J.C. de. Considerações sobre a Evolução da Salinização das Águas Subterrâneas em Maceió-AL. In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá. Anais... Gravatá/PE, out 2006.
56. RUFINO, I.A.A.; GALVÃO, C. de O.; SRINIVASAN, V. S. Representação Espacial de Processos Decisórios na Gestão dos Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió. Anais... Maceió, 1 CD ROM, 2002.
57. SCIENTEC/SEPLAN. Plano Diretor de Recursos Hídricos no Estado da Paraíba. Diagnóstico, Inventário Hidrológico Básico do Nordeste. João Pessoa/PB, 1997.
58. SCIENTEC. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. João Pessoa, v. 1, Cap 3, 2000.

59. SILVA, T.C. da; PEDROSA FILHO, L. de A.; SILVA, A.C.S. Avaliação e Espacialização das Características dos Poços do Município de João Pessoa/PB. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju. Anais... Sergipe, CD ROM, nov 2001.
60. SILVA T.C., SILANS A.M.B.P., GADELHA C.L.M. Bacia do Rio Gramame – Hidrologia e Aspectos Ambientais para Gestão dos seus Recursos Hídricos. João Pessoa/PB. Editora Universitária, pp. 15-16, 2002.
61. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMADS. Secretaria de Estado de Energia da Indústria Naval e do Petróleo - SEINPE. Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas - Orientação aos Usuários. Niterói - Rio de Janeiro, 2003.
62. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Brasil); Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). Cooperação Técnica. Projeto: Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Área de Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. Apoio: PROCOP/FAPESP. Abril, 2004.

ANEXOS



Fotografia 01 – Zonas de Proteção Delimitadas Esquematicamente (Poço Referência: P05 – Bairro Mangabeira IV).



Fotografia 02 – Zonas de Proteção Delimitadas Esquemáticamente (Poço Referência: P14 – Bairro do José Américo).



Fotografia 03 – Zonas de Proteção Delimitadas Esquemáticamente (Poço Referência: P16 – Bairro dos Bancários).



Fotografia 05 – Zonas de Proteção Delimitadas Esquematicamente (Poço Referência: P23 – Bairro do Centro/Pavilhão do Chá).



Fotografia 06 – Zonas de Proteção Delimitadas Esquematicamente (Poço Referência: P27 – Altiplano Cabo Branco).