

**BNWPP – BANK NETHERLANDS WATER PARTNERSHIP PROGRAM**



**IBRD - INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT**



**ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL**



## **Relatório de Consultoria Técnica**

# **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO DISTRITO FEDERAL: DIRETRIZES, LEGISLAÇÃO, CRITÉRIOS TÉCNICOS, SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E OPERACIONALIZAÇÃO**

### **Executores:**

Geólogo Dr. José Eloi Guimarães Campos  
Geóloga Dra. Márcia Tereza Pantoja Gaspar  
Geógrafa Msc. Tatiana Diniz Gonçalves

**Brasília, Outubro de 2007.**

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	1
Objetivos.....	1
Metodologia.....	2
<b>PARTE I - LEGISLAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS</b> .....	4
1.1 INTRODUÇÃO.....	4
1.2 CENÁRIO ATUAL DO USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO FEDERAL.....	5
1.2.1 Abastecimento doméstico.....	5
1.2.2 Setor de serviços.....	6
1.2.3 Uso industrial.....	6
1.2.4 Uso agropecuário.....	8
1.2.5 Recreação e paisagismo.....	8
1.2.6 Mineração.....	8
1.3 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO FEDERAL.....	9
1.3.1 Aspectos legais.....	9
1.3.2 Decreto Distrital Nº 22.358, de 31 de agosto de 2001.....	11
1.3.3 Resolução ADASA Nº 350, de 23 de junho 2006.....	11
1.3 Aspectos legais e institucionais da outorga de água subterrânea no Distrito Federal.	12
1.3.4 Aspectos institucionais.....	14
1.4 PROPOSTA DO SISTEMA DE OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	15
1.4.1 Análise do atual Sistema de Permissão para Exploração de Água Subterrânea.....	15
1.5 FERRAMENTAS PARA UMA EFICIENTE GESTÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	18
1.6 METAS PARA SUSTENTABILIDADE DA EXPLOTAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL – USO E MANEJO DO SOLO.....	21
1.7 EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	22
1.7.1 Experiências Nacionais.....	23
1.7.2 Experiências Internacionais.....	36
1.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
<b>PARTE II - SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS AQUÍFEROS DO DISTRITO FEDERAL E PROPOSTAS PARA OUTORGA E GESTÃO</b> .....	42
2.1 GEOLOGIA.....	42
2.2 RELEVO.....	45
2.3 CLIMA.....	46
2.4 SOLOS.....	47
2.5 HIDROGEOLOGIA.....	48

2.5.1	Descrição dos Aquíferos.....	49
2.5.1.1	Domínio Freático.....	49
2.5.1.2	Domínio Fraturado.....	51
2.5.1.3	Domínio Físsuro-cárstico.....	52
2.5.2	Modelos Conceituais dos Aquíferos.....	53
2.5.2.1	Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas.....	53
2.5.2.2	Modelo Físsuro-Cárstico.....	55
2.5.2.3	Modelo de Superfície Potenciométrica Única com Confinamento.....	56
2.5.2.4	Modelo de Superfície Potenciométrica Única sem Confinamento.....	58
2.6	HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	58
2.6.1	Considerações Gerais.....	58
2.6.2	Metodologia de Amostragem.....	60
2.6.3	Resultados.....	62
2.6.4	Idades das Águas.....	63
2.7	CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA A DEFINIÇÃO DE VAZÕES OUTORGÁVEIS.....	67
2.7.1	Introdução.....	67
2.7.2	Critérios Técnicos para a definição de Vazões Outorgáveis.....	69
2.7.2.1	Vazão Média do Aquífero.....	70
2.7.2.2	Percentual da Vazão do Poço.....	70
2.7.2.3	Vazão de Base da Drenagem Superficial.....	71
2.7.2.4	Análise Qualitativa dos Dados de Ensaio de Bombeamento.....	71
2.7.2.5	Rebaixamento Disponível.....	72
2.7.2.6	Vazão de Segurança.....	72
2.7.3	Proposta para Estabelecimento de Outorga para Poços no Distrito Federal.....	73
2.8	CÁLCULO DE RESERVAS E DISPONIBILIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	77
2.8.1	Reservas Renováveis.....	77
2.8.2	Reservas Permanentes.....	77
2.8.3	Reservas Explotáveis.....	77
2.8.4	Sistemas Intergranulares.....	79
2.8.5	Reservas Renováveis do Domínio Intergranular.....	80
2.8.6	Reservas Permanentes do Domínio Intergranular.....	80
2.8.7	Sistemas Fraturados.....	80
2.8.8	Reservas Renováveis do Domínio Fraturados.....	82
2.8.9	Reservas Permanentes do Domínio Fraturados.....	82
2.8.10	Disponibilidade Efetiva.....	83
2.9	PROPOSTA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS PARA O DISTRITO FEDERAL.....	85
2.9.1	Introdução.....	85
2.9.2	Proposta de Gestão.....	86
2.9.3	Caracterização dos Aquíferos.....	86
2.9.4	Construção Adequada dos Poços.....	88
2.9.5	Aplicação de Técnicas de Recarga Artificial dos Aquíferos.....	89
2.9.6	Implantação de Sistemas de Outorga e Cobrança pelo Uso das Águas Subterrâneas.....	92

2.9.7 Prover e Disseminar Informações Técnicas aos Usuários.....	94
2.9.8 Implantação de Sistemas de Hidrometragem.....	94
2.9.9 Estudo de Viabilidade de Sistemas de Captação Mistos.....	95
2.9.10 Implementação de Sistemas de Coleta e Tratamento de Efluentes.....	96
2.9.11 Operação Adequada dos Sistemas de Captação.....	96
2.9.12 Manutenção dos Poços.....	97
2.9.13 Monitoramento dos Níveis D'água Subterrânea.....	97
2.9.14 Ampliação e Manutenção de Áreas Verdes.....	97
2.9.15 Segurança e Proteção dos Poços.....	98
<b>2.10 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE EXPLOTAÇÃO DOS</b>	
<b>AQUÍFEROS.....</b>	<b>102</b>
2.10.1 Considerações Gerais.....	102
2.10.2 Monitoramento Qualitativo.....	105
2.10.3 Monitoramento Quantitativo.....	106
2.11 Tempo Diário de Bombeamento.....	106
<b>2.12 AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E RISCO A CONTAMINAÇÃO.....</b>	<b>107</b>
2.12.1 Considerações Conceituais.....	107
2.12.2 Determinação do Risco de Contaminação.....	110
<b>2.13 DETERMINAÇÃO DAS UNIDADES DE GERENCIAMENTO PARA</b>	
<b>OPERACIONALIZAÇÃO DA GESTÃO.....</b>	<b>112</b>
<b>2.14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>PARTE III - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO</b>	
<b>FERRAMENTA DE APOIO À OUTORGA DOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	
<b>SUBTERRÂNEOS NO DISTRITO FEDERAL.....</b>	<b>119</b>
<b>3.1 BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO.....</b>	<b>120</b>
3.1.1 Dados Planialtimétricos.....	120
3.1.2 Dados Climatológicos.....	122
3.1.3 Dados Geológicos.....	123
3.1.4 Dados Pedológicos.....	125
3.1.5 Dados de Uso e Cobertura da Terra.....	126
<b>3.2 PRODUTOS.....</b>	<b>131</b>
3.2.1 Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (S).....	132
3.2.2 Disponibilidade Hídrica.....	138
3.2.3 Potencial de Recarga.....	139
3.2.4 Favorabilidade à Exploração.....	141
3.2.5 Risco a Contaminação das Águas Profundas.....	143
3.2.6 Apoio à Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal.....	145
<b>3.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>148</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>152</b>

## **ABSTRACT**

This Technical Report presents the state-of-art of the hydrogeology knowledge of the Federal District, Brazil and shows ideas and propositions related to the management of the groundwater exploitation. New data are published including: groundwater chemical classification, aquifer modeling, new mapping of the shallow aquifers, proposition of technical approaches to guide groundwater manager and users.

The text is divided in three independent and complementary parts: 1) The legislation and groundwater rights issues; 2) The technical statements, groundwater quantification, and distribution criteria propositions; 3) Geographical Information System applied to the groundwater in the Federal District region.

The results are considered of great value once they can be directly be applied by the Water and Sanitation Federal District Agency - ADASA - to the groundwater management in the region. The proposed GIS must be improved and adapted, so that it can be the instrument to the groundwater management to the Federal District.

The definition of new Laws and Resolutions must take in consideration the evaluation and propositions developed by the present Technical Report.

## APRESENTAÇÃO

O presente documento representa o relatório técnico relativo a três contratos de consultoria firmados com o Banco Mundial no âmbito dos Termos de Referência intitulados “Sistemas de Direitos da Água para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Distrito Federal, Brasil” (Water Rights Systems for groundwater management in the Federal District, Brazil).

A referência a cada consultor pode ser mencionada pelos contratos firmados em 24 de abril de 2007 com a Geóloga Márcia Tereza Pantoja Gaspar (Contrato Número 7687344), o Geólogo José Eloi Guimarães Campos (Contrato Número 7687345) e com a Geógrafa Tatiana Diniz Gonçalves (Contrato Número 7687343), respectivamente responsáveis pelas partes I, II e III do presente estudo.

O texto será apresentado em três partes independentes e complementares que incluirão: Parte I - aspectos legais sobre a gestão de recursos hídricos subterrâneos; Parte II - aspectos técnicos e operacionais para a outorga de recursos hídricos subterrâneos e Parte III - sistema de informação geográfica aplicado à outorga de direito de uso de águas subterrâneas.

### OBJETIVOS

Os principais objetivos do estudo são a definição das diretrizes que devem ser aplicadas para a gestão da exploração das águas subterrâneas no quadrilátero do Distrito Federal, bem como a avaliação da legislação pertinente e apresentação de um sistema de informação geográfica aplicado à gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Os estudos pretendem dar um destaque para as questões relativas aos critérios de outorga dos recursos hídricos subterrâneos. É importante salientar que os critérios listados e discutidos serão baseados nos aquíferos e, portanto, terão como eixo os parâmetros legais e técnicos que devem ser a os argumentos primários para se definir a sistemática de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, em especial para a exploração das águas subterrâneas.

Dentre os objetivos secundários destacam-se:

- ✓ Apresentar descrição sumária da hidrogeologia da região do Distrito Federal com toda a atualização disponível, além de novos dados, de forma a se conhecer a matriz que está envolvida nos estudos sobre as águas subterrâneas;
- ✓ Caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas profundas, de forma a se definir os valores de referências para cada um dos sistemas/subsistemas aquíferos;

- ✓ Apresentar os critérios técnicos utilizados para a definição de volumes outorgáveis para exploração de águas dos mananciais subterrâneos;
- ✓ Calcular as reservas explotáveis, por sistema/subsistema aquífero, a partir do refinamento da metodologia já aplicada para a região por Campos & Freitas-Silva (1998);
- ✓ Determinar o tempo diário de bombeamento de forma que se alcance a sustentabilidade dos sistemas de abastecimentos baseados na exploração dos aquíferos;
- ✓ Determinar o grau de exploração dos aquíferos, de forma que se possa prever a disponibilidade residual dos sistemas;
- ✓ Avaliar de forma preliminar a vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas profundas e
- ✓ Definir os parâmetros técnicos a serem adotados para a construção dos poços, bem como as diretrizes para determinar os perímetros de proteção dos sistemas de captação.

Além dos aspectos técnicos e práticos, úteis para os gestores de recursos hídricos, também serão apresentados dados e informações a serem utilizados pelos usuários dos aquíferos, que em sua ampla maioria não tem conhecimentos específicos sobre a forma de ocorrência, de renovação e de exploração das águas subterrâneas.

## **METODOLOGIA**

O trabalho foi desenvolvido em diferentes vias metodológicas que culminam com a integração de dados e proposição das práticas de gestão e proposição dos mecanismos de outorga dos recursos hídricos subterrâneos, incluindo:

- ✓ Pesquisa do quadro atual de usuários da água subterrânea no Distrito Federal, com base em estudos anteriores, informações cedidas pela ADASA, pela CAESB, e outras informações atualizadas dos setores de industrial/serviços que utilizam águas subterrâneas.
- ✓ Apresentação dos aspectos institucionais da outorga de água subterrânea no Distrito Federal, com base em informações disponibilizadas pela ADASA.
- ✓ Integração de dados secundários publicados ou inéditos sobre a hidrogeologia e o meio físico (geologia, geomorfologia, solos e clima) do Distrito Federal;
- ✓ Integração de dados obtidos a partir de trabalhos de campo desenvolvidos na região em geral no âmbito de projetos de pesquisa acadêmica ou na realização de estudos de campo com estudantes da Universidade de Brasília;

- ✓ Integração de dados a partir do contato direto com órgãos gestores de recursos hídricos de outros estados do Brasil e levantamento de experiências internacionais;
- ✓ Pesquisa bibliográfica em periódicos internacionais e via banco de dados digitais, de forma a atualizar conhecimentos sobre temas específicos da gestão dos aquíferos.
- ✓ Apresentação e discussão sobre os aspectos legais da outorga de água subterrânea baseadas na legislação de recursos hídricos vigente no Brasil e no Distrito Federal, e em algumas referências bibliográficas de juristas especializados na gestão de recursos hídricos do Brasil.

Métodos e técnicas de estudos específicos, como coletas e análises de águas subterrâneas, determinação de planos de informação e composição do sistema de informação geográfica são apresentados junto aos respectivos itens ao longo do texto.

# PARTE I

## LEGISLAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

### 1.1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana irregular em áreas não alcançadas pelo sistema integrado de abastecimento da concessionária de serviço público de saneamento básico do Distrito Federal, a CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) é a principal causa apontada para o aumento da demanda de água subterrânea no Distrito Federal. O crescimento de alguns setores de serviços, indústrias e irrigação nos últimos anos também contribuíram para o incremento no consumo de água subterrânea, assim como a procura por uma alternativa mais econômica e de melhor qualidade, substitutiva ao uso da água superficial.

A crescente demanda e a necessidade premente de regulação do uso da água subterrânea vêm despertando nas autoridades governamentais o interesse de embasar as ações administrativas dos órgãos gestores estaduais e do Distrito Federal, principalmente no que se refere aos instrumentos de outorga e cobrança instituídos pelas políticas nacional (PNRH Lei Nº 9.433/97), estaduais e distrital (PDRH Lei Nº 2.725/01) de recursos hídricos.

No Distrito Federal a regulação, controle e fiscalização das águas subterrâneas são atribuições da Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal (ADASA), que tem a sua atuação regida pelos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos das políticas nacional e distrital de recursos hídricos, segundo o Art. 2º da lei distrital Nº 3.365/2004, que criou a citada agência.

Atualmente, o sistema de outorga de água subterrânea implantado pela ADASA ainda necessita de otimização administrativa, normativa e técnica. Os critérios técnicos (hidrogeológicos) e sócio-econômicos devem ser revistos e normativamente uniformizados, primariamente com base na atualização das informações hidrogeológicas locais. A atualização dessas informações e a definição dos critérios de outorga são imprescindíveis para a organização administrativa da ADASA, com vistas à regulamentar o uso da água subterrânea, sua proteção e garantir um equilíbrio dos usos múltiplos, conforme fundamentado nas políticas nacionais e distritais de recursos hídricos.

Com base nessas necessidades, o presente trabalho objetiva apresentar em linhas gerais uma avaliação crítica do atual sistema de outorga de direito de uso de água subterrânea implantado e uma nova proposta para o sistema de outorga de água subterrânea do Distrito Federal.

O novo sistema proposto deve aproveitar experiências bem sucedidas no âmbito nacional e internacional com a gestão de recursos hídricos subterrâneos, assim como colocar em discussão junto ao meio técnico-científico envolvido e interessado a nova proposta. Neste relatório preliminar, entretanto, apresenta-se o cenário atual de uso da água subterrânea no Distrito Federal, e uma discussão sobre os aspectos legais e institucionais da outorga de água subterrânea nesta unidade da federação.

## **1.2 CENÁRIO ATUAL DO USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO FEDERAL**

A apresentação do cenário atual de uso da água subterrânea no Distrito Federal é de fundamental importância para a gestão desse recurso. Os diversos tipos de uso influenciam nos aspectos sócio-econômicos do sistema de outorga, por meio do estabelecimento de usos prioritários, com vistas a evitar possíveis conflitos futuros entre os usuários e para visualização de usos futuros potenciais.

Os principais usos da água subterrânea no Distrito Federal incluem: o abastecimento doméstico; uso industrial; uso agropecuário; recreação e paisagismo; e, mineração. Dentre esses diversos usos da água subterrânea percebe-se uma distinção no perfil ou padrão de exploração e na finalidade de uso. Essas diferenças serão a seguir apresentadas de forma qualitativa e, na medida do possível, quantitativamente. Algumas informações apresentadas a seguir são do banco de dados da ADASA, tendo sido disponibilizados no final do mês de maio de 2007.

### **1.2.1 Abastecimento doméstico**

Segundo dados do Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal (1998), desde a década de 60, a água subterrânea vem sendo utilizada para a viabilização de centros urbanos, como exemplo do abastecimento dos primeiros blocos da Quadra 107 norte no Plano Piloto e grande parte da Cidade de Ceilândia, no início de sua implantação.

Atualmente, o perfil geográfico de uso da água subterrânea tem apontado para um crescimento nas recentes expansões urbanas, na forma de condomínios irregulares, nas cidades de Sobradinho e Planaltina. Essa região de condomínios, na época de sua implantação até recentemente, ficava fora do alcance do Sistema Integrado de Abastecimento da CAESB, e tinha a água subterrânea como única fonte de abastecimento, haja vista a escassez de água superficial nas regiões ocupadas. Desta forma, a água subterrânea surgiu como uma alternativa mais econômica, uma vez que não se paga pela exploração da água do aquífero, e de boa qualidade.

Entretanto, segundo informações da CAESB, a partir do ano de 2003, a Companhia iniciou um processo de incorporação dos sistemas de abastecimento de água dos condomínios residenciais que surgiram nas áreas peri-urbanas na década de 90, na sua grande maioria atendidos por poços tubulares profundos.

Segundo a Companhia, a capacidade de produção estimada para os poços na área urbana é de 2.500 m<sup>3</sup>/h, representando cerca de 6% da capacidade total do Sistema Produtor da CAESB. Essa produção está distribuída em oito sistemas de abastecimento em áreas urbanas abastecidos pela CAESB, como o de São Sebastião, Jardim Botânico, Incra-8, Sobradinho, Arapoanga, Itapoá, Papuda e Água Quente.

Um destaque no uso da água subterrânea dentro da área de atendimento da CAESB é a Cidade de São Sebastião, onde o abastecimento é feito exclusivamente pela exploração de uma bateria de 20 poços tubulares profundos, num sistema que opera com vazões de até 186 m<sup>3</sup>/h. Considerando as informações existentes da CAESB, o sistema possui uma capacidade comprovada de produção de 876 m<sup>3</sup>/h. Entretanto, a companhia tem sua capacidade de produção limitada pela expedição de outorgas pela ADASA.

Naquela região os poços exploram água no Domínio Físsuro-Cárstico (Lousada & Campos 2005), segundo os autores esses aquíferos são os mais anisotrópicos e heterogêneos observados na região, e sua ampla anisotropia é materializada pelas variações de vazões dos poços tubulares perfurados, com vazões específicas variando de zero até valores superiores a 18 m<sup>3</sup>/h/m.

O subsistema aquífero explorado é o **F/Q/M**, e segundo informações da ADASA na região de São Sebastião esse subsistema aquífero não dispõe mais de volume passível de outorga, uma vez que já está operando no seu limite de segurança da reserva explotável. Baseado nos dados apresentados no volume de disponibilidade hídrica do PGIRH.

Na zona rural do Distrito Federal a Gerência de Sistemas Rurais da CAESB opera, segundo Santos & Cadamuro (2004), por meio de sistemas de abastecimento isolados. Atualmente 47 comunidades rurais são atendidas por meio da exploração de 46 poços tubulares profundos pela CAESB, com uma capacidade total de produção de 470 m<sup>3</sup>/h. A população atendida soma aproximadamente 17.000 habitantes. Ainda na zona rural do Distrito Federal inúmeras chácaras e residências utilizam água subterrânea para abastecimento doméstico, normalmente explotada de aquíferos mais rasos, do Domínio Intergranular, por meio de poços rasos, escavados (cisternas).

## **Setor de serviços**

A procura de água subterrânea no setor de serviços se deve principalmente devido à economia feita pelos empresários, uma vez que ainda não há cobrança pelo volume de água explorada dos aquíferos. Outra motivação somada nesse interesse é que os usos a que a água subterrânea é destinada são usos "pouco nobres" que não exigem água tratada, como lavagem de veículos, por exemplo.

Destacam-se nesse setor os postos de combustíveis, que utilizam água subterrânea para a lavagem de carros, assim como os lava-jatos e as grandes garagens de empresas de transporte público. Do universo de 418 postos de combustíveis presentes em todo Distrito Federal, existem apenas cinco (5) outorgas de uso da água subterrânea concedidas pela ADASA até o final de maio de 2007, sendo que a maioria dos postos dispõe de poços para fins de abastecimento ou para lavagem de veículos. No trâmite do processo de outorga na ADASA há 60 processos em análise, sendo 24 destes com pendências de informações e/ou documentação.

Segundo o Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal (1998), as oficinas e garagens de empresas de transporte público também são incluídas nesse setor e utilizam a água subterrânea para minimizar os custos com a lavagem de ônibus. Os clubes e as escolas são outro segmento de serviços que utilizam em larga escala a água subterrânea, na tentativa de diminuição de custos de abastecimento.

### **1.2.3 Uso industrial**

O setor industrial também encontra na água subterrânea um recurso barato para economizar no processo produtivo. Os ramos industriais presentes no Distrito Federal mais consumidores de água subterrânea são o de bebidas (cervejas e refrigerantes), da indústria de alimentos e de cimento.

No ramo industrial de bebidas a água subterrânea é utilizada como matéria-prima como insumo do processo produtivo. Atualmente a AMBEV dispõe de quatro poços outorgados, somando um total de 648.000 l/dia.

No ramo de alimentos, por sua vez, as empresas *Sadia* e *Só Frango* dispõem de um volume de 2.866.000 litros de água subterrânea diários por meio da exploração de sete poços tubulares profundos outorgados para finalidade industrial.

As indústrias de cimento instaladas no Distrito Federal também recorrem ao uso da água subterrânea para seu abastecimento potável. Esse segmento é representado pelas empresas Cimento Tocantins S/A (CTSA) e Cimento Planalto (CIPLAN).

#### **1.2.4 Uso agropecuário**

A agropecuária é um setor em pleno crescimento no Distrito Federal, em função do grande mercado consumidor de Brasília e Cidades Satélites. Localmente, o cultivo hortifrutícola utiliza-se da água subterrânea para irrigação por meio de poços tubulares pouco profundos, que exploram água principalmente do Domínio Poroso.

As atividades de criação de animais e abatedouros também estão buscando a regularização de captações junto à ADASA, e diversas outras se utilizam informalmente desse recurso para suas atividades.

#### **1.2.5 Recreação e paisagismo**

O uso da água subterrânea para recreação se dá principalmente nos clubes recreativos que utilizam para manutenção de piscinas, lavagem de quadras, salões, irrigação paisagística, para o abastecimento humano, etc.

Ainda nessa finalidade pode-se citar o uso da água subterrânea por residências dos lagos norte e sul, e do setor de mansões Park Way, entre outros, que apresentam uma grande demanda de água para irrigação de jardins e manutenção de piscinas.

#### **1.2.6 Mineração**

O setor de exploração de água mineral no Distrito Federal tem atualmente 11 (onze) poços tubulares profundos que exploram água subterrânea por meio de concessão de lavra expedida pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para nove empresas. A produção diária de água mineral explorada por meio de poços tubulares profundos no Distrito Federal chega a mais de 800.000 litros, sendo a vazão média dos poços de cerca de 15.000 l/h. Os poços utilizados para este fim ainda não têm outorga concedida pela ADASA e nem protocolaram até então pedido de regularização, embora o inciso I, do Art. 8º da Resolução/ADASA Nº350/2006 estabeleça que depende obrigatoriamente de outorga do direito de uso a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo, por meio de poços tubulares.

Embora tenha sido apresentado um cenário atual do uso de água subterrânea do Distrito Federal, vale ressaltar que este cenário é dinâmico e que evolui conforme o crescimento populacional e industrial locais, onde as vocações industriais também influenciam nessa dinâmica, uma vez que certos segmentos industriais requerem menos ou mais água que outros, conforme seu processo produtivo e/ou produto gerado.

### 1.3 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO FEDERAL

#### 1.3.1 Aspectos legais

Ao tecer considerações sobre as leis e normas que regem as águas subterrâneas no Distrito Federal, é imprescindível apresentar uma visão do quadro nacional de regulamentação das águas. A compreensão da regulamentação nacional do uso e proteção desse recurso elucida o estado atual de regulamentação nos Estados e no Distrito Federal.

A Constituição brasileira de 1988 apresentou novidades no "Direito das Águas"<sup>1</sup>, principalmente no que tange ao seu domínio. Atribuiu em seu Art. 20, inciso III, como na Constituição anterior (1937) *os lagos, rios e quaisquer correntes de água (grifo nosso) em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenha, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais*, como bens da União. No Art. 26, inciso I, apresenta em novidade, como bens dos Estados *"As águas superficiais ou subterrâneas (grifo nosso), fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União"*.

Quanto à normatização das águas a Constituição Federal dispõe em seu Art. 22, inciso IV, competência privativa da União legislar sobre *águas (grifo nosso), energia, informática, telecomunicações e radiodifusão*. Nessa mesma linha, atribuiu como competência da União, *instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso*, em seu Art. 21, inciso XIX. A lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, veio então, regulamentar este inciso, e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), ditando em âmbito nacional os fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da PNRH, hoje plenamente fundamentada.

As águas subterrâneas, por sua vez, são citadas na Constituição Federal apenas no Art. 26, inciso I, que as declara como bens dos Estados. Desta forma, na PNRH as águas subterrâneas são citadas apenas no Art. 12, inciso II, que aponta sua sujeição ao instrumento de outorga pelo Poder Público. Cabendo, portanto aos Estados e ao Distrito Federal regulamentar por meios de leis e decretos estaduais e distritais o uso desse recurso.

---

<sup>1</sup> Segundo Pompeu (2006), o direito das águas constitui um conjunto de princípios e normas jurídicas que disciplinam o domínio, uso, aproveitamento e preservação das águas, assim como a defesa de suas danosas conseqüências.

Segundo o jurista Pompeu (2006), o titular do domínio sobre a água tem o poder-dever de administrá-la e de definir sua repartição entre os usuários, cujo uso pode ser gratuito ou retribuído, e de organizar-se administrativamente para tanto.

As citações do jurista apontam diretamente para os instrumentos de outorga e cobrança, onde os órgãos gestores administram o recurso, no caso, a água, pela prática da outorga e cobrança, por meio do estabelecimento de critérios técnicos e socioeconômicos.

No Distrito Federal a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal, foi criada pela Lei Nº 3.365, de 16 de junho de 2004, como órgão gestor das águas e saneamento, vinculada à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEDUMA). Atualmente é essa agência que gerencia as águas do domínio do Distrito Federal.

A ADASA tem sua atuação regida pelos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/1997) e da Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal (Lei Distrital Nº 2.725/2001).

A Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PRHDF) foi instituída pela Lei Distrital Nº 2.725, de 13 de junho de 2001, seguindo, em linhas gerais, os mesmos fundamentos, diretrizes, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Em seu Art. 6º, a PRHDF lista seus instrumentos, que consistem: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga do direito de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos; e, o Fundo de Recursos Hídricos do Distrito Federal.

A jurista Granziera (2001) classificou a outorga do direito de uso de recursos hídricos como um instrumento de controle administrativo, assim como a cobrança. Segundo a autora, a concessão ou não da outorga, assim como as respectivas condições e limites, estão entre outros procedimentos normativos, na representação do efetivo exercício do poder de polícia das águas pelo estado. Este poder foi atribuído na PNRH em seu Art. 14, que dita "*A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal*".

Ainda em âmbito nacional, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio das resoluções de Nº 15 e 16 de 2001 estabeleceu algumas diretrizes complementares sobre a outorga de água subterrânea. Ambas apontam para orientações de se considerar a interação entre as águas superficiais e subterrâneas, assim como a indissociação dos aspectos de qualidade e quantidade.

A Resolução/CNRH Nº15/2001 estabelece em seu Art.3º, inciso III, que "*Nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão ser considerados critérios que assegurem a*

*gestão integrada das águas, visando evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos e dos corpos de água superficiais a eles interligados"*

A Resolução/CNRH Nº16/2001, por sua vez, estabelece em seu § 4º Art. 1º "*A análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico visando a gestão integrada dos recursos hídricos*", e no seu Art. 27 "*As Unidades da Federação a quem compete a emissão das outorgas dos recursos hídricos subterrâneos, deverão manter os serviços indispensáveis à avaliação destes recursos, ao comportamento hidrológico dos aquíferos e ao controle da qualidade e quantidade.*"

No âmbito do Distrito Federal, por sua vez, a PRHDF, em seu Art. 14, a lei distrital também estabelece "*A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo*".

No Distrito Federal o poder de polícia sobre os recursos hídricos é exercido atualmente pela ADASA, que considerando suas finalidades e competências, com base em algumas regulamentações outorgam ou não o direito de uso dos recursos hídricos no âmbito do Distrito Federal.

No que tange à outorga das águas subterrâneas no Distrito Federal, a PRHDF prevê em seu Art. 12, inciso II, da lei 2.725/2001 a obrigatoriedade de sujeição à outorga pelo Poder Público "*a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo*". Nessa mesma linha estão as regulamentações do instrumento de outorga de água subterrânea, presentes no Decreto Distrital Nº 22.358/2001 e na Resolução/ADASA Nº 350/2006; os quais serão avaliados criticamente, de forma individual em alguns pontos duvidosos e/ou conflitantes com outras regulamentações.

### **1.3.2 Decreto Distrital Nº 22.358, de 31 de agosto de 2001**

Esse decreto representa a regulamentação do inciso II, do Art. 12 da lei Nº 2.725/2001, o qual trata da sujeição á outorga a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo.

Em seu Art 7º parágrafo único, o Decreto estabelece que os volumes definidos pelas outorgas serão determinados com base nos quantitativos da vazão nominal de cada poço tubular, e/ou na vazão de segurança de cada subsistema aquífero, e/ou as características hidrogeológicas de cada subsistema aquífero, sem, entretanto estabelecer como serão usados e em quais casos serão combinados ou utilizados como critério individual. Ainda neste mesmo dispositivo, cita a

observação do *grau de ocupação da área* e seu *grau de favorabilidade*<sup>2</sup> ao uso da água subterrânea. A observação destes dois parâmetros citados ainda não foi definida, nem regulamentada neste Decreto e nem em outro dispositivo regulamentatório, como uma Resolução, por exemplo.

No seu Art.10 esse Decreto condiciona a outorga à potencialidade do aquífero e aos fatores econômicos sociais. O parâmetro *potencialidade do aquífero* referente ao potencial de exploração dos subsistemas aquíferos existentes no território do Distrito Federal deve ser constantemente atualizado, por meio de estudos hidrogeológicos e da atualização dos dados de exploração. Os *fatores econômicos sociais* que também condicionam a concessão da outorga devem ser esclarecidos pelo órgão gestor à sociedade e usuários, por meio de resoluções normativas, com base nas prioridades econômico-sociais dos planos de governo.

No que se refere ao tempo determinado nesse decreto para as concessões de outorga e autorizações de perfuração de poços tubulares está estabelecido no §1º do Art. 10, sendo *fixo e nunca excedente a (05) cinco anos*. Esse tempo de concessão estabelecido difere daquele estabelecido pela Resolução/ADASA Nº350/2006, em seu Art.4º, inciso II, que estabelece o prazo de até 25 anos (vinte e cinco) anos à concessionária de serviço público de saneamento básico, e pelo prazo de até 10 (dez) anos a todos os demais usuários, renováveis, a critério da ADASA. Embora haja tal divergência entre esses dispositivos o que rege o prazo das outorgas é a Resolução/ADASA Nº350/2006.

O Decreto 22.358/2001 estabelece em seu Art.10 §3º as informações mínimas necessárias para serem fornecidas por meio do preenchimento de formulário específico para o pedido de concessão de outorga, total ou parcialmente, da água subterrânea pretendida, junto ao órgão gestor. Entretanto, neste dispositivo, nos incisos VI e VII, as informações requeridas referem-se a corpos hídricos superficiais e não informações dos aquíferos que se pretende explorar.

### **1.3.3 Resolução/ADASA Nº 350, de 23 de junho de 2006**

Essa resolução representa o estabelecimento de procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e Estados. Entretanto aqui nesta avaliação crítica constará apenas o que se refere às águas subterrâneas.

---

<sup>2</sup> O grau de favorabilidade consiste na interação entre fatores de uso do solo e intrínseco do subsistema aquífero.

A unidade básica adotada para o gerenciamento de recursos hídricos no caso das águas subterrâneas é a *bacia hidrogeológica*, no Art. 3º, inciso II. Entretanto, não existem ainda estudos que tenham individualizado tais bacias no Distrito Federal. Os estudos hidrogeológicos contemplam a individualização dos subsistemas aquíferos.

O inciso IV, do Art. 3º trata da cobrança de direito de uso dos recursos hídricos, estabelecendo que a outorga permite o direito de cobrança, assim como no Art. 36, estabelece que o direito de uso de recursos hídricos está sujeito à cobrança, mas ainda também sem estabelecer critérios para a aplicação desse instrumento, que representa a prática da aplicação do valor econômico da água, estabelecido no Art 1º da PRHDF (Lei Distrital Nº 2.725/2001), assim como auxilia na racionalização da água em casos de escassez ocasionados por sobreexploração ou eventos naturais críticos.

As modalidades de outorga em que se enquadram os recursos hídricos subterrâneos, constituídas no Art.4º, da Resolução/ADASA Nº350/2006, são aqueles citados nos incisos I - *outorga prévia – ...aplicada ao uso de águas subterrâneas para perfuração de poço tubular, pelo prazo de até 01 (um) ano, renováveis, a critério da ADASA sem, no entanto, conferir direito de uso do recurso hídrico; e, II - outorga do direito de uso dos recursos hídricos – aplicada ao uso de água superficial e subterrâneo, pelo prazo de até 25 (vinte e cinco) anos à concessionária de serviço público de saneamento básico, e pelo prazo de até 10 (dez) anos a todos os demais usuários, renováveis, a critério da ADASA.*

Os recursos hídricos subterrâneos são especificamente regulamentados na SEÇÃO II do CAPÍTULO IV da referida Resolução, intitulada "**DOS USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**". Nesta seção é estabelecida no Art 8º a obrigatoriedade de outorga do direito de uso, por meio de poços tubulares e poços manuais com vazões superiores a 5 m³/dia. Assim quaisquer poços tubulares, com exceção daqueles incluídos em pesquisa (Art. 9º, inciso II) estão sujeitos à outorga, independente do uso atribuído à água subterrânea captada.

Em seu Art.13 a Resolução estabelece que a vazão e período de captação serão estabelecidos conforme os parâmetros obtidos na interpretação do teste de vazão, e com base no uso solicitado. Neste caso, entretanto, não estabelece quais parâmetros técnicos do teste de vazão seriam observados para a vazão outorgada. No caso do uso solicitado, atualmente aplica-se os volumes de referências obtidos a partir das demandas médias de cada tipo de uso, regulamentado pela Instrução Normativa Nº 02, de 11 de outubro de 2006.

Ainda no Art. 13, estabelece que *no caso das regularizações, na ausência de dados, será considerado limite de 75 % (setenta e cinco por cento) das vazões médias regionais e período máximo de captação de 20 (vinte) horas por dia, mediante declaração de responsabilidade do usuário*, entretanto os parâmetros de 75% da vazão nominal e o máximo de 20 horas de captação

estão sendo aplicados mesmo nos casos em que o outorgado apresenta dados e informações como teste de vazão, sob alegação de que apenas essas informações são insuficientes para análise técnica.

Embora seja claramente especificado na Resoluções Nº 15 e 16 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos que nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas devem ser estabelecidos critérios que assegurem a interdependência e interações entre as águas superficiais e subterrâneas, com vistas a garantir a gestão integrada dos recursos hídricos, não existem até o momento, nas regulamentações e normatizações, no âmbito do Distrito Federal dispositivos que tratem os recursos hídricos dessa forma recomendada, embora seja utilizado no processo de gestão os volumes calculados pelo PGIRH das reservas explotáveis dos sistemas aquíferos.

#### **1.3.4 Aspectos institucionais**

A ADASA foi criada pela Lei Distrital 3.365/2004, com a finalidade de regular, controlar, fiscalizar, com poder de polícia, a qualidade e quantidade dos corpos de água, superficiais ou subterrâneos, fluentes, emergentes, contidos ou acumulados, de domínio distrital ou delegados pela União e Estados, bem como os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Distrito Federal; e, disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política de Recursos Hídricos e de Saneamento do Distrito Federal.

A outorga de água subterrânea é competência específica da Superintendência de Outorga (SOUT). Sua organização atual consta informalmente de três subseções: a *Administrativa*, que compete organização do protocolo e do banco de dados; da *Quantitativa*, que compete à análise dos pedidos e definição dos termos de outorga de volumes de água superficial e subterrânea; e a *Qualitativa*, que compete a análise dos pedidos e definição dos termos de outorga de concessão para lançamento de efluentes em corpos hídricos no domínio do Distrito Federal ou delegados pela União ou Estados.

Em cada subseção há um coordenador e uma equipe técnica responsável pelas análises do pleito de outorga, subordinadamente ligados ao Superintendente de Outorga.

As outorgas do direito de uso da água subterrânea são, portanto, analisadas e definidas na subseção *Quantitativa*, onde atualmente 6 (seis) profissionais de nível superior fazem a análise e organização burocrática dos pleitos de outorga, sendo em seguida analisada tecnicamente pelos Geólogos da superintendência, que atualmente são em número de 3.

A organização administrativa do órgão gestor é fundamental para a eficiência no processo de análise de outorgas. Essa organização consiste principalmente na capacidade técnica em hidrogeologia, em se tratando das outorgas de recursos hídricos subterrâneos. O profissional

capacitado tecnicamente tem a habilidade de analisar as informações (teste de vazão, parâmetros dos aquíferos, perfis construtivos e litológicos do poço), decidir sobre os termos da outorga, aproveitar as informações para compor o banco de dados do órgão, e auxiliar os usuários quanto às informações técnicas.

Atualmente a principal carência institucional da ADASA no processo de outorga de água subterrânea é o pequeno número de profissionais envolvidos, podendo ser sanada com a realização de concurso público para contratação de profissionais da área.

O perfil técnico do profissional envolvido no processo de análise de outorga dos recursos hídricos subterrâneos seria de formação de nível superior em geologia, ou área afim, que constasse em sua grade curricular de formação, disciplinas específicas de hidrogeologia e/ou gestão de recursos hídricos, preferencialmente com pós-graduação *lato sensu* ou *sensu stricto* na área, para atender eficientemente a demanda técnica do processo.

Outra questão institucional que não é de competência da Superintendência de Outorga, mas tem grande importância no processo de outorga é o ato de fiscalização do cumprimento, por parte do outorgado, dos termos da outorga concedida. Embora seja competência da Superintendência de Fiscalização de Recursos Hídricos (SFRH) é fundamental otimizar e intensificar a interação já existente entre as a interação entre as superintendências de outorga e fiscalização para uma eficiente ação do poder de polícia por parte do órgão gestor. Desta forma, é primordial também a capacitação técnica dos profissionais dessa superintendência em hidrogeologia, e na parte de construção de poços tubulares.

## **1.4 PROPOSTA DO SISTEMA DE OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

### **1.4.1 Análise do atual sistema de permissão para exploração de água subterrânea**

O atual sistema de outorga de água subterrânea no Distrito Federal desenvolvido na ADASA consiste na avaliação dos processos protocolados na agência, pelos técnicos da Superintendência de Outorga (SOUT). Os processos constam, em linhas gerais, do formulário específico para solicitação de captação subterrânea e dos dados técnicos que incluem o teste de vazão, os perfis construtivo e litológico do poço, análise físico-química da água subterrânea, entre outros documentos pessoais.

O procedimento rotineiro de análise desses processos consiste na localização do poço em Sistema Informação Geográfica (SIG), elaboração de uma nota técnica dos dados fornecidos, formulação dos termos da outorga, por meio de um Despacho ou Resolução, e por fim, sua publicação no Diário Oficial do Distrito Federal.

A localização do poço num SIG consiste em plotar as coordenadas geográficas do poço, no caso de cisterna (poço raso) no mapa hidrogeológico do Domínio Poroso, enquanto que os poços tubulares no mapa hidrogeológico do Domínio Fraturado, com o objetivo de conferir qual subsistema o poço está explotando.

A elaboração de uma *NOTA TÉCNICA* consiste na análise pessoal do técnico de todos os dados fornecidos pelo usuário. Essa nota técnica inclui a transcrição de algumas informações do poço (profundidade, diâmetro do revestimento, posição dos filtros, etc.), do aquífero (subsistema aquífero explotado, nível estático), entre outros dados do teste de vazão (vazão de explotação, nível dinâmico). Além da transcrição das informações técnicas fornecidas essa nota também apresenta a vazão, o regime de bombeamento e o volume diário outorgados. Essa nota técnica, uma vez formulada pelo técnico será parte integrante do processo de solicitação de outorga.

Após a elaboração da nota técnica é formulado um Despacho ou uma Resolução com todos os termos da outorga, que consistem das informações pessoais (pessoa física) ou das informações da empresa (pessoa jurídica) do outorgado, além da vazão, tempo de bombeamento e volume diário outorgados e demais termos da outorga que incluem entre outras informações as obrigações do outorgado.

O Despacho é formulado pelo Superintendente de Outorga a quem foi dada competência pela Diretoria Colegiada da ADASA, por meio da Resolução/ADASA Nº296/2006, para conceder outorga prévia ou outorgar o direito de uso de recursos hídricos quando da "*perfuração de poço tubular e captação de água proveniente de corpos hídricos subterrâneos, em área não atendida pela CAESB, com vazão máxima de até 10.000 l/d (litros por dia), para todas as finalidades*" (Art.1º, inciso II) e, "*perfuração de poço tubular e captação de água proveniente de corpos hídricos subterrâneos, requeridas pela CAESB, com a finalidade de abastecimento humano*" (Art.1º, inciso III). A Resolução contendo os termos da outorga concedida, por sua vez, é formulada pela Diretoria Colegiada para as demais formas de modalidade de outorga. Após a formulação do Despacho ou da Resolução ocorre a publicação dos termos no Diário Oficial do Distrito Federal (DODF).

A instrução dos processos de pleitos de outorga, segundo informações da ADASA, passa pela distribuição entre os técnicos de acordo com uso específico da água subterrânea, ou seja, os processos de postos de combustíveis, condomínios horizontais, indústrias e da CAESB, são analisados por diferentes técnicos. O tempo médio de análise dos processos é de cerca de 30 dias, desde o protocolo até a publicação do Despacho ou Resolução no DODF. Esse prazo é referente à processos sem pendências documentais ou de dados técnicos. Não existe um prazo formal fixado em Resolução para a análise dos processos, como existe, por exemplo nos estados do Ceará (60 dias) e Tocantins (45 dias).

Os critérios técnicos atualmente utilizados para a concessão da vazão outorgada e tempo de bombeamento são aqueles dispostos no Art.13 da Resolução/ADASA Nº 350/2006, que consiste de 75% da vazão nominal do poço e o tempo máximo de bombeamento de 20 horas. Esses parâmetros estão previstos nesse artigo apenas no caso de regularizações, na ausência de dados, entretanto, estão sendo aplicados mesmo nos processos que fornecem informações técnicas e mesmo no caso de poços novos, haja vista que está em discussão a regulamentação dos parâmetros hidrogeológicos nesses casos.

A agência deve normatizar/regular os critérios técnicos de concessão da outorga de água subterrânea nos casos de pleitos de outorga que sejam disponibilizados dados técnicos dos poços, teste de vazão e subsistema aquífero explorado.

Embora seja determinado no Decreto Nº 22.358/2001, no seu Art. 7º, que *o instrumento de outorga definirá os volumes máximos diários a serem extraídos na captação ou sistema de captações a serem implantados*, é comum observar em Despachos e Resoluções a ausência desta informação, constando inclusive em alguns casos, o valor da vazão outorgada e o tempo de bombeamento, divergindo do volume total diário outorgado, quando explicitado no termo. Nesses casos o termo de outorga apresenta dois valores diferentes outorgados, um pela relação entre a vazão e o tempo de bombeamento e outro pelo volume diário, este último muitas vezes apresentando valor menor. Esse fato gera dúvidas por parte do outorgado do real volume disponível para bombeamento.

A demanda, por sua vez, está formalizada pela Instrução Normativa Nº 02/2006, a qual apresenta valores de referência definidos com base no consumo médio por finalidade de uso.

Segundo informações da ADASA muitos processos de outorga têm falhas no fornecimento de dados técnicos, como teste de vazão, perfis construtivos e litológicos. Nesses casos, a agência objetiva num primeiro momento efetuar a regularização dos poços, exigindo, pelo menos, o preenchimento do formulário específico do uso requerido, as coordenadas geográficas do poço e a análise físico-química da água captada. A ADASA contempla pequenos usuários com a concessão da outorga requerida. No caso da construção de novos poços ou de usuários que requerem altas vazões, entretanto, as exigências são rigorosas quanto ao fornecimento de estudos hidrogeológicos.

O cumprimento das normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 12212 e NBR 12244, para o projeto/construção do poço e o ensaio de bombeamento, respectivamente, previstas no Art.10 da Resolução/ADASA Nº 350/2006, estão sendo exigidas pela ADASA apenas para os novos poços.

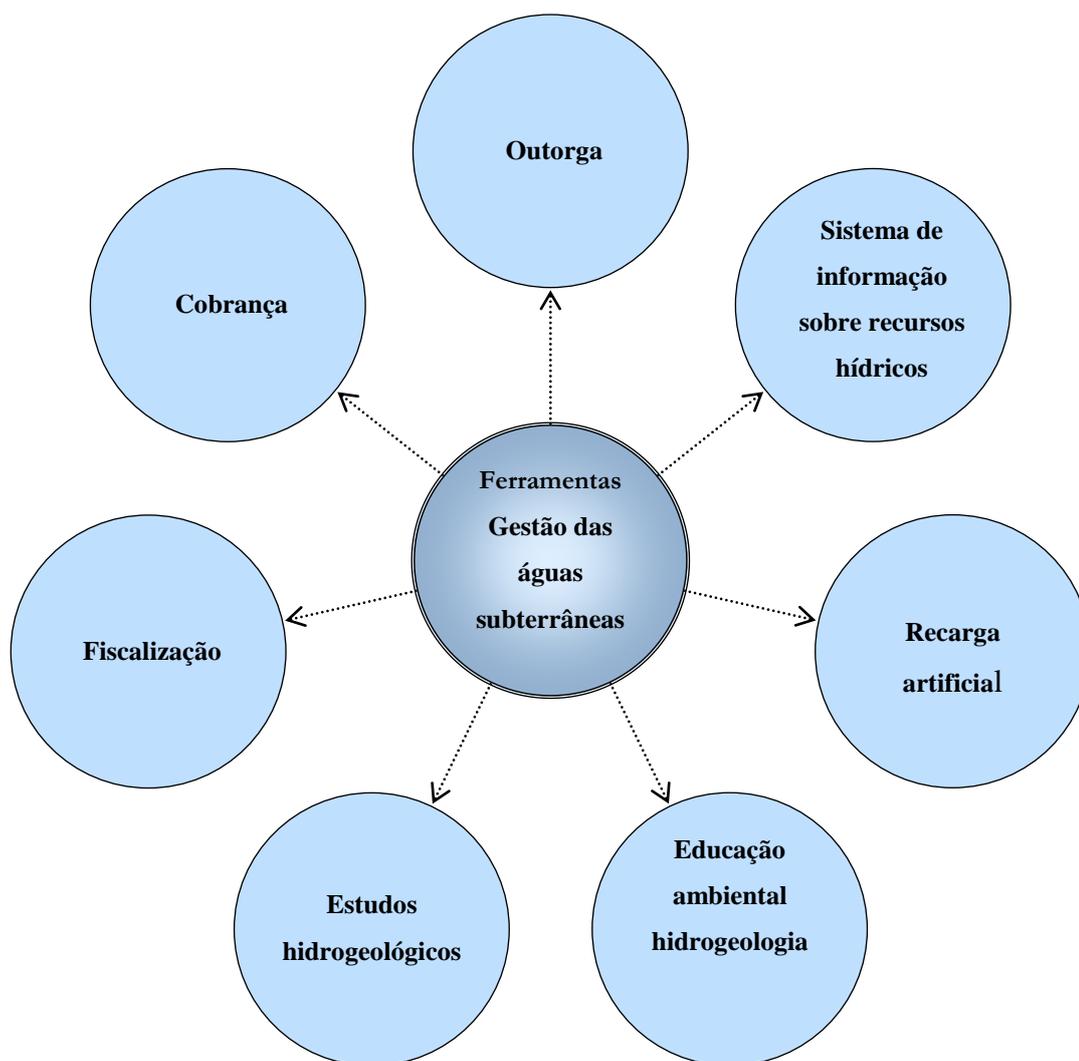
O critério de disponibilidade hídrica atualmente utilizado pela SOUT para controle do volume outorgado por subsistema aquífero no Distrito Federal é aquele disponibilizado no Plano

de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH). Até o presente momento, segundo informações da ADASA, nunca ocorreu caso de indisponibilidade hídrica devido a vários pedidos de outorga num mesmo subsistema aquífero.

Após finalização das análises técnicas dos pleitos de outorga de água subterrânea e posterior publicação, a ADASA distribui os termos das outorgas concedidas aos usuários para outros órgãos como vigilância sanitária e SEDUMA, por exemplo.

### 1.5 FERRAMENTAS PARA UMA EFICIENTE GESTÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A eficácia de um processo de gestão de recursos hídricos subterrâneos consiste na aplicação efetiva de diversas ferramentas que auxiliam nesse processo (figura 1.1). Em prioridade cita-se a prática dos instrumentos de outorga, cobrança e da implantação do sistema de informações sobre recursos hídricos, previstos nas políticas nacional e distrital de recursos hídricos.



**Figura 1.1** - Ferramentas úteis para a gestão das águas subterrâneas.

O instrumento de outorga necessita primariamente de uma boa organização administrativa, que consiste na presença de profissionais capacitados, de uma definição clara dos critérios de outorga, e na fiscalização e exigência mais efetiva da instalação de hidrômetros nos poços outorgados, para a verificação do real volume de água explorada dos aquíferos.

A prática do instrumento de cobrança objetiva reconhecer a água como bem econômico e conscientizar o usuário do real valor da água, assim como incentivar a racionalização do seu uso. A cobrança pelo uso da água subterrânea no Distrito Federal deve ser iniciada em seções de discussões técnicas, quanto aos seus critérios para regulamentação. Esse processo de discussão deve envolver, por iniciativa da ADASA, contribuições do meio acadêmico, Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal, utilizando-se nessa fase como ponto de partida experiências implantadas em âmbito nacional, como no caso dos estados de São Paulo e Ceará.

O sistema de informações de recursos hídricos subterrâneos representa uma importante ferramenta na gestão das águas subterrâneas, onde se deve armazenar de forma dinâmica os dados cadastrais de captações (poços e cisternas), as finalidades de uso da água subterrânea, vazões e volume outorgados, parâmetros dos aquíferos, proximidades de fontes potencialmente contaminantes (fossas, cemitérios, postos de combustíveis, disposição de rejeitos sólidos, etc.)

A fiscalização, por sua vez, embora não seja declarada como um instrumento formalizado nas políticas de recursos hídricos, representa uma importante ferramenta para constatação do cumprimento dos termos de outorga, das técnicas de construções de poços, localização de poços abandonados e da cobrança da construção do perímetro de proteção dos poços.

Um poço construído de forma inadequada, sem o correto isolamento sanitário e sem área de proteção da captação, representa um foco de acesso de cargas contaminantes superficiais para os aquíferos subjacentes. Do mesmo modo, poços abandonados sem obturação ou obstruídos com uso de entulhos e outros materiais inadequados são fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

A constante atualização dos estudos hidrogeológicos do Distrito Federal é igualmente primordial para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente no que tange às concessões de outorga de direito de uso da água. Os estudos devem observar, sobretudo, os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e suas reservas exploráveis, assim como suas relações com os volumes outorgados, e ainda a inter-relação das águas subterrâneas e superficiais.

Nesse processo de atualização do conhecimento acerca das águas subterrâneas no Distrito Federal ressalta-se a importância das parcerias institucionais entre a ADASA, com as universidades, ONG's, CAESB e com outros órgãos envolvidos no processo de gestão dos recursos hídricos e ambiental do Distrito Federal, bem como juntamente aos usuários, representados individualmente ou por meio da associação de empresas, sindicatos industriais e

dos setores de serviços. Essas parcerias garantem a participação dos diversos atores na gestão descentralizada dos recursos hídricos, fundamentada no Art 1º, inciso VI, da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/1997)- *"a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades"*, tal qual no Art 2º, inciso IV, da Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal (Lei Distrital Nº 2.725/2001), com igual redação.

A técnica de recarga artificial de aquíferos, por sua vez, representa no âmbito do Distrito Federal uma específica e importante ferramenta para a gestão de recursos hídricos subterrâneos, no que se refere à sustentabilidade do seu uso. Essa ferramenta é aplicável, sobretudo em áreas de recarga natural dos aquíferos, onde há intensa exploração da água subterrânea e impermeabilização do solo.

Essa técnica foi pesquisada e aplicada em área de condomínio residencial horizontal por Cadamuro (2002). A área do experimento está localizada em chapada elevada, onde é importante o processo de recarga natural dos aquíferos.

A recarga artificial de aquíferos pode ser utilizada na forma indireta ou direta. Atendidos os pré-requisitos básicos para sua utilização, o sistema indireto de recarga artificial é a melhor maneira de manter o equilíbrio dinâmico dos aquíferos fraturados explorados para abastecimento público de água em áreas urbanizadas por condomínios residenciais no Distrito Federal. A utilização do sistema direto de recarga, por sua vez, consiste na sua aplicação em áreas de maior risco geotécnico (Cadamuro & Campos 2005). Em ambos os casos, segundo os citados autores, sua utilização deve incluir, ao longo do tempo, a implantação de um plano de avaliação da eficácia da técnica.

A lei distrital Nº 2.978/2002 dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de recarga artificial de aquíferos nas propriedades rurais e lotes em condomínios atendidos por poços tubulares para abastecimento de água. Essa obrigatoriedade, entretanto, necessita de regulamentação por meio da especificação de normas para a correta aplicação dessa técnica, com vistas a evitar, sobretudo a exposição de riscos geotécnicos.

Outra ferramenta eficiente no processo de gestão dos recursos hídricos inclui a educação e conscientização ambiental da sociedade, envolvendo aspectos relativos ao uso racional da água e no uso do solo. O procedimento inicial deve incluir uma introdução acerca da forma de ocorrência da água subterrânea no Distrito Federal e sua exploração em linguagem concisa e popular, envolvendo a informação nos diversos níveis de ensino e junto aos usuários por meio da utilização de cartilhas ilustrativas.

## **1.6 METAS PARA SUSTENTABILIDADE DA EXPLOTAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL – USO E MANEJO DO SOLO**

O estabelecimento de metas para o alcance da sustentabilidade na exploração da água subterrânea no Distrito Federal pode funcionar como uma ferramenta estratégica na gestão desses recursos. Merece importância de início definir metas relacionadas ao uso e manejo do solo, haja vista sua direta relação com a proteção das águas subterrâneas.

O perfil de ocupação de terras no Distrito Federal inclui de um modo geral a expansão desordenada, ocasionada pela grilagem desenfreada de terras públicas. Isso implica na instalação de moradias em locais sem infra-estrutura básica de esgotos e água, principalmente. A falta de ordenamento nessas ocupações acarreta prejuízos aos recursos ambientais locais, especialmente pela retirada da vegetação natural, impermeabilização generalizada dos solos em áreas de recarga natural dos aquíferos, ocupação de áreas com alta declividade e de áreas de nascentes, instalação de fossas inadequadas.

Do ponto de vista do uso e manejo dos solos, as metas definidas para o uso sustentável da água subterrânea no Distrito Federal compreendem:

- ✓ O controle da expansão urbana;
- ✓ Proteção de áreas de recarga natural de mananciais subterrâneos;
- ✓ Instalação de técnicas de recarga artificial de aquíferos;
- ✓ Controle da supressão da vegetação natural;
- ✓ Disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário;
- ✓ Avaliação do estado atual da qualidade da água subterrânea nas imediações de cemitérios e lixões;
- ✓ Incentivo ao manejo do solo em áreas agricultáveis, com uso do sistema de plantio direto.

O *controle da expansão urbana* refere-se principalmente ocupação de áreas de recarga natural dos aquíferos por condomínios irregulares. Nessas áreas é comum a impermeabilização generalizada dos solos, o uso intensivo da água subterrânea e a disposição de dejetos domésticos em fossas comuns. Essas ações prejudicam sobretudo a recarga da água subterrânea e comprometem potencialmente a qualidade das águas subterrâneas. Ressalta-se a importância de incentivos voltados ao aumento da área verde nos condomínios já existente, para que haja um aumento de área disponível para a infiltração das águas das chuvas nos solos.

A *proteção de áreas de recarga natural de mananciais subterrâneos* contempla a reservação de áreas com preservação total ou ocupação controlada, destinadas a garantir a recarga natural dos aquíferos por meio da infiltração das águas das chuvas nos solos *in natura*. A semelhança das APM's (Áreas de Proteção de Mananciais), criadas pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (Lei Distrital Complementar Nº17/1997, Art.29, inciso I), destinadas a conservação, recuperação e manejo das bacias hidrográficas a montante

dos pontos de captação da CAESB, dever-se-iam destinar áreas para proteção dos aquíferos, por meio da criação de APMSs (Áreas de Proteção de Mananciais Subterrâneos).

Devem ser avaliadas ainda áreas propícias para a *instalação de técnicas de recarga artificial de aquíferos* por meio de estudos específicos em áreas potenciais já ocupadas, onde há o uso intensivo da água subterrânea e impermeabilização generalizada do solo. Esses estudos devem ser associados à regulamentação da Lei Nº 2.978/2002, que dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de recarga artificial de aquíferos nas propriedades rurais e lotes em condomínios atendidos por poços tubulares para abastecimento de água.

O *controle da supressão da vegetação natural* favorece problemas relacionados a erosões, compactação dos solos e infiltração da água das chuvas nos solos, que favorecem a recarga natural dos aquíferos.

Constituem metas de proteção da qualidade das águas subterrâneas a *disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário* e a *avaliação do estado atual da qualidade da água subterrânea nas imediações de cemitérios e lixões*. É de suma importância a participação dos técnicos da ADASA nas discussões acerca da disposição dos resíduos sólidos no Distrito federal, haja vista sua relação direta com a proteção das águas subterrâneas.

As áreas dos cemitérios e lixões devem ser submetidas a estudos de avaliação da qualidade das águas subterrâneas, por meio da análise química de água subterrânea coletadas em piezômetros e com uso de técnicas de geofísica para avaliação indireta do fluxo subterrâneo ou ainda da possível presença e localização de pluma de contaminação.

O *incentivo ao manejo do solo em áreas agricultáveis, com uso do sistema de plantio direto* deve ser incentivado na zona rural do Distrito Federal, sobretudo nas regiões onde há plantio de monoculturas em extensas áreas, como o plantio de soja. O sistema de plantio direto (SPD), segundo Embrapa (2007) trata-se de sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional de manejo. Envolve o uso de técnicas para produzir, preservando a qualidade ambiental. Fundamenta-se na ausência de preparo do solo e na cobertura permanente do terreno através de rotação de culturas, com vistas a garantir seu uso sustentável, sem redução da eficiência de suas funções ecológicas.

## **1.7 EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

As águas subterrâneas são um dos mais importantes recursos naturais em muitos países do mundo. Em países como Dinamarca, Malta, Arábia Saudita a água subterrânea é a única fonte de abastecimento de água e representa parcela de maior importância das totalidades dos recursos hídricos de muitos países. As águas subterrâneas representam na Tunísia 95% da reserva total de água do país, na Bélgica 83%, nos Países Baixos, Alemanha e Marrocos é de 75%.

O abastecimento público em algumas cidades da Europa, como Budapeste, Copenhague, Munique, Roma e Viena é completamente ou quase completamente baseado no uso da água subterrânea, e em Amsterdã, Bruxelas e outras cidades as águas subterrâneas suprem com mais da metade da demanda total (UNESCO 2004)

No Brasil, segundo a UNESCO, no ano de 2004, entre 70-90% dos serviços municipais de abastecimento de água e 95% das indústrias faziam uso da água subterrânea. Borsoi & Torres (1997) apontaram o Estado de São Paulo como o maior usuário das águas subterrâneas no Brasil, tendo cerca de 65% de seus núcleos urbanos e aproximadamente 90% da indústria sendo abastecidos parcial ou totalmente por poços.

No que tange ao gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos muitos problemas enfrentados pelos órgãos gestores são comuns entre os estados e mesmo entre diversos países.

Muitos problemas associados às águas subterrâneas não são técnicos, mas gerenciais e administrativos. As decisões gerenciais são relativas ao volume de extração, à localização dos poços, e como eles operam, considerando aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos. Esse gerenciamento não se refere apenas a sustentabilidade do fluxo subterrâneo (aspectos quantitativo), mas também a preservação da qualidade da água, ou seja, isso significa decisões relacionadas à exploração das águas subterrâneas e ao uso do solo, tal como limitações quanto ao uso de agrotóxicos, estabelecimento de áreas de proteção dos poços ou de aquíferos (UNESCO 2004).

As experiências técnicas e administrativas na gestão das águas subterrâneas desenvolvidas por outros órgãos nacionais e internacionais e mesmo os problemas enfrentados podem ser úteis para a otimização da gestão no Distrito Federal. É importante estabelecer um intercâmbio entre os gestores com vistas a aproveitar experiências bem sucedidas nos campos institucionais, legais e técnicos.

Apresentar-se-á a seguir um sumário de experiências nacionais na gestão das águas subterrâneas, com destaque para os estados pioneiros nesse processo e experiências internacionais, neste caso com ênfase em temáticas específicas na gestão.

### **Experiências Nacionais**

Segundo entendimento técnico-jurídico geral as águas subterrâneas são dominialidade dos Estados e do Distrito Federal. Na Constituição de 1988, em seu Art.26, inciso I a lei magna inclui entre os bens dos estados "*as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União*". Deste modo cabe aos Estados e ao Distrito Federal a gestão desse recurso.

Pioneiros na regulamentação do uso e proteção das águas subterrâneas, os estados de São Paulo e Pernambuco anteciparam-se aos outros estados do Brasil, editando lei específica para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O estado de São Paulo, por meio da lei estadual Nº 6.134, de 2 de junho de 1988, antecipou em nove anos à lei federal Nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, e até mesmo à promulgação da Constituição do Brasil de 5 de outubro de 1988, que atribuiu as águas subterrâneas como bens dos estados. O estado de Pernambuco, por sua vez, estabeleceu na sua lei estadual Nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997 sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no estado.

Entre os demais estados apenas o Pará, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo dispõem de lei específica sobre as águas subterrâneas. O Rio Grande do Sul, por meio do Decreto Nº 42.047/2002, regulamenta disposições da lei estadual Nº 10.350/1994, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado; e alguns dispõem sobre o uso e proteção das águas subterrâneas na própria política de recursos hídricos do estado ou até mesmo na política ambiental.

A outorga do direito de uso dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) é atualmente regulamentada em vários estados por meio de decretos estaduais, resoluções ou portarias dos órgãos gestores dos recursos hídricos estaduais (Tabela 1.1).

Nas respectivas regulamentações estaduais do instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos as modalidades previstas são, no geral, semelhantes e consistem de: autorização de uso, concessão de uso, concessão especial de uso coletivo, cessão de uso, licença de execução outorga prévia.

No que tange aos estudos e/ou dados técnicos requeridos nos pleitos de outorgas de direito de uso das águas subterrâneas destacam-se como informações comuns perfis litológicos dos poços, níveis estático e dinâmico, teste de bombeamento de 24 horas, análise da qualidade da água, entre outros.

Quanto aos usos isentos de outorga de direito de uso da água superficial ou subterrânea as regulamentações apontam as captações com vazões inferiores a 1.000l/h (Rio Grande do Norte, Pernambuco), 2.000l/h (Ceará), 208 l/h (5 m<sup>3</sup>/dia) (Distrito Federal, São Paulo), 1.800l/h (Bahia), 416l/h (10m<sup>3</sup>/dia) (Minas Gerais).

<b>Estado</b>	<b>Lei específica de água subterrânea</b>	<b>Lei estadual de recursos hídricos</b>	<b>Observações</b>
Acre	-	Lei Nº 1.500/2003	Política Ambiental do Acre (Lei Nº 1.117/1994), artigos 30 ao 35 dispõem principalmente sobre a proteção das águas subterrâneas.
Amazonas	-	Lei Nº 2.712/2001	A lei Nº 2.712/2001 destina o capítulo V (artigos 45 a 58) especificamente para as águas subterrâneas.
Amapá	-	Lei Nº 686/2002	-
Pará	Lei Nº 6.105/1998	Lei Nº 6.381/2001	*Regulamentação da outorga de direito de uso dos recursos hídricos e cobrança pelo uso no estado do Pará está atualmente em discussão.
Rondônia	-	Lei Compl. Nº 255/2002	As águas subterrâneas são contempladas de forma disseminada na lei complementar Nº 255/2002, a Política Estadual dos Recursos Hídricos, igualmente às águas superficiais.
Roraima	-	-	-
Tocantins	-	Lei Nº 1.307/2002	A lei Nº 1.307/2002 destina o capítulo IV (artigos 19 a 29) especificamente para as águas subterrâneas. Decreto Nº 2.432/2005 - Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos.
Maranhão	-	Lei Nº 8.149/ 2004	-
Piauí	Artigos 50 ao 63 da lei Nº 5.165/00. Trata principalmente da proteção das águas subterrâneas entre outros.	Lei Nº 5.165/2000	Decreto Nº 11.341/2004 - Regulamenta a outorga preventiva de uso e a outorga de direito de uso de recursos hídricos do Estado do Piauí.
Ceará	-	Lei Nº 11.996/1992	Decreto Nº 23.067/1994 - Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos. Decreto Nº 27.271/2003, atualização dos critérios de cobrança da água bruta no Ceará e proposição da nova matriz de preços da água.
Rio Grande do Norte	-	Lei Nº 6.908/1996	Decreto Nº 13.283/1997 – Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e o licenciamento de obras hídricas.
Paraíba	-	Lei Nº 6.308/1996	Decreto Nº 19.260/97 - Regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Pernambuco	Lei Nº 11.427/1997	Lei Nº 12.984/2005	Portaria da Secretaria de Recursos Hídricos PE Nº 21/2000 - Estabelece critérios de outorga para poços tubulares, localizados em regiões consideradas superexploradas.
Fernando de Noronha	-	-	Decreto Distrital Nº 6/2002 - Dispõe sobre a regulamentação da perfuração de poços
Alagoas	-	Lei Nº 5.965/1997	Decreto Nº 6, de 23/01/01 - Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos.
Sergipe	-	Lei Nº 3.870/1997	Decreto Nº 18.456/1999 - Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado.
Bahia	-	Lei Nº 6.855/1995	Decreto Nº 6.296/1997 - Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos
Mato Grosso	Lei Nº 8.097/2004	Lei Nº 6.945/1997	*Regulamentação e implantação do instrumento de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Mato Grosso está atualmente em discussão.
Mato Grosso do Sul	-	Lei Nº 2.406/2002	-
Goiás	Lei Nº 13.583/2000	Lei Nº 13.123/1997	Resolução CERH Nº 09/2005 - Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás
Distrito Federal	-	Lei Nº 2.725/2001	Decreto Nº 22.358/2001 (outorga de água subterrânea). Resolução/ADASA Nº 350/2006 (procedimentos para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos).
Minas Gerais	Lei Nº 13.771/2000	Lei Nº 13.199/1999	Portaria IGAM nº 30/ 1993 - Altera a redação da Portaria IGAM nº 97/1990, que regulamenta o processo de outorga de uso de águas públicas estaduais. Deliberação Normativa CERH - MG nº 3/2001 - Estabelece os critérios e valores para indenização dos custos de análise, publicações e vistoria dos processos de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.
Rio de Janeiro	-	Lei Nº 3.239/1999	Portaria SERLA Nº 307/2002 - Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos, bem como os formulários visando cadastro e requerimento, para emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro.

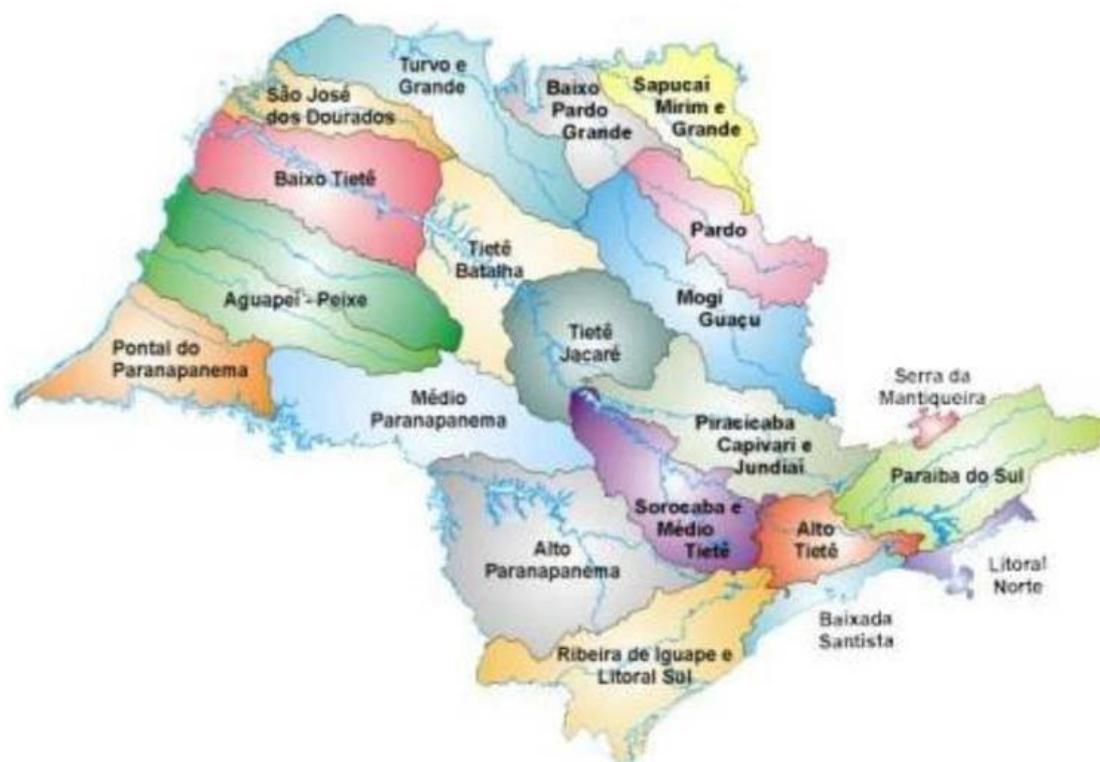
Espírito Santo	Lei Ordinária Nº: 6295/2000	Lei Nº 5.818/1998	RESOLUÇÃO NORMATIVA CERH Nº 005/2005 - Estabelece critérios gerais sobre a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos de domínio do Estado do Espírito Santo. * O IEMA ainda não emite outorga para uso de águas subterrâneas tendo em vista que os critérios técnicos para tais usos serão estabelecidos em Instrução Normativa específica.
São Paulo	Lei Nº 6.134/1988	Lei Nº 7.663/1991	Decreto Estadual Nº 32.955/1991 - Regulamenta a Lei Nº 6.134/1988
Paraná	-	Lei Nº 12.726/1999	Decreto Nº 4646/2001 - Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos
Santa Catarina	-	Lei Nº 9.748/1994	Decreto Nº 4.778/2006 Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos.
Rio Grande do Sul	Decreto Estadual Nº 42.047/2000, disposições relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no RS.	Lei Nº 10.350/1994	Decreto Nº 37.003/1996 - Regulamenta a outorga do direito de uso da água no estado do Rio Grande do Sul.

**Tabela 1.1** - Situação da gestão dos recursos hídricos subterrâneos nos estados brasileiros.

Segue um detalhamento maior sobre a gestão dos recursos hídricos subterrâneos de alguns estados brasileiros.

## SÃO PAULO

A gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo é desenvolvida em conformidade com a lei estadual 7.663/1991, de forma descentralizada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), órgão gestor dos recursos hídricos do Estado, nas 22 unidades de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHs) em que o Estado foi dividido (Figura 1.2). A primeira divisão do Estado de São Paulo em 21 unidades de gerenciamento foi proposta pelo Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos, em 1990. Posteriormente, essa divisão foi reavaliada no Segundo Plano Estadual de Recursos Hídricos 1994/1995 e aprovada no Art. 4º da lei estadual 9.034/1994, como consta na atual divisão hidrográfica, em 22 UGRHs.



**Figura 1.2** - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

As UGRHs consistem de unidades territoriais "com dimensões e características que permitam e justifiquem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos", conforme previsto art.20 da Lei Estadual 7.663 de 30/12/1991. Elas representam, segundo o PERH 2004-2007 uma resposta ao objetivo de gestão descentralizada dos recursos hídricos, em níveis regional e municipal e de forma compatibilizada com as divisões político-administrativas. Aponta-se, no entanto, no Plano Estadual que a aplicação de projetos e estudos devem sempre ter

a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, focalizando, contextualizadamente, a unidade de gerenciamento de recursos hídricos.

As UGRHIs são formadas, em geral, por partes de bacias hidrográficas ou por um conjunto delas, agrupadas segundo relações regionais das bacias hidrográficas, vocacionais e abrangência geográfica.

No que se refere às águas subterrâneas em 13 das 22 UGRHIs do Estado de São Paulo o recurso hídrico subterrâneo é fonte prioritária para abastecimento público. Importantes cidades como Ribeirão Preto, Fernandópolis, Tupã, Catanduva, Matão, Jacaréí, Jales e Lins dependem totalmente desse recurso para o seu abastecimento público. Outras, como Lorena, Bauru, Araraquara, São Carlos e São José do Rio Preto, dependem entre 50% e 100% do manancial subterrâneo para seu abastecimento (PERH 2004 - 2007).

Segundo estimativas do Plano Estadual atual do estado existem cerca de 30 mil poços tubulares em atividade e várias dezenas de milhares de poços cacimbas e mini-poços no território paulista. No entanto, encontram-se atualmente outorgados no Estado cerca de 15.000 poços nos bancos de dados do DAEE e 21.000 cadastrados. A gestão dos recursos hídricos subterrâneos de São Paulo é feita em consonância com a Política Estadual dos Recursos Hídricos (lei Nº 7.663/1991) e com Lei Estadual Nº 6.134/1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas e de acordo com as diversas regulamentações de uso por meio de Resoluções e Portarias.

As outorgas de águas subterrâneas no estado de São Paulo são competência do DAEE, conforme disposto no inciso II do Art. 7º da lei estadual Nº 7.663/1991, como diz: *"Artigo 7º - Compete ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH, exercer as atribuições que lhe forem conferidas por lei, especialmente...II - cadastrar os usuários e outorgar o direito de uso dos recursos hídricos..."*

A outorga no estado foi regulamentada pelo Decreto Nº 41.358/1996 e Portaria DAEE Nº 717/1996. Estabelecidos por meio dessas normas as seguintes modalidades de outorga e seus respectivos instrumentos:

- ✓ Da implantação de empreendimentos (Autorização)
- ✓ Das obras e serviços que interfiram com os recursos hídricos superficiais (Autorização)
- ✓ Da licença de obras de extração de águas subterrâneas (Licença de execução)
- ✓ Do uso do recurso hídrico (Concessão ou Autorização)

A solicitação da outorga de direito de uso dos recursos hídricos é feita por meio do preenchimento de formulários específicos, fornecidos pela Diretoria de Bacias do DAEE (de acordo com o município onde se localiza o uso), ou disponíveis no site do DAEE na Internet. A

solicitação deverá conter ainda a documentação solicitada e os estudos hidrológicos necessários, conforme a Portaria DAEE Nº 717/1996, tendo como responsável, um profissional, empresa ou instituição com habilitação no Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA), exigindo-se o comprovante de "Anotações de Responsabilidade Técnica" (ART).

A referida Portaria prevê ainda, em seu Art. 7º o pagamento de emolumentos estipulados de acordo com valores atualizados de UFESP (Unidade Fiscal do Estado de São Paulo) para a análise e emissão dos atos de outorga.

Para efeito de outorgas de água subterrânea no Estado de São Paulo o DAEE considera-se a divisão hidrogeológica do Estado, contudo considerando sempre a UGRHI para efeito de estudos solicitados. A entrega de formulários e estudos para a solicitação da outorga é feita no DAEE de forma presencial, podendo ser entregue nas diretorias de bacias dependendo do município onde se localiza o uso pretendido. A análise técnica dos pleitos de outorga de água subterrânea é feita por geólogos das respectivas diretorias de bacias, e posteriormente, encaminhadas para a sede do DAEE, onde o processo é conferido administrativa e tecnicamente e encaminhado para formulação de Portaria para concessão da outorga com seus respectivos termos.

Os dados solicitados pelo DAEE para o requerimento de outorga de direito de uso de recursos hídricos, tipo captação de água subterrânea incluem os dados pessoais do usuário/requerente e informações técnicas relativas a captação em si, tais como:

- ✓ Aquífero principal a ser explorado
- ✓ Bacia hidrográfica/UGRHI
- ✓ Coordenadas UTM;
- ✓ Finalidade e tipo da obra
- ✓ Uso da água
- ✓ Profundidade do poço
- ✓ Níveis dinâmico e estático
- ✓ Vazão de exploração (m<sup>3</sup>/h)
- ✓ Período de bombeamento (h/dia)
- ✓ Previsões futuras (5 e 10 anos) de vazão e volume captado
- ✓ Dispositivos Especiais Instalados: medição de vazão, do nível e registro do volume diário.
- ✓ Análise físico-química da água
- ✓ Relatório de Avaliação de Eficiência de Uso da Água
- ✓ Entre outros.

Além disso, outros estudos são solicitados pelo DAEE como a interferência entre poços, influência dos cones de rebaixamento, teste de bombeamento escalonado.

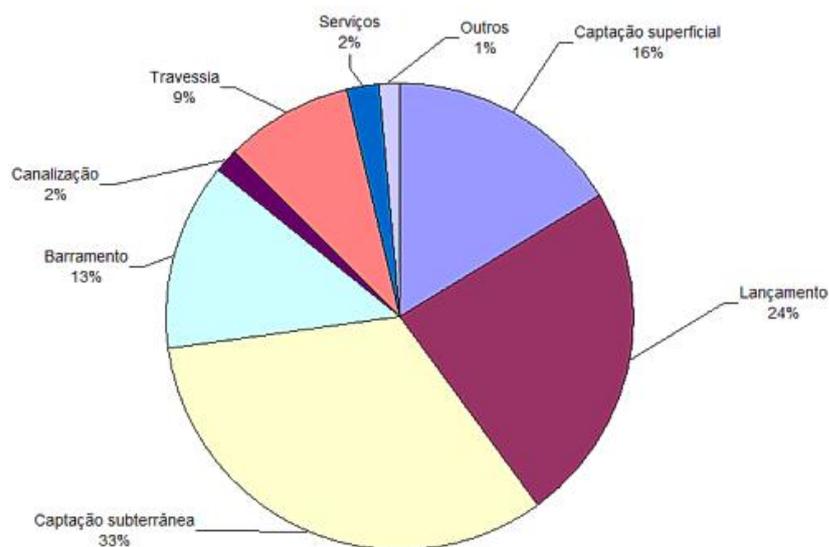
O limite imposto para concessão da outorga de água subterrânea é de um período de 20 horas de bombeamento por dia, onde a vazão outorgada é baseada no teste de vazão fornecido.

Atualmente nenhum poço é outorgado na área urbana se não estiver em conformidade com as restrições impostas pela Resolução Conjunta SES/SERHS/SMA n.º 3/2006, que dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos. A referida resolução estabelece em seu §1º do Art. 1º "*Serão consideradas como condicionantes para análise e emissão da outorga, as áreas de restrição e controle estabelecidas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH, as áreas contaminadas declaradas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB e as fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas listadas na relação do anexo I*" (da resolução). Tal instrumento de regulamentação dificulta o requerimento de outorga de poços na área urbana, sobretudo aqueles dispostos próximos à atividades potencialmente contaminantes do solo e/ou das águas subterrâneas.

Um avanço importante na gestão dos recursos hídricos subterrâneos no estado de São Paulo é a atuação efetiva da vigilância sanitária no que diz respeito à qualidade da água dos poços outorgados destinado ao abastecimento humano para uso privado (condomínios, hotéis, restaurantes, etc). O controle por parte da vigilância é feito pela fiscalização e cobrança da análise da qualidade da água a cada 6 meses.

O *site* do DAEE na Internet dispõe de forma clara aos usuários e profissionais as formas de obtenção das diversas modalidades de outorga, assim como apresenta os dispositivos legais relacionados a esse instrumento de gestão, de forma que facilita a disseminação de informações técnicas ao público em geral.

Segundo os usos outorgados pelo DAEE em 2007 (até 31/05/2007) a outorga de referente à captação de água subterrânea representa uma importante parcela (33%) do total (Figura 1.3).



**Figura 1.3** - Usos outorgados em 2007 (até 31/05/2007) pelo DAEE no Estado de São Paulo.

O instrumento de cobrança no Estado de São Paulo, por sua vez, está regulamentado pelo Decreto Nº 50.667/2006, previsto na Lei Nº 12.183/2005 que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo. Em seu Art. 5º o referido decreto apresenta a sujeição da cobrança pela utilização dos recursos hídricos "*Artigo 5º - Estão sujeitos à cobrança todos os usuários que utilizam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos*". No parágrafo 1º do Art.5º, entretanto, dita os usos isentos de cobrança, que no caso das águas subterrâneas inclui "*os usuários com extração de água subterrânea em vazão inferior a cinco metros cúbicos por dia que independem de outorga, conforme disposto no artigo 31, § 3º, do Decreto nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991*".

Segundo esclarecimentos do DAEE a cobrança será calculada através da soma do *volume de água captado*, do *volume de água não devolvido* e do *tipo de poluente lançado nas águas*.

## **PERNAMBUCO**

O estado de Pernambuco enfrenta sérios problemas de escassez de água principalmente nos meses de estiagem. Com uma disponibilidade hídrica de 1,3 mil m<sup>3</sup>/habitante/ano, o estado de Pernambuco está em situação de estresse, segundo classificação da ONU.

O regime rodízio no abastecimento público de água é comum em diversos municípios do estado, atendidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Esse regime de racionamento, segundo o Ministério Público do Estado ocorre pelo fato de a Compesa não ter capacidade de entregar toda a água demandada e atinge 70% de toda a clientela da empresa. Segundo a Companhia para acabar com o rodízio que existe a companhia aumentou os esforços e investimentos para aumentar a oferta de água e diminuir as perdas, que chegam a 50%.

Esse estresse hídrico prolongado foi respondido com um aumento da perfuração de poços no estado. Segundo Silva *et al.* (2003), a estiagem dos anos de 1998 e 1999 provocou uma grande corrida aos poços nessa época, observado, principalmente, pelo aumento dos pleitos de outorga de águas subterrâneas na Região Metropolitana do Recife (RMR), principal. É comum a adoção de poços tubulares como complemento ao abastecimento fornecido pela Compesa ou até de forma exclusiva em hotéis, clubes, condomínios, estabelecimentos comerciais.

Diante desta situação, o órgão gestor de recursos hídricos no estado, a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH), na ocasião adotou medidas restritivas à captação de águas subterrâneas juntamente com outros órgãos participantes da gestão dos recursos hídricos no estado, por meio da Portaria nº 21/00 – estabelece a exigência de teste de bombeamento para vazões requeridas acima de 100 m<sup>3</sup>/dia, da Resolução CRH nº 04/00 – aprova o Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos da RMR e Resolução CRH nº 01/01 – proíbe a perfuração de poços tubulares profundos em áreas do bairro de Boa Viagem (Silva *et al.* 2003).

Atualmente a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (SRH) é o órgão responsável pela execução da Política de Recursos Hídricos do Estado, em conformidade com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco e com a nova Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Recursos Hídricos, aprovados pela lei Nº 12.984, em 30 de dezembro de 2005, que revogou em seu Art.71 a lei Estadual Nº 11.426/1997 (antiga PERH), dispunha sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos.

Para efeito de avaliação dos seus recursos hídricos o Estado de Pernambuco foi dividido em 29 unidades de planejamento (UP), sendo 13 correspondentes a bacias hidrográficas importantes e 16 constituídas por grupos de bacias, das quais 6 são pequenos rios litorâneos (GL1 a GL6), nove de pequenos rios interiores (G11 a G19) e um de pequenos rios que compõe a rede de drenagem do arquipélago de Fernando de Noronha (PERH – PE, 1998).

No âmbito da gestão das águas subterrâneas, por sua vez, o estado de Pernambuco, é gerenciado em conformidade com a lei estadual Nº 11.427/1997, que dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas (regulamentada pelo Decreto Nº 20.423). Pernambuco inclui à nível nacional as províncias hidrogeológicas do Escudo Oriental e Costeira, tendo como principais aquíferos o Cristalino Nordeste, o Barreiras e Beberibe. Quanto ao aquífero fissural, representado por rochas cristalinas fraturadas é o que apresenta maior área de ocorrência, visto que dominam cerca de 85% do território estadual, entretanto, é o de menor potencialidade por unidade de área, além de apresentar constantes problemas de salinização das águas nele contidas (PERH-PE, 1998). Na região litorânea, segundo Costa *et al.* (2004), distinguem-se os aquíferos Beberibe, Cabo, Boa Viagem, Barreiras e Fissural (cristalino).

Em recente estudo para a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado, no ano de 2002, constataram-se rebaixamentos de 30 e 40 metros nos aquíferos Beberibe e Cabo. Apresentou-se também um Mapa de Zoneamento de Exploração dos Aquíferos, onde se dispôs para cada uma das seis (6) zonas, restrições específicas para captação da água subterrânea. A zona mais restritiva é a "Zona A" (ocupa 2/3 do bairro de Boa Viagem), com nível estático encontra-se entre 60 e 110 metros, onde foi proibida a perfuração de novos poços. Esse mapa foi aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Resolução CERH-PE Nº 04/2000) e utilizado atualmente para ditar as ações referentes aos instrumentos de outorga de água subterrânea.

A outorga de água subterrânea no Estado é regulamentada principalmente na Região Metropolitana do Recife onde existem sérios problemas de sobreexploração dos aquíferos e intrusão salina. A Portaria SRH N° 21/2000 estabelece as informações necessárias para análise da solicitação de outorga de poços, com a finalidade de comercialização, abastecimento público, irrigação e como insumo para indústria, cujas vazões requeridas sejam iguais ou superiores a 100m<sup>3</sup>/dia nas regiões consideradas superexploradas pela secretaria (1) e para os demais poços (fora da área superexplorada) também com vazão requerida igual ou superior a 100m<sup>3</sup>/dia e mesma finalidade do primeiro caso (2) e poços com retirada abaixo de 100 m<sup>3</sup>/dia (3):

1) Teste de produção contínuo, com vazão constante e duração não inferior a 24 (vinte e quatro) horas, seguido de recuperação de no mínimo 1 (uma) hora. O relatório técnico a ser apresentado pelo requerente deve conter as seguintes informações: litologia, metodologia do teste, equipamentos utilizados, vazão máxima permissível, vazão máxima possível, vazão máxima recomendável, nível estático e nível dinâmico.

2) Teste de produção escalonado em múltiplos estágios, sem estabilização de nível, constituído de 3 (três) escalões e duração não inferior a 24 (vinte e quatro) horas. O relatório técnico a ser apresentado pelo requerente deve conter as seguintes informações: litologia, metodologia do teste, equipamentos utilizados, vazão máxima permissível, vazão máxima possível, vazão máxima recomendável, nível estático e nível dinâmico, e ainda a equação característica do poço e eficiência do poço.

3) Está sendo exigido teste de bombeamento para todos os poços.

Os estudos hidrogeológicos solicitados devem ser realizados por profissionais habilitados com registro no Conselho Regional de Engenharia, e Arquitetura (CREA).

A Portaria SRH N° 25/2000, por sua vez, estabelece distância mínima entre poços tubulares nas Bacias Sedimentares Costeiras de Pernambuco (500 metros) e define critérios e limites para captação de água subterrânea, como limitação de vazões máximas outorgáveis em algumas regiões e inclusive proibição de novas perfurações de poços em zonas mais problemáticas. Esses critérios foram baseados em estudos hidrogeológicos desenvolvidos na

região, que culminou na confecção do Mapa de Zoneamento Explotável de Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife. A Portaria SRH N° 25/2000 foi revista e novos critérios e restrições foram regulamentados na Resolução CRH-PE N°01/2001.

A Resolução CRH-PE N° 04/2003, por fim, define em seu Art. 2°: "*Na definição da vazão a ser outorgada, o Órgão Gestor de Recursos Hídricos levará em consideração o mapa referido no Art. 1° (Mapa de Zoneamento Explotável de Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife - acréscimo nosso) e a tabela de Consumo Médio Diário, na forma dos anexos I e II, desta resolução, respectivamente.*"

A perfuração de novos poços no Estado, segundo informações da CPRH, diz:

"Os interessados em realizar a perfuração de **poços rasos**, cuja profundidade seja inferior a 20 (vinte) metros ou possuam vazão de até 5m<sup>3</sup> /dia, de acordo com a finalidade do uso da água (doméstico ou rural) é requerido apenas o cadastramento. No caso de poços rasos para uso industrial ou comercial, deverão requerer a Licença de Instalação e o Termo de Outorga, e após a conclusão da perfuração do poço, o proprietário deve requerer a Licença de Operação".

"Os poços a serem construídos, cuja profundidade seja superior a 20 (vinte) metros (poços profundos) ou possuam vazão acima de 5m<sup>3</sup> /dia, deverão requerer a Licença de Instalação e, após a perfuração, a Licença de Operação (LO). A expedição da LO está condicionada à instalação prévia do hidrômetro".

"Os poços com finalidade exclusiva de pesquisa estão isentos de outorga e licenciamento, independente de sua profundidade. No entanto, é exigido o seu cadastramento".

Os poços já perfurados devem ser regularizados junto à CPRH, através do cadastramento ou do pedido de licença de operação e outorga, para poços profundo.

Os pleitos de outorga são protocolados de forma presencial na CPRH com formulários e estudos requeridos e eventualmente recebidos via Internet. O processo é então encaminhado para a SRH, onde é analisado tecnicamente pelos geólogos e devolvido à CPRH com todos os termos da outorga. O termo de outorga é publicado pela CPRH juntamente com as licenças ambientais e licença de operação.

Em Fernando de Noronha, distrito estadual de Pernambuco, a Compesa utiliza desde 2004 a captação e tratamento da água do mar com uso de um dessalinizador Marinho para uso no sistema de abastecimento público. Ampliou sua capacidade de tratamento, segundo a companhia como única alternativa técnica encontrada para solucionar o problema de desabastecimento da Ilha.

A Companhia sofreu com o colapso do Açude do Xaréu em função da escassez de chuvas no arquipélago e ainda tentou viabilizar a perfuração de poços para suprir a demanda local, mas não teve sucesso devido às baixas vazões dos poços perfurados no arquipélago.

No que tange às águas subterrâneas, o decreto distrital n° 6/2002 proibiu a perfuração de poços para exploração de aquífero no Distrito Estadual até a publicação do Plano de Manejo da APA, pelo IBAMA. Com o advento da publicação do referido Plano de Manejo, outro Decreto Distrital, de número 8 de 2003, regulamenta a extração d'água dos reservatórios e poços públicos no Distrito Estadual de Fernando de Noronha, onde determina a instalação imediata de sistema coletor e adutor para captação d'água de poços já existentes no Arquipélago que apresentem vazão e potabilidade adequados ao atendimento da demanda.

### **1.7.2 Experiências Internacionais**

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos varia largamente em função das peculiaridades hidrogeológicas locais e devido aos aspectos culturais dos usuários. As diferentes formas de gestão das águas subterrâneas, experiências adquiridas, problemas enfrentados, soluções encontradas, nos diversos países do mundo são reflexo, principalmente:

- *Da cultura do povo em relação água.* Onde há abundância de água é comum o desperdício, por exemplo, ocorrendo o contrário nos locais onde há escassez;
- *Do posicionamento do governo (órgão gestor) diante das regulamentações e restrições de uso.* Em muitos casos o órgão gestor peca pelo posicionamento político e não técnico em relação à gestão dos recursos hídricos;
- *Na rigidez na aplicação e cobrança por parte do órgão gestor das regulamentações previstas.*
- *Do posicionamento gerencial em relação às experiências alheias do processo de gestão.* Modéstia para utilizar com adaptações de ferramentas e/ou instrumentos de gestão de outrem.

A seguir apresentam-se exemplos de experiências internacionais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e problemas específicos enfrentados.

## **MÉXICO**

As águas subterrâneas constituem recurso essencial para o desenvolvimento do México, haja vista que mais da metade do seu encontrar-se em regiões áridas e semi-áridas. Além disso, o abastecimento público do México depende significativamente dos recursos hídricos subterrâneos.

Aproximadamente 75 milhões de pessoas dependem da água subterrânea para consumo doméstico, cerca de 55 milhões na área urbana e aproximadamente 20 milhões na área rural do país. Esse recurso também representa o único disponível para o desenvolvimento das indústrias na parte central e nordeste do México.

Segundo informações da UNESCO, o México apresenta problemas referentes a sobre-exploração que ocasiona o rebaixamento do nível potenciométrico dos aquíferos, tendo como conseqüências subsidências dos terrenos (Cidade do México) e intrusões salinas como em Hermosillo, na região litorânea, por exemplo.

Muitos estudos técnicos e legais foram desenvolvidos com o intuito de enfrentar os problemas relacionados à degradação das águas subterrâneas (sobre exploração e intrusão salina), incluindo atualização do sistema de informação geográfica (SIG). A Lei Nacional de Águas do México<sup>3</sup> prevê em seu Art. 22 que a permissão para o uso da água é concedido apenas mediante disponibilidade (Arreguín-Cortés & López-Peres, 2007).

A CONAGUA (Comissão Nacional de Águas), criado em 1989, é uma agência administrativa descentralizada da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais, cuja missão é "*administrar e preservar as águas nacionais, com participação da sociedade, para garantir o uso sustentável desse recurso*".

O México foi dividido, na década de 60, em 37 regiões hidrológicas para realização de estudos hidrológicos e de qualidade das águas. Para fins de gestão, o país é dividido em 13 regiões hidrológico-administrativas, formadas por grupos de regiões hidrológicas. Para o desempenho das funções de gestão o CONAGUA conta com uma Gerencia Regional em cada uma das regiões. No que tange à gestão das águas subterrâneas, entretanto, o México encontra-se dividido em 653 aquíferos.

Segundo informações do documento Estatísticas da Água no México (*Estadísticas del Agua en México*, 2006) existem 104 aquíferos sobre explotados em todo o país e 17 aquíferos com problemas de intrusão salina. No Plano Nacional de Águas de 1975 já haviam sido identificados 32 aquíferos sobre explotados, 36 em 1981, 80 em 1985, 97 em 2001, 102 em 2003 e 104 até o ano de 2005. O monitoramento das águas subterrâneas é feito por meio de uma rede piezométrica com a observação de 8.100 pontos de medição de nível das águas.

A Lei das Águas do México estabelece em seu Art. 18 que "*As águas nacionais do subsolo poderão ser livremente exploradas mediante obras artificiais, sem necessidade de autorização ou concessão, exceto quando o poder executivo federal estabelecer zonas regulamentadas para sua extração e operação, uso e aproveitamento, de acordo com as zonas*

---

<sup>3</sup> Lei Nacional das Águas, 1992. Publicada no Diário Oficial da federação, Cidade do México, México.

*de proibição ou de reserva".*

Atualmente o México encontra-se dividido em três (3) zonas de proibição (*Zonas de Veda*), onde o aproveitamento das águas só pode ser feito mediante título de concessão, outorgado pela Autoridade da Água (CONAGUA). Na zona de proibição I, não é possível aumentar as extrações sem riscos de abatimentos e esgotamento dos aquíferos; na zona de proibição II a capacidade dos aquíferos só permite extrações para uso doméstico e na zona de proibição III, a capacidade dos aquíferos permite extrações limitadas para uso doméstico, industrial, irrigação e outros.

A zona mais restritiva (Zona de proibição I – *Zona de Veda I*) encontra-se na região com maior densidade demográfica do México (>500 hab/km<sup>2</sup>), incluindo a capital, Cidade do México.

## **AUSTRÁLIA**

A Austrália é dividida em 69 províncias hidrogeológicas e em 367 unidades hidrogeológicas de gerenciamento (*GMUs - Groundwater Management Units*), que são sistemas hidrogeológicos conectados hidraulicamente reconhecidas pelas agências estatais e territoriais de gestão. Esta definição permite o gerenciamento das águas subterrâneas em escala apropriada (AWR 2006).

As águas subterrâneas na Austrália são gerenciadas pelo Comitê Nacional de Águas Subterrâneas (NGC - *National Groundwater Committee*), que é uma rede inter-governamental estabelecida para compartilhar informações e definir critérios das políticas de águas subterrâneas e gerenciar o recurso a nível nacional, assim como direcionar pesquisas, programas e prioridades.

Alguns programas prioritários e emergentes na gestão das águas subterrâneas na Austrália, considerados pelo NGC são:

- Gerenciamento integrado das águas subterrâneas e superficiais;
- Aperfeiçoamento no gerenciamento e Proteção dos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas;
- Impactos dos usos dos solos sobre os recursos hídricos subterrâneos;
- Efeito do gerenciamento do nível da água como uma ferramenta de micro-gerenciamento;
- Lacunas no conhecimento de hidrogeologia e nas políticas sobre as águas subterrâneas;

Outros programas de manejo das águas subterrâneas e superficiais têm sido formulados e incentivados pelo governo da Austrália em cooperação com os governos estaduais e territoriais, que visam principalmente o racionamento e o reuso da água:

1) *WELS (Water Efficiency Labelling and Standards)* - é um plano nacional de cooperação que

atribui um selo padrão a certos tipos de aparelhos domésticos que utilizam água na sua operação de forma eficiente (racionalmente). O plano tem como principais objetivos: (a) garantir o abastecimento público, por meio da redução do consumo de água; (b) fornecer informações para aquisição de produtos que utilizam água racionalmente; (c) promover a adoção de tecnologias que utilizam água racionalmente. Os produtos domésticos incluídos no programa são: chuveiros, lavadoras de louças, máquinas de lavar roupas, equipamentos de lavatórios, equipamentos de urinar, torneiras e controladores de fluxo.

2) *Reuso ou reciclagem da água* – o governo Australiano iniciou um trabalho de formulação de uma série de orientações sobre os riscos associados ao uso da água reciclada, com foco no tratamento de águas servidas para serem usadas como água não-potável (usos menos exigentes) e outras orientações relativas ao reuso de água da chuva, técnicas de recarga artificial e reciclagem da água para beber.

## **ESTADOS UNIDOS**

Aproximadamente 50% da população dos Estados Unidos da América (EUA) depende das águas subterrâneas para usos domésticos. Cerca de 40% do sistema de abastecimento público é feito com uso das águas subterrâneas. Os Estados da Califórnia, Texas, Nebraska, Arkansas e Florida representam importantes consumidores de água subterrânea no país. Algumas importantes cidades e áreas metropolitanas como Albuquerque, Nova Iorque, Memphis, Miami, e San Antonio dependem fundamentalmente das águas subterrâneas.

O uso das águas subterrâneas nos EUA aumentou constantemente de 1950 a 1980 e tem diminuído ligeiramente desde 1980, em parte, em resposta aos usos mais eficientes nas atividades agrícolas e industriais, devido ao reuso da água e outras medidas conservacionistas adotadas (UNESCO 2004).

O Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS – United States Geological Survey*) é o principal órgão responsável pela avaliação da quantidade e da qualidade das fontes de água do país. Em cooperação com outras agências federais, estaduais e locais realiza uma variedade de pesquisas, e desenvolvimento de tecnologias para o estudo das águas, utilizados como ferramentas na gestão dos recursos hídricos.

Algumas medidas particulares têm sido adotadas em diferentes estados. Raymond *et al.* (2006) apresentou o uso de Sistemas de Informações Geográfica associado a softwares de modelamentos analíticos em Ohio para delimitação de áreas de proteção de águas potáveis.

No estado do Arizona, por exemplo, a água é regulada como recurso público pelo estado

através do Departamento dos Recursos Hídricos do Arizona (*Arizona Department os Water Resources – ADWR*). O acesso e uso da água subterrânea no estado também são regulados pelo ADWR de acordo com o Ato de Gestão de Águas Subterrâneas (*Groundwater Management Act – GMA*) implantado em 1980 (Maguire & AZ, 2007).

Há um crescente conflito entre o crescimento populacional e a oferta de água no Arizona. O abastecimento de água do Arizona provém de dois sistemas de água superficial, da bacia do rio Gila e do rio Colorado e ainda das águas subterrâneas. O uso das águas subterrâneas supre a metade da demanda, sendo o restante complementado pelos sistemas superficiais.

Modelagens hidrogeológicas, estudos sobre subsidências de terrenos, mapeamento da conexão entre águas superficiais e subterrâneas, melhoria nas decisões referentes à gestão das águas, efeito da qualidade das águas superficiais na recarga das bacias hidrogeológicas são apontadas como medidas e estudos necessários para otimização do conhecimento e tecnologia das águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arreguín-Cortés, F. & López- Perez, M. 2007. An overview of Mexico's water regime and the role of groundwater. P.13-25. Sustainable Management of Groundwater in Mexico: Proceedings of a Workshop. Disponível em: <http://www.nap.edu>
- Borsoi, Z.M.F. & Torres, S.D.A. A política de recursos hídricos no Brasil. *Revista do BNDES*, v.4, n.8, p.143-166. 1997.
- Cadamuro A.L.M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 130p.
- Cadamuro A.L.M. & Campos, J.E.G. 2005. Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: Uma Ferramenta para a Gestão dos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Geociências* 35 (1):89-98.
- Costa, W.D; Santos, M.A. V; Costa Filho, W.D. & Cavalcanti, D.J. 2004. Monitoramento dos Aquíferos Costeiros de Pernambuco na Região do Recife, p. 365-390. *In: CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L. & COSTA, W. D. (Org.). 2004. Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 447p.*
- EMBRAPA Soja, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2007. Manejo do solo. Disponível em: [www.embrapa.br](http://www.embrapa.br), acesso em 27/6/2007.
- Granziera, M.L.M. 2001. Direito de Águas: disciplina jurídica das águas doces. São Paulo: Atlas. 245p.
- Lousada, E.O. & Campos, J.E.G. 2005. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 35 (3): 407-414.
- Maguire, R.P. & Az, T. 2007. The Role of Science in Groundwater Management in Arizona. P.69-75. Sustainable Management of Groundwater in Mexico: Proceedings of a Workshop. Disponível em: <http://www.nap.edu>
- PERH – PE. 1998. Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco. Parte II – Divisão do Espaço Geográfico para Planejamento Hídrico.

- Pompeu, C. T. 2006. Direito de Águas no Brasil. - São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 512p.
- Santos, R.M.M. & Cadamuro, A.L.M. 2004. Sistemas de abastecimento da CAESB com captações por poços tubulares profundos. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE*, 3, 2004, Goiânia. Anais... Goiânia: maio, 2004. 18p. Disponível em CD-ROM.
- Silva, S.R.; Freire, P.K.C.; Barbosa, D.L.& Wanderley, S. F. de S. 2003. A gestão de recursos hídricos no estado de Pernambuco, 20p. Disponível em: [www.sectma.pe.gov.br](http://www.sectma.pe.gov.br).

## PARTE II

# SÍNTESE DO CONHECIMENTO E CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA A OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO DISTRITO FEDERAL

## 2 SÍNTESE DA INFORMAÇÃO TÉCNICA DOS AQÜÍFEROS DO DISTRITO FEDERAL

### 2.1 GEOLOGIA

O contexto geológico do Distrito Federal foi atualizado por Freitas-Silva & Campos (1998). As rochas que compõe a região são representadas por quartzitos puros, quartzitos micáceos, metarrimitos, ardósias, filitos, xistos e mármore, compondo um conjunto de matassedimentos de baixo grau de metamorfismo. Quatro unidades estratigráficas regionais incluindo os grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí são reconhecidas no Distrito Federal (Figuras 2.1 e 2.2).

O Grupo Paranoá ocupa 65% da área do Distrito Federal, sendo possível caracterizar sete unidades denominadas de **Q<sub>2</sub>**, **S**, **A**, **R<sub>3</sub>**, **Q<sub>3</sub>**, **R<sub>4</sub>** e **PPC** (Faria 1995). O Grupo Canastra ocupa 15% da área, distribuído na porção central e na região centro-norte do Distrito Federal. É constituído essencialmente por filitos variados, os quais incluem clorita filitos, quartzo-sericita filitos e clorita-carbonato filitos, lentes decamétricas de mármore cinza-claro finos e além de quartzitos finos silicificados. O Grupo Araxá ocorre apenas na região sudoeste do Distrito Federal e ocupa 5% da área total do território. É composto por muscovita xistos e ocorrências restritas de clorita xistos, quartzo-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos. O Grupo Bambuí se distribui por 15% da área total do Distrito Federal, distribuído na região leste, e é composto por siltitos laminados, siltitos argilosos e de arcóseos.

A evolução estrutural gerou um complexo de cavalgamentos / falhas reversas, foliações, lineações de estiramento e dobras com eixos ortogonais responsáveis pela formação de um típico padrão de domos e bacias como exemplificados pelos domos estruturais de Brasília, de Sobradinho e do Pípiripau.

Ao longo de toda a história deformacional foi gerado um denso conjunto de fraturas que representa o principal controle para a disponibilidade e distribuição das águas subterrâneas.

Como descrito por Freitas-Silva & Campos (1998), o padrão de fraturamento observado na região do Distrito Federal corresponde ao padrão de deformação típico da fase final da estruturação de orógenos que apresentam duas direções preferenciais, aproximadamente ortogonais entre si.

Em mapas de lineamentos, o padrão de fraturamento do Distrito Federal, apresenta um marcante contraste de densidade aparente de lineamentos. A variação na densidade de lineamentos aparentes reflete diretamente a espessura do manto de intemperismo de forma que em áreas com predominância de solos profundos a densidade aparente é menor e em regiões onde predominam os solos delgados (como cambissolos e solos litólicos) é possível se observar diretamente sobre as imagens de satélite, maior número de lineamentos por unidade de área.

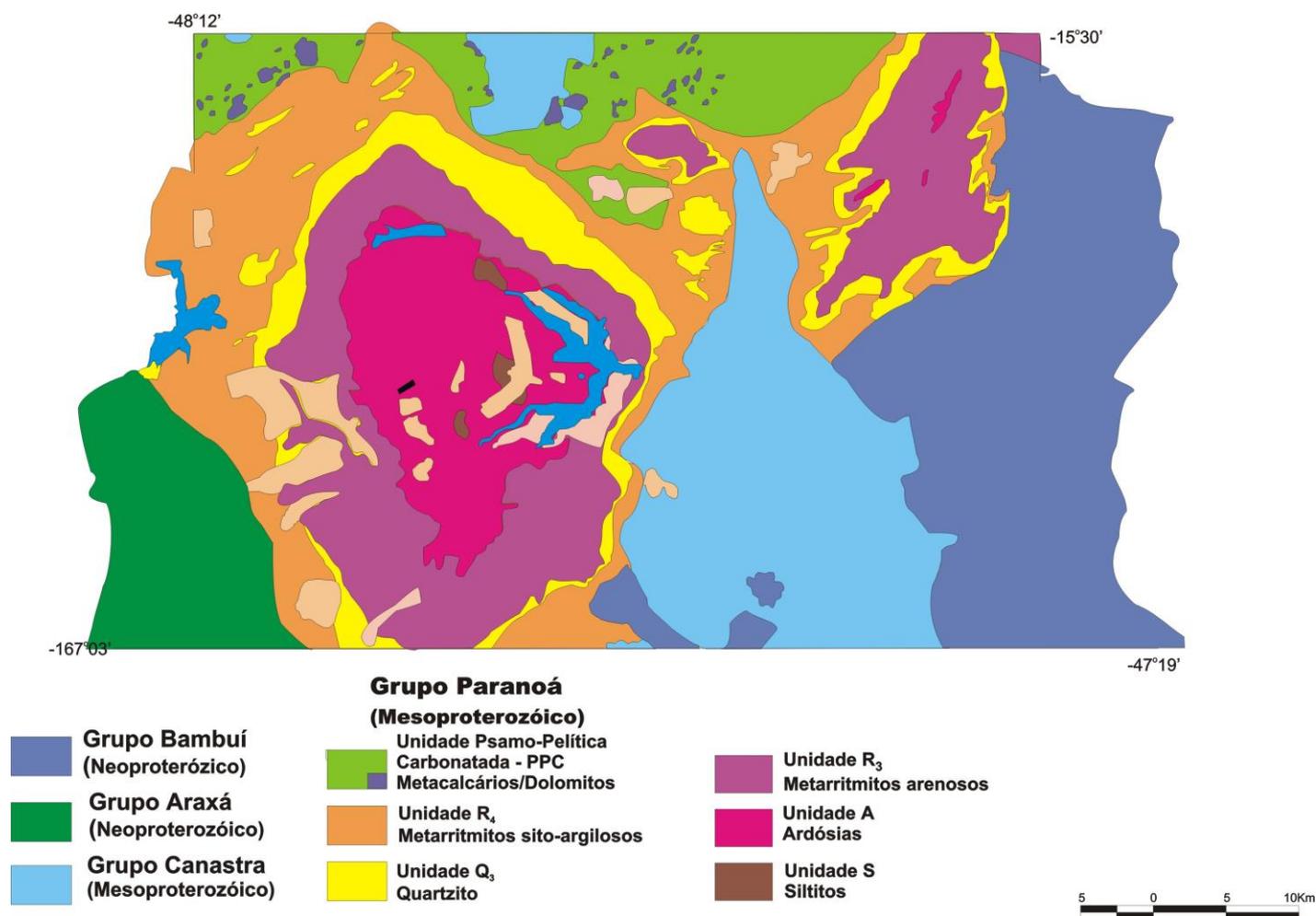
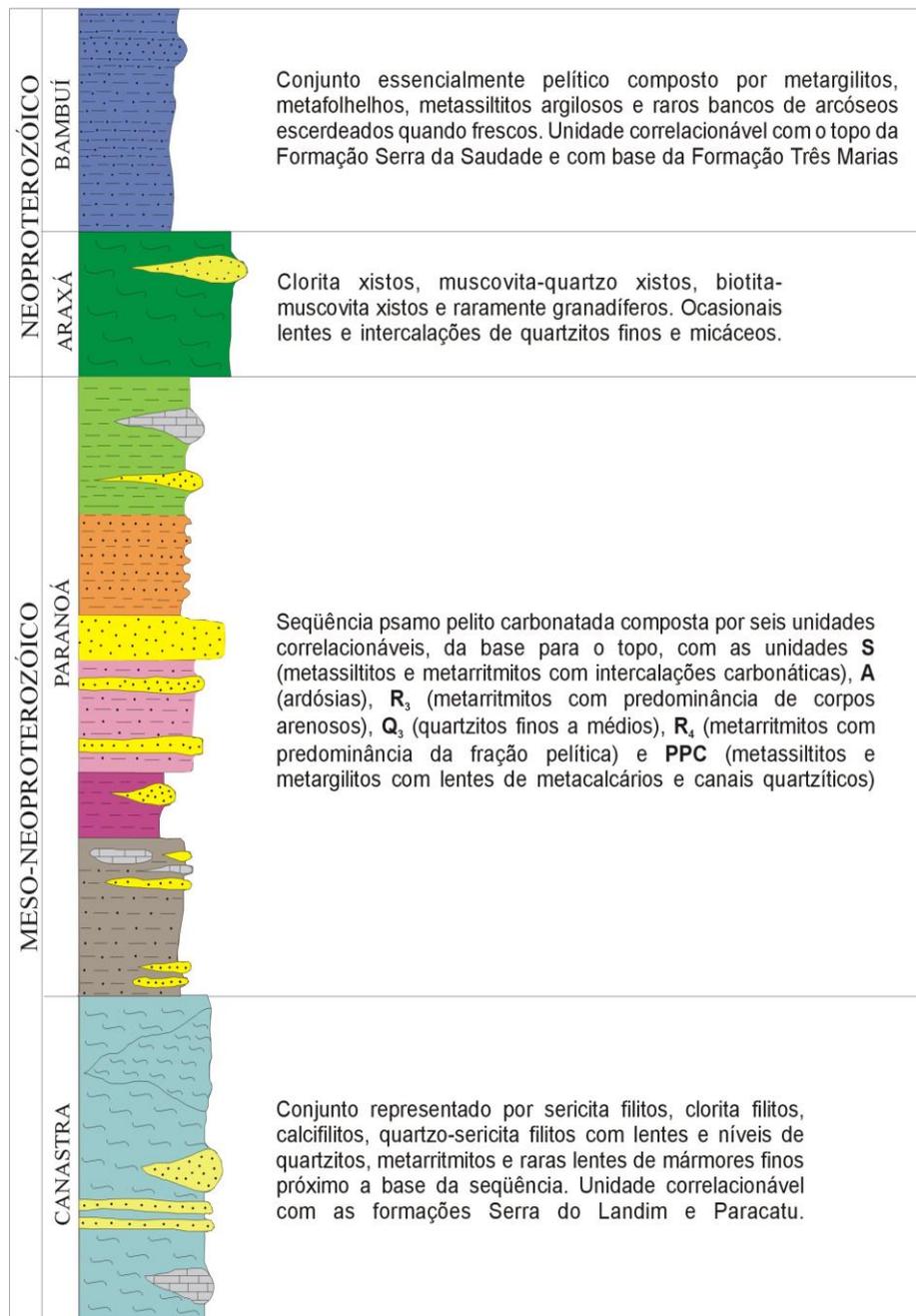


Figura 2.1 - Mapa geológico do Distrito Federal. (Fonte Freitas-Silva & Campos 1998).

Entretanto, em afloramentos rochosos, o mesmo padrão de distribuição, direção e de densidade de fraturas é observado independentemente do tipo de rocha considerada. O que é facilmente observado nas áreas de exposição rochosa são os seguintes contrastes na classificação das fraturas: 1) fraturas rugosas associadas a rochas mais rúpteis e fraturas lisas associadas a rochas mais plásticas; 2) fraturas com maior abertura associadas a rochas arenosas/carbonáticas; fraturas seladas associadas a rochas argilosas e 3) fraturas maiores sobre rochas mais arenosas, como quartzitos e metarritmitos arenosos.



**Figura 2.2** - Coluna estratigráfica com breve descrição litológica das unidades presentes na região do Distrito Federal. Fonte: Freitas-Silva & Campos 1998.

Os sistemas de fraturas observadas no Distrito Federal apresentam uma ampla distribuição espacial, contudo predominam amplamente as famílias de fraturas com direções N15E, N15W e N50-75W, com alto ângulo de mergulho. De uma maneira geral, as duas primeiras direções correspondem a fraturas distensivas, enquanto a terceira corresponde a fraturas de cisalhamento, que têm como par conjugado o sistema com direção média N40-65E. Estas quatro direções de anisotropias controlam os grandes traços do padrão drenagem regional no Distrito Federal, com destaque para a rede que marca os quatro braços principais do Lago Paranoá.

Após o Proterozóico a área do Distrito Federal foi palco de sucessivas reativações, desde o Paleozóico até o Recente, as quais estão refletidas no relevo da região. As principais evidências que registram eventos de deformação neotectônica na região do Distrito Federal são:

- ✓ Presença de testemunhos sedimentares do Cretáceo Inferior (Formação Abaeté na região centro-norte do Distrito Federal) que representam a preservação de um evento de reativação pós-cretácea, sendo encontrados em calhas de *hemigrabens* (Campos *et al.* 1999);
- ✓ O Gráben de São Sebastião situado na região central do Distrito Federal, responsável pela preservação de rochas carbonáticas com dissolução cárstica e inclusive preservação de espeleotemas em cavernas atualmente saturadas (Joko 2002);
- ✓ Presença de couraças lateríticas falhadas com idade mais jovem que o paleógeno (Martins 2000);
- ✓ Presença de pequenos vales tectônicos desenvolvidos sobre cobertura de solos, os quais inclusive são preenchidos com material pedogenizado (Martins 2000);
- ✓ Assimetria de vales de drenagens que contêm solos rasos em uma das margens e solos profundos na outra margem, indicando um basculamento recente em blocos de falhas normais. Essa feição é particularmente comum nas drenagens que compõem a bacia do Rio Jardim na porção leste do Distrito Federal.

A reativação é mais comumente observada nas direções N45E e N45W com pequenas variações para leste e oeste, o que indica que a neotectônica se desenvolve preferencialmente no par de fraturas de cisalhamento.

## 2.2 RELEVO

O Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil, onde se localizam as cabeceiras de afluentes dos três maiores rios brasileiros - o Rio Maranhão (afluente do Rio Tocantins), o Rio Preto (afluente do Rio São Francisco) e os rios São Bartolomeu e Descoberto (tributários da bacia do Rio Paraná).

A classificação geomorfológica do território do Distrito Federal inclui, segundo as propostas de Novaes Pinto (1994ab) e Martins & Baptista (1998), os compartimentos de Chapada Elevada, de Dissecação Intermediária, de Vale Dissecado, de Rebordo e de Escarpa.

As chapadas ocupam áreas expressivas e apresentam padrão de relevo plano a suave ondulado e são cobertas por latossolos. As áreas de Dissecação Intermediária são também cobertas por latossolos e apresentam relevo suave ondulado. Os vales dissecados apresentam relevo ondulado e são cobertos por solos rasos (principalmente cambissolos).

Dentre os fatores responsáveis pela evolução morfodinâmica do Distrito Federal incluem tipos de rochas, clima, tipo de vegetação, evolução dos perfis de alteração, estruturação neotectônica, além da presença de couraças lateríticas. O substrato litológico apresenta um notável controle na compartimentação e evolução geomorfológica. As principais chapadas elevadas são controladas pela presença de rochas atribuídas às unidades arenosas **R3** e **Q3**. As áreas de dissecação intermediárias são controladas por rochas argilosas, enquanto os vales dissecados são condicionados por unidades muito impermeáveis, representadas por rochas dos grupos Canastra, Araxá e Unidade Psamo Pelito Carbonatada do Grupo Paranoá. Os rebordos e escarpas são controlados pela região de transição ou contato brusco entre litologias com alto contraste de erodibilidade. Portanto a geologia é o principal condicionante das variações de altitude, incisão de vales, densidade, forma da rede de drenagem e, principalmente, da evolução morfodinâmica e da paisagem atual do Distrito Federal.

O relevo apresenta importante controle hidrogeológico, uma vez que condiciona o potencial de recarga dos aquíferos e seu risco potencial de contaminação. Nas áreas com solos espessos de baixas declividades o potencial de recarga pode ser da ordem de 50% do total da precipitação pluvial e as porções com relevo ondulado com altas declividades a recarga pode ser considerada nula.

### **2.3 CLIMA**

O clima do Distrito Federal é marcado pela forte sazonalidade, com dois períodos distintos bem caracterizados. O período entre maio e setembro é evidenciado pela baixa taxa de precipitação média, restrita nebulosidade, alta taxa de evaporação, com baixa umidade relativa do ar. O período entre outubro e abril apresenta padrões contrastantes, sendo que o trimestre de dezembro a fevereiro apresenta a maior precipitação anual média.

A precipitação média anual de longo termo é da ordem de 1.450 mm, contudo no território do Distrito Federal são observadas isoietas de variam de 1650 mm até 1200 mm, sendo que as chuvas diminuem progressivamente de oeste para leste.

O padrão errático da distribuição temporal das chuvas pode ser exemplificado com base na comparação dos dados de chuva e elevação dos níveis freáticos para o segundo semestre de 2006 e primeiro trimestre de 2007. De forma geral os níveis freáticos iniciam sua ascensão na segunda quinzena de dezembro, contudo no ano de 2006 a elevação da piezometria iniciou já no início do mês de dezembro, em resposta à elevada altura pluviométrica observada no mês de outubro, quando se acumulou mais de 500 mm de chuva (o maior índice já observado em toda a série histórica conhecida na região). Na segunda quinzena do mês de abril de 2007 se observou o

declínio da elevação da superfície freática, o que, de forma geral, começa a ocorrer a partir da segunda quinzena do mês de maio. Esse rebaixamento precoce ocorre em resposta à baixa taxa de chuva no mês de março de 2007, onde se observou entre 30 e 45 mm de precipitação (enquanto a média histórica é da ordem de 200 mm).

## 2.4 SOLOS

No Distrito Federal ocorrem os típicos solos comumente encontrados na região dos cerrados brasileiros, com destaque para os latossolos, cambissolos, neossolos quartzarênicos, plintossolos, gleissolos, argissolos e nitossolos.

Os latossolos ocupam cerca de 54% da área da área e ocorrem em regiões com relevo pouco movimentado. São caracterizados por solos antigos, espessos (comumente com mais de 10 metros de espessura), homogêneos e com difícil distinção entre os horizontes. Em função do tipo de material parental podem apresentar textura argilosa, muito argilosa, arenosa ou franca argilosa.

Cambissolos ocupam cerca de 32% da área do Distrito Federal e sempre são desenvolvidos em áreas com relevo movimentado, com declividades maiores que 15%. São solos jovens, rasos (espessura total inferior a 1 metro), comumente com pedregosidade, pouco permeáveis, com ampla contribuição de silte em sua composição textural e desenvolvido sobre rochas argilosas.

Neossolo Quartzarênico ocorre em pequenas manchas, sempre associadas a áreas de exposição de quartzitos do Grupo Paranoá. São solos pouco profundos (em geral com menos de 2 metros de espessura), com rochosidade comum, alta permeabilidade, com menos de 15% de argila e presente em locais com restrita declividade, geralmente próximo às bordas de chapadas.

Os plintossolos são relacionados aos locais de acumulação de óxidos de ferro, em geral em quebras de relevo. Em função da forma de ocorrência da plintita podem ser classificados como Plintossolo ou Plintossolo Petroplíntico. São utilizados como material de revestimento de estradas e como pré-base em estradas em processo de pavimentação.

Gleissolos apresentam deficiência de drenagem e por isso são encharcados e ricos em matéria orgânica. Ocorrem exclusivamente junto aos cursos de drenagem superficiais, mais comumente em áreas de nascentes. Como se tratam de áreas ambientalmente sensíveis, áreas de ocorrência de gleissolos não devem ser ocupadas para nenhum fim.

Os argissolos e nitossolos incluem classes de solos, anteriormente enquadrados na classe dos podzólicos. Os argissolos contêm horizonte B textural, onde há incremento de pelo menos 50% de argila no B com relação ao horizonte A. Nos nitossolos há gradiente textural, contudo

não suficiente para enquadramento na classe dos argissolos. Ambos apresentam forte estruturação granular, cerosidade, fácil distinção entre os horizontes, são comumente eutróficos, podem conter rochividade e ocorrem em regiões de relevo ondulado, em áreas de ocorrências de rochas carbonáticas.

Os solos são importantes do ponto de vista hidrogeológico, pois compõem os reservatórios de águas subterrâneas rasas e desempenham as funções filtro e reguladora dos aquíferos.

## **2.5 HIDROGEOLOGIA**

O Distrito Federal está situado no limite entre as províncias hidrogeológicas do Escudo Central e do São Francisco. Em ambos casos a região é amplamente dominada por aquíferos fraturados e físsuro-cársticos recobertos por solos e rochas alteradas com características físicas e espessuras variáveis (que em conjunto compõem sistemas aquíferos intergranulares).

O polígono do Distrito Federal está situado em um alto regional que não apresenta grandes drenagens superficiais, sendo um divisor natural de três grandes bacias hidrográficas. Por isso, as águas subterrâneas têm função estratégica na manutenção de vazões dos cursos superficiais e no abastecimento de núcleos rurais, urbanos e condomínios situados fora do sistema integrado de abastecimento da Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília - CAESB.

As principais informações sobre a hidrogeologia do Distrito Federal estão disponíveis em Romano & Rosas (1970), Barros (1987 e 1994), Amore (1994), Mendonça (1993), Campos & Freitas-Silva (1998 e 1999), Zoby (1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001), Cadamuro (2002), Joko (2002), Moraes (2004), Campos (2004), PGIRH (2005) e Lousada (2005).

No Distrito Federal, onde a geologia é caracterizada por rochas metamórficas, recobertas por espessos solos, podem ser diferenciados três grandes grupos de aquíferos, que correspondem à classificação maior dos reservatórios subterrâneos de água, Domínio Aquífero Intergranular, Domínio Aquífero Fraturado e Domínio Aquífero Físsuro-Cárstico. No caso do Distrito Federal, onde há grande variação de tipos litológicos dentro das várias unidades litoestratigráficas, a caracterização mais precisa dos vários sistemas aquíferos requer a subdivisão em subsistemas, evidenciando a real diversificação dos domínios, sistema e subsistemas aquíferos. A Tabela 2.1 mostra a sinopse do quadro hidrogeológico do Distrito Federal.

As vazões dos poços tubulares variam desde zero (poços secos) até mais de 150 m<sup>3</sup>/h. A ampla variabilidade de potencial dos aquíferos é resposta da grande variação da geologia, tipos de solos e geomorfologia.

## Descrição dos Aquíferos

### 2.5.1.1 Domínio Freático

Os aquíferos do Domínio Freático são caracterizados pelos meios geológicos onde a porosidade é do tipo intergranular, ou seja, a água ocupa os poros entre os minerais constituintes do material geológico (rocha ou solo). No Distrito Federal esse domínio é essencialmente representado pelos solos e pelo manto de alteração das rochas. A caracterização dos aquíferos desse domínio está vinculada a vários parâmetros, dos quais dois são destacados: a espessura saturada (b) e a condutividade hidráulica (K), sendo que ambas são diretamente controladas pela geologia e pela geomorfologia onde cada tipo de solo está inserido.

DOMÍNIO	SISTEMA	SUBSISTEMA	Vazão Média (m <sup>3</sup> /h)	Litologia/Solo Predominante
Freático	Sistema P <sub>1</sub>	Deverão ser definidos com o detalhamento da cartografia hidrogeológica.	< 0,8	Latossolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos.
	Sistema P <sub>2</sub>		< 0,5	Latossolo Argilosos.
	Sistema P <sub>3</sub>			Plintossolos e Argissolos.
	Sistema P <sub>4</sub>		< 0,3	Cambissolo e Neossolo Litólico.
Fraturado	Paranoá	S/A	12,5	Metassiltitos.
		A	4,5	Ardósias.
		R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	12,0	Quartzitos e metarritmitos arenosos.
		R <sub>4</sub>	6,5	Metarritmitos argilosos.
	Canastra	F	7,5	Filitos micáceos.
	Bambuí	-	6,0	Siltitos e arcóseos.
	Araxá	-	3,5	Mica xistos.
Físsuro-Cárstico	Paranoá	PPC	9,0	Metassiltitos e lentes de mármore.
	Canastra	F/Q/M	33,0	Calcifilitos, quartzitos e mármore.

**Tabela 2.1** - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias. Fonte: Adaptado de Campos & Freitas-Silva (1999).

No Distrito Federal os aquíferos freáticos são compostos por meios geológicos não consolidados, com espessuras saturadas variando de poucos centímetros até 80 metros, com ampla predominância (>60%) de espessuras entre 15 e 25 metros, grande extensão e continuidade lateral, heterogêneos e anisotrópicos. Os aquíferos relacionados a esse domínio são classificados como aquíferos livres e/ou suspensos, com ampla continuidade lateral, compondo o sistema de águas subterrâneas rasas. Esses aquíferos geralmente são aproveitados por poços rasos, sendo a altura do nível freático controlada pela hipsometria e por feições físicas gerais dos vários tipos de solo/manto de intemperismo. Como são aquíferos rasos e livres, são

moderadamente susceptíveis à contaminação por agentes externos, sendo, em geral, isolados em sistemas de abastecimento público. Os volumes de água captados pelos poços rasos são sempre inferiores a 800 L/h.

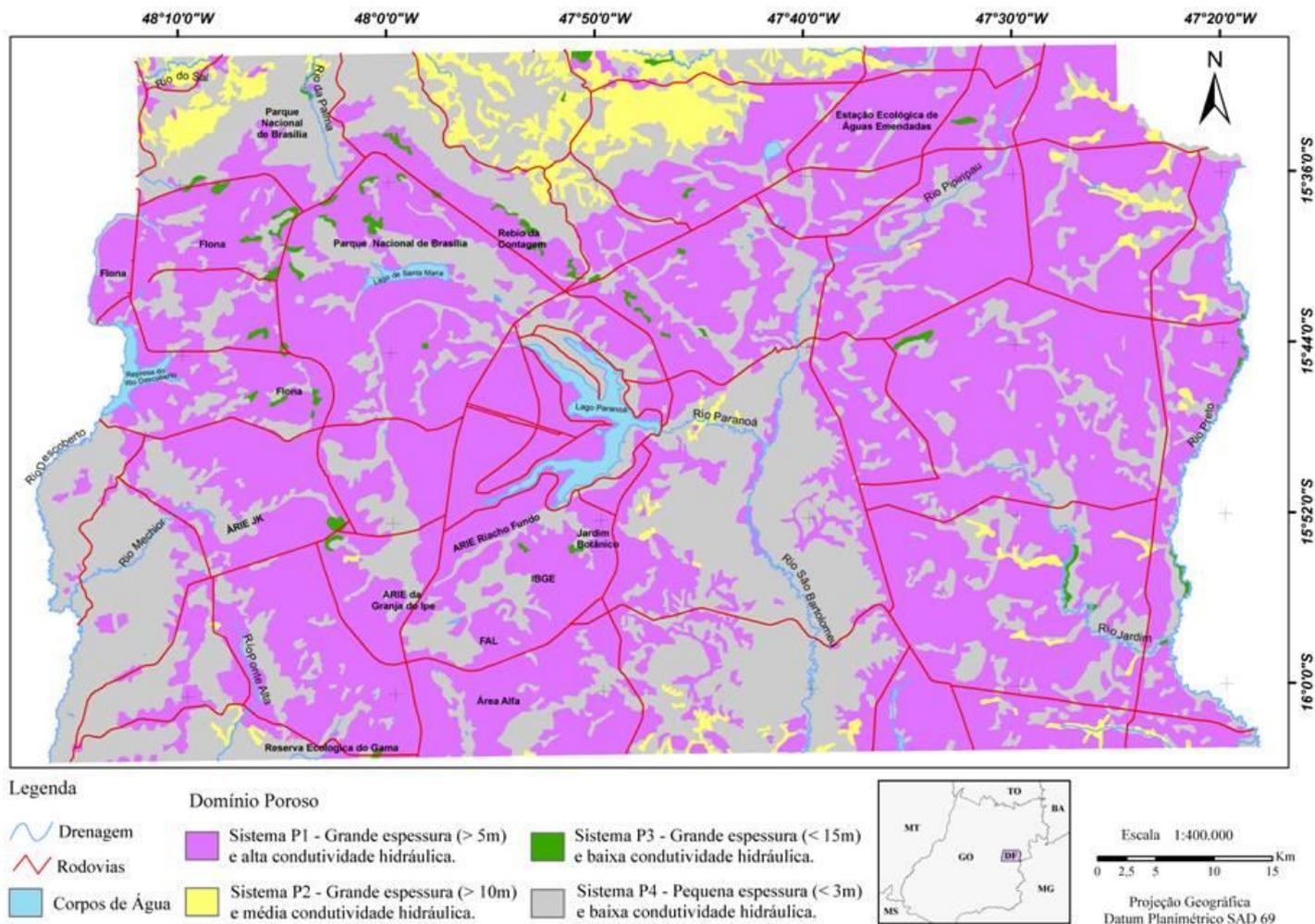
Em função de parâmetros dimensionais (principalmente espessura saturada **b** e condutividade hidráulica **K**), esse domínio foi dividido em quatro sistemas denominados **P<sub>1</sub>**, **P<sub>2</sub>**, **P<sub>3</sub>** e **P<sub>4</sub>**. Os sistemas **P<sub>1</sub>** e **P<sub>2</sub>** são caracterizados por espessuras maiores que 20 metros e condutividades hidráulicas, respectivamente, alta (maior que  $10^{-6}$  m/s) e moderada (da ordem de grandeza de  $10^{-6}$  m/s). No Sistema **P<sub>3</sub>** as espessuras totais são reduzidas para menos de 10 metros e a condutividade hidráulica assume valores menores que  $10^{-6}$  m/s. O sistema **P<sub>4</sub>** caracteriza-se por pequenas espessuras (comumente menores que 1 metro, podendo alcançar 2,5 metros) e condutividade hidráulica muito baixa. Nesse Sistema é comum a ausência de zona de saturação no domínio do saprolito, principalmente quando desenvolvidos sobre rochas argilosas.

O trabalho original de Campos & Freitas-Silva (1998) utilizou uma antiga base cartográfica de solos e contava apenas com um restrito número de ensaios de infiltração *in situ*, o que resultou na cartografia pouco precisa dos limites de cada um dos sistemas. O presente estudo sugere uma nova cartografia para os aquíferos do Domínio Poroso, a qual deve ser baseada nos grupos hidrológicos dos solos propostos por Gonçalves (2007). Neste caso foi utilizada uma ampla base de dados de ensaios de infiltração e a divisão dos sistemas leva em consideração o funcionamento hídrico dos solos conforme a teoria do Curva-Número desenvolvida pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos (Lombardi-Neto 1989 e Sartori 2004).

A nova cartografia dos sistemas intergranulares freáticos está apresentada na Figura 2.3.

Esse domínio aquífero apresenta particularidades devido ao fato de incluir a transição entre a zona não saturada e a zona saturada do aquífero. Essa porção também inclui a região onde se originam os processos de recarga dos aquíferos (rasos e profundos) a partir da infiltração das águas de chuva. Uma importância adicional desse domínio está vinculada à manutenção da perenidade de drenagens no período de recessão de chuvas.

As zonas de descargas desse domínio estão relacionadas a fontes do tipo depressão ou contato, sendo que sua vazão média é controlada pelo tipo de regime de fluxo. As fontes relacionadas a fluxos regionais e intermediários apresentam vazões superiores a 2,0 litros por segundo, enquanto as de fluxo local mostram vazões reduzidas e com amplas variações sazonais. Os aquíferos subjacentes, do domínio fraturado, também funcionam como importantes exutórios dos aquíferos do domínio poroso, pois são diretamente alimentados a partir da zona saturada contida nos solos e nas rochas alteradas.



**Figura 2.3** - Nova proposta de distribuição dos sistemas intergranulares freáticos (Sistema Aquíferos Porosos) do Distrito Federal. Essa proposta substitui a cartografia apresentada por Campos & Freitas-Silva (1998).

### 2.5.1.2 Domínio Fraturado

Os aquíferos do domínio fraturado são caracterizados pelos meios rochosos, onde os espaços ocupados pela água são representados por descontinuidades planares, ou seja, planos de fraturas, microfaturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas. Como no Distrito Federal o substrato rochoso é representado por metassedimentos, os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. Dessa forma, os eventuais reservatórios existentes nas rochas proterozóicas estão inclusos dentro do Domínio Fraturado, onde os espaços armazenadores de água são classificados como porosidade secundária.

Por estarem restritos a zonas que variam de alguns metros a centenas de metros, os aquíferos do Domínio Fraturado são livres ou confinados, de extensão lateral variável, fortemente anisotrópicos e heterogêneos, compondo o sistema de águas subterrâneas profundas. Com raras exceções, esse domínio está limitado a profundidades pouco superiores a 250 metros,

sendo que em profundidades maiores há uma tendência de fechamento dos planos de fraturas em virtude do aumento da pressão.

Os parâmetros hidrodinâmicos são muito variáveis em função do tipo de rocha e, inclusive, variando significativamente em um mesmo tipo litológico. O principal fator que controla a condutividade hidráulica dos aquíferos desse domínio é a densidade das discontinuidades do corpo rochoso.

Esses aquíferos são aproveitados a partir de poços tubulares profundos e apresentam vazões que variam de zero até valores superiores a 100 m<sup>3</sup>/h, sendo que a grande maioria dos poços apresenta entre 5 e 12 m<sup>3</sup>/h. A existência de poços secos é controlada pela variação da fração granulométrica, sendo que quanto maior a concentração de quartzitos menor a incidência de poços secos e quanto maior a presença de material argiloso (metassiltitos e ardósias) maior a ocorrência de poços secos ou de muito baixa vazão.

A classificação desse domínio em quatro conjuntos distintos, denominados de sistemas aquíferos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí é feita com base no conhecimento geológico, análise estatística dos dados de vazões e feições estruturais.

O Sistema Paranoá foi subdividido nos seguintes subsistemas: **S/A**, **A**, **R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>** e **R<sub>4</sub>**, enquanto o Sistema Canastra é integrado pelo Subsistema **F**.

As águas subterrâneas desse domínio apresentam exposição à contaminação atenuada, uma vez que os aquíferos do Domínio Intergranular sobrepostos funcionam como um filtro depurador natural, que age como um protetor da qualidade das águas mais profundas.

A recarga dos aquíferos desse domínio se dá através do fluxo vertical e lateral de águas de infiltração a partir da precipitação pluviométrica. A morfologia da paisagem é um importante fator controlador das principais áreas de recarga regionais.

### **2.5.1.3 Domínio Físsuro-cárstico**

Os sistemas de porosidade físsuro-cárstica são representados por situações onde rochas carbonáticas (calcários, dolomitos, margas e mármore) ocorrem na forma de lentes com restrita continuidade lateral interdigitadas com litologias pouco permeáveis (siltitos argilosos, folhelhos ou filitos).

Nesses casos a dissolução cárstica fica limitada pela restrita circulação e as cavidades resultantes são restritas, inferiores a 3 metros de abertura. Mesmo não representando sistemas cársticos clássicos essas ocorrências são responsáveis pelas vazões mais expressivas em poços individuais conhecidos na região do Distrito Federal.

Na região do Distrito Federal ocorrem aquíferos físsuro-cársticos vinculados ao Sistema Paranoá, onde é representado pelo subsistema **PPC** e pelo Sistema Canastra, associado ao

Subsistema F/Q/M. O subsistema F/Q/M apresenta especial importância na região, pois é responsável pelo abastecimento exclusivo da Cidade Satélite de São Sebastião com cerca de 100.000 habitantes.

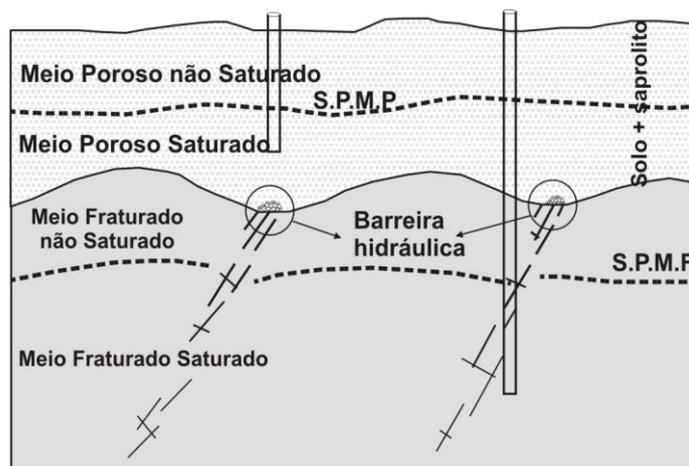
## Modelos Conceituais dos Aquíferos

### 2.5.2.1 Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas

Este modelo foi proposto por Campos & Freitas-Silva (1998) e abordado em trabalhos posteriores por Lousada (1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001) e Cadamuro *et al.* (2002) na região do Distrito Federal. O modelo é aplicável para áreas no interior das chapadas elevadas, caracterizadas pela presença de regolitos que atingem profundidades de até 50 metros sobre rochas intensamente fraturadas com elevado grau de interconexão entre as fraturas.

O “Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas” considera que existe uma zona não saturada entre a base do domínio intergranular saturado e o topo da zona representada pelas fraturas saturadas (figura 2.4).

O topo do aquífero fraturado é coincidente com os metassedimentos frescos, onde os planos de descontinuidades de juntas, falhas e diáclases compõem os reservatórios. No limite entre a rocha fraturada e o saprolito há estreitamento da abertura das fraturas em função do acúmulo de argilas que migram por translocação vertical. No período em que a carga hidráulica no aquífero poroso não é suficiente para quebrar a barreira hidráulica estabelecida, o topo do meio fraturado apresenta-se não saturado. As fraturas podem permanecer secas ou parcialmente saturadas até a profundidades que variam entre 50 e 75 metros. A partir deste patamar as fraturas são permanentemente saturadas por água.



**Figura 2.4** - Figura esquemática do Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas. Situação presente no interior da Região de Chapadas Elevadas com relevo plano e de topografia elevada. SPMP - superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado. Espessura média

do regolito - 40 metros; profundidade média da SPMF - 70 metros.

A barreira hidráulica presente na interface dos dois aquíferos, não permite o fluxo contínuo por gotejamento entre estes. Na região de interconexão dos aquíferos coexistem simultaneamente fatores que auxiliam no desenvolvimento da barreira hidráulica, com destaque para: presença de material fino (argila e silte) que limita a abertura das fraturas, ocorrência de forças capilares pela presença de ar na porosidade planar secundária e presença de anisotropia e heterogeneidade do sistema fraturado.

A recarga do meio fraturado se dá após elevação da carga hidráulica no meio poroso que permita a ruptura da barreira hidráulica e a passagem de água do meio superior para as fraturas na rocha fresca. Nos meses mais chuvosos do ano, quando o nível freático alcança a máxima elevação, pode haver a junção das zonas saturadas dos domínios poroso e fraturado, entretanto na maior parte do ano, há a separação por uma zona de fraturas não saturada. Nestas condições dois níveis potenciométricos livres podem ser medidos.

A composição química das águas dos dois sistemas é diferente. Os resultados de análises em campo mostram que as águas do domínio intergranular são mais ácidas, com menor total de sólidos dissolvidos, menor condutividade elétrica e mais jovens que as águas amostradas em poços tubulares profundos após várias horas de bombeamento contínuo.

Esse modelo é baseado em uma série de observações empíricas realizadas durante a construção de poços tubulares e exploração dos aquíferos situados na região do Distrito Federal e Entorno. A maior parte das informações foi obtida de poços tubulares profundos, pelo monitoramento da descarga e qualidade das águas de nascentes, pela avaliação do comportamento de balanços hídricos em pequenas bacias hidrográficas e monitoramento da variação dos níveis freáticos em diferentes aquíferos.

A seguir são apresentados e discutidos os principais argumentos que suportam o modelo:

- ✓ Durante a perfuração de poços tubulares é comum a perda d'água quando as primeiras fraturas em rocha fresca são interceptadas. A água presente na zona de saturação dos solos/saprolitos migra para as fraturas não saturadas. Abaixo de 50 a 75 metros todas as fraturas interceptadas são saturadas com água, o que resulta no aumento progressivo da vazão do poço.
- ✓ A avaliação da potenciometria de poços tubulares profundos totalmente revestidos na seção dos solos e saprolitos mostra níveis d'água mais baixos que o nível freático de poços rasos situados a pequenas distâncias.
- ✓ A exploração da água em poços rasos presentes no domínio poroso não sofre interferências de rebaixamento em áreas onde existe grande densidade de poços tubulares

que bombeiam águas de zonas fraturadas profundas. Este fato mostra que não há conexão hidráulica direta entre os dois aquíferos.

- ✓ Presença de cavernas vadasas onde muitos poços rasos exploram águas do aquífero freático raso, na região de São Sebastião. As cavernas não saturadas são relacionadas a lentes de mármore e verificadas a profundidades entre 36 e 70 metros. Os poços tubulares profundos situados nessas regiões exploram cavernas saturadas situadas a maiores profundidades e mesmo bombeando dezenas de metros cúbicos por hora não há interferências nos níveis d'água dos poços rasos.
- ✓ A avaliação das variações de vazões em nascentes também corrobora o modelo. Cadamuro (2002) pesquisou dois conjuntos de nascentes em um platô elevado na região do Distrito Federal (Chapada da Canastra) e mostrou que há uma diferença importante no comportamento das variações da descarga de nascentes. As nascentes de contato no meio poroso apresentam aumento de vazão um mês após o início do período chuvoso. As nascentes de fratura, situadas nas áreas de afloramentos rochosos, registram esse aumento de 45 dias a dois meses após o início das chuvas. Esse comportamento sugere que a recarga do meio fraturado sofre um retardo em função da necessidade do aumento da carga hidráulica do meio aquífero sobreposto para iniciar a transmissão de água.
- ✓ Outro argumento hidrológico foi considerado por Souza (2001) durante o monitoramento da Bacia do Córrego Cabeça de Veado, na porção central do Distrito Federal. Os pontos de medição da vazão foram distribuídos em áreas com solos espessos e em áreas com exposições rochosas a jusante da bacia. Na região onde ocorrem solos espessos o fluxo de base é responsável por um aumento da vazão com o progressivo aumento da área da bacia. Nas áreas de exposição rochosa há a manutenção das vazões mesmo com aumento significativo da área da bacia de drenagem.

#### ***2.5.2.2 Modelo Físsuro-Cárstico***

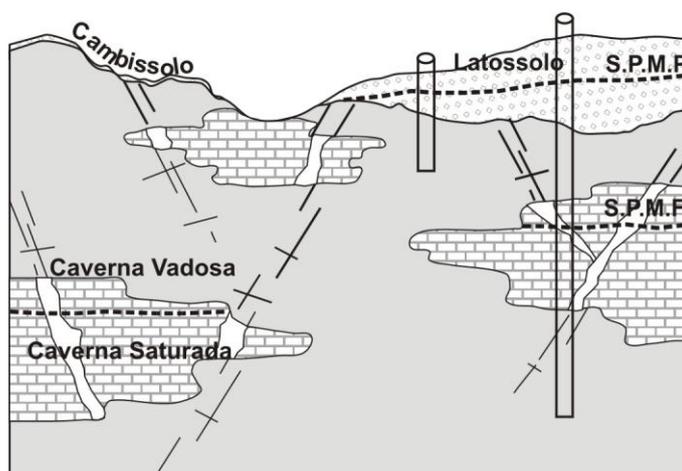
Este modelo pode ser aplicado em várias regiões do Distrito Federal, principalmente no norte, onde ocorrem as lentes de rochas carbonáticas do Grupo Paranoá.

A denominação de modelo físsuro-cárstico se refere aos reservatórios subterrâneos onde as condições de circulação não são do tipo fissural (fraturada) com fluxo laminar, nem do tipo cárstico clássico, onde o fluxo turbulento é predominante. Essa feição é decorrente da interdigitação de lentes carbonáticas com rochas de baixa permeabilidade, o que não permite o desenvolvimento de intensa dissolução cárstica, uma vez que o fluxo lateral é limitado nos metassiltitos e filitos. Assim o modelo físsuro-cárstico inclui aquíferos com dois tipos de

porosidades distintas: secundária planar e secundária por dissolução. A figura 2 mostra a representação esquemática para o referido modelo.

Do ponto de vista da hidrogeologia local, esses sistemas apresentam condições bastante favoráveis no que se refere ao potencial aquífero. As fraturas horizontais e subhorizontais tendem a elevar a condutividade hidráulica do meio e atuar como conectores entre as lentes de mármore que se encontram normalmente saturadas.

Os sistemas físsuro-cársticos podem ser, em função do relevo, associados a uma ou duas superfícies potenciométricas. Em áreas de topografia plana com solos espessos são identificadas duas superfícies potenciométricas. Em regiões de relevo movimentado com grande amplitude de cotas e solos rasos, ocorre apenas uma zona de saturação em rocha carbonática (figura 2.5).



**Figura 2.5** - Representação esquemática do Modelo Físsuro-cárstico. Notar a possibilidade da presença de uma ou duas superfícies potenciométricas em função das variações do relevo. Modelo exclusivamente observado onde lentes de rochas carbonáticas interdigitam com rochas menos permeáveis. SPMP – superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado.

Como há limitação do fluxo lateral em função da presença de rochas pouco fraturadas, a recarga é eminentemente a partir de fluxo vertical. Esses aquíferos são os mais anisotrópicos e heterogêneos observados na região, pois além da anisotropia condicionada pelas diferentes direções de fraturamento, há ainda as variações laterais nas aberturas da dissolução cárstica.

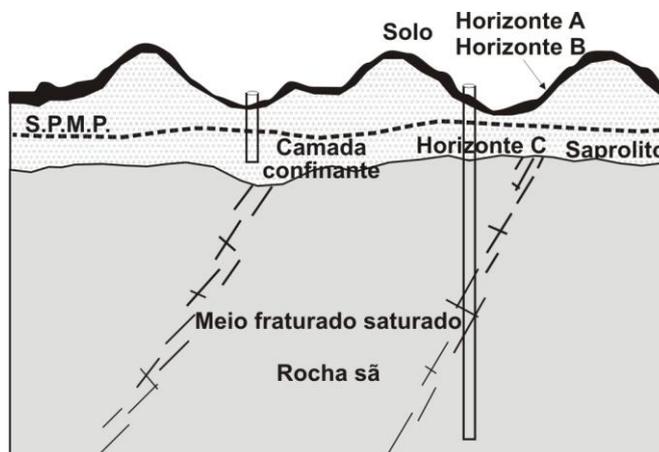
A ampla anisotropia desses sistemas é materializada pelas variações de vazões dos poços tubulares perfurados, com vazões específicas variando de zero até valores superiores a 18 m<sup>3</sup>/h/m.

### 2.5.2.3 Modelo de Superfície Potenciométrica Única com Confinamento

Nesse modelo de armazenamento e circulação de água subterrânea também se considera a presença de dois meios de comportamentos distintos: aquíferos porosos recobrindo sistemas fraturados (figura 2.6). O meio intergranular superficial é representado por solos rasos

(cambissolos e neossolos litólicos) e saprolitos relativamente espessos (até 20 metros), comumente desenvolvidos de rochas pelíticas.

O aquífero superior é classificado como Sistema P<sub>4</sub> (Campos & Freitas-Silva 1998) e para esse caso específico, não apresenta zona de saturação, funcionando como camada confinante do tipo aquítarde.



**Figura 2.6** - Modelo de Única Superfície Potenciométrica com confinamento. A camada de saprolito funciona como aquítarde. Modelo aplicável onde saprolitos argilosos ocorrem sobre terrenos de relevo movimentado. SPMP - superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado.

O aquífero inferior tem comportamento de fluxo laminar em porosidade secundária planar onde as águas armazenadas apresentam diferentes graus de confinamento. Dessa forma tais sistemas aquíferos fraturados tem comportamento artesianos, o que é corroborado pela presença de poços artesianos em situações de relevos mais movimentados.

Esse modelo é observado em locais de relevo forte ondulado, com rochas pelíticas recobertas por solos pouco desenvolvidos.

As observações que suportam a proposição desse modelo são levantadas durante a escavação de poços rasos e instalação de piezômetros em cambissolos de bordas de chapadas. No primeiro caso, a progressão da escavação passa rapidamente dos horizontes superficiais para o saprolito (geralmente argiloso de coloração rosada) sem a presença de água até que se inicia a perfuração em material rochoso pouco alterado ou fresco. Os primeiros registros da presença de água só aparecem quando a escavação já se dá em material litificado. O nível d'água no poço eleva em média 10 metros após a interceptação da zona saturada.

O mesmo comportamento é observado durante a instalação de piezômetros e poços de observação nesse meio. A ação do ar comprimido utilizado na perfuração evidencia a condição seca, sem presença de indício algum de umidade no pó de material expelido a profundidades maiores que 20 metros em alguns casos, mesmo onde já se intercepta material rochoso fresco, de tonalidade esverdeada ou acinzentada. A partir de maiores profundidades percebe-se a presença

de umidade, amenizando o aspecto de pó seco expelido. O nível d'água resultante é sempre superior à profundidade final de perfuração do poço.

A recarga da água que alimenta as fraturas se dá pelo gotejamento a partir do aquítarde (Sistema P<sub>4</sub>) e ainda do fluxo lateral de águas infiltradas nas áreas planas e elevadas que se distribuem nas adjacências. Esse modelo de circulação mostra a importância das áreas de chapadas, planas e com solos espessos, para a regularização dos aquíferos fraturados da região dos cerrados.

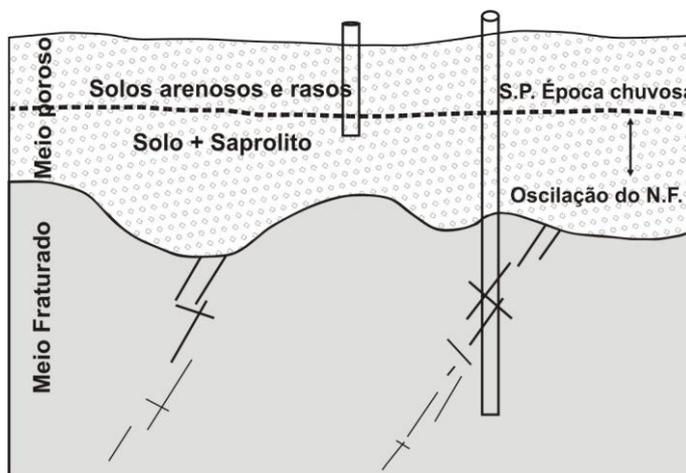
Nas áreas onde a circulação nos aquíferos segue esse modelo de fluxo verificam-se, no período chuvoso várias nascentes de contato e de depressão intermitentes. Esse fato mostra que as águas que infiltram pelo aquífero superficial são, em grande parte, descarregadas por fluxo interno e não contribuem efetivamente para a recarga das zonas de fraturas presentes em zonas mais profundas.

#### 2.5.2.4 Modelo de Superfície Potenciométrica Única sem Confinamento

Esse modelo representa a forma de circulação mais simples e que ocorre na maior parte das áreas onde aquíferos anisotrópicos de natureza fissural são recobertos por espessos solos. Nesse caso todo o conjunto de porosidade intergranular e secundária planar permanece saturado de água na faixa compreendida entre a base do aquífero e o nível freático.

A única superfície potenciométrica presente pode ocorrer permanentemente no domínio poroso superior ou migrar no período de recessão da precipitação pluvial para o domínio fraturado. Na maior parte dos casos a superfície potenciométrica oscila dentro do aquífero poroso superior (figura 2.7). Nas situações próximas a quebras de relevo (principalmente onde solos arenosos recobrem quartzitos intensamente fraturados), a superfície potenciométrica oscila entre o solo e a rocha em função da distribuição temporal das chuvas (figura 2.8).

O referido modelo é observado em áreas de relevo suave ondulado com cotas intermediárias e em regiões próxima a quebras de relevo.



**Figura 2.7** - Modelo de Única Superfície Potenciométrica sem confinamento, onde a superfície de saturação permanece no meio aquífero intergranular superior. SPMP - superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado.



**Figura 2.8** - Ilustração do Modelo de Única Superfície Potenciométrica sem confinamento. Nesse caso, o nível freático apresenta ampla oscilação anual e pode ser observado em solo ou rocha fresca. Condição comum quando ocorrem quartzitos em bordas de chapadas.

A recarga se dá principalmente por fluxo vertical de águas de precipitação e a descarga em nascentes de contato e depressão difusas que alimentam diretamente a drenagem superficial. Essas áreas de exutórios comumente são associadas a gleissolos e outros solos hidromórficos em geral encontrados nas cabeceiras dos córregos.

## 2.6 HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

### Considerações Gerais

Os padrões de qualidade de água visam à proteção da saúde pública através do controle da presença de substâncias tóxicas, microrganismos e elementos potencialmente prejudiciais ao metabolismo humano. A análise hidroquímica corresponde a um dos exames feitos para o controle ambiental da água e para a caracterização da composição química natural de águas subterrâneas. No caso de águas profundas, a caracterização hidroquímica permite a definição da composição química natural (valores de referência), de forma a se delinear regiões onde há contaminação de aquíferos ou ainda de áreas onde as águas naturalmente apresentam elementos em quantidades nocivas à saúde, constituindo uma importante ferramenta para o controle da qualidade de águas subterrâneas utilizadas em sistemas de abastecimento público.

Do ponto de vista de conhecimento dos aquíferos, as avaliações hidroquímicas são úteis para a determinação de misturas de águas entre diferentes reservatórios, definição de sistemas de fluxo hidrogeológico e caracterização de fácies hidrogeológicas (Santos 1997).

No Distrito Federal, o controle da qualidade da água de todos os mananciais usados para o abastecimento público, bem como da água distribuída para a população é responsabilidade da

Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB). O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por sua vez, realiza um levantamento junto a todas as instituições do país que possuem rede de monitoramento de qualidade de água e aos laboratórios de análise ambiental, com a finalidade de exercer ações de controle, fiscalização e monitoramento das águas de domínio da União. Porém, ainda se faz necessária a estruturação e implementação de uma rede integrada de monitoramento da qualidade da água para a eficaz gestão dos recursos hídricos e ambientais brasileiros.

Apesar de existirem órgãos gestores responsáveis pelo controle de qualidade da água no Distrito Federal, não há critérios estabelecidos para tal. Além disso, não existem na literatura trabalhos referentes à avaliação hidroquímica sistemática dos aquíferos dessa região. Portanto, o objetivo deste item é avaliar a composição química natural das águas profundas nos diferentes meios geológicos da região.

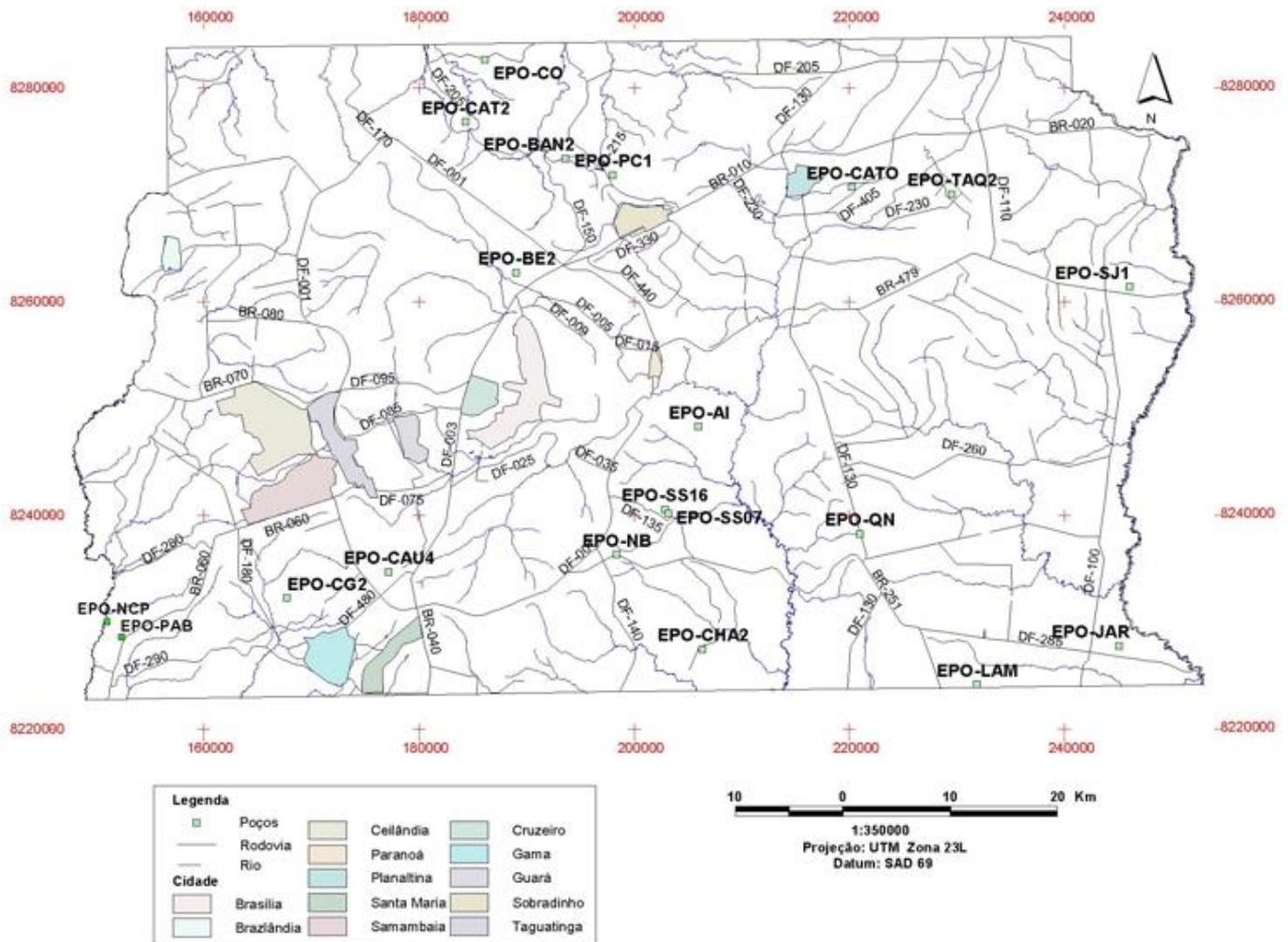
Os resultados apresentados são baseados no trabalho de Arraes *et al.* (2005), o qual foi desenvolvido no âmbito de trabalhos acadêmicos do curso de Geologia da Universidade de Brasília.

### **Metodologia de Amostragem**

Para a caracterização da composição química das águas subterrâneas foram utilizadas 24 amostras de águas obtidas de poços distribuídos por todo o território do Distrito Federal (Figura 9). Desse conjunto 3 foram descartadas, pois apresentaram elevada turbidez.

O processo de amostragem compreende a etapa mais importante na execução de trabalhos relacionados à composição químicas das águas subterrâneas, uma vez que nesta fase o risco de modificação da composição natural da água é grande, o que pode resultar em possíveis alterações nos resultados. A mudança da composição pode se dar por contaminação durante a amostragem ou, mais comumente, por mistura de águas de diferentes aquíferos ou águas de porções rasas com águas provenientes de maiores profundidades.

Com o intuito de se caracterizar a composição química natural das águas dos aquíferos fraturados da região do Distrito Federal foram utilizados poços operados pela CAESB. O principal critério utilizado para a escolha dos poços foi a existência de perfis construtivos e geológicos para cada poço amostrado. Apenas foram utilizados sistemas de captação em que um eficiente isolamento da porção superior do poço tenha sido implantado, o que pode garantir que a amostra coletada seja exclusivamente dos domínios profundos, evitando eventuais misturas com águas freáticas. Foram coletadas três amostras por subsistema aquífero. Apesar do reduzido número de amostras, os resultados são considerados relevantes, pois houve grande controle da amostragem, além de ampla distribuição geográfica dos pontos de amostragem (Figura 2.9).



**Figura 2.9** - Mapa de localização dos poços amostrados.

O processo de amostragem foi dividido em duas etapas, uma de coleta de dados *in situ*, utilizando um equipamento portátil para medição de pH, condutividade elétrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidade ( $\text{‰}$ ) e total de sólidos dissolvidos ( $\text{mg}/\text{l}$ ), e outra de coleta de água para posterior análise laboratorial.

Na etapa de amostragem para análise laboratorial foram utilizados poços em funcionamento equipados com bombas submersíveis. Para a coleta se deve ligar a bomba, abrir a válvula de onde será coletada a amostra, e a amostragem é realizada após 15 minutos de bombeamento, tempo suficiente para eliminar uma possível água estacionária na tubulação. A coleta é feita com um frasco de PVC, devidamente lavado com a própria água do poço.

A etapa de bombeamento prévio à coleta de amostras é importante, pois a água estagnada (no poço e na tubulação edutora) pode interagir com o encanamento de forma que altere os parâmetros físico-químicos da água.

## Resultados

A análise hidroquímica a partir do Diagrama de Piper apresenta distribuição difusa em função da diversidade geológica presente no Distrito Federal, o que não permite o agrupamento de todo o conjunto num único tipo químico (Figura 2.10). De maneira geral, o cátion predominante é o cálcio, seguido do magnésio. Quanto aos ânions, predomina o bicarbonato, com concentrações maiores que a do cloro. Assim, as águas subterrâneas profundas do Distrito Federal podem ser classificadas principalmente como bicarbonatadas/sulfatadas/cloretadas cálcicas e/ou magnesianas e, subordinadamente, como cloretadas/sulfatadas sódicas e bicarbonatadas sódicas.

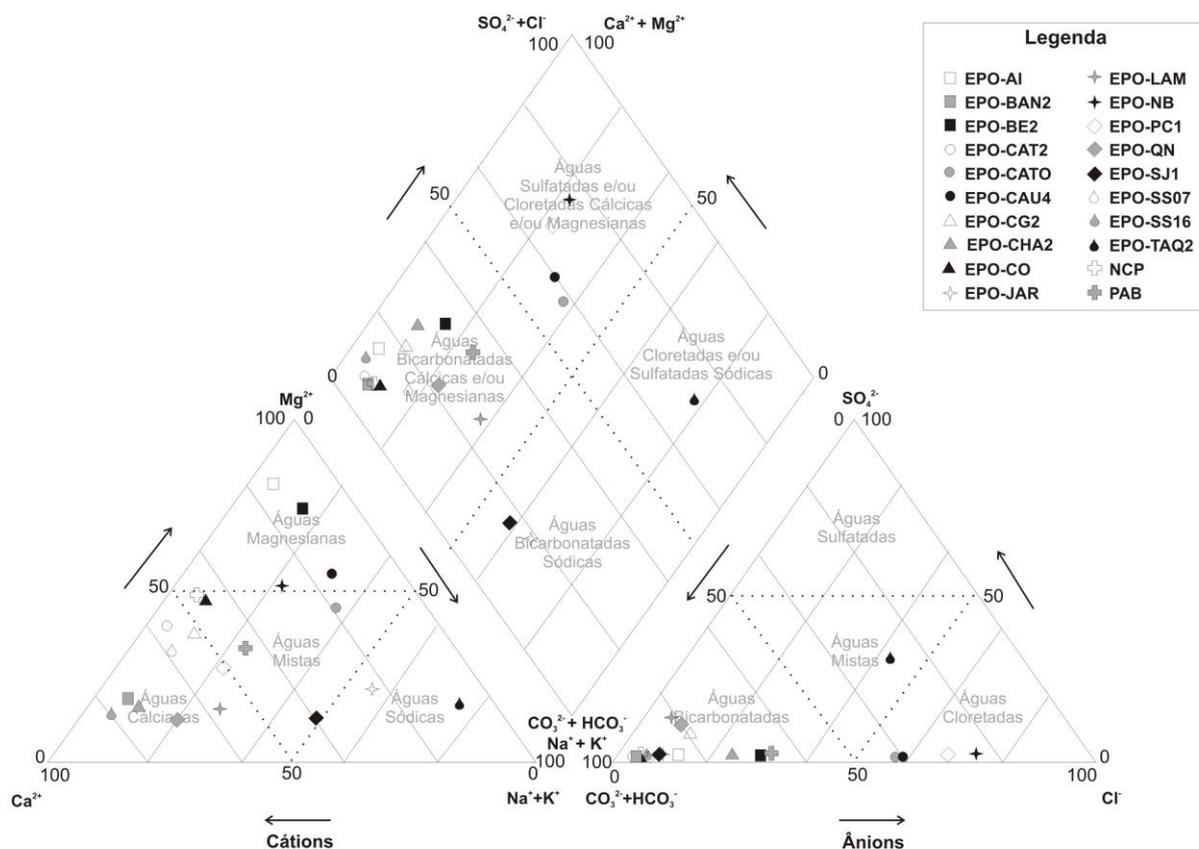
Essa análise permite a comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes, além de mostrar possíveis relações entre íons de uma mesma amostra e ressaltar variações referentes ao meio geológico com a qual as águas estabeleceram contato. A Figura 10 relaciona as diversas amostras com os diferentes sistemas (e subsistemas) hidrogeológicos do Distrito Federal, permitindo reunir grupos de amostras segundo alguns tipos químicos.

Para o Subsistema **A**, as amostras EPO-BE2 e EPO-TAQ2 apontaram respectivamente resultados de água bicarbonatada magnesiana e sulfatada e/ou cloretada sódica. As ardósias que compõem o Subsistema **A**, em superfície, apresentam-se oxidadas e alteradas; em subsuperfície, porém, apresentam-se frescas, podendo ter influência de participação carbonática e, ainda, sulfetos disseminados. Os valores de pH para ambas as amostras são próximos de 5.

O Subsistema **R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>** apresentou águas cloretadas magnesianas para as amostras EPO-CAU4 e EPO-NB, com pH inferior a 5,0. Geologicamente, as rochas componentes deste subsistema são inertes ou pouco reativas e, portanto, os resultados obtidos nas análises podem indicar que a composição atual é próxima a composição original das águas de infiltração, comumente enriquecidas em cloreto.

As amostras EPO-CATO, EPO-PC1 e EPO-CG2 representam o subsistema **R<sub>4</sub>**, com resultado de águas cloretada cálcica/magnesiana, cloretada cálcica e bicarbonatada cálcica respectivamente e pH médio de 5,5. A presença dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2-}$  e do ânion  $\text{HCO}_3^-$  se devem à participação de carbonato nas rochas argilosas desse subsistema. Já a presença do  $\text{Cl}^-$  deve ser originada a partir das águas de infiltração.

As amostras EPO-BAN2 e EPO-CAT2 são ambas de água bicarbonatada cálcica e representam o Subsistema **PPC**, apresentando valores médios de pH de 7,6. Os resultados são coerentes com a natureza geológica do subsistema, que apresenta ampla contribuição de rochas carbonáticas.



**Figura 2.10** - Diagrama de Piper para amostras de águas profundas do Distrito Federal.

O Subsistema **F** é representado pelas amostras EPO-AI, EPO-CHA2 e EPO-QN, com valores de pH médio de 6,5. A primeira apresentou tipo químico de água bicarbonatada magnesianas, enquanto que as demais foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas. A alta concentração de  $Mg^{2+}$  e alta concentração de  $CO_3^{2-} + HCO_3^{-}$  são coerentes com a natureza geológica do subsistema, que apresenta clorita filito a clorita carbonato filito como principais constituintes.

O Subsistema **F/Q/M**, representado pelas amostras EPO-CO (bicarbonatada cálcica e magnesianas), EPO-SS07 (bicarbonatada cálcica) e EPO-SS16 (bicarbonatada cálcica) também apresenta valores semelhantes e condizentes com a geologia dos aquíferos, formados principalmente por calcifilitos e mármore. O pH médio para o subsistema é de 7,1.

As amostras NCP e PAB representam o Sistema Araxá e correspondem a águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas. O subsistema Araxá é composto essencialmente de muscovita xistos e ainda clorita xistos e quartzo muscovita xistos. Os minerais constituintes dessas rochas são os principais fornecedores dos íons presentes nas águas deste subsistema.

Já as amostras EPO-JAR, EPO-SJ1 e EPO-LAM representam o Sistema Bambuí e apontam as duas primeiras para águas bicarbonatadas sódicas e a última para águas bicarbonatadas cálcicas. Esses resultados são coerentes com a contribuição de rochas

carbonáticas em profundidade. Esse sistema apresenta os maiores valores de pH com média próxima de 8.

Com relação aos demais elementos analisados pode-se afirmar que as águas apresentam baixo conteúdo de metais pesados, sendo que o cobre ocorre com valores menores que 0,02 mg/l em toda a população; o cromo com valores menores que 0,05 mg/l; titânio e zircônio são pouco representativos, o cádmio ocorre com valores inferiores a 0,03 mg/l e o níquel alcança 0,1 mg/l em apenas uma análise (nas demais ocorre com valores pouco significativos).

O silício ocorre em concentrações importantes em toda a população de amostras sendo o maior valor de 24,5 mg/l e média de 9 mg/l. Esses valores são compatíveis com a natureza da mineralogia observadas nas rochas reservatórios essencialmente composta por silicatos.

O alumínio apresenta valor significativo apenas na amostra EPO-QN o que também representa a natureza da rocha rica em ilita (que é um argilomineral muito rico em Al). O ferro e manganês ocorrem em baixas concentrações o que é coerente com os valores de pH e das condições oxidantes observadas nos meios fraturados estudados. Nessas condições esses metais apresentam baixa solubilidade.

Bário e estrôncio apresentam forte correlação com cálcio e magnésio, mas ocorrem de forma geral com baixas concentrações.

O molibdênio apresenta valores maiores que 1 mg/l em 50% das amostras e ainda valores significativos nas demais. Da mesma forma que o chumbo, estudos com métodos analíticos mais adequados devem ser realizados para esse elemento.

O ferro dissolvido ocorre em baixos teores em todos os sistemas amostrados. Alguns trabalhos anteriores (ex. Campos & Freitas-Silva 1998) indicam teores elevados de ferro, devido ao método analítico utilizado que incluía o ataque ácido na preparação das amostras. Com esse procedimento o ferro que ocorre na forma coloidal passa para a fase dissolvida. Dessa forma, pode-se afirmar que amostras de água para a dosagem do ferro devem ser filtradas e não devem sofrer ataques ácidos de forma a não solubilizar o ferro que ocorre na estrutura das fases minerais ou coloidais.

As águas subterrâneas rasas e profundas são pouco mineralizadas, devido à alta taxa de circulação e à baixa reatividade das rochas reservatório. Apenas águas em contato com rochas carbonáticas apresentam valores de TDS mais elevados.

O pH das águas profundas é ácido (mínimo de 4,8 e média de 6,4) para a maioria dos aquíferos. Valores de pH alcalino a fortemente alcalino são apenas observados quando a água circula por rochas carbonáticas.

A validação dos resultados analíticos é baseada nas avaliações dos erros e sua ponderação com relação aos baixos valores de total de sólidos dissolvidos, bem como pelo controle da

amostragem, que foi apenas realizada em poços totalmente isolados com perfis geológico e construtivo conhecidos.

### Idades das Águas

No Distrito Federal as condições de circulação associada ao padrão de relevo, estruturação tectônica e variações das coberturas dos solos permitem o desenvolvimento de sistemas de fluxo hidrogeológico locais e intermediários.

Para a determinação das idades das águas três pares de amostras de água subterrânea foram coletadas com o intuito de se realizar análises de trítio e CFCs. Cada par amostrou águas de aquíferos intergranulares (em piezômetros) e fraturados (em poços tubulares profundos). EL1, EL3 e EL5 representam águas provenientes de aquíferos fraturados e EL2, EL4 e EL6 águas provenientes de aquíferos porosos. EL1 amostra o Sistema Aquífero Paranoá, EL3 é proveniente do Sistema Aquífero Canastra e EL5 é oriunda do Sistema Aquífero Bambuí. As amostras EL2, EL4 e EL6 foram obtidas do Sistema Poroso **P<sub>2</sub>**.

A coleta das amostras foi realizada com amostrador tipo bailer nos piezômetros e diretamente na saída da bomba (tipo submersível) no caso dos poços tubulares, após pelo menos 20 minutos de bombeamento contínuo.

Segundo Clark & Fritz (1997) quando não há possibilidade de se proceder à análise quantitativa sobre o tempo de residência da água subterrânea com uso do par Trítio/Hélio, pode-se realizar abordagens qualitativas apenas com os resultados de Trítio. Esses autores propõem as seguintes referências para regiões continentais: < 0,8 UT (unidade de Trítio) águas sub-modernas – recarga anterior a 1952; 0,8 a ~ 4 UT águas provenientes de misturas entre recargas sub-modernas e recentes; 5 a 15 UT águas modernas (<5 a 10 anos); 15 a 30 UT águas com indício de <sup>3</sup>H dos testes nucleares está presente; > 30 UT água com considerável componente de recarga entre as décadas de 60 e 70 e > 50 UT água de recarga predominantemente da década de 60.

A Tabela 2.2 traz os resultados relativos a análises de Trítio realizadas no Laboratório Hydroisotop (Alemanha), as quais foram processadas em dezembro de 2004.

	AMOSTRAS					
	EL-1	EL-2	EL-3	EL-4	EL-5	EL-6
<b>Trítio (<sup>3</sup>H) em UT</b>	2,2 ± 0,8	1,9 ± 0,9	0,8 ± 0,8	2,9 ± 1,0	1,4 ± 1,1	2,4 ± 0,8

**Tabela 2.2** - Valores obtidos para as análises isotópicas de trítio (<sup>3</sup>H) em UT (Unidades de Trítio) com duplo desvio padrão (1 UT = 0,119 Bq/l).

As amostras EL1, EL2, EL4 e EL6, apresentaram valores relativamente elevados, resultando em águas mais jovens, e, as EL3 e EL5, com valores mais baixos estão associadas a

épocas de recarga mais antiga. Para as amostras EL3 e EL4, obteve-se uma diferença de 2,1 UT. Para esse par, avalia-se que a amostra EL3 (0,8 UT), coletada em poço tubular profundo que intercepta fraturas a profundidades maiores que 50 metros, é sub-moderna. O valor obtido para a amostra EL5 (1,4 UT), coletada em poço tubular profundo, sugere recarga recente, porém com fortes indícios de misturas com águas sub-modernas. Para a amostra EL6, proveniente de piezômetro, obteve-se valor de 2,4 UT, resultando em águas mais jovens onde a parcela associada a misturas com águas sub-modernas é mais restrita.

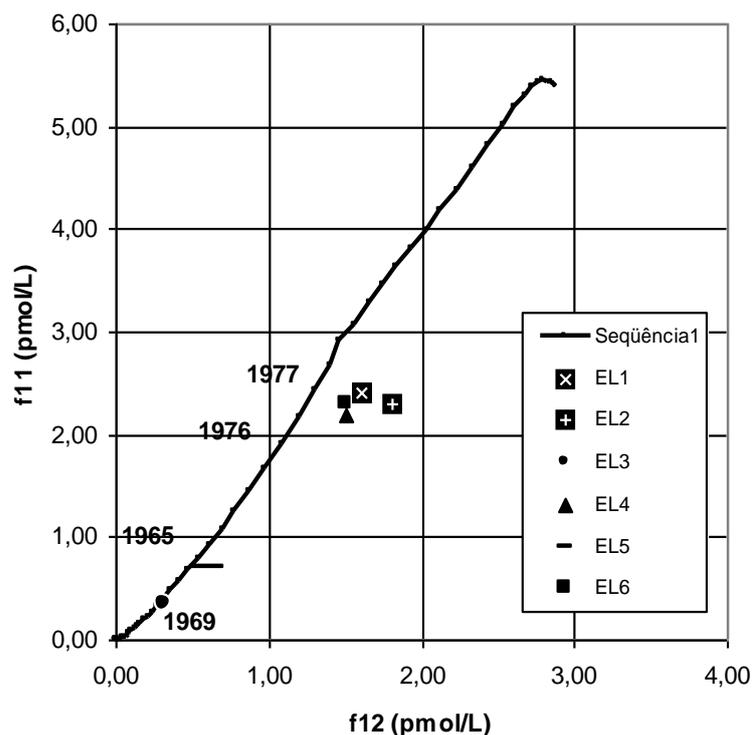
O método de datação com CFCs é baseado em comparações com curvas padrões para as concentrações dos elementos nos hemisférios norte e sul. Essas curvas são obtidas pela aquisição de medidas periódicas ao longo do tempo em várias estações monitoradas pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Para o hemisfério sul as estações disponíveis são Cape Matula (Samoa) e Cape Grim (Tasmânia) (Szabo *et al.* 1996).

A Tabela 2.3 reúne os valores obtidos para CFC11 e CFC12 e os respectivos tempos de infiltração das águas, determinados com base na curva padrão para as concentrações desses gases (Figura 2.11).

Amostra	F11 (pmol/l)	F12 (pmol/l)	Tempo de Infiltração F12/F11 (pmol/l)
EL1	2,4	1,6	1987
EL2	2,3	1,8	1986
EL3	0,35	0,32	1968
EL4	2,2	1,5	1985
EL5	0,7	0,6	1972
EL6	2,3	1,5	1986

**Tabela 3** - Valores obtidos para CFC11 e CFC12 (pmol/l) e o tempo de infiltração avaliado com base na curva padrão para as concentrações das substâncias solubilizadas em água.

Os resultados permitem afirmar que: as águas subterrâneas da região do Distrito Federal são jovens, há significativo lapso de tempo para a infiltração das águas freáticas até ocupar os espaços vazios nos meios fraturados em profundidade, possivelmente houve misturas de águas rasas e profundas nas amostras oriundas dos pontos EL1 e EL2 (o perfil construtivo do poço do ponto EL1 não é conhecido e provavelmente a vedação da coluna rasa desse poço foi insuficiente) e os poços relativos às amostras EL3 e EL5 têm perfis construtivos conhecidos, com total isolamento de possíveis entradas de águas rasas. Assim, estes permitiram maior controle dos resultados.



**Figura 2.11** - Relação entre CFC 11 e CFC 12, mostrando a idade relativa das misturas de águas.

## 2.7 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÕES OUTORGÁVEIS

### 2.7.1 Introdução

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos visa, não apenas preservá-lo, mas também otimizar o seu uso por meio da ampliação da oferta de água ou da solução de problemas relativos ao abastecimento de águas provenientes dos aquíferos.

Para um efetivo gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, é fundamental conhecer os parâmetros hidrogeológicos que caracterizam os sistemas aquíferos de determinada região e compreender a dinâmica de uso e cobertura da terra para que medidas, visando à eliminação ou mitigação de impactos negativos, sejam tomadas com base em critérios científicos, capazes de garantir a sustentabilidade atual e futura dos sistemas aquíferos.

Os principais parâmetros necessários à gestão e outorga dos recursos hídricos subterrâneos podem ser determinados em função do potencial dos sistemas aquíferos, da disponibilidade regional desses sistemas e da demanda dos usuários da água.

Os parâmetros a serem considerados para que seja estabelecido o potencial dos sistemas aquíferos, devem, segundo Almeida *et al.* (2006), incluir a geologia, o relevo, o clima e os solos, os quais serão a seguir comentados.

Geologia - constitui o principal componente para a compreensão das características dos aquíferos, sua distribuição espacial, extensão lateral, áreas de recarga e exutório, camadas confinantes e bases impermeáveis. Fornece informações quanto a litologia (tipos de rochas e variações), estratigrafia (empilhamento das diversas unidades), tectônica e estruturação (deformações por dobramentos e falhamentos), sedimentologia (ambientes de formação das rochas supracrustais) e geoquímica (composição química das rochas). De acordo com a importância das rochas para os aquíferos, as unidades geológicas podem ser classificadas em função das suas propriedades intrínsecas (porosidade e permeabilidade), condições de ocorrência (extensão, espessura e estrutura) e grau de explotabilidade atual (baixo ou elevado). Em aquíferos fraturados os parâmetros hidrodinâmicos como a condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S) são muito variáveis em função do tipo de rocha e da densidade de interconexão das estruturas planares. Esses parâmetros, associados à espessura saturada, porosidade eficaz e área de distribuição dos aquíferos, são fundamentais para a outorga de água subterrânea, uma vez que, a partir deles é possível estabelecer as reservas renováveis, permanentes e explotáveis dos reservatórios subterrâneos.

Geomorfologia - representa o padrão de relevo que predomina em cada compartimento morfológico. É caracterizado pelo de substrato, declividade regional e estruturas e pode ser modificado por processos de erosão, transporte, sedimentação, intemperismo, oscilação de nível freático, entre outros. Para estudos hidrogeológicos deve-se avaliar o funcionamento hídrico do relevo e como os compartimentos geomorfológicos influenciam nas condições gerais de circulação, recarga e descarga dos aquíferos. O padrão de relevo, a densidade de drenagem, o comprimento das rampas, a hipsometria, assimetria dos vales, tipos de coberturas e demais aspectos geomorfológicos podem ser utilizados como critério de avaliação do potencial dos aquíferos. O relevo também é um fator fundamental que controla a presença de sistemas de fluxo locais, intermediários ou regionais em determinada região.

Clima - elementos climáticos como a temperatura do ar, a precipitação pluvial, a insolação e a evaporação, exercem grande influência na quantificação dos recursos hídricos disponíveis, pois estão diretamente relacionados ao ciclo hídrico e, portanto, são determinantes de excedentes ou déficits hídricos. A precipitação pluvial é uma das etapas do ciclo hidrológico e constitui fator importante para os processos de escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração, recarga dos aquíferos, vazão de base dos rios e outros. Para melhor compreensão da distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial é necessário utilizar séries históricas de dados. As alturas de chuvas informam as tendências pluviométricas de certa região e são utilizadas para o cálculo do balanço hídrico. O balanço hídrico é um sistema fechado com armazenamento de água na superfície do terreno, em rios e lagos, oceanos, na atmosfera e no

subsolo (Tucci 2000). O cálculo do balanço hídrico obedece ao princípio da conservação da massa segundo o qual, em um sistema qualquer, a diferença entre as entradas e as saídas é igual à variação do armazenamento dentro do sistema (Manoel-Filho 2000). Uma formulação simplificada do balanço hídrico pode ser representada da seguinte maneira:  $P - ER - R - I = \Delta S$ ; onde: P = precipitação; ER = evapotranspiração; R = deflúvio ou fluxo superficial total (*run off*); I = infiltração e;  $\Delta S$  = variação de estoque. Na prática, o problema em resolver esta equação decorre da dificuldade de medir e quantificar os seus vários termos.

Solo - constitui a camada natural mais externa da superfície da Terra e, é por onde, se iniciam os processos de recarga dos aquíferos. O estudo do funcionamento hídrico dos solos é fundamental para o entendimento dos processos de circulação hídrica subterrânea tendo em vista as três funções primordiais que os solos desempenham: função filtro, função reguladora e função recarga. Um importante parâmetro a ser considerado para a análise e classificação dos aquíferos é a capacidade de infiltração do solo, determinado pela condutividade hidráulica vertical da zona vadosa ( $K_v$ ).

### **Critérios para Determinação de Vazões Outorgáveis**

Para quantificar a disponibilidade dos sistemas aquíferos deve-se avaliar, além do meio físico, a dinâmica do uso e da cobertura da superfície, considerando que, o grau de impermeabilização em zonas de recarga é inversamente proporcional à infiltração.

O gerenciamento da demanda por água subterrânea requer considerar os interesses de distintos atores, bem como os tipos de uso (consuntivos e não consuntivos). Segundo Costa (2000), a elaboração de um inventário socioeconômico regional, que contenha o cadastro de usuários, as demandas específicas, a qualidade da água requerida e os problemas relacionados à cobrança pelo uso da água são informações relevantes, tanto para a avaliação e outorga, quanto para o controle e o acompanhamento da demanda hídrica.

Dentre os principais critérios técnicos utilizados para a determinação das vazões a serem outorgadas destacam-se: vazão média do aquífero, percentual da vazão do poço, vazão de base da drenagem superficial, análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento, rebaixamento disponível e vazão de segurança.

#### **2.7.2.1 Vazão média do aquífero**

Essa vazão é determinada a partir de uma população de dados de poços com diferentes características construtivas. O valor pode ser definido a partir da média aritmética simples ou a partir da média ponderada pela profundidade, diâmetro, comprimento da seção de filtros ou outro parâmetro construtivo. De forma geral se utiliza a média aritmética simples, uma vez que alguns

dos parâmetros construtivos são desconhecidos ou pouco conhecidos na maioria dos poços (principalmente aqueles construídos há mais de dez anos).

Esse critério é aplicável de forma mais coerente para aquíferos isotrópicos e homogêneos, os quais apresentam baixa variabilidade espacial das vazões e permanência de descarga em sistemas aquíferos submetidos a bombeamentos contínuos por períodos prolongados.

A vazão média dos aquíferos deve ser associada à capacidade específica média dos meios aquíferos de forma que se possa vincular a vazão para cada usuário à profundidade dos poços e ao rebaixamento provocado pela vazão de bombeamento.

O percentual deve ser definido com base nos parâmetros hidráulicos e dimensionais dos aquíferos como condutividade hidráulica, espessura saturada, porosidade eficaz e coeficiente de armazenamento.

Esse critério apresenta limitações para os casos de aquíferos pouco conhecidos onde o banco de dados disponível não seja suficiente para a determinação das vazões médias nos vários sistemas / subsistemas aquíferos presentes na região.

Alguns órgãos responsáveis pela outorga adotam um percentual da vazão média como referência para a distribuição das reservas entre os diversos usuários. Os critérios para definição do percentual outorgável são subjetivos, mas devem ser conservadores, principalmente para os casos onde os aquíferos são pouco conhecidos.

### ***2.7.2.2 Percentual da vazão do poço***

Nesse caso é utilizada uma fração da vazão obtida a partir da estabilização do nível dinâmico após o bombeamento contínuo por 24 horas. O percentual deve variar em função do grau de comprometimento da região em que se solicita a outorga e do grau de circulação (recarga e descarga) do aquífero para cada região em estudo. O comprometimento a ser avaliado deve considerar as questões de sobreexploração ou pressão de exploração e as questões referentes aos riscos de contaminação a que os sistemas estejam submetidos, isto é devem ser consideradas as limitações quantitativas e qualitativas.

Esse parâmetro é bastante interessante para áreas onde os sistemas aquíferos sejam fortemente anisotrópicos ou muito heterogêneos, uma vez que nesses casos as vazões dos poços podem variar de forma extrema.

Para a determinação das vazões dos poços podem ser utilizados diferentes tipos de ensaios (contínuos com vazão constante, escalonados com ou sem recuperação, etc). Ensaios escalonados sem recuperação são os mais aplicáveis, pois permitem avaliar conjuntamente o comportamento da capacidade específica a cada intervalo de ampliação da vazão.

A aplicação adequada desse método requer a avaliação qualitativa dos dados dos ensaios de bombeamento.

### ***2.7.2.3 Vazão de base da drenagem superficial***

Esse critério considera que todo o fluxo de água em cursos superficiais nos períodos críticos de recessão de chuvas representa fluxo subterrâneo, de forma que a outorga seja feita com base em um percentual da vazão de base.

O princípio teórico desse critério é válido, uma vez que há forte vínculo entre a descarga de base com o potencial do aquífero, e as vazões outorgáveis podem alcançar até 30% da vazão de base de longo período.

Para a definição da vazão será necessário separar os diversos tipos de fluxo no hidrograma unitário, com a determinação do fluxo superficial, do fluxo interno e do fluxo de base. Para tanto, pode-se utilizar diversos métodos hidrológicos consagrados na literatura como, por exemplo, o Método de Barnes e outros (Zoby 1999, Tallaksen 1995 e Wittenberg & Sivapalan 1999).

Esse critério apresenta limitações importantes, uma vez que não pode ser aplicado em regiões semi-áridas com rios intermitentes (com fluxo de base igual a zero) e em regiões onde não existam dados históricos de vazões para compor o hidrograma na seção de interesse.

Outras limitações para a aplicação desse critério são:

- ✓ Ampla modificação das vazões de recessão em função de grande número de pontos de captação ou lançamentos de efluentes (tratados ou não);
- ✓ Grande modificação do uso da terra nas bacias, o que em geral aumenta o escoamento superficial e diminui a infiltração (em geral resultante de impermeabilização);
- ✓ Construção de muitos pontos de barramento nas grandes bacias (para geração hidrelétrica), as quais mudam o regime hídrico natural com maior regularização artificial das vazões a jusante dos pontos de restituição.

### ***2.7.2.4 Análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento***

Nessa avaliação utilizam-se os dados de ensaios de bombeamento com destaque para a capacidade específica do poço. A razão da vazão pelo rebaixamento (nível estático menos o nível dinâmico) pode ser utilizada como critério relativo, de forma que quando o valor for muito reduzido a vazão a ser outorgada deve ser muito inferior que a vazão do ensaio. Por outro lado, quando o valor for alto (o que é comum em sistemas cársticos e intergranulares de grande transmissividade) a vazão outorgada pode ser próxima à vazão do ensaio de bombeamento.

Além dos dados de capacidade específica, outras informações como profundidade do crivo da bomba, potência da bomba, curva de perda de carga do sistema edutor e dados sobre a recuperação do nível após interrupção do bombeamento, devem ser considerados na determinação da vazão outorgável.

Esse critério pode ser usado de forma complementar aos demais propostos no presente trabalho e deve ser considerado como uma forma de dar segurança ao gestor no momento de definição da outorga para os diversos usuários.

#### **2.7.2.5 Rebaixamento disponível**

Esse parâmetro é obtido a partir de uma análise matemática sobre dados de ensaio de bombeamento escalonados, com pelo menos três estágios com vazões crescentes. Para a determinação do rebaixamento disponível deve-se construir a equação característica do poço. Essa equação é obtida a partir de um sistema equações construído com os dados de vazão e rebaixamento em cada um dos estágios do ensaio escalonado com vazões crescentes.

Para sistemas intergranulares e cársticos um ensaio com três estágios de oito horas cada deve ser aplicado. Para sistemas fraturados os intervalos de cada estágio podem, eventualmente, ser reduzido para seis horas cada, uma vez que para esses aquíferos a estabilização ocorre de forma precoce, pois em geral as vazões são muito inferiores (quando comparadas aos sistemas cársticos e intergranulares).

O rebaixamento disponível pode ser utilizado como valor máximo a que o nível dinâmico pode alcançar, independentemente da vazão do ensaio.

#### **2.7.2.6 Vazão de segurança**

Corresponde à espacialização das reservas explotáveis por unidade de área (km<sup>2</sup> ou hectare, por exemplo). As reservas explotáveis são obtidas a partir da soma da reserva renovável com um percentual da reserva permanente do aquífero (ver item sobre cálculo de reservas das águas subterrâneas). Nesse caso a vazão outorgável será função da área de aquífero a que cada usuário tem à sua disponibilidade.

O uso desse critério para a definição de vazão explotável parecer ser de difícil aplicação uma vez que vários autores não concordam com os conceitos e formas de obtenção da vazão de segurança (*safe yield*), dentre os quais se destacam Sophocleous (1997) e Bredehoeft (1997).

De qualquer modo, tendo em mente que as estimativas das vazões de segurança sejam realizadas utilizando parâmetros conservadores (subestimados), esse critério pode ser utilizado como apoio a um dos demais critérios anteriormente descritos. Ainda, aplicando fatores subestimados para os cálculos das vazões, esse critério pode ser considerado como valor limite

para a concessão de outorgas em determinadas regiões submetidas a pressões de exploração (altas taxas de bombeamento com o estabelecimento de cones de depressão regionais).

### **Proposta para Estabelecimento de Outorga para Poços no Distrito Federal**

Para o Distrito Federal a vazão média dos poços (aqui denominada vazão nominal do poço) foi considerada como base para a definição dos critérios de vazão de outorga. Essa modalidade de vazão é sem dúvida a mais conveniente para a região uma vez que os poços exploram águas de sistemas fraturados, com extrema variabilidade de vazões em poços individuais. A variação das vazões é decorrente de fatores intrínsecos aos aquíferos (como a anisotropia das fraturas, mudança da densidade das zonas fraturadas, variação da interconexão das estruturas, etc) e de fatores relacionados ao desempenho / eficiência do poço (profundidade, como o comprimento da seção de filtros, diâmetro, tipo de desenvolvimento adotado, potência da bomba, etc).

A vazão é um dos parâmetros dos aquíferos que sintetiza seu potencial, porque é diretamente relacionada com a condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, porosidade, etc. Como é um dado comumente disponível para a maioria dos poços, pode ser facilmente aplicado para as tomadas de decisão relativas às concessões de outorgas. Outros critérios baseados em ensaios de bombeamento prolongados ou em informações técnicas dos aquíferos (espessura saturada, porosidade efetiva, evolução dos níveis estáticos, etc) são de difícil aplicabilidade, em virtude da inexistência dessas informações ou de incertezas em sua estimativa.

A condição de recarga deve ser o principal parâmetro aplicado para a determinação da disponibilidade hídrica subterrânea para cada região (Maimone 2004). Assim, para se determinar as vazões sustentáveis dos aquíferos do Distrito Federal a condição da favorabilidade do aquífero foi considerada o critério fundamental.

Para o Distrito Federal a definição da favorabilidade foi realizada com base nos parâmetros naturais dos aquíferos (que definem o potencial de recarga natural) e nas condições de uso e ocupação da superfície (responsáveis pelas barreiras à recarga natural).

Dentre os parâmetros naturais os mais importantes são: declividade do terreno, tipo de solo (incluindo espessura, textura, estrutura e funcionamento hídrico), além da densidade e interconexão das fraturas nos meios rochosos sotopostos.

Com relação à ocupação da superfície foram consideradas sete classes derivadas do Mapa de Uso e Cobertura Vegetal produzido sobre imagem orbital do satélite SPOT de 2004 (Gonçalves 2007). Nesse caso foram consideradas as classes de uso apresentadas na Tabela 2.4.

A favorabilidade de exploração dos aquíferos foi construída com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (Gonçalves 2007), no qual foram propostas quatro classes qualitativas definidas como Muito Favorável, Favorável, Pouco Favorável e Não Favorável. Essa classificação representa o quanto a interação entre as condições naturais de recarga associadas ao grau de impermeabilização definem a sustentabilidade para a exploração das águas subterrâneas.

A outorga de direito de uso de água subterrânea deve definir a vazão a que cada usuário poderá retirar do aquífero. No caso do Distrito Federal propõe-se que essa vazão seja uma fração da vazão nominal do poço, com relação ao grau de favorabilidade onde o poço está situado.

<b>Regiões de Interesse</b>	<b>Descrição Geral</b>
<b>Classe 1</b>	Corpos de água lânticos, com lâmina d'água exposta com área mínima de 10 ha.
<b>Classe 2</b>	Cobertura vegetal natural (formações florestais, savânicas, campestres) e áreas de reflorestamento.
<b>Classe 3</b>	Área urbana com alta densidade de ocupação (com mais de 70% de áreas impermeabilizadas).
<b>Classe 4</b>	Área urbana com média densidade de ocupação (com taxa de impermeabilização entre 40 e 70%).
<b>Classe 5</b>	Área urbana com baixa densidade de ocupação (com menos de 40% de áreas impermeabilizadas).
<b>Classe 6</b>	Área agropecuária, com cobertura vegetal plantada, pastagens e áreas irrigadas por pivô central e sistemas de aspersão.
<b>Classe 7</b>	Outros (sistema viário pavimentado ou não, áreas de empréstimo, pedreiras, galpões, pista de pouso, solo exposto, áreas degradadas e alvos não identificados com alta reflectância).

**Tabela 2.4** - Sistema de Classificação do Uso e Cobertura da Terra do Distrito Federal (Gonçalves 2007).

Como não há dados históricos relativos à evolução da superfície potenciométrica dos aquíferos em regime de exploração permanente na região do Distrito Federal, são propostas as seguintes vazões relativas a cada classe de favorabilidade à exploração: 90% da vazão do poço nas áreas muito favoráveis; 80% da vazão do poço nas áreas favoráveis; 60% da vazão do poço nas áreas pouco favoráveis e 50% da vazão do poço nas áreas não favoráveis. Em princípio os percentuais podem ser considerados baixos, entretanto, ressalta-se que se trata de uma região sem qualquer histórico de acompanhamento da exploração dos poços.

Além da avaliação do grau de favorabilidade o gestor responsável pela emissão da outorga deverá avaliar de forma qualitativa os dados do ensaio de bombeamento do poço. A principal informação a ser analisada é a profundidade do nível dinâmico e sua relação com o nível estático. Nos casos em que os níveis dinâmicos sejam muito profundos ou em que o rebaixamento seja exacerbado, a vazão aplicada aos percentuais de favorabilidade deverá ser reduzida.

As áreas situadas em unidades de conservação ambientais de alta restrição (ex. Parque Nacional, Reserva Biológica, Estação Ecológica) ou outras áreas de acesso restrito (ex. áreas militares), também podem ter necessidade da construção de poços tubulares para abastecimento ou para pesquisa científica. Neste caso, também há necessidade de outorga e as vazões máximas outorgadas devem seguir a mesma sistemática anteriormente descrita, isto é, os mesmos percentuais relativos às classes de favorabilidade em que ocorrerem.

Além da definição das vazões dos poços o gestor público responsável pelos processos de outorga aos usuários das águas subterrâneas deverá também considerar as restrições locais com relação aos possíveis riscos ambientais. As questões mais significativas são o “risco efetivo de contaminação” e a definição de “áreas sob pressão de exploração”.

As áreas previamente definidas com alto risco efetivo de contaminação são relacionadas às poligonais e adjacências das estações de tratamento de efluentes, “Lixão do Jockey” e cemitérios.

A definição de área sob pressão de exploração deve ser realizada com dados de cadastros de poços, onde as regiões com alta densidade de poços, em geral abastecidas exclusivamente por água subterrânea, devem ser consideradas nesta classe. No futuro, com a ampliação dos dados de monitoramento essas áreas deverão ser substituídas por áreas de aquíferos sobreexplorados.

A proposta integrada para nortear os processos de outorga de água subterrânea considera cinco classes de outorga e três subclasses, respectivamente denominadas de Classe I, Classe II, Classe III, Classe IV, Classe V, Subclasse **a**, Subclasse **b** e Subclasse **c**.

Na Classe I a outorga deve considerar 90% da vazão do poço, uma vez que corresponde às áreas muito favoráveis a exploração. A Classe II está relacionada às áreas favoráveis e, portanto, deve considerar uma vazão máxima de outorga de 80% da vazão nominal do poço. A Classe III se refere às regiões pouco favoráveis e nesse caso a vazão de outorga não deverá ultrapassar a 60% da vazão do poço. Para a Classe IV relacionada às áreas não favoráveis apenas 50% da vazão do poço deve ser aplicada para a outorga. A Classe V é denominada de classe especial e se refere às poligonais das unidades de conservação e demais áreas de acesso restrito, onde a vazão a ser outorgada deve corresponder ao mesmo percentual das classes de favorabilidade.

A proposição de diferentes percentuais da vazão do poço para cada classe de favorabilidade foi proposta baseada em dados empíricos e no conhecimento prévio dos sistemas / subsistemas aquíferos, tendo como base os seguintes parâmetros:

- ✓ Na vazão específica da rede de drenagem, que se comporta com valores elevados nas áreas de alta favorabilidade e muito baixa nas áreas não favoráveis. Esse argumento é

baseado na integração do ciclo hidrológico e considera que a vazão no período seco do ano é integralmente oriunda da descarga dos aquíferos;

- ✓ Nas próprias vazões médias dos poços situados nas diferentes áreas de favorabilidade. Neste caso, mesmo os subsistemas que têm vazões médias elevadas apresentam redução significativa no valor médio nas áreas com alta taxa de ocupação urbana de alta densidade;
- ✓ No princípio de que a outorga deve ser conservadora, principalmente nos casos onde não há dados históricos da evolução da carga hidráulica da superfície potenciométrica.

Com relação às subclasses de outorga deve-se aplicar as seguintes diretrizes: para a Subclasse **a**, a outorga pode ser realizada de forma direta, até mesmo sem visitas de campo, apenas a partir da análise documental apresentada pelo solicitante. Esse critério é considerado válido desde que os mapas de apoio a outorga sejam atualizados pelo menos a cada cinco anos.

Para o caso da Subclasse **b**, que inclui certo grau de restrição, a outorga apenas deverá ser emitida após visita de campo por parte do gestor. Neste caso, deve-se ter atenção especial para as distâncias entre os poços existentes e eventuais focos de contaminação.

A Subclasse **c** representa o máximo grau de restrição, e nesse caso, autorizações de construção de novos poços ou outorgas devem ser negadas de forma direta, mesmo sem a necessidade de visitas de campo, uma vez que, são áreas comprovadamente sob pressão de exploração ou sob risco efetivo de contaminação.

Na documentação exigida para a análise do processo de outorga devem obrigatoriamente constar: coordenadas do ponto de captação, dados completos de ensaio de bombeamento e recuperação, características do sistema de bombeamento, volume do reservatório, modelo e demais características do sistema de hidrometragem.

O auxílio de um Sistema de Informação Geográfica contendo um Mapa de Apoio a Outorga deverá agilizar os processos de concessão de outorga. A presente proposta é acompanhada de um SIG de apoio a gestão / outorga desenvolvido por Gonçalves (2007), o qual está sendo adaptado para que possa ser a ferramenta oficial utilizada pelo o órgão gestor de recursos hídricos no Distrito Federal. Esse sistema apresenta as seguintes vantagens: pode ser rapidamente atualizado, pode prover informações para apoio à decisão de forma praticamente instantânea (bastando apenas alimentar com as coordenadas do ponto de interesse) e permite visualizar de forma seqüencial todos os planos de informação utilizados para sua composição (ex. pode-se observar a classe de uso e ocupação e também a imagem de deu origem ao mapa de uso de ocupação e até mesmo o comportamento das isoietas que convergem para o ponto de interesse).

## 2.8 CÁLCULO DE RESERVAS E DISPONIBILIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Inicialmente são apresentados os conceitos das diferentes modalidades de reservas de água subterrânea, das quais derivam a disponibilidade que efetivamente pode ser explorada sem prejuízo para o sistema aquífero.

### **Reservas Renováveis**

Reservas renováveis ou reservas reguladoras representam os volumes de água de tempo de circulação restrito (geralmente equivalente a um ciclo hidrológico = 12 meses) que anualmente re-alimentam o sistema aquífero a partir das áreas de recarga. Para aquíferos fraturados este volume é geralmente importante, sendo estimado com base na parcela de infiltração que a cada ano alcança efetivamente as zonas fraturadas profundas, e que pode ser obtido com base no balanço hídrico climatológico local.

### **Reservas Permanentes**

Reservas permanentes ou reservas seculares (reservas de saturação) correspondem ao volume de água que ocupa os espaços livres abaixo no nível mínimo da zona não saturada do aquífero. Para os aquíferos fraturados, é equivalente a todo o volume de água que preenche fissuras interconectadas abaixo do nível de saturação mínimo. Para os sistemas intergranulares corresponde a água que ocupa a porosidade.

### **Reservas Explotáveis**

Reservas explotáveis ou disponibilidades correspondem ao volume que pode ser retirado anualmente de determinada área do sistema aquífero, sem acarretar em risco de exaustão do sistema, estando dentro de um conceito de vazão de segurança (*safe yield*), e visa garantir a gestão racional do sistema aquífero considerado.

Existem três interpretações para a estimativa das reservas explotáveis com base no conhecimento das reservas renováveis e explotáveis, as quais são a seguir discriminadas e comentadas.

Alguns gestores consideram que a vazão explotável é representada por um percentual da reserva reguladora, uma vez que parte da reserva reguladora seria necessária para a manutenção das vazões da rede de drenagem superficial. Neste caso se considera que ocorra uma subestimação da reserva, pois o cálculo da reserva renovável já exclui a descarga de base que alimenta a rede de drenagem superficial, visto que a variação anual do nível freático se dá simultaneamente à descarga do aquífero. Em outras palavras, quando o nível se eleva no período chuvoso do ano, ou quando ele rebaixa na época de recessão das chuvas, há simultaneamente a descarga para os exutórios superficiais.

Outros gestores e pesquisadores consideram que a reserva renovável seja equivalente à reserva renovável, isto é, pode-se retirar de forma sustentável e ecológica, o volume equivalente ao da variação anual do nível freático.

Um terceiro grupo considera que as reservas exploráveis sejam equivalentes à totalidade das reservas renováveis mais uma parcela da reserva permanente. A porcentagem da reserva permanente é função de uma série de parâmetros, como o tipo e características do aquífero, fácies geológicas que definem o aquífero, grau de circulação hídrica no sistema, além de variáveis de decisão do ponto de vista de custos e benefícios (aspectos sociais e econômicos). A grande questão que gera certa polêmica é o valor do percentual a ser aplicado, de forma que ainda se garanta a sustentabilidade do sistema a ser explorado.

Essa concepção será utilizada para o cálculo das reservas hídricas no presente estudo e é considerada porque, quando ocorre rebaixamento causado pelo bombeamento, há uma recarga adicional induzida pelo gradiente hidráulico gerado pelo cone de depressão.

Para o cálculo do volume de água subterrânea disponível na área do Distrito Federal serão inicialmente consideradas as estimativas das reservas renováveis e reservas permanentes, para então se estimar as reservas exploráveis ou as disponibilidades. Nestes casos serão considerados separadamente os domínios aquíferos intergranular e fraturado / fissuro-cárstico. A soma das disponibilidades nesses dois ambientes define o valor das reservas exploráveis totais.

Para o Domínio Intergranular há a possibilidade da aplicação de equações pré-estabelecidas, mas, o nível de conhecimento das características dos aquíferos na área de estudo não permite grande precisão. Dessa forma os resultados devem ser considerados preliminares e indicativos de ordem de grandeza.

Para o Domínio Fraturado, a avaliação dos volumes hídricos estocados obriga a muitas simplificações e aproximações de cálculo (ex. Coimbra 1987, Souza 2001, Carmelo 2003). Por esses motivos os resultados apresentados devem ser considerados como valores de referência.

Para estabelecer as estimativas serão aplicadas duas metodologias distintas que consideram valores de superávit hídricos derivados de estudos de balanço hídrico ou aplicação de equações consagradas ou adaptadas aos tipos de aquíferos em estudo. Da mesma forma, as estimativas serão realizadas em separado para os aquíferos intergranulares e fraturados / fissuro-cársticos.

As reservas renováveis para os meios intergranulares são obtidas pela seguinte equação:  $R_r = A \times \Delta h \times \eta_e$ , onde A é igual a área,  $\Delta h$  é equivalente à variação anual do nível freático e  $\eta_e$  é igual à porosidade efetiva. Para as reservas permanentes desses aquíferos utiliza-se a seguinte fórmula:  $R_p = A \times b \times \eta_e$ , onde b representa a espessura da zona saturada do sistema.

No caso dos sistemas fraturados / físsuro-cársticos as estimativas das reservas renováveis podem ser feitas utilizando o volume efetivo de infiltração a partir de dados de balanço hídrico climatológicos, o que em geral é expresso por um percentual da altura pluviométrica anual média.

As reservas permanentes para os sistemas fraturados / físsuros-cársticos podem ser estimadas utilizando-se a equação  $R_{pf} = A \times b \times \eta_{fi}$  onde  $R_{pf}$  representa as reservas permanentes para aquíferos fraturados;  $A$  a área do sistema;  $b$  a espessura saturada e  $\eta_{fi}$  o índice de fraturas interconectadas.

A despeito da existência de equações e metodologias simples para o cálculo das reservas, a maior limitação é a definição dos parâmetros que alimentam o banco de dados. Os problemas são vinculados à dificuldade de medição de alguns parâmetros seja em laboratório ou em trabalhos de campo, além da ausência de dados espacializados com boa representação estatística.

### **Sistemas Intergranulares**

A estimativa das reservas renováveis para os aquíferos rasos será realizada, de acordo com a metodologia do balanço hídrico em associação com o Sistema de Informação Geográfica de Gonçalves (2007). Para discretizar os percentuais da precipitação anual média de longo termo equivalente a recarga efetiva dos meios freáticos, foram utilizados os seguintes valores médios:

- ✓ Sistema **P<sub>1</sub>** equivalente ao Grupo hidrológico dos solos A - 25%;
- ✓ Sistema **P<sub>2</sub>** equivalente ao Grupo hidrológico dos solos B - 20%;
- ✓ Sistema **P<sub>3</sub>** equivalente ao Grupo hidrológico dos solos C - 10%;
- ✓ Sistema **P<sub>4</sub>** equivalente ao Grupo hidrológico dos solos D - 5%.

Os percentuais médios são coerentes com os diversos ambientes encontrados na área total na área do Distrito Federal e Entorno, incluindo áreas de chapadas, áreas de relevo movimentado e áreas com diferentes tipos de solos. Segundo trabalhos anteriores, existem resultados que variam de 5 a 32% da precipitação como porção infiltrada. O trabalho de Gonçalves (2007) realizado com apoio do SIG indica valores de variam de zero a 48% da precipitação. Obviamente que os valores muito elevados representam situações ideais de infiltração natural associadas a áreas no interior de unidades de conservação ambiental.

Os dados de área de cada um dos sistemas, já considerando a correlação entre grupo hidrológico de solo, com os sistemas do Domínio Poroso estão apresentados na Tabela 2.5. Os dados de espessura saturada de cada conjunto também estão disponíveis na Tabela 2.5, sendo que esses valores foram intencionalmente subestimados. Para efeito dos cálculos foi considerada uma altura pluvial média (no tempo e no espaço) de 1.450 mm por ano, ou 1,45 m por ano ou ainda  $1,45 \times 10^{-3}$  km por ano.

<b>Domínio Poroso Grupo Hidrológico</b>	<b>Área - m<sup>2</sup></b>	<b>Área - km<sup>2</sup></b>	<b>b - m</b>	<b>η - %</b>	<b>ηe - %</b>
A - Sistema <b>P1</b>	3.426.014.800	3.426,01	25	35	10
B - Sistema <b>P2</b>	250.440.600	250,44	15	30	12
C - Sistema <b>P3</b>	40.516.500	40,52	10	25	5
D - Sistema <b>P4</b>	2.016.059.100	2.016,06	1	20	3
Superfície D'água	61.359.100	61,36	-	--	-
Total	5.794.390.000	5.794,39	-	-	-

**Tabela 2.5** - Área, espessura saturada média, porosidade total média e porosidade efetiva média determinadas para cada sistema do Domínio Poroso do Distrito Federal.

### **Reservas Renováveis do Domínio Intergranular**

Considerando os parâmetros anteriormente apresentados e o critério do balanço hídrico pra estimar as reservas renováveis, chega-se nos seguintes resultados:

- ✓ Sistema **P1** =  $3.426,01 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,25 = 1,24 \text{ km}^3/\text{ano}$ ;
- ✓ Sistema **P2** =  $250,44 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,2 = 0,0725 \text{ km}^3/\text{ano}$ ;
- ✓ Sistema **P3** =  $40,52 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,1 = 0,005875 \text{ km}^3/\text{ano}$ ;
- ✓ Sistema **P4** =  $2.794,39 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,05 = 0,2026 \text{ km}^3/\text{ano}$ .

### **Reservas Permanentes do Domínio Intergranular**

Os parâmetros apresentados na Tabela 5, apesar de intencionalmente subestimados, são coerentes com as diretrizes de estimativas de reservas, que devem considerar um cenário otimista do ponto de vista dos sistemas em estudo. Assim, a aplicação das equações converge para os seguintes resultados:

- ✓ Sistema **P1** =  $3.426,01 \text{ km}^2 \times 0,025 \text{ km} \times 0,1 = 8,56 \text{ km}^3$
- ✓ Sistema **P2** =  $250,44 \text{ km}^2 \times 0,015 \text{ km} \times 0,12 = 0,45 \text{ km}^3$
- ✓ Sistema **P3** =  $40,52 \text{ km}^2 \times 0,1 \text{ km} \times 0,05 = 0,20 \text{ km}^3$
- ✓ Sistema **P4** =  $2.794,39 \text{ km}^2 \times 0,01 \text{ km} \times 0,03 = 0,83 \text{ km}^3$

### **Sistemas Fraturados**

Os valores apresentados na Tabela 2.6 trazem uma segmentação dos sistemas e subsistemas em função do aumento progressivo da profundidade, uma vez que o índice de fraturas interconectadas diminui com o aumento da pressão de soterramento. As espessuras de cada sistema foram definidas com base na experiência da exploração dos poços (Tabela 6). Os valores dos índices de fraturas interconectadas são definidos com base:

- na comparação com rochas similares que sofreram processo tectônico similar,
- por medidas de aberturas de fraturas em afloramentos,
- pelo comportamento reológico dos diferentes materiais que compõem as rochas e
- a partir das vazões médias de cada aquífero.

Sistema / Subsistema	Início do Intervalo	Fim do Intervalo	$\Delta b$ (m)	$I_{fi}$ (%)	Início Intervalo	Fim Intervalo	$\Delta b$ (m)	$I_{fi}$ (%)
Subsistema S/A	40	100	60	2,0	100	160	60	1,0
Subsistema A	40	90	50	0,5	90	140	50	0,3
Subsistema R3/Q3	50	120	70	3,5	120	180	60	2,0
Subsistema R4	30	100	70	1,0	100	150	50	0,4
Subsistema PPC	60	120	60	3,0	120	180	60	2,5
Subsistema F	40	90	50	0,5	90	170	80	0,3
Subsistema F/Q/M	70	140	70	3,5	140	200	60	2,0
Sistema Araxá	30	80	50	1,5	80	140	60	0,7
Sistema Bambuí	40	110	70	1,0	110	170	60	0,4

**Tabela 2.6** - Parâmetros utilizados para as estimativas das reservas hídricas nos sistemas / subsistemas aquíferos fraturados no Distrito Federal.

Uma diretriz geral utilizada na definição dos parâmetros foi sua subestimação, de forma que os resultados sejam conservadores. Se a exploração futura e continuada dos sistemas mostrar que a capacidade máxima não foi alcançada pode-se ampliar as taxas de bombeamento ou se re-estimar as reservas hídricas ampliando os parâmetros aplicados às equações. É importante salientar que a sobreexploração de um aquífero regional por longos períodos de tempo pode trazer impactos de difícil mitigação.

Com relação à poligonal de cada sistema / subsistema presente na região do Distrito Federal, as áreas foram obtidas com auxílio do software ArcGis, tendo sido utilizado como base o mapa dos sistemas fraturados atualizado partir da base de Campos & Freitas-Silva (1998) e de PGIRH (2005). Os valores estão apresentados na Tabela 2.7.

Domínio Fraturado Sistema/Subsistema	Área - m <sup>2</sup>	Área - km <sup>2</sup>	Recarga Efetiva - %
F/Q/M	44.943.200	44,94	10
F	898.772.600	898,77	5
A	525.943.200	525,94	5
PPC	445.317.400	445,32	7
R3/Q3	1.391.024.700	1.391,02	12
R4	957.780.800	957,78	8
S/A	50.291.500	50,29	10
Araxá	332.482.500	332,48	5
Bambuí	1.142.621.200	1.142,62	8
Área Total do DF	5.789.160.000	5.789,16	-

**Tabela 2.7** - Área de cada sistema / Subsistema do domínio Fraturado utilizada para os cálculos das reservas permanentes. A recarga efetiva foi considerada a partir do balanço hídrico climatológico qualitativo, sendo representada por um percentual relativo à altura pluvial média anual.

### **Reservas Renováveis do Domínio Fraturado**

As reservas reguladoras do meio fraturado serão estimadas a partir da consideração de que esses aquíferos são alimentados diretamente pelas águas infiltradas no meio intergranular sobreposto. Assim, serão considerados percentuais variáveis para cada sistema/subsistema em virtude do grau de fraturamento interconectado, que facilita a percolação das águas e conseqüente transferência das águas rasas para os meios mais profundos. A seguir são apresentados os resultados das estimativas:

- ✓ Subsistema **A** =  $525,94 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,05 = \mathbf{0,0381 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **S/A** =  $50,29 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,1 = \mathbf{0,007292 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>** =  $1.391,02 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,12 = \mathbf{0,242 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **R<sub>4</sub>** =  $957,78 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,08 = \mathbf{0,1111 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **PPC** =  $445,32 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,07 = \mathbf{0,0451 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **F/Q/M** =  $44,94 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,1 = \mathbf{0,006516 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Subsistema **F** =  $898,77 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,05 = \mathbf{0,06516 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Sistema Araxá =  $332,48 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,05 = \mathbf{0,0241 \text{ km}^3/\text{ano}}$ ;
- ✓ Sistema Bambuí =  $1.142,62 \text{ km}^2 \times 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/ano} \times 0,08 = \mathbf{0,1325 \text{ km}^3/\text{ano}}$ .

### **Reservas Permanentes do Domínio Fraturado**

Para o caso dos meios fraturados que apresentam índice de fraturas interconectadas que diminuam com o aumento da profundidade, serão determinadas as reservas permanentes para dois intervalos. A reserva total para cada sistema / subsistema será a soma dos dois intervalos. Os resultados estão apresentados a seguir e são discriminados da seguinte forma: 1 intervalo mais raso, 2 intervalo mais profundos e T reserva total de cada sistema / subsistema.

$$\text{Subsistema A}_1 = 525,94 \text{ km}^2 \times 0,05 \text{ km} \times 0,005 = 0,131485 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema A}_2 = 525,94 \text{ km}^2 \times 0,05 \text{ km} \times 0,003 = 0,078891 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema A}_T = \mathbf{0,210376 \text{ km}^3}.$$

$$\text{Subsistema S/A}_1 = 50,29 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,02 = 0,060348 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema S/A}_2 = 50,29 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,01 = 0,030174 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema S/A}_T = \mathbf{0,090522 \text{ km}^3}.$$

$$\text{Subsistema R}_3/\text{Q}_3_1 = 1.391,02 \text{ km}^2 \times 0,07 \text{ km} \times 0,035 = 3,407999 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema R}_3/\text{Q}_3_2 = 1.391,02 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,02 = 1,669224 \text{ km}^3;$$

$$\text{Subsistema R}_3/\text{Q}_3_T = \mathbf{5,077223 \text{ km}^3}.$$

Subsistema **R<sub>4 1</sub>** =  $957,78 \text{ km}^2 \times 0,07 \text{ km} \times 0,01 = 0,670446 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **R<sub>4 2</sub>** =  $957,78 \text{ km}^2 \times 0,05 \text{ km} \times 0,004 = 0,191556 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **R<sub>4 T</sub>** = **0,862002 km<sup>3</sup>**.

Subsistema **PPC<sub>1</sub>** =  $445,32 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,03 = 0,801576 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **PPC<sub>2</sub>** =  $445,32 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,025 = 0,66798 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **PPC<sub>T</sub>** = **1,469556 km<sup>3</sup>**.

Subsistema **F/Q/M<sub>1</sub>** =  $44,94 \text{ km}^2 \times 0,07 \text{ km} \times 0,035 = 0,11013 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **F/Q/M<sub>2</sub>** =  $44,94 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,02 = 0,053928 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **F/Q/M<sub>T</sub>** = **0,164031 km<sup>3</sup>**.

Subsistema **F<sub>1</sub>** =  $898,77 \text{ km}^2 \times 0,05 \text{ km} \times 0,005 = 0,2246925 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **F<sub>2</sub>** =  $898,77 \text{ km}^2 \times 0,08 \text{ km} \times 0,003 = 0,2157048 \text{ km}^3$ ;  
Subsistema **F<sub>T</sub>** = **0,4403973 km<sup>3</sup>**.

Sistema Araxá **1** =  $332,48 \text{ km}^2 \times 0,05 \text{ km} \times 0,015 = 0,24936 \text{ km}^3$ ;  
Sistema Araxá **2** =  $332,48 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,007 = 0,1396416 \text{ km}^3$ ;  
Sistema Araxá **T** = **0,3890016 km<sup>3</sup>**.

Sistema Bambuí **1** =  $1.142,62 \text{ km}^2 \times 0,07 \text{ km} \times 0,01 = 0,799834 \text{ km}^3$ ;  
Sistema Bambuí **2** =  $1.142,62 \text{ km}^2 \times 0,06 \text{ km} \times 0,004 = 0,2742288 \text{ km}^3$ ;  
Sistema Bambuí **T** = **1,0740628 km<sup>3</sup>**.

### **Disponibilidade Efetiva**

Para a determinação das disponibilidades para cada sistema / subsistema fraturado serão aplicados os parâmetros apresentados na Tabela 2.8. Como já discutido, será considerada a reserva renovável somada a um percentual da reserva permanente, variável para cada sistema/subsistema em função das condições de circulação e tipo de cobertura de solo predominante.

Os valores do percentual anual da reserva permanente que poderá compor a reserva explorável (disponibilidade) foram definidos com base nos comentários de Alley (2007) e no conhecimento acumulado do aquífero, bem como no regime de bombeamento. Deve-se ressaltar que se trata de um percentual máximo e que a exploração do aquífero não é homogênea durante todo o ano (em geral a demanda é diminuída nos períodos chuvosos e ampliada de forma sensível nos meses mais secos do ano).

<b>Domínio Fraturado Sistema/Subsistema</b>	<b>% da Reserva Permanente Disponível</b>	<b>Observações</b>
<b>S/A</b>	10	Ocorre em sua mais ampla área sobre latossolos arenosos com relevo suave ondulado.
<b>A</b>	8	Ocorre na maior área sob latossolos argilosos e relevo suave ondulado.
<b>R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub></b>	12	Ocorre em áreas de chapadas elevadas, com relevo plano e com latossolos espessos e arenosos.
<b>R<sub>4</sub></b>	10	Ocorre em áreas com latossolos e argilosos em relevo suave ondulado e também em áreas com relevo movimentado cobertas por cambissolos.
<b>PPC</b>	10	Presença de fendas de dissolução cárstica que permite rápida recarga e cisrculação da água.
<b>F</b>	5	Recarga dificultada em virtude do relevo movimentado e ampla ocorrência de cambissolos e neossolos litólicos.
<b>F/Q/M</b>	12	Presença de fendas de dissolução cárstica que permite rápida recarga e cisrculação da água.
Araxá	5	Ocorre em regiões de relevo ondulado com ampla predominância de cambissolos que dificultam a recarga.
Bambuí	8	Está distribuído em áreas com relevo plano, usada para agricultura e com coberturas de latossolos predominantes.

**Tabela 2.8** - Síntese dos percentuais disponíveis da reserva permanente para a composição da reserva explotável.

Para os cálculos será aplicada seguinte equação:  $Re = Rr + Rp \times \%/ano$ , de forma que as dimensões dos dois termos da soma sejam  $km^3/ano$ . Os resultados estão apresentados a seguir:

**Subsistema A**

$$Re = 0,0381 \text{ km}^3/ano + 0,210376 \text{ km}^3 \times 8\%/ano = \mathbf{0,1049 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema S/A**

$$Re = 0,007292 \text{ km}^3/ano + 0,090522 \text{ km}^3 \times 10\%/ano = \mathbf{0,0163 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>**

$$Re = 0,242 \text{ km}^3/ano + 5,077223 \text{ km}^3 \times 12\%/ano = \mathbf{0,8512 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema R<sub>4</sub>**

$$Re = 0,1111 \text{ km}^3/ano + 0,862002 \text{ km}^3 \times 10\%/ano = \mathbf{0,1973 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema PPC**

$$Re = 0,0451 \text{ km}^3/ano + 1,469556 \text{ km}^3 \times 10\%/ano = \mathbf{0,1920 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema F/Q/M**

$$Re = 0,006516 \text{ km}^3/ano + 0,164031 \text{ km}^3 \times 12\%/ano = \mathbf{0,0261 \text{ km}^3/ano}$$

**Subsistema F**

$$Re = 0,06516 \text{ km}^3/ano + 0,4403973 \text{ km}^3 \times 5\%/ano = \mathbf{0,0871 \text{ km}^3/ano}$$

Sistema Araxá

$$Re = 0,0241 \text{ km}^3/\text{ano} + 0,3890016 \text{ km}^3 \times 5\%/\text{ano} = \mathbf{0,0435 \text{ km}^3/\text{ano}}$$

Sistema Bambuí

$$Re = 0,1325 \text{ km}^3/\text{ano} + 1,0740628 \text{ km}^3 \times 8\%/\text{ano} = \mathbf{0,2184 \text{ km}^3/\text{ano}}$$

Portanto a disponibilidade hídrica anual dos sistemas aquíferos fraturados do Distrito Federal alcança a soma de 1,54 km<sup>3</sup>/ano, o que pode ser visualizado como uma caixa d'água cúbica com 1,15 km de aresta.

## **2.9 PROPOSTA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS PARA O DISTRITO FEDERAL**

### **Introdução**

Atualmente, a população total atendida pela Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB) é de aproximadamente 2,1 milhões de pessoas considerando todas as Regiões Administrativas e os sistemas rurais isolados. Apenas os condomínios horizontais urbanos regularizados e atendidos pela CAESB alcançam hoje uma população estimada em aproximadamente 200 mil habitantes, além dos mais de 100 mil habitantes da Cidade Satélite de São Sebastião (exclusivamente abastecida por águas subterrâneas). Somando o complemento do abastecimento das cidades de Sobradinho e Planaltina e os sistemas particulares complementares em clubes esportivos, postos de combustíveis, escolas e indústrias, estima-se que pelo menos 20% do abastecimento no Distrito Federal seja baseado em mananciais subterrâneos, com destaque quantitativo para os sistemas aquíferos fraturados.

Atualmente há uma crescente tendência de que a CAESB assuma os sistemas de abastecimento dos condomínios. Em função da grande quantidade de condomínios, da ampliação da população atendida, e da substituição de áreas rurais por parcelamentos urbanos, propõe-se um maior controle da utilização das águas subterrâneas a partir de um maior conhecimento dos aquíferos, de sua exploração sustentável, aplicação de técnicas de recarga artificial, viabilização de sistemas de captações mistas, implementação de sistema de hidrometragem, maior controle do poder público sobre os sistemas de captação, além da implementação de sistemas de coleta e tratamento de efluentes.

Essa proposta de gestão apresenta alto potencial multiplicador e alta viabilidade, pois, uma significativa parte da população de usuários é representada por pessoas com bom nível de instrução o que facilita a implantação das iniciativas que serão a seguir detalhadas.

O objetivo do presente item é apresentar uma série de proposições e iniciativas que quando aplicadas em conjunto deverão resultar em ampla otimização dos sistemas de

abastecimento baseados em água subterrânea da região do Distrito Federal. A aplicação das técnicas propostas, também deverá resultar em um grande ganho de qualidade ambiental com minimização do consumo de água e aumento da proteção dos mananciais subterrâneos, principalmente nos condomínios horizontais na região do Distrito Federal.

As propostas apresentadas para a otimização da gestão dos recursos hídricos subterrâneos têm algumas características que as tornam ainda mais atrativas, como: facilidade de implantação da maioria das iniciativas, baixo custo, alto potencial multiplicador, simplicidade técnica e aplicabilidade na maioria das regiões do Distrito Federal.

Os principais argumentos que justificam a implantação das iniciativas aqui propostas são, o fato de o Distrito Federal ter restrita disponibilidade hídrica (ausência de grandes rios na região), além da importância estratégica das águas subterrâneas para a região.

### **Proposta de gestão**

A proposta de gestão pode ser sintetizada na forma da aplicação isolada ou em conjunto de uma série de práticas consagradas de gerenciamento de recursos hídricos, incluindo desde um melhor conhecimento dos reservatórios, passando pela gestão da oferta (aumento da disponibilidade de água) até a gestão da demanda (diminuição do consumo pelos usuários).

### **Caracterização dos Aquíferos**

Os aquíferos (reservatórios subterrâneos) são formações geológicas, situadas em subsuperfície, capazes de armazenar água e permitir a sua movimentação em condições naturais. São divididos em dois segmentos quanto à forma de armazenamento de água, incluindo a zona vadosa e a zona saturada. A zona vadosa é a porção mais rasa onde os espaços vazios do material são preenchidos por água e ar. Já a zona saturada se localiza abaixo da zona vadosa e possui todos os seus espaços preenchidos por água. Os aquíferos apresentam funções filtro (depuração natural das águas de infiltração), reguladora (relacionada à alimentação e perenização de nascentes e córregos) e armazenadora (acumulação de água nos poros).

Essas funções são muito importantes quando a questão é o abastecimento. A função filtro é exercida pela zona vadosa e associa-se a capacidade do aquífero em remover possíveis substâncias ou bactérias prejudiciais a qualidade da água a ser consumida. A função armazenadora é desempenhada pela zona saturada e permite o aquífero estocar água, de forma semelhante a uma esponja. Por fim, a função reguladora é aquela que mantém, mesmo em períodos de seca, o volume de água nos rios e poços.

Os aquíferos são classificados em livres e confinados. Os aquíferos livres ou freáticos são aqueles em que o limite superior da água armazenada se encontra sob pressão atmosférica. Os

aquíferos confinados são aqueles em que a pressão da água no topo é maior que a pressão atmosférica. Tal confinamento é feito por camadas impermeáveis ou semi-impermeáveis sobre a zona saturada e que restringem o movimento da água.

Entender e conhecer o comportamento dos aquíferos é importante, principalmente para aquelas regiões onde o abastecimento apenas por águas superficiais não é suficiente. Esse é o caso de certas áreas do Distrito Federal que vêm apresentando aumento na demanda de água relacionado ao crescimento populacional em regiões não alcançadas pelo sistema integrado de abastecimento da CAESB. Além disso, conhecer os aquíferos permite definir sua auto-sustentabilidade (Campos 2004) garantindo o abastecimento durante o período necessário.

O Distrito Federal, por não apresentar grandes drenagens superficiais, tem nas águas subterrâneas uma fonte estratégica para o abastecimento de núcleos rurais e urbanos fora da área de atendimento da CAESB.

As rochas do Distrito Federal são divididas em grandes domínios com relação as suas características aquíferas: domínios aquíferos intergranular, fraturado e físsuro-cárstico.

Os aquíferos do domínio intergranular são caracterizados por materiais, rocha ou solo, com espaços vazios entre seus materiais constituintes, conhecidos como porosidade, capazes de armazenar água. No Distrito Federal esse domínio é representado pelos solos, pelo manto de alteração das rochas e pelo material acumulado no curso dos rios (aluviões), uma vez que as rochas não apresentam espaços intersticiais. Esses aquíferos são livres, com espessuras variando de centímetros até 80 metros e são aproveitados por poços rasos. Por serem rasos são mais susceptíveis as contaminações por agentes externos necessitando, assim, de isolamento quando usados para o abastecimento. Atingem vazões, isto é, volume de água captado a partir do aquífero, inferiores a 800 L/h.

Os aquíferos do domínio fraturado ocorrem em meios rochosos onde a água ocupa os espaços representados por descontinuidades planares, como falhas, fraturas e microfraturas, denominadas de porosidade secundária. No Distrito Federal esses aquíferos ocorrem nas rochas dos grupos Paranoá (rochas areno-argilosas e carbonáticas), Canastra (rochas variados ricas em micas finas), Araxá (xistos variados ricos em micas e quartzo) e Bambuí (rochas argilosas e carbonáticas). Esses aquíferos podem ser livres ou confinados compondo um sistema de águas profundas. A profundidade, geralmente, não excede 250 metros, pois, a partir daí as fraturas tendem a ser seladas pela pressão exercida pela coluna de rocha. São aproveitados por meio de poços tubulares profundos que podem alcançar vazões superiores a 100 m<sup>3</sup>/h (no Distrito Federal a média de descarga dos poços é de 8.000 litros por hora). Geralmente os aquíferos fraturados são cobertos por aquíferos porosos que funcionam como um filtro reduzindo seu risco a contaminação.

O primeiro passo para a gestão das águas subterrâneas é o conhecimento com máximo de detalhe dos tipos de aquíferos presentes, das condições de circulação das águas e de sua vulnerabilidade à contaminação. No caso do Distrito Federal ainda são carentes os estudos relacionados à composição isotópica das águas subterrâneas e o posicionamento mais preciso das áreas de recarga de aquíferos responsáveis pelo abastecimento público.

### **Construção Adequada de Poços**

No projeto de construção de um poço deve-se buscar alcançar certos objetivos como obtenção da maior vazão (sem, no entanto, causar danos ao aquífero), redução do custo, manutenção da boa qualidade da água e certificação de que o poço seja produtivo por um longo período de tempo (pelo menos 15 anos).

A construção de um poço se inicia com a perfuração do meio aquífero. Existem diversos métodos para perfuração dentre eles o percussivo a cabo, onde o movimento contínuo de subida e descida de um corpo pesado vai fragmentando a rocha; o rotativo onde a rocha é desagregada pelo movimento giratório de uma broca; e o rotopneumático que é definido pela rotação de um sistema de ferramentas causada pela injeção de ar comprimido pelo interior das hastes. A profundidade e o diâmetro são definidos com base nas características do aquífero e do volume de água necessário.

Após a perfuração, o poço deve ser revestido em toda a sua extensão por tubos com a finalidade de sustentar a parede do poço para que ela não desmorone. Em determinados pontos do revestimento são colocados filtros que são um tipo de revestimento especial com aberturas capazes de permitir a entrada da água do aquífero para o poço. Existem diversos tipos de filtro e a escolha de um deles depende do material do aquífero e da demanda a ser atendida. Filtro e revestimento são, geralmente, do mesmo material, sendo o de PVC mais utilizado por possuir resistência mecânica e química com relação aos tubos metálicos.

Para garantir a estabilização e a retenção de areias muito finas impedindo, assim, o entupimento do filtro, o espaço entre a perfuração e o revestimento e filtro deve ser preenchido com pré-filtro. O pré-filtro é um cascalho que precisa ser quimicamente estável para evitar que o produto da sua alteração mude a qualidade da água a ser consumida.

O espaço anelar entre o revestimento/filtro e o cilindro perfurado deve ser preenchido com cascalho, denominado pré-filtro, que garante a estabilização e retenção de areias muito finas que entupiriam o filtro ou de argila responsável pela turbidez da água. O pré-filtro deve ser quimicamente estável, isto é, não deve liberar elementos químicos que alteram a qualidade da água a ser consumida.

Em certos casos pode haver necessidade de total isolamento de uma ou mais camadas do aquífero e isso é feito através da cimentação dessas porções. A cimentação também é usada para vedar a parte superior do poço impedindo que águas superficiais infiltrem causando a contaminação do aquífero. Esse isolamento deve ser implantado pelo menos nos primeiros 20 metros da seção do poço (porção superior do poço). A ineficiência do isolamento ou a total inexistência do isolamento sanitário é o principal problema identificado nos poços construídos no Distrito Federal, o que acarreta em alto risco de contaminação das águas subterrâneas profundas.

Após a conclusão da construção do poço ele passa por etapas de limpeza e por processos que visam aumentar a capacidade de produção de água e minimizar a produção de partículas, tais técnicas são denominadas de desenvolvimento do poço. As principais técnicas de desenvolvimento são: pistoneio, injeção de ar comprimido, bombeamento com taxas crescentes e aplicação de produtos químicos.

Um ensaio de bombeamento por pelo menos 24 horas contínuas deve ser realizado. O ensaio consiste da medição do nível d'água (nível dinâmico) em intervalos de tempo em uma escala aproximadamente logarítmica. Os dados produzidos são fundamentais para se conhecer os aquíferos, do ponto de vista conceitual e operacional. Até mesmo a definição da vazão de outorga depende fundamentalmente dos dados produzidos no ensaio de bombeamento. Dentre os principais parâmetros obtidos dos ensaios destacam-se: nível estático, nível dinâmico, vazão de estabilização do nível dinâmico e tempo de recuperação.

Análises físico-químicas e bacteriológicas devem ser realizadas para determinar a qualidade da água e definir a necessidade de aplicação de métodos de remediação e desinfecção. Um exemplo é a aplicação de produtos a base de cloro para eliminar bactérias patogênicas.

### **Aplicação de Técnicas de Recarga Artificial dos Aquíferos**

A potencialidade de um aquífero está diretamente associada ao volume de água de recarga. Visando compensar a redução do volume de infiltração de água no solo, ocasionada pela impermeabilização decorrente da ocupação e da exploração sem controle, recomenda-se desenvolver técnicas de aproveitamento de águas pluviais, como a instalação de sistemas de coleta de água das coberturas de residências e direcionamento para caixas de infiltração.

Essas técnicas devem ser preferencialmente aplicadas nas áreas onde o abastecimento é baseado em mananciais subterrâneos, como é o caso da maioria dos condomínios onde a única alternativa para abastecimento está vinculada a captação de água subterrânea através de poços tubulares profundos.

O maior problema atribuído ao abastecimento por águas subterrâneas é o fato da maior parte da área dos condomínios estarem localizadas sobre as principais áreas de recarga dos aquíferos, incluindo parte da região da Chapada de Brasília e da Contagem e suas adjacências.

A recarga natural dos aquíferos se dá a partir da infiltração da água da chuva, através de sua zona não saturada, até alcançar sua zona de transição e ocupar a porção saturada do domínio rochoso. A expansão urbana, necessariamente, levará a pavimentação e impermeabilização de grandes áreas (ruas, passeios, coberturas de residências, etc), o que causará uma drástica redução da infiltração natural e aumentará o fluxo superficial total (*run off*), resultando na diminuição da recarga natural dos aquíferos. Este fato já pode ser observado em condomínios da região da cidade de Sobradinho, como por exemplo, o Condomínio Bela Vista, onde um poço com vazão de 10 m<sup>3</sup>/h em 1992, passou, no final dos anos noventa, para uma vazão de cerca de 3,5 m<sup>3</sup>/h.

Para minimizar este impacto antrópico sobre o sistema natural, é recomendável o desenvolvimento da prática de recarga artificial dos aquíferos. Essa prática consiste de qualquer processo que induza a infiltração ou injeção de água nos aquíferos, podendo ser por meio de caixas ou barragens de infiltração, espalhamento de água sobre o solo, sulcos paralelos às curvas de nível, poços de injeção, etc (Fetter 1994).

As práticas de recarga artificial são muito utilizadas em várias regiões do mundo com objetivos variados, podendo-se citar os seguintes exemplos:

- ✓ Fresno, Califórnia (Salo *et al.* 1988), visando minimizar contaminação de aquíferos;
- ✓ Las Vegas Valley, Nevada (Katzner & Brothers, 1989), objetivando aumentar a água disponível para abastecimento público;
- ✓ Filadélfia, Paraguai (Godoy *et al.* 1994), com o intuito de aumentar o volume de água para irrigação;
- ✓ Orange County, Califórnia (Matthews, 1991), para recarregar aquíferos com água de rio;
- ✓ Alemanha, para a regularização da temperatura e pH, a partir de águas tratadas, com origens variadas;
- ✓ Karany, República Checa (Knezek & Kubala 1994), para viabilizar o abastecimento público da Cidade de Praga;
- ✓ Norte de Londres, Inglaterra (O'Shea 1994), para gestão de áreas semi-áridas e

- ✓ Condomínio Alto da Boa Vista, na porção centro-norte do Distrito Federal, para a regularização de aquíferos fraturados utilizados para abastecimento humano (Cadamuro 2002 e Cadamuro *et al.* 2002).

Para o caso do Distrito Federal pode-se adotar a metodologia de caixas de recarga preenchidas com cascalho grosso para induzir a infiltração. Estas caixas deverão ser alimentadas por águas de chuva, no sentido de aproveitar o excedente hídrico das precipitações, principalmente entre os meses de novembro a março.

O modelo de sistema de recarga artificial proposto é similar ao desenvolvido e testado por Cadamuro (2002), Cadamuro *et al.* (2002) e Cadamuro & Campos (2005). Sua aplicação é tecnicamente viável na maior parte das áreas urbanas do Distrito Federal.

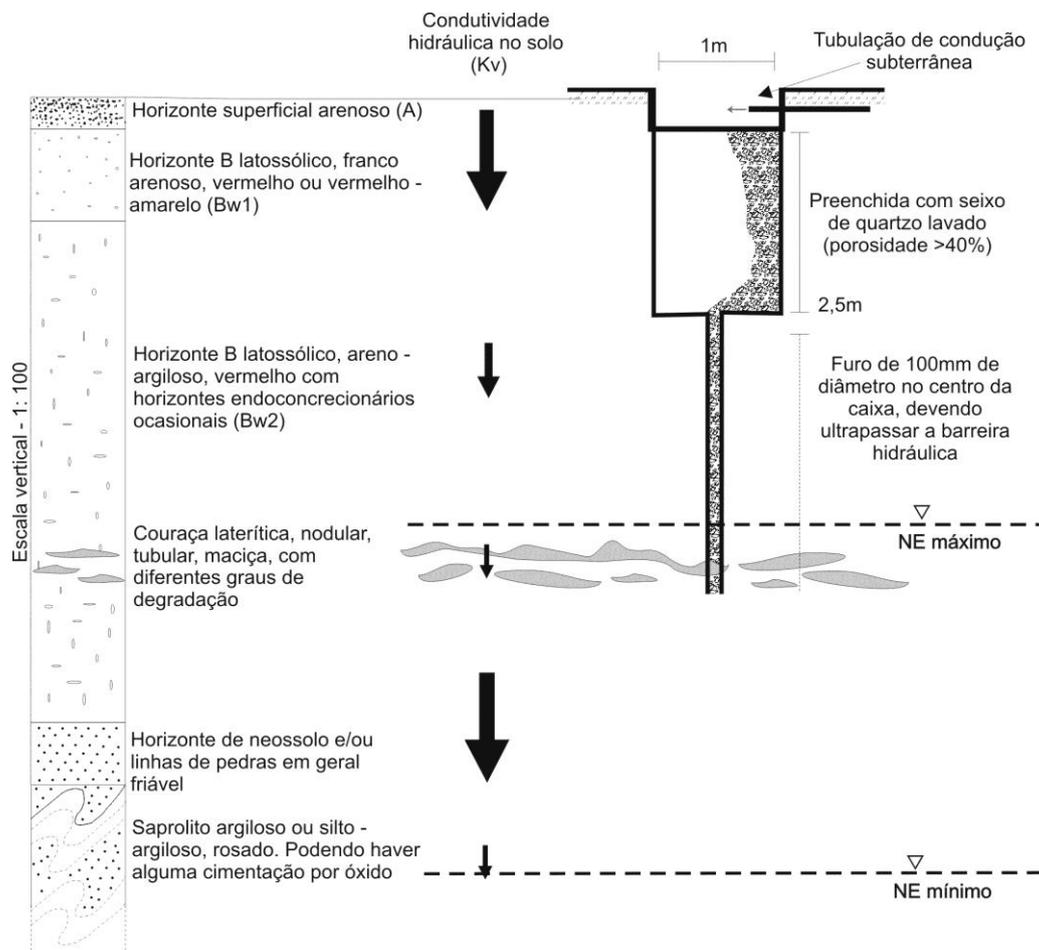
O sistema deve ser composto por uma calha que capte as águas de chuva sobre os telhados e direcione por tubo de PVC para as caixas de infiltração. Estas devem ser construídas preferencialmente com máxima distância possível de outras edificações (casas e muros) para evitar riscos geotécnicos às fundações. Devem ter um padrão cilíndrico com 1 metro de diâmetro e 2,5 metros de profundidade, preenchidas por cascalho de seixos arredondados (cascalho de rio) (Figura 2.12).

Um furo de 4 polegadas deverá ser instalado no fundo das caixas para otimizar a infiltração vertical. Essa estrutura pode ser perfurada com uso de trado manual e também deverá ser preenchida com o mesmo material da caixa.

Esta proposta, se bem orientada e implantada, causa vários efeitos positivos ao meio ambiente, nos quais se destacam: diminuição do volume de escoamento de águas pluviais e aumento da disponibilidade de água subterrânea, com a conseqüente perenização de nascentes.

Para maximizar a eficiência do processo, deverá ser construída uma caixa em cada lote, sendo o local mais apropriado definido em função da distribuição das edificações e instalações civis dentro do lote. As caixas serão construídas preferencialmente nas áreas verdes dos lotes, geralmente áreas com coberturas de grama.

Durante os intervalos entre os eventos de precipitação pluviométrica, a água coletada nas caixas poderá infiltrar através dos aquíferos porosos e induzir a recarga das águas mais profundas dos sistemas fraturados.



**Figura 2.12** - Representação esquemática da caixa de recarga padrão. A seção vertical ilustra um perfil generalizado, desenvolvido sobre metarritmitos arenosos. As espessuras representam as médias observadas e as setas são representações qualitativas da variação da permeabilidade vertical ao longo do perfil de solo no qual setas maiores indicam valores maiores e as setas menores, valores menores (compilado de Cadamuro *et al.* 2002).

## 2.9.6 Implantação de Sistemas de Outorga e Cobrança pelo Uso das Águas Subterrâneas

Segundo Lanna (2000), a outorga é um instrumento de gestão que permite ao poder público, responsável pela distribuição do recurso aos vários usuários e estabelecer quem?, como?, quando? e de que forma? poderá usá-lo. Como a propriedade do recurso hídrico subterrâneo é pública, a outorga é instrumento de gestão que atua através da atribuição de cotas entre os usuários. Como o recurso é escasso sua distribuição é realizada de forma a evitar desperdícios e a atender demandas mais prioritárias, visando ao lucro social.

A água subterrânea, no Brasil, é um recurso público, e a cobrança pode ter tanto o objetivo prévio de racionalização do uso, quanto o de valoração da água como insumo da produção. O montante arrecadado poderá ser utilizado para financiar o monitoramento do uso e o investimento em obras de controle e proteção dos recursos hídricos. A cobrança deverá ser aplicada ao usuário que possui a outorga do uso da água.

A outorga de um recurso depende do conhecimento preciso sobre a disponibilidade e o comportamento dele na natureza. No caso da água é necessário o aprofundamento do conhecimento do ciclo hidrológico local. Para isso, os gestores dos recursos naturais da região precisam investir no monitoramento do ciclo hidrológico. Pode-se criar um programa integrado de monitoramento das chuvas, das vazões dos córregos e rios e dos sistemas e subsistemas aquíferos do Distrito Federal.

Como sugere Lanna (2000), o maior grau de conhecimento sobre o recurso deve auxiliar sua gestão, principalmente em situações críticas de suprimento. O monitoramento permanente do ciclo hidrológico resultará em bancos de dados, que devem ser utilizados em modelos de previsão de disponibilidade da água. Isso porque, em períodos de crise no suprimento do recurso as outorgas poderão ser canceladas, de forma, total ou parcial, para que as demandas mais prioritárias possam ser atendidas.

As regras de concessão das outorgas de uso da água subterrânea devem contemplar:

- ✓ Considerar curto prazo para renovação, já que os sistemas aquíferos ainda são pouco conhecidos;
- ✓ Definir condições especiais e prioritárias para uso do recurso em caso de crise do suprimento;
- ✓ Estabelecer a quantidade máxima do recurso para uso em cada sistema captação.

A cobrança de uso dos recursos hídricos no Brasil é contemplada pela Lei nº 9.433 da Política Nacional dos Recursos Hídricos. A aplicação de valores econômicos aos recursos naturais, em especial, a água, visa ao uso mais racional e a viabilização financeira de investimentos. Lanna (2000) sugere que a cobrança deve levar em consideração os planos da bacia hidrográfica, os investimentos nela previstos e os benefícios das melhorias a serem geradas pelas intervenções.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos resulta uma percepção entre os usuários de minimizar o consumo de forma a minimizar os custos com o consumo. Esse fato não é exclusivo do consumo de água, mas está implícito nos diversos bens de consumo naturais, de serviços medidos ou produtos manufaturados.

Experiências nacionais e internacionais mostram que a cobrança é uma poderosa ferramenta de gestão da demanda.

A associação dos instrumentos de autorização de construção de poços, outorga de direito de uso das águas subterrâneas com a cobrança pelo volume consumido resulta do melhor mecanismo integrado de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos. Neste caso, a cobrança, mesmo que com valores ínfimos ou até insignificantes tem a função prioritária de

envolver a medição do consumo, uma vez que não há possibilidade de uma cobrança justa sem se determinar previamente o volume consumido.

No Distrito Federal o órgão responsável pela concessão de outorga de direito de uso das águas subterrâneas é de responsabilidade da Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal (ADASA 2007).

### **Prover e Disseminar Informações Técnicas aos Usuários**

A questão relacionada à educação ambiental deve ser uma ação permanente de gestão dos recursos hídricos, pois é uma forma eficiente de gestão da demanda.

Essa prática pode ser realizada a partir da disseminação de informações básicas incluindo desde aspectos sobre o ciclo hídrico, a definição e classificação dos aquíferos, as formas de reabastecimento dos aquíferos e os impactos decorrentes do uso e ocupação do solo, até questões sobre a economia do consumo e formas eficientes de gerenciamento das águas subterrâneas.

A iniciativa de educação ambiental direcionada aos moradores de condomínios pode ser alcançada a partir da confecção e distribuição de cartilhas e realização de palestras durante as reuniões de condôminos as quais ocorrem com grande frequência.

A viabilização desta forma de gestão pode ser facilmente alcançada com a integração das universidades em convênio com os órgãos gestores e instituições envolvidas com as águas subterrâneas, incluindo ADASA, CAESB, IBAM, IBAMA dentre outros.

### **Implantação de Sistema de Hidrometragem**

O controle do consumo e a gestão do sistema de abastecimento de água podem ser facilitados através da instalação de hidrômetros em cada residência unifamiliar. Esta prática tem sido utilizada como uma eficiente ferramenta de gestão da demanda dos recursos hídricos, com ou sem cobrança, ou alternativamente, com cobrança a partir de certa faixa de consumo individual.

O hidrômetro é um instrumento destinado à medição de vazão de líquidos que pode ser utilizado para controle de consumo de água. Seu funcionamento é simples e está relacionado à passagem da água que faz girar uma haste ligada a um conjunto de pás na extremidade. A caixa de medição tem um conjunto de engrenagens e ponteiros indicadores que, ao serem acionados pela haste, indicam o consumo acumulado.

A unidade de medida utilizada pelos hidrômetros para registrar o consumo de água é, em geral, metro cúbico (m<sup>3</sup>). O volume de água consumido durante um determinado período é calculado simplesmente pela diferença entre as leituras inicial e final do monitoramento.

Os hidrômetros podem ser mecânicos ou digitais e são instalados pela distribuidora de água da região. São instrumentos de fácil instalação e manuseio simples, representando assim, uma boa alternativa para o controle do consumo de água em condomínios horizontais. As medições deverão ser feitas freqüentemente pela distribuidora de água ou pelo próprio morador. Dessa forma poderão ser evitados desperdícios e mau uso da água subterrânea.

Os hidrômetros também devem ser instalados nas saídas dos poços tubulares, de forma que se possa comparar o volume de água produzida como o volume de água consumido e assim determinar eventuais perdas por vazamentos na rede adutora.

Silva (2003) mostrou a partir do histórico de dados de consumo *per capita*, no Bairro Jardim Brasília, na região de Águas Lindas de Goiás, uma redução de 43% após a mudança do sistema de cobrança de taxa mínima para volume efetivamente consumido, com uso de hidrômetros individuais. Nesse exemplo, o consumo passou de 27.962 m<sup>3</sup>/mês (outubro de 2002) para 15.998 m<sup>3</sup>/mês (fevereiro de 2003). Aparentemente a diminuição do consumo está associada à redução do desperdício e à mudança de hábitos de consumo. Essa diminuição foi estabelecida a partir do monitoramento do consumo de energia elétrica pelo sistema de bombeamento.

### **Estudo de Viabilidade de Sistemas de Captação Mistos**

Entende-se por captação mista a associação de sistemas de captação de água subterrânea com sistemas de captação de águas superficiais. Assim, durante os períodos chuvosos, utiliza-se a água superficial para o abastecimento, permitindo a recuperação do aquífero por meio de recarga natural da reserva renovável, disponibilizando maior volume de água durante os períodos de seca. Sua utilização é muito importante em regiões afetadas diretamente pela estiagem e abastecidas exclusivamente por água subterrânea representando uma alternativa viável para condomínios horizontais que se enquadrem nesse perfil.

Essa prática pode tornar o abastecimento viável, nos casos onde apenas um tipo de manancial isoladamente não seja suficiente, principalmente em condomínios ou áreas de expansão de núcleos urbanos consolidados.

O desenvolvimento da gestão integrada das águas subterrâneas e superficiais exige maior participação da sociedade. Esse maior envolvimento está diretamente relacionado a educação ambiental e fiscalização por parte dos órgãos competentes. Assim tornar-se possível o uso racional da água e sua preservação como bem natural finito e escasso.

### **Implementação de sistemas de coleta e tratamento de efluentes**

O sistema de esgotamento sanitário observado na maior parte dos condomínios e das expansões urbanas do Distrito Federal é do tipo *in situ*, ou seja, a partir do sistema de fossa-sumidouro ou fossa e valas de infiltração.

Entretanto o binômio abastecimento por água subterrânea e esgotamento *in situ* não é viável em longo prazo, pois após longos períodos de percolação de efluentes, uma série de contaminantes pode alcançar a zona saturada dos aquíferos causando a poluição das águas subterrâneas. Dentre as principais substâncias que são encontradas como contaminantes destacam-se nitrato, amônia, nitrito, fosfato, sódio, potássio, metais pesados, além de bactérias e vírus.

Para a melhoria da qualidade de vida e garantia da qualidade futura das águas subterrâneas são necessários investimentos na ampliação de redes de coleta de esgotos sanitários e seu tratamento, bem como na implantação de sistemas de drenagem urbana que atendam a totalidade da população.

### **Operação Adequada dos Sistemas de Captação**

A operação do sistema deverá seguir o princípio da integração não apenas dos poços, mas também do sistema de reservação e distribuição. Essa integração não é tecnicamente difícil, uma vez que a tendência é a integração de todos os sistemas pela CAESB. O sistema poderá ser dividido em setores, para facilitar sua implantação, de forma que os investimentos sejam parcelados a partir do aumento da ocupação. De qualquer forma, o sistema final deve ser totalmente integrado, a fim de que cada reservatório individualmente possa alcançar toda a área ocupada.

O sistema de distribuição deverá funcionar, preferencialmente, a partir dos reservatórios elevados, por gravidade, sem necessidade de bombeamento para qualquer setor dos condomínios (bombeamento deve ser apenas necessário dos poços aos reservatórios de regularização). A implantação de reservatórios de concreto enterrados é mais dispendiosa, traz maior risco de problemas futuros por vazamentos e maior custo de recuperação.

A operação adequada do sistema deverá considerar, nos projetos elétricos e no dimensionamento de potência de bombas e acessórios, a instalação de relés de nível nos reservatórios, para que o sistema funcione de forma automática quando o nível mínimo seja alcançado. Dessa forma, sempre que os reservatórios estiverem com 75% de sua capacidade total o sistema dispara as bombas nos poços. Essa prática deverá reduzir o risco de interrupção do abastecimento de água.

Além da automação do sistema, o tempo de bombeamento deve ser em sistema de rotatividade entre os poços, de forma que operem em períodos de no máximo oito horas contínuas, com período de repouso de pelo menos quatro horas. O uso de horímetros nos quadros de comando de energia é a prática mais indicada para a implantação dessa iniciativa. Entretanto, em função da demanda, e no caso de implantação de sistema de automação, essa iniciativa não pode ser viabilizada.

### **Manutenção dos Poços**

Dois tipos de manutenção devem ser considerados para os sistemas de abastecimento integrados: manutenção preventiva e manutenção reparatória. Estes dois tipos de manutenção deverão ser realizados para os sistemas de captação implantados nos diversos condomínios.

A manutenção preventiva dos poços inclui inspeção semestral do sistema elétrico e bomba submersa, com sua retirada, limpeza e lubrificação. Nesta fase é importante proceder à limpeza do poço, a medida do nível estático e, em casos específicos de histórico de diminuição de vazões, deve-se proceder ao desenvolvimento, principalmente com uso de pistoneio, *air lift* e produtos químicos saneantes.

### **Monitoramento dos Níveis D'água Subterrânea**

É importante que os níveis estáticos (NE) e dinâmicos (ND) sejam continuamente medidos de forma a se definir se a exploração continuada por prolongados períodos não está causando a depleção dos volumes armazenados nos aquíferos.

Desta forma, mesmo que adotadas vazões de segurança (menores que as vazões nominais definidas pelos testes de bombeamento), os poços a serem explorados devem possuir piezômetros e hidrômetros, a fim de permitir o monitoramento contínuo dos seus níveis.

Caso neste monitoramento seja observado o rebaixamento do nível dinâmico, os volumes explorados devem ser reduzidos até que o nível dinâmico atinja seu ponto de equilíbrio. Por outro lado, no caso dos níveis serem mantidos na média anual, os volumes de bombeamento podem ser majorados.

### **Ampliação e Manutenção de Áreas Verdes**

Devido à ausência de planejamento urbano integrado, parte dos condomínios e demais ampliações urbanas apresenta expansão desordenada e em alguns casos há a aglutinação de vários condomínios e centros urbanos, como pode ser exemplificado pela região de Vicente Pires e Águas Claras e a conurbação no eixo Taguatinga-Ceilândia-Samambaia-Recanto das Emas. Esse quadro limita a manutenção de áreas verdes preservadas que têm funções importantes para

garantir a infiltração de parte das águas de precipitação pluvial e para preservar os mananciais de superfície.

Nas áreas rurais remanescentes que passam por processo de fracionamento e adensamento, o incremento da ocupação dos lotes por residências agrava a tendência de eliminação da vegetação residual, com progressiva impermeabilização das áreas.

A ampliação das áreas verdes e da densidade de vegetação de maior porte (arbóreas) é importante não só do ponto de vista ambiental, mas também como incremento da qualidade de vida da população, com minimização da produção de particulados na atmosfera (pois a cobertura vegetal minimiza a energia dos ventos), aumento de áreas sombreadas e melhoria da urbanização (aspecto visual) como um todo.

Nos casos onde há avenidas largas com canteiros centrais, estes devem ser ocupados por gramíneas, entremeadas por vegetação de grande porte, que em seu conjunto resultam em um ambiente mais agradável, eliminando o impacto visual típico das áreas de expansão de grandes cidades.

Nos casos de condomínios e ampliações de cidades consolidadas que ainda têm áreas de preservação legal é fundamental que estas sejam mantidas. Uma estratégia que pode favorecer à manutenção dessas áreas seria a transformação das porções mais relevantes em termos de dimensão da área preservada em Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPNs. Essa iniciativa pode, por exemplo, evitar que a especulação imobiliária futura transforme áreas verdes em novas expansões urbanas.

As áreas verdes mais significativas situadas entre os bairros e setores habitacionais, ainda teriam uma função de separação das áreas urbanas de forma a minimizar o processo da conurbação que invariavelmente traz impacto visual e degradação da qualidade de vida.

Do ponto de vista de proteção hídrica, essas áreas têm o fundamental papel de manutenção das condições de recarga dos aquíferos.

### **Segurança e Proteção dos Poços**

Diversas iniciativas deverão ser implementadas pelos operadores dos sistemas de abastecimentos (públicos ou particulares) para manter a segurança do sistema dos aquíferos, incluindo a definição dos perímetros de proteção dos poços - PPPs, construção de alambrados de proteção nas adjacências dos poços, realização de análises periódicas e controle sobre as áreas de proteção dos mananciais.

A locação para perfuração de novos poços deverá ser feita dentro das metas e diretrizes de gestão e desenvolvimento para a região, com base na realização de estudos hidrogeológicos.

As locações devem obedecer a uma distância mínima entre os poços, evitando desta forma interferência entre os cones de depressão.

Atualmente, a construção de poços tubulares profundos no Distrito Federal não segue as regras técnicas mínimas que garantam a proteção dos aquíferos. As empresas de perfuração constroem poços que apresentam falhas construtivas graves, tais como, falta de concretagem dos vinte primeiros metros dos poços, instalação de pré-filtro até a superfície do terreno, falta de laje de concreto como tampa sanitária e falta de definição de perímetros de proteção dos poços.

O perímetro de proteção dos poços no domínio intergranular pode apresentar uma forma simétrica, a circular, mas no domínio fraturado deve apresentar estudos detalhados para caracterização das fraturas que contribuem para o poço.

Objetivando maior controle sobre a construção de poços, propõe-se a elaboração de uma série de medidas técnicas, incluindo o uso de critérios técnicos para a locação dos poços e a realização de ensaios sistemáticos de bombeamento.

O controle da qualidade técnica construtiva dos poços deve estar a cargo de equipe habilitada, e contribuição multi-institucional, incluindo setor de outorga da ADASA, envolvimento da CAESB (que é a maior usuária individual de água subterrânea), CREA-DF (na fiscalização da obras), além dos órgãos ambientais (Instituto Brasília Ambiental e IBAMA).

Os novos poços devem ter seu pré-filtro dimensionado com base na granulometria do perfil geológico do poço, de forma, a se evitar que o pré-filtro permita aporte de sedimentos para o interior do poço, o que provoca a queima de bombas, bem como a degradação da obra.

Para se garantir a manutenção da qualidade da água para consumo humano, propõe-se a delimitação de três zonas de proteção de cada poço, denominadas de zonas 1, 2 e 3.

### **Zona 1**

A definição da zona de proteção imediata das captações deve contemplar uma área com alambrado de no mínimo 100 m<sup>2</sup>, onde se pode manter um pátio para manutenção e inspeção dos poços. Não deverá ser construído, mesmo em caráter provisório, qualquer sistema de disposição de águas servidas em um raio de 50 metros dos poços. Estudos visando enquadrar os poços na Portaria 312 do DNPM também deverão ser desenvolvidos.

### **Zona 2**

A delimitação desta zona deve ser baseada no conhecimento da velocidade de fluxo vertical do aquífero, pois os contaminantes de origem biológica podem ser depurados pelo solo quanto mais lentamente alcançarem o poço. Esta velocidade pode ser determinada por diferentes técnicas, incluindo: ensaios de infiltração *in situ*, ensaio do Tipo Slug (em poços e piezômetros)

e ensaio de traçador. Estima-se um tempo de 50 dias, para depuração dos agentes bacteriológicos que infiltram na zona não saturada do aquífero, assim, se o ensaio de traçador definir a velocidade de transporte em 1m/dia, o raio mínimo a partir do poço seria de 50 m, para a zona de proteção 2.

### **Zona 3**

Esta zona abrange grandes extensões radiais ao poço. Sua delimitação pode ser feita a partir da elaboração de mapas de vulnerabilidade e risco de contaminação. Para elaboração dos mapas é necessária a obtenção de dados para quantificação do meio físico e das atividades potencialmente contaminantes.

Estas zonas de proteção do manancial subterrâneo são criadas para restringir e até mesmo proibir atividades econômicas, nas áreas de captação, que possam causar danos ambientais irreparáveis ao aquífero. Desta forma, o planejamento do uso e ocupação do território deve ser associado ao da gestão dos recursos naturais, sobretudo da água subterrânea, visto que podem interferir na captação de água. Algumas destas atividades restritas nas zonas delimitadas para proteção das áreas de captação de água subterrânea são exemplificadas na Tabela 2.9.

Além da delimitação e manutenção das três zonas de proteção, o isolamento sanitário adequado é fundamental para a efetiva proteção do poço e por consequência do aquífero. Assim, a concretagem dos vinte primeiros metros do poço pode ser considerada a “Zona Zero” de proteção e corresponde à porção mais próxima e imediata que deve ser priorizada para minimizar riscos a contaminação.

A implementação da maioria das propostas anteriormente apresentadas apresenta baixo custo, sendo que sua viabilidade depende antes de tudo do estabelecimento de regras e legislações específicas que podem ser definidas em leis complementares, decretos ou resoluções dos órgãos gestores.

Os ganhos da implementação do conjunto de práticas de gestão não são apenas importantes para as questões hídricas subterrâneas, mas resultam em ganhos ambientais e econômicos, que incluem: aumento da disponibilidade sustentável de água subterrânea, diminuição do volume de águas pluviais, maior proteção dos aquíferos, ampliação da percepção ambiental da população do Distrito Federal, diminuição da demanda de água pela população de alto consumo e minimização do risco de desenvolvimento de processos erosivos.

A implantação de atividade potencialmente contaminante na zona 3 pode ser permitida desde que a exploração de água subterrânea seja feita por poços simultaneamente de produção e de monitoramento e preferencialmente com a instalação de piezômetros adicionais para monitoramento qualitativo das águas freáticas.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
Posto de combustível	Proibido	Proibido	Permitido, desde que equipado com peizômetro ou poço tubular de produção/monitoramento.
Atividades industriais	Proibido	Proibido	Permitido, desde que equipado com peizômetro ou poço tubular de produção/monitoramento.
Atividades comerciais e de serviços	Proibido	Proibido	Proibida as seguintes atividades: oficinas mecânicas, depósito de materiais químicos, tintas e solventes; comércio e estocagem de bateria; oficinas de cromagem e abatedouro.
Aterro sanitário	Proibido	Proibido	Permitido, desde que equipado com peizômetro ou poço tubular de produção/monitoramento.
Estação de tratamento de esgoto	Proibido	Proibido	Permitida desde que no ponto mais a jusante do poço
Mineração	Proibido	Proibido	Permitido, desde que equipado com peizômetro ou poço tubular de produção/monitoramento.
Adubação com estrume ou produtos químicos/pesticidas	Proibido	Proibido	Proibido
Fossas sépticas com sumidouro ou fossas negras	Proibido	Proibido	Proibido
Recarga artificial	Proibido	Proibido	Permitida desde que de acordo com projeto técnico aprovado pelos órgãos competentes.
Irrigação de jardins e áreas verdes públicas	Proibido	Proibido	Permitida apenas para os meses de abril a outubro.
Pavimentação	Proibido	Proibido	Permitida apenas por bloquetes.
Perfuração de poços rasos.	Proibido	Proibido	Permitido.
Transporte de esgoto.	Proibido	Proibido	Permitida
Depósito material reciclável inerte.	Proibido	Proibido	Permitido desde que o projeto seja aprovado pelos órgãos competentes e atenda as normas da ABNT.
Cemitério	Proibido	Proibido	Permitida desde que localizado a mais de 500 m do poço ou bateria de poços
Instalação de gasodutos	Proibido	Proibido	Permitida desde que localizado a mais de 500 m do poço ou bateria de poços
Lava Jato	Proibido	Proibido	Permitido desde que aprovado pelos órgãos competentes e dotado de sistema de coleta de óleo, graxa e águas servidas, sistema separador de água/óleo e despejo dos efluentes na rede coletora de esgoto.

**Tabela 2.9** - Relação das atividades e uso do solo nas zonas de proteção do manancial subterrâneo, que são sugeridas para as áreas de captação de águas subterrâneas no Distrito Federal (adaptado de Silva 2003).

## 2.10 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE EXPLOTAÇÃO DOS AQUÍFEROS

### Considerações gerais

A determinação do grau de exploração dos aquíferos depende fundamentalmente do monitoramento dos níveis estático ou dinâmico ao longo do tempo de exploração dos sistemas aquíferos.

O banco de dados para se verificar se há ou não exploração exagerada do aquífero pode ser obtido de poços de observação, especificamente construídos para esse fim ou a partir de poços produtores.

Para o estabelecimento inequívoco da sobreexploração dos aquíferos deve-se manter um banco de dados que cubra um período o mais longo possível, de forma que se possa eliminar os possíveis efeitos das flutuações dos níveis d'água por fatores sazonais e que se possa eliminar outros efeitos de imprecisões das medidas.

A flutuação sazonal dos níveis freáticos de aquíferos rasos do Distrito Federal pode alcançar até 8 metros quando comparados os períodos secos e chuvosos do ano em latossolos muito argilosos (Lousada 2005 e Lousada & Campos 2005). Em cambissolos essa variação alcança em casos extremos mais de 12 metros de amplitude (Lousada 2005 e Lousada & Campos 2005). Esses dados foram medidos em dois ciclos hidrológicos contrastantes com relação ao volume total de precipitação de forma que os valores mais baixos foram medidos em setembro de 2003 após um período de três anos com baixo total de chuvas. Os valores elevados foram medidos em abril do ano seguinte, quando entre os meses de janeiro e março, mais de 1.000 mm de chuva já havia sido acumulado (representando assim uma anomalia pluvial temporal com recorrência de longo período).

Outro ponto crítico para a determinação de áreas submetidas a sobreexploração dos aquíferos é a impossibilidade de medição real dos níveis estáticos. Em alguns sistemas de abastecimento exclusivamente baseados na exploração dos aquíferos é muito difícil interromper o bombeamento simultaneamente, por longos períodos, em todos os poços de uma bateria ou de determinada área geográfica. Dessa forma não se pode afirmar com segurança que os níveis medidos representam a elevação da superfície freática naquele ponto, naquele momento. Em alguns casos o nível medido ainda não estabilizou e, portanto não representa o nível estático. Em outros casos, não se tem como garantir que todos os poços de uma determinada área tenham sido desligados, pois existem poços não cadastrados.

A presença de poços desconhecidos pode ser determinada durante a realização de ensaios de bombeamento prolongados, que indicam o progressivo rebaixamento da superfície dinâmica até certo momento de desenvolvimento do ensaio, quando há a elevação instantânea do nível

d'água. Esse comportamento apenas pode ser explicado pelo desligamento de sistemas de bombeamento que concorrem com o mesmo sistema de alimentação do aquífero. Esse tipo de ocorrência é comum em áreas urbanas, sendo que a elevação se dá, em geral, em períodos de baixo consumo de água.

No Distrito Federal não existe monitoramento de longo período de níveis estáticos de poços tubulares operados para abastecimento. Os dados disponíveis são apenas relativos a medições esporádicas sem controle rígido.

Na região, há uma dificuldade de se obter dados confiáveis de níveis estáticos de poços em operação. Essa dificuldade reside no fato de os poços serem equipados com sistema de bomba submersível / tubos edutores. Nestes casos há o risco de a fita do medidor ficar presa ao tubo edutor e danificar o equipamento de medição. São raros os poços que contém tubo guia ou tubo piezométrico instalado.

Assim o presente trabalho propõe que o grau de exploração seja feito a partir do monitoramento dos dados de níveis dinâmicos dos poços para os casos onde não se tem possibilidade de desligar o sistema de bombeamento por longos períodos. A medição dos níveis dinâmicos tem a vantagem de se eliminar os efeitos sazonais na maioria dos casos e de não ser necessário interromper o bombeamento em longos períodos de tempo para a estabilização.

Para a viabilização deste instrumento de monitoramento uma rede de poços deve ser definida e as medições devem ser realizadas por períodos regulares de forma que se possa efetivamente determinar se o regime de extração das águas subterrâneas causa ou não impactos negativos aos aquíferos.

O monitoramento proposto dos recursos hídricos subterrâneos deve ser focado no aquífero, tanto sobre o aspecto da variação da capacidade de transmissão de água ao longo do tempo (aspecto quantitativo), a ser avaliado por meio do monitoramento dos seus níveis potenciométricos, quanto sobre seus aspectos qualitativos, monitorando o comportamento hidrogeológico e bacteriológicos de suas águas. A introdução do monitoramento qualitativo é interessante, pois pode ser realizado de forma concomitante ao monitoramento quantitativo, minimizando assim os custos operacionais.

Previamente foram selecionados 50 poços distribuídos por todo o Distrito Federal, onde a maior densidade foi preferencialmente definida em regiões de maior taxa de exploração (Tabela 2.10). Alguns desses poços podem ser modificados no momento da implementação do programa em função de facilidades logísticas, mas deve-se tender a mantê-los nas regiões onde estão indicados.

A responsabilidade pelo monitoramento deverá ficar a cargo da ADASA ou para minimizar os custos e agilizar o processo poderá ser atribuída aos proprietários dos poços,

principalmente no caso de condomínios e instituições. Neste caso, as amostras devem ser analisadas no laboratório da própria CAESB, para a manutenção da precisão e homogeneidade dos resultados e a otimização do controle analítico.

<b>Ponto</b>	<b>Coordenadas UTM Aproximadas</b>	<b>Situação do poço</b>
Ponto 01	814302 / 8244000	QN 214-Área Especial N 01 – Samambaia
Ponto 02	198494 / 8243371	Condomínio Rural Jardim Botânico V ROD. DF 01, Km 04, ESAF Jardim Botânico
Ponto 03	203147 / 8269740	Chácara 34 - Núcleo Rural Sobradinho II
Ponto 04	179138 / 8246178	SMPW QD 07 CJ 03 CS 03
Ponto 05	196232 / 8265673	Condomínio Vivendas Paraíso. DF 150 Km 03 - Sobradinho
Ponto 06	196564 / 8266231	Condomínio Asa Branca. BR 440 - Sobradinho
Ponto 07	204563 / 8256980	Condomínio Mansões Entre Lagos Q2A Cs 27 Estrada Paranoá- Unai
Ponto 08	201246 / 8246128	Condomínio Quintas da Alvorada III. Lago Sul – QI 27 Atrás
Ponto 09	189180 / 8258202	SMAFF Setor Terminal Norte, Lote D Bloco 3 - Asa Norte
Ponto 10	0196743 / 8270271	QD 55 A – Em frente ao Lote 74 – Pracinha Condomínio Sobradinho Novo Etapa II
Ponto 11	195748 / 8269530	QD 48 A – Em frente ao Lote 01 E 02 Condomínio Sobradinho Novo Etapa II
Ponto 12	194846 / 8269099	Rodovia DF 420 Km 7, Margem da Rodovia de Acesso a Sobradinho
Ponto 13	204560 / 8259340	Sobradinho dos Melos Chácara Três Irmãos - Paranoá
Ponto 14	178784 / 8246902	MSPW QD 05 Cj 2/4
Ponto 15	199871 / 8244389	Condomínio Mansões Califórnia. Lago Sul – ESAF
Ponto 16	199799 / 8246823	Condomínio Ville de Montagne, QI 27 Lago Sul – DF 01
Ponto 17	181010 / 8246349	SESI – QE 23 Lote 7 Guará Ii
Ponto 18	195078 / 8249983	SCES Trecho 02 Lote 50
Ponto 19	183212 / 8250409	SIA / Sul Trecho 1 Lote 905
Ponto 20	321010 / 8249873	Chácara 226 da Colônia Agrícola Vicente em Brasília
Ponto 21	198722 / 8232436	DF 140 Km 3,5 (Entrada a Esquerda) No Setor de Mansões Santa Eulália Chácara 19
Ponto 22	203987 / 8240030	Poço Campinho - São Sebastião
Ponto 23	203296 / 8240510	Poço da Mata - São Sebastião
Ponto 24	202700 / 8240795	Poço - SS 14 - São Sebastião
Ponto 25	193125 / 8263235	Posto e Motel Flamingo
Ponto 26	201322 / 8244473	Condomínio Quintas do Sol, Km 3360 da Estrada do Sol, Área Verde da Gleba 3.1/B. Bairro Jardim Botânico
Ponto 27	190788 / 8249409	Núcleo Rural de Monjolinho Df 180 Km 49 Chácara No 6
Ponto 28	195176 / 8267263	Condomínio Residencial Vivendas Alvorada – DF 150 Km 05 – Sobradinho Área Especial No. 01
Ponto 29	198438 / 8255402	SMLI Trecho 9, Conj. 6, Casa 40. Brasília DF
Ponto 30	204603 / 8249073	Altiplano Leste – Morro Alto, Ch. 30-Brasília DF
Ponto 31	184535 / 8271835	Rua 07-Ch. 132- Sobradinho/DF Núcleo Rural Lago Oeste/Sobradinho
Ponto 32	818341 / 8240094	CAUB II. Agro Combinado Urbano Ch. 11, Riacho Fundo
Ponto 33	200971 / 8230550	Chácara Anne Cristina – Loteamento Fazenda Santa Bárbara RA Santa Maria. Ref. Trevo de Unai-Estrada para Marinha
Ponto 34	195502 / 8263910	Condomínio Jardim Europa DF 150 Km 2,5 Quadra 1, Cj A Lote 21

Ponto 35	197703 / 8265381	Condomínio Vivendas Serranas. Rod. BR 020 Km 05 – Sobradinho/DF
Ponto 36	198682 / 8243702	Condomínio Mansões Califórnia. Rod. DF 01 Km 05 – São Sebastião. Setor Habitacional Jardim Botânico
Ponto 37	187010 / 8248643	SGAS Qd 913 S/N Conjunto B Brasília-DF
Ponto 38	193802 / 8254940	Campus Universitário – Blocos A e B do Alojamento Estudantil – Centro Olímpico
Ponto 39	200998 / 8246510	Condomínio Solar da Serra. Entrada Pela Df-01 –Km 24 – Atrás Da QI 27
Ponto 40	201801 / 8243643	Condomínio Rural Quintas Interlagos Estrada Do Sol Km-05, Fazenda Taboquinha
Ponto 41	202463 / 8246502	Embrapa – Estrada Parque Contorno Taguatinga/Gama Km 03 Fazenda Sucupira
Ponto 42	Não Levantado	Condomínio Alto da Boa Vista – BR 020 Sobradinho
Ponto 43	Não Levantado	Condomínio Solar de Brasília – DF 001 Bairro Jardim Botânico
Ponto 44	Não Levantado	Vila Basevi (Próximo A Usina de Asfalto Basevi)
Ponto 45	Não Levantado	Comunidade Alto Bela Vista (Próximo à Fábrica da “Cimento Tocantins”)
Ponto 46	Não Levantado	Embrapa Cerrados (CPAC Sede)
Ponto 47	Não Levantado	Agrovila do Núcleo Rural Lamarão
Ponto 48	Não Levantado	Agrovila do Núcleo Rural Taquara
Ponto 49	Não Levantado	Escola Classe Artemísia
Ponto 50	Não Levantado	Agrovila do Núcleo Rural Cariru

**Tabela 2.10** - Pontos propostos para o monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos.

### Monitoramento Qualitativo

A coleta de água para avaliação qualitativa deverá ser realizada o mais próximo possível da saída do poço. Não deve ser amostrada água na saída de grandes reservatórios, ou na tubulação de distribuição nas redes adutoras. Quando for possível uma torneira deverá ser instalada imediatamente na saída do tubo edutor onde a amostragem deverá ser realizada.

No caso de poços não equipados com bombas submersíveis, a amostragem deve ser feita com amostradores do tipo *bailers*.

Os parâmetros a serem analisados são: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, cloreto, fosfato, coliformes totais e coliformes fecais, além de carbonato, sódio, potássio, cálcio e magnésio e sulfatos para facilitar a classificação das diversas águas amostradas. Estes parâmetros foram selecionados, uma vez que refletem imediatamente possíveis alterações que ocorram nas águas e que quando detectadas deverão ser avaliadas por meio de outros parâmetros mais adequados. Além disso, para a execução de parte desta tarefa, existem equipamentos portáteis, que permitem que algumas análises sejam rapidamente executadas *in situ*, de maneira automática, utilizando-se um único equipamento de baixo custo e de fácil operação.

A periodicidade deverá ser semestral, sendo que uma tomada de amostra deve coincidir com o período seco do ano e outra com a época chuvosa preferencialmente, em setembro/outubro e fevereiro/março.

### **Monitoramento Quantitativo**

Para minimizar o risco de perda do equipamento de medição é importante que um tubo rígido de  $\frac{1}{2}$  ou  $\frac{3}{4}$  de polegada seja fixado ao tubo de adutor para funcionar como a guia de descida. Esse sistema deve ser permanente e junto a boca do poço um plug rosqueável deve ser introduzido para evitar contaminação.

Para os poços isolados, uma iniciativa que deve sempre ser considerada é o desligamento da bomba 24 horas antes da medição ou o máximo de tempo possível (nos casos onde os poços não podem ser desativados por um período de 24 horas). Esse tempo de repouso é necessário para que o poço recupere o máximo de seu nível estático, de forma que se possa observar uma medida a mais próxima possível do nível estático. Só dessa forma será viável monitorar a evolução dos níveis com a exploração e definir com segurança se o bombeamento causa impactos significativos ao sistema aquífero.

Para os casos onde não se pode interromper o bombeamento, os níveis dinâmicos deverão ser monitorados e preferencialmente após longo período de bombeamento contínuo.

A avaliação dos resultados só poderá ser feita de forma individual, ou no máximo regional, pois as superfícies potenciométricas em meios fraturados são limitadas a blocos isolados e não funcionam da mesma forma que em meios de porosidade intergranular, como uma superfície regular e contínua lateralmente.

No caso de se perceber que há sobreexploração de determinado sistema aquífero os poços devem ser lacrados e a ADASA deverá rever os processos de outorga na região onde o problema for detectado.

## **2.11 TEMPO DIÁRIO MÁXIMO DE BOMBEAMENTO**

Além dos critérios para se definir a vazão a que cada usuário terá direito, outro aspecto importante para a gestão é a definição do tempo máximo de bombeamento diário de forma que os sistemas aquíferos se tornem sustentáveis.

O tema, tempo diário de bombeamento, não é suficientemente tratado pela literatura técnica e acadêmica relativa à gestão dos aquíferos. Esse aspecto é decorrente do fato de quando os poços operam dentro dos limites das vazões sustentáveis não há restrições de tempo de bombeamento. Principalmente para os poços construídos em sistemas intergranulares com alta transmissividade, há exemplos de bombeamento contínuo por grandes intervalos contínuos de tempo, sem causar problemas de sobreexploração ou outros danos aos aquíferos.

Entretanto o funcionamento hídrico dos sistemas aquíferos fraturados é um tanto distinto no que diz respeito às condições de circulação, recuperação e dinâmica quando submetido ao bombeamento por tempo prolongado. Assim, alguns trabalhos como FAO (1986) considera para aquíferos fraturados um intervalo máximo de bombeamento de 16 horas diárias como sendo um tempo de exploração sustentável.

Trabalho de maior detalhe especificamente relacionado ao tempo de bombeamento diário máximo recomendado para aquífero fraturado no do Sri Lanka (Jayawardena 2003), também considera que 16 horas de bombeamento com 8 horas de recuperação é o tempo ideal para exploração dos aquíferos. A metodologia aplicada nesse trabalho foi baseada na interpretação de ensaios de bombeamento com diferentes tempos de bombeamento contínuo e determinação dos tempos de recuperação.

Adaptando a metodologia de Jayawardena (2003) para os dados de poços do Distrito Federal, pode-se considerar de forma conservadora que 16 a 20 horas de bombeamento diário com 6 a 4 horas de recuperação, seja um intervalo de tempo sustentável para os aquíferos locais.

A definição do tempo máximo diário de bombeamento para efeitos de emissão de outorga de direito de uso da água subterrânea deve considerar o dado da recuperação do nível estático. Quando esse tempo se dá de forma muito rápida ou quase instantânea, o tempo máximo de bombeamento pode ser de até 20 horas. Quando o tempo para recuperação é superior a duas horas, o tempo máximo deve ser reduzido para 16 horas. Tempos intermediários devem ser considerados para os poços que apresentam tempos de recuperação intermediários.

Nos casos de sistemas públicos integrados por baterias de poços (condomínios e complemento de abastecimento de cidades) há a possibilidade de se intercalar os períodos de não bombeamento entre os diversos poços que compõem o sistema, de forma que, se necessário, o abastecimento possa ser mantido de forma contínua por 24 horas diárias.

## **2.12 AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E RISCO A CONTAMINAÇÃO**

### **Considerações Conceituais**

A proteção e manutenção da qualidade das águas subterrâneas são tão importantes quanto os aspectos do potencial quantitativo dos aquíferos, pois os variados usos da água são limitados e definidos por sua qualidade.

Os conceitos de contaminação e poluição quando aplicados às águas apresentam certa controvérsia. No presente estudo o termo contaminação significa o quanto a qualidade da água está enquadrada ou não em um padrão comparativo. Assim, uma água pode ter qualidade química natural fora dos padrões de potabilidade e assim, seria considerada naturalmente contaminada. Por exemplo, uma amostra de água com 3 mg/l de fluoreto é contaminada por fluoreto como água potável. Neste caso, não necessariamente o fluoreto foi introduzido pela ação humana, mas pode ter sido incorporado à água pela dissolução da fluorita (um mineral rico em flúor -  $\text{CaF}_2$ ).

Poluição se refere ao impedimento do uso da água para um determinado fim que anteriormente era usada. Neste caso a interferência humana é determinante para a alteração da qualidade original da água. Por exemplo, água subterrânea natural inicialmente com 2 mg/l de nitrato (oriundo da dissolução de minerais com nitrogênio por decomposição de matéria orgânica na superfície do terreno ou ainda mais comumente incorporada à água subterrânea a partir da atmosfera) que passe a 12 mg/l (por incremento a partir de ação humana) deixa de ser potável e portanto não pode mais bebida diretamente sem tratamento prévio. Nesse caso a água é dita poluída por nitrato, pois o limite máximo para potabilidade é de 10 mg/l.

Em geral se utiliza o parâmetro de potabilidade, atualmente definido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, pois se trata de um padrão de alta restrição. Assim se a água for potável pode ser aplicada para praticamente qualquer outro tipo de uso.

Outros dois conceitos que ainda trazem falta de compreensão e controvérsia são vulnerabilidade a contaminação e risco a contaminação dos aquíferos.

Vulnerabilidade a contaminação é uma característica intrínseca e natural dos aquíferos e das águas subterrâneas e se refere ao grau de exposição do aquífero. Dessa forma apenas os condicionantes naturais como tipo e espessura de solo, espessura da zona não saturada, declividade do terreno, facilidade de circulação da água, presença de cobertura vegetal natural entre outros são considerados para sua determinação qualitativa e quantitativa.

O risco inclui além dos condicionantes naturais o tipo de ação antrópica sobre a superfície de recarga do aquífero. O tipo de ação humana irá determinar os tipos de efluentes e substância que potencialmente infiltrarão em direção à zona saturada do aquífero. Um mapa de risco a contaminação, na prática, representa o mapa de vulnerabilidade associado a um mapa de cargas poluentes.

As cargas poluentes principais no Distrito Federal foram consideradas no trabalho de Campos & Freitas-Silva (1998) e posteriormente complementadas em PGIRH (2005) e são essencialmente representadas pelos casos que a seguir serão brevemente comentados.

### ***Postos de Combustíveis***

Os postos de distribuição de combustíveis são amplamente distribuídos nas áreas urbanas e apresentam problemas vinculados aos riscos de vazamentos na tubulação dos combustíveis e nos reservatórios enterrados.

Nos últimos anos a pressão dos órgãos ambientais e a ocorrência e divulgação pela imprensa de alguns casos de contaminação efetiva (ex. Posto Brazuca na região de Sobradinho) fez com que os proprietários destes estabelecimentos desenvolvessem maior preocupação com a proteção dos aquíferos, com troca dos reservatórios metálicos por reservatórios metálicos teflonados, realização periódica de ensaios de estanqueidade, instalação de caixas separadoras e sistemas de monitoramento da qualidade das águas (construção de piezômetros).

### ***Cemitérios***

Como foram instalados no início de consolidação da nova capital quando não existiam regras ou legislações ambientais os cemitérios distribuídos por todas as cidades satélites e em Brasília (Campo da Esperança) são locais de risco efetivo de contaminação das águas freáticas por necrochorume.

A preocupação com a possível contaminação deve ser considerada não apenas no interior da poligonal dessas áreas, mas deve transcender uma faixa determinada pela direção do fluxo.

### ***Área de Acumulação de Resíduos Sólidos***

Nesse contexto estão integrados o lixão do Jóquei Clube, os entrepostos de lixo (Sobradinho e Asa Sul) e demais locais onde há acumulação oficial ou não de resíduos sólidos. Na maior parte dos casos se trata de lixo doméstico e local de acumulação de entulho que geram chorume que invariavelmente alcançam a zona saturada dos aquíferos.

### ***Poços Tubulares e Escavados***

O risco é vinculado ao baixo nível técnico construtivo dos poços, que em muitos casos não apresentam qualquer sistema de proteção sanitária. O risco é tanto maior quanto maior for a densidade de poços tubulares. A maior densidade de poços é observada nas áreas de ampliação de cidades consolidadas e nos condomínios.

Os poços escavados, em geral utilizados pela população de baixa renda nas áreas de invasões ou de ampliações urbanas irregulares, resultam em elevado risco efetivo, pois esses poços não apresentam qualquer sistema de proteção e em muitos casos sequer contam com tampa (com retirada da água com uso de balde e sarilho).

### ***Efluentes Domésticos***

Atualmente este é considerado o principal foco de contaminação das águas subterrâneas na região do Distrito Federal, principalmente em áreas de dinamização e adensamento urbano que ocupam amplas poligonais de condomínios e de setores habitacionais. Nestes casos não a coleta e tratamento das águas servidas, e o saneamento é feito *in situ* na forma de fossas e sumidouros ou fossas e valas de infiltração.

Trata-se de uma fonte de poluição contínua, com elevada taxa patogênica e ainda com teores elevados de nitrato, fósforo, sódio, cloreto e outros metais.

Quando isolada pode ser considerada uma fonte difusa, mas em áreas urbanas de alta densidade de ocupação passa a afetar grandes porções contíguas dos aquíferos rasos e potencialmente podem alcançar as águas profundas.

### ***Garagens e Oficinas***

Como no Distrito Federal a ocupação é bastante setorizada, há uma tendência de que as oficinas e garagens de empresas de transporte sejam situadas em determinados pontos isolados nas cidades. Essas atividades geram efluentes associados a óleos, graxas e outros hidrocarbonetos que não raramente são lançados nas redes de águas pluviais ou diretamente infiltrados nos solos.

Nessas áreas ainda existe abastecimento e lavagem de veículos, que representam atividades associadas que têm potencial moderado de geração de efluente e contaminação de solos e águas subterrâneas.

### ***Agricultura***

A agricultura no Distrito Federal é em grande medida dominada pelos processos de mecanização e de investimentos técnicos que resultam no uso intensivo de insumos, tanto de fertilizantes químicos, como de agrotóxicos (herbicidas e fungicidas). Os fertilizantes químicos são muito solúveis e sua aplicação contínua parece ser a principal fonte de poluição dos recursos hídricos por metais, nitrato e fósforo. Os agrotóxicos atualmente aplicados, por outro lado, apresentam baixa persistência ambiental e representam fonte de risco de menor intensidade (Araújo 2006).

### ***Áreas Industriais e de Armazenamento***

São representados por efluentes de origem diversa, e considerados como de fonte difusa e local, uma vez que a atividade industrial na região é muito restrita. Hidrocarbonetos e outros solventes orgânicos se destacam na carga contaminante.

Nesse segmento de carga contaminante se destacam os terminais de combustíveis, as áreas de desenvolvimento econômico (ADEs), setor de indústria de Taguatinga e Gama, além do Setor de Indústria e Abastecimento de Brasília.

### ***Estações de Tratamento de Esgoto***

As ETEs são focos de poluição uma vez que os efluentes contidos nas lagoas de estabilização e oxidação apresentam o risco efetivo de infiltrarem na zona não saturada e como se trata de uma área com constante renovação da carga contaminante o risco de se afetar a zona saturada é elevado.

Para se delimitar uma faixa de segurança deve-se delimitar uma faixa marginal à poligonal de cada ETE, uma vez que o fluxo natural e as inversões do fluxo em função do rebaixamento induzido pelo bombeamento podem comprometer uma ampla faixa adjacente à área onde estão localizadas as estruturas de tratamento dos esgotos.

Apesar de considerável o risco associado às ETEs é pontual quando comparado às regiões que não contam com a coleta e tratamentos dos esgotos.

### **Determinação do Risco de Contaminação**

A definição do risco de contaminação deveria ser realizada a partir do cruzamento de mapas de declividade, com mapas dos aquíferos e de carga contaminante. Contudo o mapa de carga de poluentes não é disponível para o Distrito Federal e também em função das características geográficas do território seria difícil confeccionar um mapa em escala 1:100.000 que contivesse os principais tipos de focos de contaminação, principalmente os considerados pontuais.

Assim, na escala de planejamento regional a determinação da carga contaminante será determinada com o cruzamento dos seguintes planos de informações: declividade, uso e

cobertura vegetal e grupos hidrológicos de solos. O mapa de uso e cobertura vegetal define de forma qualitativa a ação antrópica e conseqüente carga potencial de efluentes.

A Tabela 2.11 traz a síntese das informações de cada classe para cada plano de informação e os respectivos pesos de cada uma delas. Os pesos variam em um intervalo de 1 a 10, que permite qualificar de forma mais refinada a participação de cada tipo de uso no risco a contaminação.

<b>Base</b>	<b>Classe - Observações</b>	<b>Peso</b>
<b>Declividade</b>	Classe I - 0 a 8%, tendência de desenvolver fluxo superficial laminar ou difuso.	9
	Classe II - 8 a 20%, tendência de desenvolver fluxo superficial linear ou concentrado.	4
	Classe II - >20%, tendência de desenvolver fluxo superficial fortemente linear ou concentrado.	1
<b>Grupo Hidrológico dos Solos</b>	Classe I - Grupo A: solos espessos com alta condutividade hidráulica.	8
	Classe II - Grupo B: solos espessos com moderada condutividade hidráulica. Presença de horizonte B textural.	7
	Classe III - Solos com espessura variável e condutividade hidráulica muito baixa.	3
	Classe IV - Grupo D: solos rasos a muito rasos com baixa condutividade hidráulica.	2
<b>Uso e Cobertura Vegetal</b>	Classe I - Água: corpos de água com lâmina livre maior que 10 ha.	-
	Classe II - Áreas verdes: áreas de cerrado preservado, mata galerias e reflorestamento.	1
	Classe III - Urbano 1: baixa densidade de ocupação, em média com <40% de impermeabilização.	8
	Classe IV - Urbano 2: taxa de impermeabilização moderada, com 40 a 70% de impermeabilização.	5
	Classe V - Urbano 3: alta densidade de ocupação, em média com >70% de impermeabilização.	8
	Classe VI - Agropecuária: pastagens, áreas de plantio de sequeiro e irrigado.	4
	Classe VII - Áreas impermeabilizadas: estradas, galpões, áreas de exploração mineral e outras áreas com alta taxa de selamento da superfície.	9

**Tabela 2.11** - Planos de informação e ponderação das classes utilizadas para a análise do risco a contaminação das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal.

Por exemplo, as classes de uso urbano 1 e 3 foram ponderadas com peso igual a 8, pois mesmo com taxa de impermeabilização distintas, têm potencial de geração de alta densidade de carga contaminante. A classe urbano 1, gera elevada carga de contaminação por infiltração de esgotos domésticos e a classe urbano 3, gera efluentes pelas várias atividades urbanas de centros

consolidados (presença de postos de combustível, cemitérios, lixo urbano, efluentes pluviais, etc). As áreas verdes compõem o menor risco, porque produzem apenas efluentes vinculados à vida silvestre que pode ser facilmente depurado pela zona não saturada dos sistemas aquíferos. Áreas de uso agrícola sobre relevo de baixa declividade resulta em risco moderado, pois parte das cargas poluentes pode ser atenuada pelos espessos solos presentes nestas regiões. As áreas de menor risco ocorrem em regiões de grande declividade sobrepostas a unidades de conservação ambiental.

Os resultados são similares aos mapas de risco anteriormente confeccionados a partir da mesma metodologia (Campos & Freitas-Silva 1998 e PGIRH 2005). As áreas urbanas em fase incipiente de ocupação sem tratamento de esgotos, situadas nas chapadas resultam nas áreas de risco muito alto. As áreas verdes, em geral situadas no interior de unidades de conservação ambiental de alta restrição, situadas em regiões de relevo movimentado, resultam nas faixas com risco mínimo.

Para a confecção de mapas de risco para fins de gerenciamento e para apoiar tomadas de decisão (ex. proibição de ocupação urbana ou exigência de verticalização de cemitérios) necessariamente a escala de trabalho deverá ser maior (superior a 1:25.000) e um mapa de cargas poluentes detalhado deverá ser disponibilizado para ser cruzado com o mapa de vulnerabilidade. Neste caso, será de suma importância a construção de sistemas de monitoramento locais com instalação de piezômetros, amostragem periódica de água subterrânea, desenvolvimento de ensaios tipo *Slug Test*, e demais estudos hidrogeológicos.

### **2.13 DETERMINAÇÃO DAS UNIDADES DE GERENCIAMENTO PARA OPERACIONALIZAÇÃO DA GESTÃO**

Em função das diferenças das características dos usos quando comparadas as diversas áreas e regiões administrativas que compõem o Distrito Federal, o gerenciamento deverá ser operacionalizado a partir da associação de dois critérios complementares:

- ✓ Áreas homogêneas do ponto de vista dos tipos e densidade de usos/demandas e
- ✓ Áreas delimitadas a partir dos contatos dos diferentes sistemas/subsistemas aquíferos.

Mesmo considerando que os sistemas aquíferos são superpostos em subsuperfície, o uso dos contatos de sistemas/subsistemas não compromete os limites das unidades de gerenciamento, pois como regra a litologia aflorante apresenta maior peso na caracterização de vazões e demais condicionantes hidráulicos dos poços. O único caso em que poderia haver contraste considerável seria nas áreas de exposição da Unidade S do Grupo Paranoá, entretanto nesse caso a própria

definição do subsistema aquífero já contempla a superposição, sendo a unidade hidrogeológica mista denominada de Subsistema S/A.

Se uma área urbana que inclua uma cidade, bairro ou setor habitacional ocupar áreas sobre os limites de contatos hidrogeológicos, as unidades de gerenciamento deverão ser particionadas. Essa ação deverá facilitar questões práticas como os cálculos de reservas e disponibilidades locais, a divisão das disponibilidades entre os usuários, a determinação de vazões de outorga, dentre outras.

O limite das vazões outorgáveis deverá ser determinado com auxílio do seguinte procedimento:

- ✓ Cálculo das disponibilidades para cada unidade de gerenciamento, de acordo com a metodologia e parâmetros aplicados no presente estudo para cada sistema / subsistema hidrogeológico;
- ✓ Definição do número de células de 0,5 hectare (5.000 m<sup>2</sup>) que podem estar distribuídas em cada unidade de gerenciamento;
- ✓ Divisão da disponibilidade pelo número de células o que resulta no número máximo de poços outorgáveis;
- ✓ Divisão do resultado anterior por dois, considerando que no máximo de 50% dos usuários de determinada unidade de gerenciamento terão interesse em explorar águas subterrâneas. Em sistemas de abastecimento onde se usa mananciais superficiais e subterrâneos o número de usuários efetivos é sempre muito inferior ao de usuários potenciais.

Alternativamente a ADASA poderá definir unidades de gerenciamento com limites distintos, a partir de critérios próprios, de forma que as áreas delimitadas possam facilitar as ações da gestão como um todo e não apenas a definição de vazão de outorga.

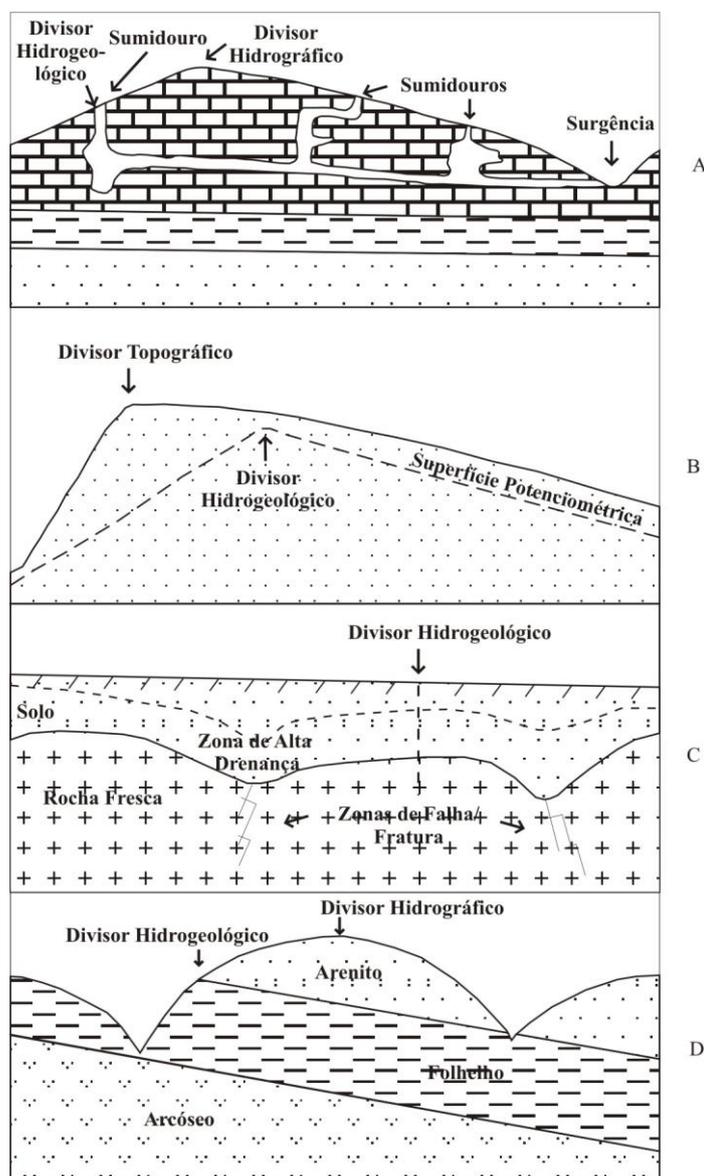
Como critério secundário, mas não menos importante, deve-se utilizar preferencialmente os limites das bacias hidrogeológicas sobre os limites das bacias hidrográficas, nos casos em que ocorra assimetria nos divisores dessas bacias.

A assimetria entre os limites das bacias hidrográficas e hidrogeológicas pode ser controlada por vários parâmetros com destaque para: heterogeneidades dos aquíferos, anisotropia em sistemas aquíferos fraturados e cársticos, variação brusca da potenciométrica em situações de limites laterais de aquíferos, presença de estruturas geológicas de grande porte (dobras ou falhas), presença de aquíferos com diferentes tipos de porosidade sobrepostos, além de outros ou mesmo da associação desses fatores (Arraes & Campos, no prelo) (Figura 2.13).

Bacia hidrogeológica é definida como o limite entre as zonas de recarga e descarga de determinado aquífero, sendo a zona de recarga considerada a partir da região onde as águas ou

plumas descendentes de umidade alcançam o topo da zona saturada dos aquíferos e os exutórios os pontos ou áreas onde as águas retornam à superfície. Como o aquífero é tridimensional, a região de recarga constituirá uma área e, os limites da bacia hidrogeológica serão representados por linhas que fecham em um polígono, a exemplo do que ocorre na bacia hidrográfica (Arraes & Campos, no prelo).

O funcionamento hídrico de uma bacia hidrogeológica é sensivelmente distinto do observado em uma bacia hidrográfica. Os limites de uma bacia hidrográfica são definidos a partir de um ponto no exutório, de forma que toda a área drenada a montante do ponto escolhido define a bacia em questão. A própria definição de bacias e sub-bacias é facilitada. No caso da bacia hidrogeológica, o exutório não pode ser definido como um ponto, mas em geral, é caracterizado por uma área ou pelo menos por uma linha de descarga, de forma que, a limitação da área da bacia se torna mais complexa.



**Figura 13** - Ilustrações de casos de assimetria entre bacias hidrográficas e hidrogeológicas. **A)** assimetria em sistema cárstico devida à posição relativa entre os sumidouros e a surgência; **B)** assimetria devida a quebra acentuada de relevo; **C)** assimetria devida à presença de zonas drenantes representadas por anisotropias planares (falhas/fraturas abertas) e **D)** assimetria devida à presença de camada impermeável (fonte Arraes & Campos, no prelo).

O conhecimento prévio e bem estabelecido das possíveis assimetrias existentes entre os limites das bacias hidrogeológica e hidrográfica superimpostas se torna essencial, já que, na gestão integrada dos recursos hídricos deve ser considerado que o aquífero e o respectivo curso d'água superficial façam parte de uma mesma unidade de gestão. Portanto, caso o limite da bacia hidrogeológica seja diferente daquele da bacia hidrográfica, ou ainda, se essa possuir mais de uma bacia hidrográfica sobreposta, um planejamento mais detalhado será necessário para o estabelecimento de uma gestão correta dos recursos hídricos.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos ainda representa um grande desafio para o Distrito Federal. O gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos deve ser centrado na abordagem dos aquíferos e das bacias hidrogeológicas, as quais ainda não estão devidamente delimitadas. Portanto, os estudos futuros das águas subterrâneas na região devem privilegiar o monitoramento qualitativo e quantitativo e a delimitação das bacias subterrâneas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA. 2007. *Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA. Plano de Gerenciamento Integrado de recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH. [www.pgirh.df.gov.br](http://www.pgirh.df.gov.br), acesso em 25 de maio de 2007.*
- Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J. E Hackett, G. 1987. DRASTIC, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. U.S Environmental Protection Agency, Ada, OK. EPA, Report 600/2-87-035;1-455.
- Alley, W.M. 2007. Another water budget myth: the significance of recoverable ground water in storage. *Ground Water*, 45(3):251.
- Almeida, L. de; Resende, L.; Rodrigues, A. P.; Campos, J. E. G. 2006. Hidrogeologia do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia - GO. 232p.
- Amore, L. 1994. Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal. Escola de Engenharia de São Carlos, Dissertação de Mestrado.
- Araújo, S.F. 2006. Hidroquímica dos aquíferos freáticos da bacia do Rio Jardim – DF. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 73p. + anexo. (Dissertação de Mestrado No 207).
- Arraes, T.M. & Campos, J.E.G. 2007. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, no prelo.
- Arraes, T.M.; Maia-Júnior, J.P.; Costa, P.N.; Rodrigues, L.S.; Sousa, V.H.V.2005. Hidroquímica das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal. Relatório de Estágio Supervisionado. (Instituto de Geociências, Universidade de Brasília). 16p.

- Barros, J.C.C. 1987. Geologia e hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF. P. 79-330.
- Barros, J.G.C. 1994. Caracterização geológica e hidrogeológica do Distrito Federal. In: Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas. Pinto, M.N. (Org.). Brasília. Editora UnB/SEMATEC. 2ª ed.. p. 265-283.
- Bredhoeft, J. 1997. Safe yield and the water budget myth. *Ground Water*, 35(6):929.
- Cadamuro, A. L. M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 130p.
- Cadamuro, A.L.M. & Campos, J.E.G. 2005. Recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(1):89-98.
- Cadamuro, A.L.M., Campos, J. E. G., Tröger, U. 2002. Artificial recharge in fractured rocks? An example from the Federal District of Brazil for the sustainability of the system. *Proceedings do 4 Inter. Symposium on Artificial Recharge*. Adelaide, v. 1, p.56 - 60.
- Campos, J. E. G. & Freitas-Silva, F. H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*, Brasília, IEMA / SEMATEC / UnB, p. 1-84, (Vol. IV Relatório Técnico).
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: XII Simp. Geol. Centro-Oeste. *Boletim de Resumos*. Brasília. 113p.
- Campos, J.E.G. & Tröger, U. 2000. Groundwater Occurrence in Hard Rocks in the Federal District of Brasilia A Sustainable Supply?. In: Sililo, *Groundwater: Past Achievements and Future Challenges*, Proc. of XXX I.A.H. Congress. Cape Town, South Africa, Balkema, pp. 109-113.
- Campos, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1):41-48.
- Campos, J.E.G.; Freitas-Silva, F.H. & Dardenne, M.A. 1999. Sobre a ocorrência de conglomerados da Formação Abaeté, Eocretáceo da Bacia Sanfranciscana, na região do Distrito Federal, Brasil. V Simp. Bras. Geol. do Cretáceo. Águas de São Pedro - SP. *Boletim de Resumos Expandidos*. p. 339-343.
- Carmelo, A.C. 2002. Caracterização de aquíferos fraturados por integração de informações geológicas e geofísicas. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 179p.
- Clark, I. & Fritz, P. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis Publishers. New York. 328p.
- Coimbra, A.R.S.R. 1987. Balanço hídrico preliminar do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF. P. 50-78.
- Costa, W. D. 2000. Uso e Gestão de Água Subterrânea. In: *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Feitosa, F.A.C. & Manoel, Filho J. (Coord.). Fortaleza-CE. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. p.341-367.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1986. *Water for animals*. Cap. 6 Ground Water.
- Faria, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança – Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 199p. (Tese de Doutorado, IG/UnB).
- Fetter, C.W. 1994. *Applied hydrogeology*. McMillan College Publ. Co. New York. 680p.
- Foster, S.S.D.; Ventura, M. E Hirata, R. 1987. Contaminacion de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en America Latina y el caribe en relación com el Suministro de agua Potable. CEPIS. Technical Report (OMS., OPS-HPE, CE-PIS, Lima, Peru, 42p.

- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p.
- Godoy, E.V.; Garcia, D.S. & Farina, S. L. 1994. Recarga artificial de aquífero freático em Filadelfia - Chaco Central Paraguaio. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas: 385-393. Recife/PE.
- Gonçalves, T.D. 2007. Geoprocessamento como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região do Distrito Federal. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 225p. (Dissertação de Mestrado).
- Jayawardena, U.S. 2003. The Availability of Groundwater in Crystalline rocks of Kandy area, Sri Lanka. International Conference on Groundwater in Fractured Rocks. Praga, Czech Republic. Proceedings. p. 69-70.
- Joko, C. T. 2002. Hidrogeologia a Região de São Sebastião – DF: Implicações para a Gestão do Sistema de Abastecimento de Água. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 158p. (Dissertação de Mestrado).
- Katzer, T. & Brothers, K. 1989. Artificial recharge in Las Vegas Valley, Clark County, Nevada. *Ground Water* 27(1):50-56.
- Knezek, M. & Kubala, P. 1994 Experience with artificial groundwater recharge in Karany. In: *Groundwater – Drought, pollution & management*, Reeve & Watts (eds). Balkema, Rotterdam. P.235- 242.
- Lanna, A. E.; 2000. A Inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental. In: *Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos*. MMA/ SRH, 2000. p. 75-109.
- Lombardi-Neto, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J. B. Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terracimento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
- Lousada, E. O. 1999. Estudos Geológicos e Geofísicos Aplicados a Localização de Poços Tubulares Profundos em Aquíferos Fraturados na Região do Distrito Federal. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado, 107p.
- Lousada, E.O. & Campos, J.E.G. 2005. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3):407-414.
- Lousada, E.O. 2005. Estudos hidrogeológicos e isotópicos no Distrito Federal: Modelos conceituais de fluxo. Brasília-DF. 124p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Maimone, M. 2004. Defining and managing sustainable yield. *Ground Water*, 42(6):809-814.
- Manoel-Filho, J. 2000. Ocorrência das Águas Subterrâneas. In: *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Feitosa, F.A.C. & Manoel, Filho J. (Coord.). Fortaleza – CE. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. p.13-32.
- Martins, E. S. 2000. Petrografia, mineralogia e geomorfologia de regolitos lateríticos no Distrito Federal. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 196p.
- Martins, E.S. & Baptista, G.M.M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In IEMA/SEMATEC/UnB 1998. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol. 1, Parte II. 53p.
- Matthews, C. 1991. Using ground water basins as storage facilities in Southern California. *Water Resouces Bulletin*, 17(5):841-847.
- McNeill, J.D. 1990. Use of electromagnetic methods for ground water studies. In: *Geotechnical and Environmental Geophysics*, V. 1. Ward, S.A (ed.). Tulsa. P. 197-218.
- Mendonça, A. F. 1993. Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal. Anexo 3a: Reservas de água de superfície do Parque Nacional de Brasília. Brasília. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 154p. (Dissertação de Mestrado - inédita)

- Moraes, L.L. 2004. Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e entorno: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 128p.
- Novaes Pinto, M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª ed.. p. 285-320.
- Novaes Pinto, M. 1994b. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª ed.. p. 511-542.
- O'Shea, M.J.O. 1994 Drought management using artificial aquifer in north London. In: Groundwater – Drought, pollution & management, Reeve & Watts (eds). Balkema, Rotterdam. P.223- 233.
- Romano, O. & Rosas, J. G. C. 1970. Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. In: Congresso Brasileiro Geologia, 24. 1970. Anais..., Brasília, SBG. p.313-333.
- Salo, J.E.D.; Harrison, D. & Archibald, E.M. 1986. Removing contaminants by ground water recharge basins. Journal, American Water Works Association, 78(79):76-81.
- Santos, A.C. 1997. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, A.C.F. & Manoel Filho, J. (Coord). 1997. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. CPRM/LABHID. Fortaleza. p 81-108.
- Sartori, A. 2004. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Universidade de Campinas, Campinas - SP, dissertação de Mestrado, 159p.
- Silva, M.D. 2003. Caracterização do meio físico da região de Águas Lindas - GO: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Sophocleous, M. 1997. Managing water resources systems: why “safe yield” is not sustainable. Ground Water, 35(4):561.
- Souza, M.T. 2001. Fundamentos para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 94p. (Dissertação de Mestrado).
- Szabo, Z.; Rice, D.E.; Plummer, L.N.; Busenberg, E.; Drenkard, S. & Schlosser, P. 1996. Age dating of shallow groundwater with CFC, T/He and flow path analyses, southern New Jersey Water Resources Research, 32:1023-1038.
- Tallaksen, L. M., 1995. A review of baseflow recession analysis. Journal of Hydrology, 165: 349-370.
- Tucci, C. E. M. 2000. Escoamento Superficial. In: Hidrologia: ciência e aplicação. Tucci, C.E.M. (org.) 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. p. 391-441.
- Wittenberg, H. & Sivapalan, M., 1999. Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and base flow separation. Journal of Hydrology, v.219, p.20-33.
- Zoby, J. L. G. 1999. Hidrogeologia de Brasília - DF. Bacia do Ribeirão Sobradinho. São Paulo. Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado - inédita).

## **PARTE III**

# **SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO FERRAMENTA DE APOIO À OUTORGA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO DISTRITO FEDERAL**

### **3 INTRODUÇÃO**

O propósito deste trabalho é desenvolver um método de elaboração de mapas temáticos digitais (base de dados georreferenciada) para entrada, armazenamento, análise e expressão em Sistema de Informações Geográficas, a partir de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto capazes de subsidiarem de forma adequada os processos de gestão e outorga de direito de uso de água subterrânea no Distrito Federal.

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como um sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais, que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem.

Quando os referidos sistemas são direcionados a análises ou manejos de recursos hídricos subterrâneos, ganham maior importância na medida em que propiciam uma fonte de informações básicas para gestores que não possuem embasamento técnico, mas que normalmente são chamados a tomar decisões e explicitar rumos a respeito de proteção e manejo sustentado dessas águas.

O processo de implantação de um SIG, voltado para estudos hidrogeológicos, pode ser dividido em três fases: modelagem do mundo real, criação do banco de dados geográfico e operação.

A fase de modelagem do mundo real consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os. A criação de um banco de dados geográficos exige várias etapas: coleta dos dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem, correção dos dados coletados e georreferenciamento dos dados. A fase de operação refere-se tanto ao uso do SIG quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas por parte dos usuários a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões diferenciadas da realidade.

Assim, executar um projeto sobre estudos hidrogeológicos por meio de SIG requer planejamento prévio, cujo início pode ser a construção de um fluxograma, onde serão especificados os problemas, definidos os produtos e, finalmente, implementadas as funções dos

SIGs, resultando numa gama de alternativas de soluções fundamentais para adequada gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

A Figura 3.1 mostra o fluxograma contendo as etapas, os métodos utilizados e os produtos do banco de dados georreferenciado.

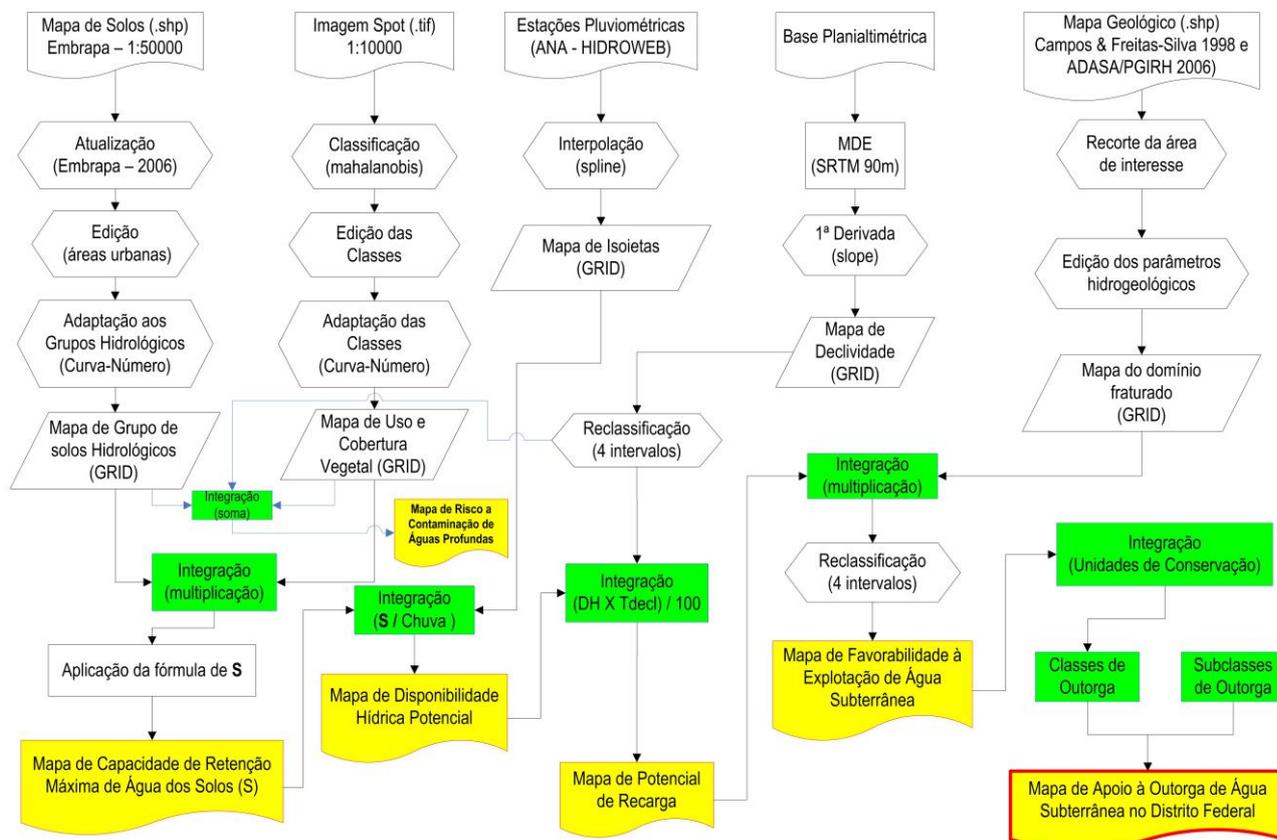


Figura 3.1 - Fluxograma Metodológico (□ - documento; ⬡ - preparação; ▱ - dados; □ - processo; ⬠ - decisão).

### 3.1 BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO

As categorias de informações necessárias para incrementar o conhecimento sobre as águas subterrâneas e subsidiar o processo de outorga no Distrito Federal são integradas por dados do meio físico e do tipo de uso e cobertura vegetal da terra.

Os planos de informações utilizados para a construção do banco de dados georreferenciado foram: base planialtimétrica (MDE - SRTM), séries pluviométricas históricas, uso e cobertura vegetal da terra, geologia, hidrogeologia e solos.

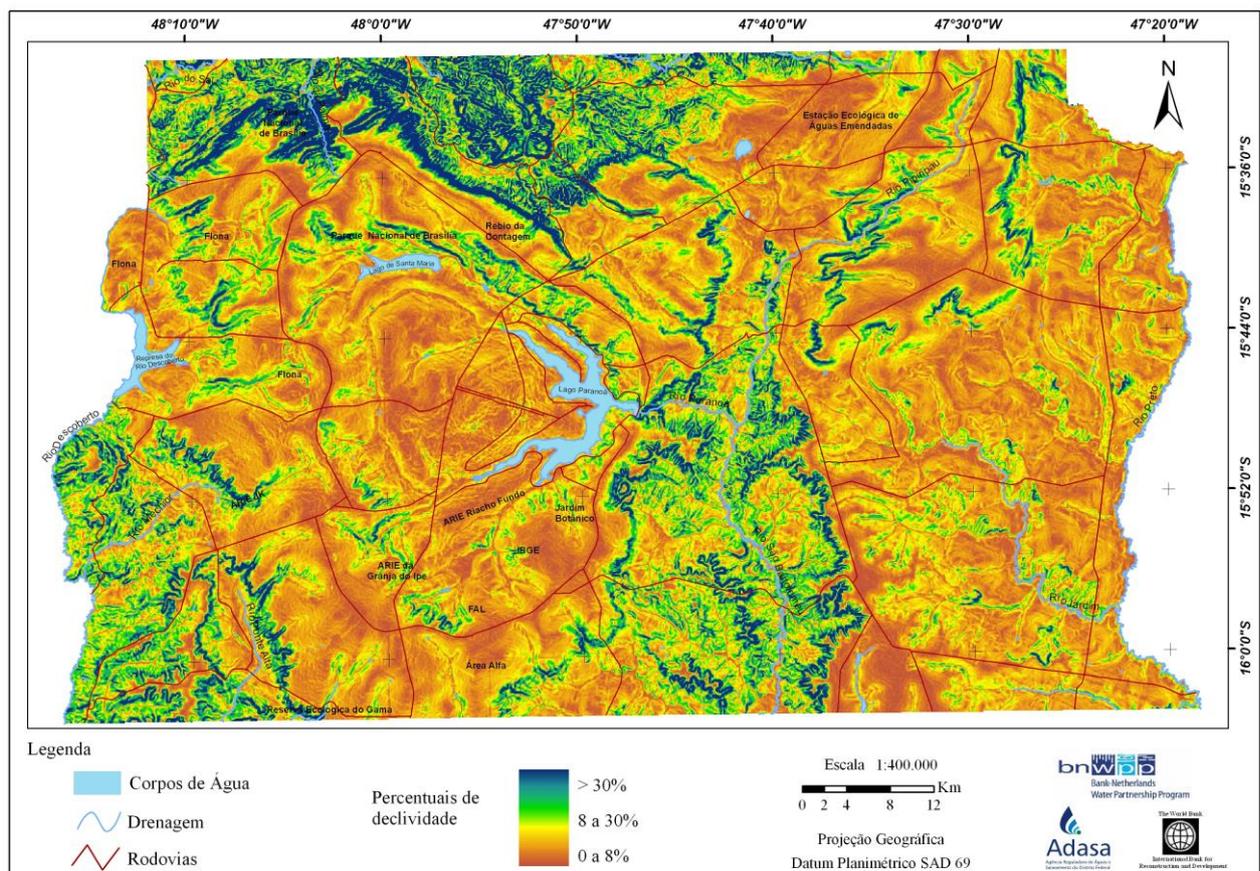
#### Dados Planialtimétricos

Os mapas planialtimétricos constituem a base de dados para os levantamentos exploratórios, pois apresentam, dentre outras informações, a posição das características do relevo (curvas de nível e pontos cotados), a hidrografia e o sistema viário.

Para estudos hidrogeológicos, a configuração do relevo é de grande importância no que se refere à influência de cada aspecto fisiográfico nas condições de infiltração e armazenamento da água subterrânea. Sabe-se que, a inclinação do terreno é determinante da sua taxa de infiltração, ou seja, quanto maior a declividade, menor a infiltração de água e vice-versa.

Um dos subprodutos dos mapas planialtimétricos utilizados nos estudos hidrogeológicos é o mapa de declividade derivado do Modelo Digital de Elevação - MDE. O MDE pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície (Burrough 1998).

Neste estudo, o mapa de declividade (Figura 3.2) foi produzido a partir do MDE do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado pela NASA (JPL-NASA, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). O MDE do SRTM tem uma acurácia horizontal de 50 metros e vertical de 12 metros, com um pixel de 90 metros. As configurações do SRTM possibilitam a sua utilização em escalas menores que 1:50.000 (Roig 2005).



**Figura 3.2** - Mapa de Declividade do Distrito Federal.

Quatro intervalos (0-8%; 8-15%; 15-30%; >30%) de declividade foram definidos e reclassificados, subjetivamente, com base no funcionamento do fluxo superficial. Quanto maior

a declividade maior o fluxo e, portanto, menor a taxa de infiltração. Como ainda não foi definida na literatura uma relação entre a declividade, como fator redutor da capacidade de retenção de água dos solos, e a taxa de infiltração, estabeleceu-se, para este trabalho, as seguintes relações:

- ✓ declividade 0 a 8% - a taxa de infiltração será 95% da capacidade de retenção dos solos;
- ✓ declividade 8 a 15% - a taxa de infiltração será 70% da capacidade de retenção dos solos;
- ✓ declividade 15 a 30% - a taxa de infiltração será 45% da capacidade de retenção dos solos;
- ✓ declividade > 30% - a taxa de infiltração será 5% da capacidade de retenção dos solos.

### **Dados Climatológicos**

As informações climatológicas incluem precipitação, temperatura, radiação solar, evapotranspiração, evaporação direta, velocidade e direção de vento. Dentre estes, os dados de precipitação (altura pluviométrica, distribuição espacial e temporal) são os mais importantes para a gestão de recursos hídricos subterrâneos e podem ser utilizados para inferir as tendências pluviométricas de determinada região e calcular o balanço hídrico.

A espacialização da pluviosidade dá-se por meio da interpolação dos dados pontuais de pluviômetros. As isolinhas que correspondem às linhas de mesmo valor de altura pluviométrica são representadas em mapas de isoietas. As informações necessárias à confecção do mapa de isoietas da área de estudo foram adquiridas da base de dados do sistema HIDRO da ANA.

O HIDRO é um aplicativo de banco de dados do tipo cliente/servidor projetado para permitir o gerenciamento centralizado e organizado de uma base de dados hidrometeorológica. Este sistema é capaz de acessar tanto um banco de dados local quanto remoto. A conexão remota dar-se-á por meio da rede interna da instituição (intranet) ou pela Internet (no caso de usuários externos autorizados).

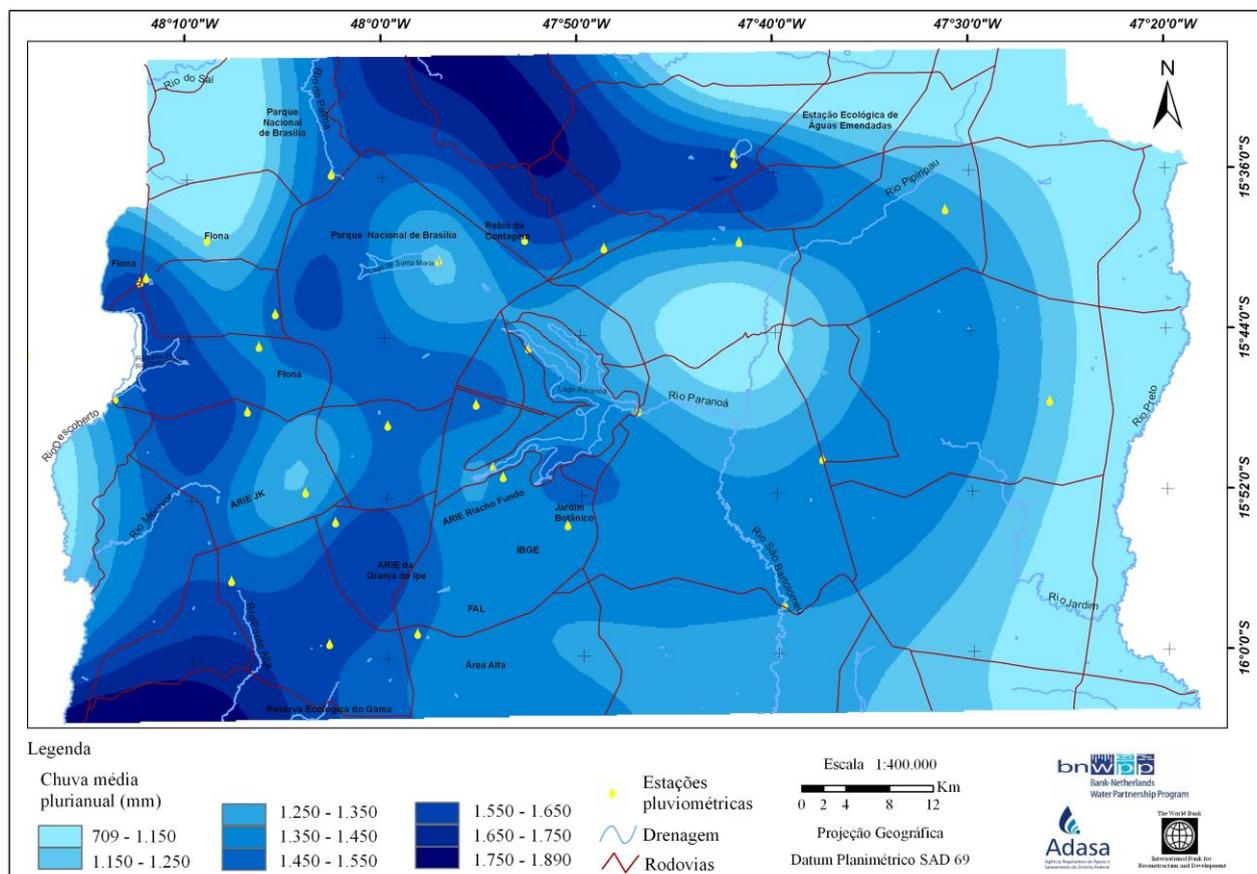
O HIDRO também permite que os dados sejam copiados para serem utilizados no módulo *stand alone* usando o programa *Access* como banco de dados. Este foi o processo executado neste trabalho.

Embora a base de dados utilizada pelo HIDRO tenha 199 estações catalogadas no Distrito Federal, apenas 44 puderam ser usadas como fonte de informações pluviométricas. Muitas estações estão desativadas ou não possuem séries históricas de dados pluviométricos. Para suprir a carência de dados e melhorar o processo de interpolação na borda da área em estudo, foram usadas 14 estações circunvizinhas localizadas no estado de Goiás. O período analisado foi de 1960 à 2006, entretanto, a maioria dos dados encontra-se entre os anos de 1971 e 2006.

A partir das coordenadas das estações e dos totais de chuvas diárias, foi possível calcular as médias dos totais de chuvas mensais e anuais. Alguns métodos de interpolação foram testados

com o objetivo de gerar uma boa representação da superfície pluviométrica da área, a saber: inverso do quadrado da distância, *Krigagem* e curvatura mínima (*spline*). Aquele que mostrou melhor resultado foi o método da curvatura mínima (*spline*).

Entretanto, observou-se que, devido a ausência de dados em algumas regiões, mais precisamente nas bacias dos rios Preto e Maranhão, o processo de interpolação gerou médias pluviométricas inferiores aquelas adquiridas no HIDRO. Enquanto nos dados originais a média pluviométrica mínima é de, aproximadamente, 1.100 milímetros, com a interpolação, a média mínima passou a ser de 709 milímetros. No caso específico deste estudo, decidiu-se trabalhar com esses resultados tendo em vista os objetivos propostos. A Figura 3.3 mostra a distribuição espacial das alturas médias pluviométricas do Distrito Federal.



**Figura 3.3** - Mapa de Isoietas do Distrito Federal.

### Dados Geológicos

O conhecimento da geologia de uma região é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos, entendidos aqui como formações geológicas capazes de armazenar e transmitir água e desempenhar as funções básicas dos reservatórios subterrâneos: função filtro, função reguladora e função armazenadora.

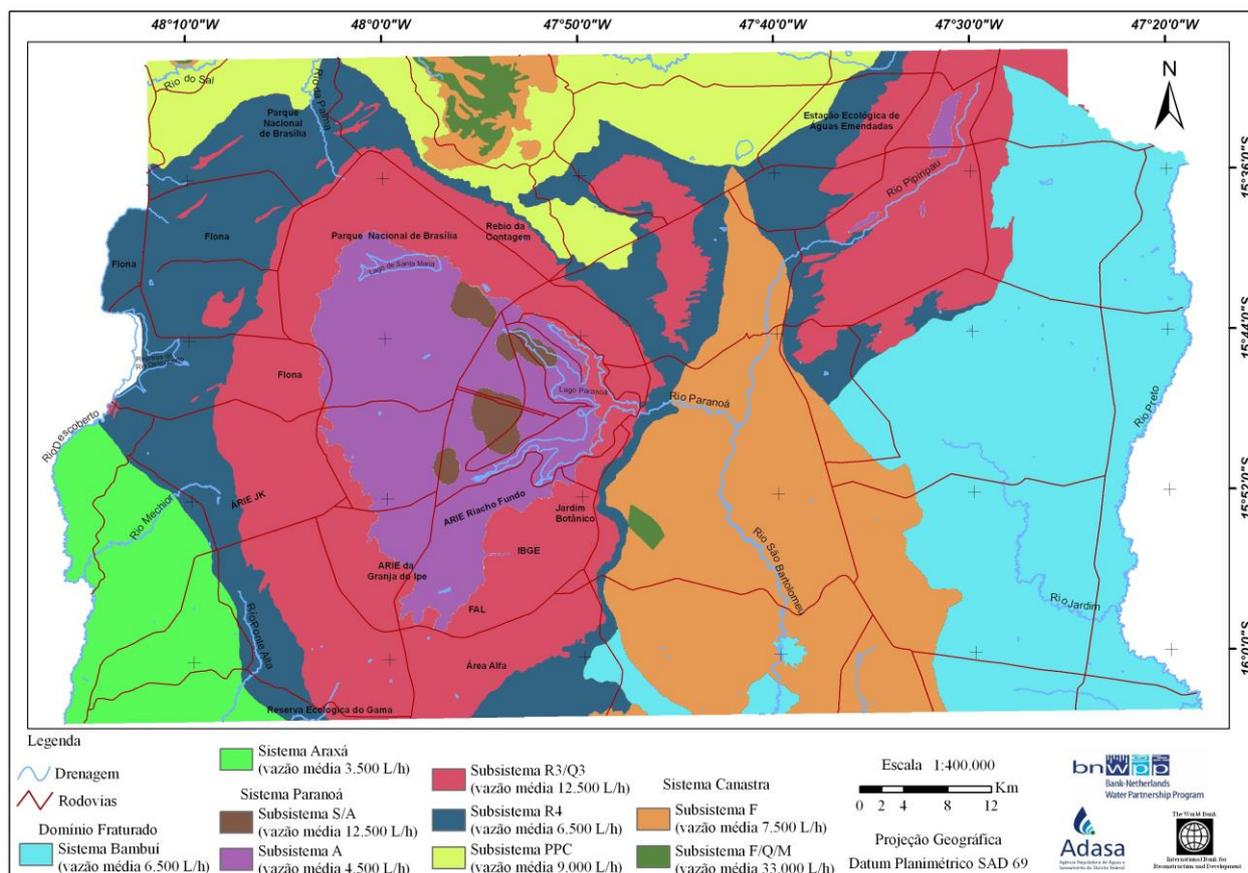
Os mapas geológicos, além de identificarem a litoestratigrafia e estruturas geológicas de determinada área, fornecem informações sobre as características dos aquíferos, sua distribuição, extensão lateral, áreas de recarga e exutório, camadas confinantes e bases impermeáveis.

Em estudos hidrogeológicos comumente se classificam as unidades geológicas de acordo com a importância das rochas nas formações aquíferas, em função das suas propriedades intrínsecas (porosidade e permeabilidade), condições de ocorrência (extensão, espessura e estrutura) e explotabilidade (fácil, regular ou difícil).

Dentre as propostas de compartimentação geológica existentes para o Distrito Federal (Faria 1995 e 1997, Campos & Freitas Silva 1998 e ADASA/PGIRH 2006), optou-se por trabalhar com a mais recente, que apresentou, na escala de 1:50.000, algumas correções e atualizações.

O mapa geológico das bacias hidrográficas do Distrito Federal (ADASA/PGIRH 2006) no formato *shapefile* (.shp), foi ainda modificado com novos dados de campo. Alguns litotipos no centro norte e no nordeste do mapa foram expandidos.

Ao mapa modificado, foram incorporados parâmetros hidrogeológicos do domínio fraturado. Utilizou-se a vazão média ( $\bar{Q}$ ) de cada unidade, as características hidrodinâmicas, densidade e interconectividade de fraturas, além de feições reológicas como parâmetros para a discriminação das fácies hidrogeológicas e composição do mapa hidrogeológico do domínio fraturado do Distrito Federal (Figura 3.4).



**Figura 3.4** - Mapa Hidrogeológico do Domínio Fraturado do Distrito Federal (adaptado de Campos & Freitas-Silva 1998 e ADASA/PGIRH 2006).

A vazão média ( $\bar{Q}$ ) das unidades hidrogeológicas do Distrito Federal foi estabelecida com base nos resultados de um banco de dados de cerca de 950 poços tubulares profundos. Os dados de vazão média ( $\bar{Q}$ ) são importantes, sobretudo para avaliar a distribuição espacial das características hidrodinâmicas das águas subterrâneas do domínio fraturado. Estes resultados estão disponíveis em formato analógico no Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (Freitas-Silva 1998).

### **Dados Pedológicos**

Os mapas de solos disponibilizam a localização das classes de solo ou de sua associação em função da escala de mapeamento. Esta informação é relevante nos estudos hidrogeológicos porque, ocasionalmente, os limites entre manchas de solos coincidem com contatos geológicos e cada classe de solo tem uma organização nas direções lateral e vertical, fundamentais à caracterização de aquíferos porosos e no controle dos processos de infiltração e recarga.

A capacidade de retenção, infiltração, transmissão e armazenamento de água, assim como a profundidade e a presença de camada de impedimento à drenagem, são critérios de suma importância para determinar as condições hidrodinâmicas dos solos.

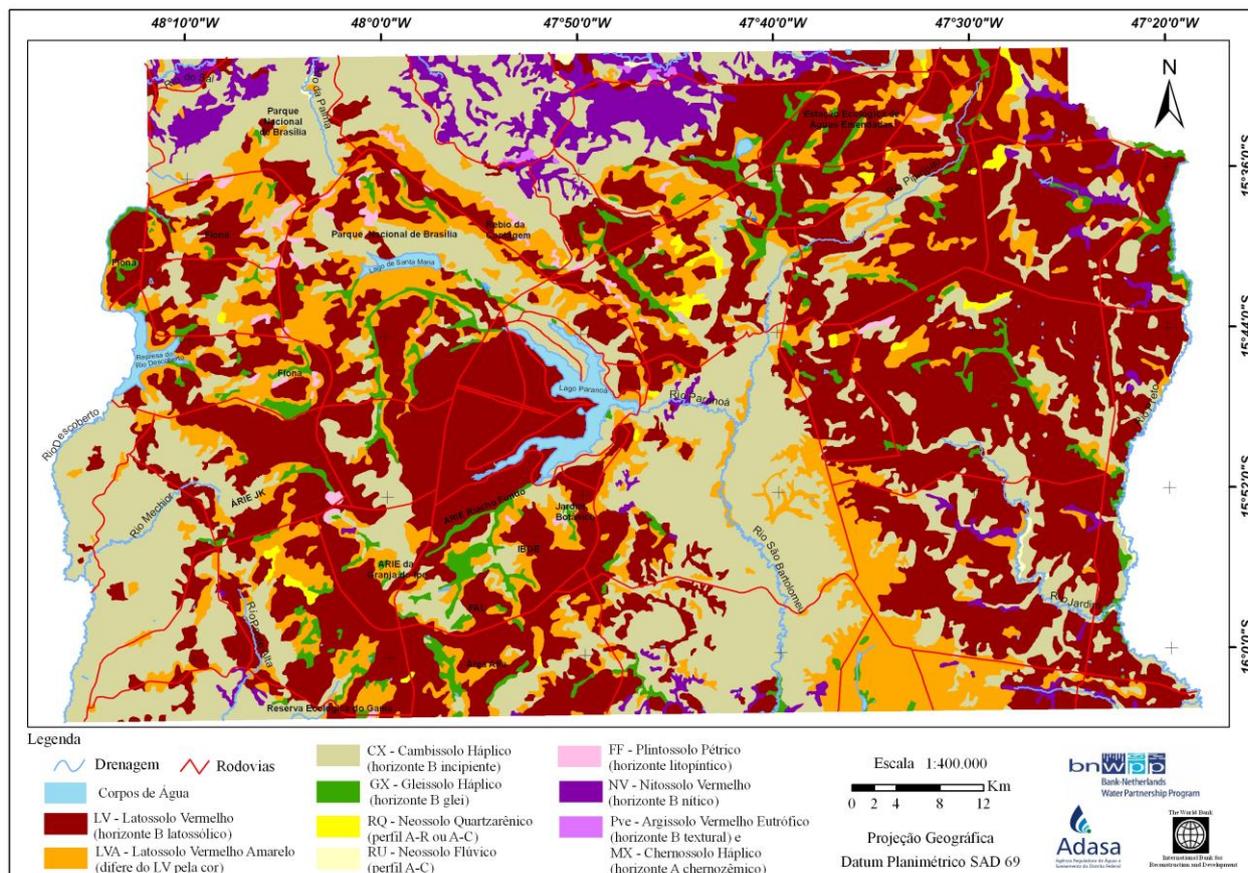
A caracterização de aquíferos do sistema poroso é normalmente determinada de acordo com os valores de condutividade hidráulica e transmissividade. Estes valores poderão ser obtidos, em campo, através de dois métodos de ensaios de infiltração *in situ*, a saber: método *open end hole* e dos anéis concêntricos.

A variação dos valores de condutividade hidráulica e transmissividade é função do tipo de solo e, principalmente, do teor de argila desses solos e estruturação dessas coberturas. Quanto mais argilosos, menores serão os valores esperados. As feições texturais dos solos também apresentam importância específica, visto que solos argilosos ou muito argilosos podem apresentar valores de condutividade hidráulica significativamente maiores no caso de apresentar forte estrutura granular.

O mapa de solos utilizado neste trabalho foi construído a partir dos levantamentos exploratórios de solos produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em 1978. Este mapa, denominado Mapa de Reconhecimento de Solos do Distrito Federal em escala 1:100.000 foi revisado e disponibilizado pela CODEPLAN/SEMATEC, em 1997, no formato digital (.shp).

A denominação dos tipos de solo foi convertida às novas especificações propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS da *Embrapa* (Santos *et al.* 2006) e os solos

das áreas urbanas, desconsiderados no mapa original, foram editados e incorporados ao mapa final com base nos estudos de campo e no fechamento de contatos das áreas externas *conforme mostra a Figura 3.5*.



**Figura 3.5** - Mapa de Solos do Distrito Federal (modificado de EMBRAPA 1978). Entre parênteses perfis ou horizontes diagnóstico.

### Dados de Uso e Cobertura da Terra

Os mapas de uso e cobertura da terra são imprescindíveis para o planejamento da ocupação do espaço, seja ele numa escala regional ou de maior detalhe. A elaboração desse tipo de mapa constitui-se em uma das principais etapas de projetos que visem não apenas caracterizar e acompanhar a evolução do meio ambiente, mas também compreender as mudanças que estão ocorrendo neste meio.

A espacialização dos tipos de uso e cobertura da terra é necessária aos estudos hidrogeológicos para avaliar as áreas potenciais de maior ou menor recarga. Dependendo do tipo de uso ou de cobertura, haverá variações da resposta à infiltração de água no solo.

Para cada tipo de cobertura avaliam-se os processos atuantes na dinâmica hídrica em decorrência do uso e da cobertura como fatores de interferência da infiltração natural. O efeito da vegetação consiste em minimizar processos erosivos decorrentes dos impactos das gotas de chuva no solo e aumentar a porosidade dos solos através da bioturbação pelo enraizamento.

Os mapas de uso e cobertura vegetal podem ser construídos a partir da interpretação de imagens de satélite ou fotografias aéreas. Com o auxílio de *softwares* especializados, tem-se a opção de classificar as imagens conforme o tipo de cobertura, o qual é passível de ser associada ao tipo de uso.

Até recentemente, as pesquisas sobre o uso da terra eram realizadas sem a utilização de um sistema classificatório de padrões de categorias com os quais as diferentes utilizações do solo pudessem ser aferidas. Da necessidade de padronizar a classificação dessas categorias, surgem trabalhos desenvolvidos por órgãos como a União Geográfica Internacional - UGI, o Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central - CODEPLAN e a Secretaria de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - SEMATEC. Os pesquisadores comprovaram a necessidade de sistematização dos elementos de identificação e diferenciação dos diversos tipos de uso.

Entretanto, desenvolver um sistema de classificação que seja referência para a organização e a hierarquização das informações de uso e cobertura da terra é uma tarefa complexa, vez que, fatores como as diferenças regionais e locais e até a própria tecnologia empregada podem interferir nos critérios de avaliação. No intuito de minimizar as mencionadas diferenças e subsidiar estudos sobre o uso e a cobertura da terra no Distrito Federal, Araújo-Filho (2005) propõe um sistema de classificação com base na interpretação de imagens de satélite.

De acordo com o referido autor, o mais importante num sistema de classificação é fornecer ao usuário em potencial, dados com maior riqueza de detalhes para que ele próprio consiga manipular as informações e organizá-las conforme os objetivos do seu mapeamento.

No presente trabalho, o mapa de uso e cobertura da terra foi confeccionado a partir de uma imagem obtida pelo sensor HRV (*High Resolution Visible*) de alta resolução, instalado a bordo do satélite SPOT 5 (*Système Probatoire d' Observation de la Terre*). As cenas utilizadas foram 709/381, 710/381 e 710/382, adquiridas em 29 de abril de 2003, no módulo *Standart 1A*. Cada cena possui 3 bandas espectrais (verde – 0,50 a 0,59  $\mu\text{m}$ , vermelho – 0,61 a 0,59  $\mu\text{m}$  e infravermelho próximo – 0,78 a 0,89  $\mu\text{m}$ ) com resolução radiométrica de 8 bits e espacial de 10 metros.

Apesar de serem imagens com quatro anos de defasagem, levou-se em consideração a sua qualidade, a possibilidade de atualização das informações por meio das observações de campo e o fato de ter havido grandes restrições, nos últimos cinco anos, dos processos de ocupação no Distrito Federal. Estas restrições à ocupação urbana foram impostas, principalmente, pelo poder público e movimentos populares contra a política expansiva do governo local.

As imagens citadas, foram pré-processadas pela SPOT IMAGE, as quais incluíram a correção radiométrica e geométrica (por efemérides - *datum* SAD 69, projeção UTM, zona 23S).

As referidas imagens foram mosaicadas e posteriormente classificadas. A classificação de imagens multiespectrais é o processo de associação dos *pixels* de um conjunto de bandas de uma imagem a um número limitado de classes individuais que representem os objetos do mundo real, com base na sua resposta espectral. A imagem classificada final é, em última análise, um mapa temático digital.

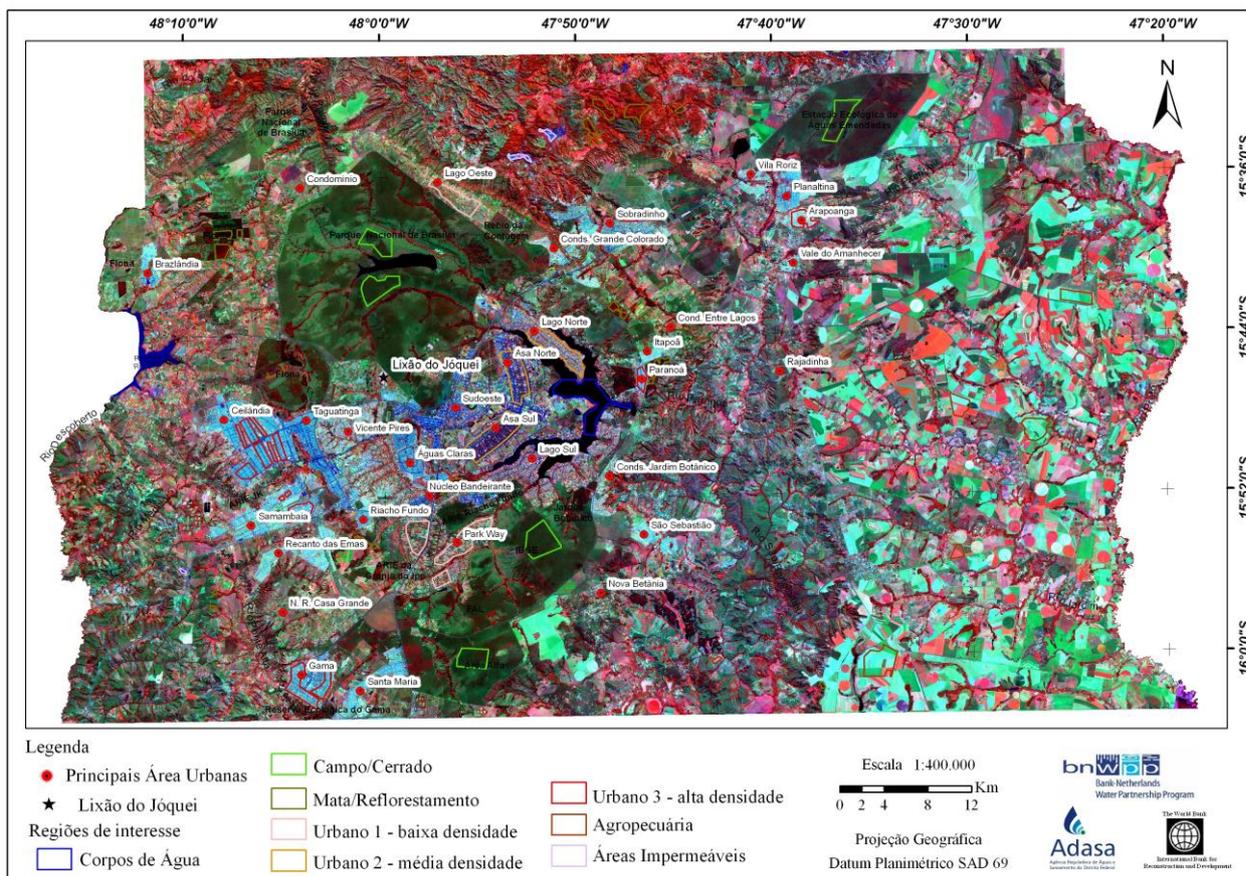
A referida imagem passou por processos de classificação supervisionada e pós-classificação. O princípio de classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos capazes de extrair as informações estatísticas de média variância de cada região para se determinar os pixels que representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. Além disso, o classificador deve orientar sua busca de classes a partir de amostras de treinamento (realidade terrestre) previamente selecionadas e representativas das classes de interesse da cena. Às classes definidas são associadas cores que representam as regiões de interesse.

Para escolher as amostras de treinamento elegeram-se as regiões de interesse (*region of interest* - ROIs) para cada classe, baseadas em informações de campo, a saber: água, campo/cerrado, mata/reflorestamento, áreas urbanas de alta, média e baixa densidade, agropecuária e áreas impermeáveis. Em seguida, procedeu-se à escolha do melhor algoritmo para classificação da imagem. Foram testados os seguintes métodos estatísticos: paralelepípedo, distância mínima, distância *mahalanobis* e *máxima verossimilhança*. O método da distância *mahalanobis* mostrou melhor resultado, vez que a resposta foi considerada superior àquelas obtidas por outros métodos. A imagem utilizada para tal procedimento, bem como as amostras de treinamento estão representadas na Figura 3.6.

Na tentativa de se obter um produto satisfatório, após a classificação automática da imagem, procedeu-se à edição das classes. Este processo de edição foi trabalhoso e demandou a interpretação das informações adquiridas em laboratório e no campo.

Uma segunda etapa de campo foi realizada para conferir e complementar a interpretação preliminar da imagem. Algumas modificações, adaptações e atualizações foram necessárias para que as unidades de uso da terra fossem melhor representadas.

O registro e a análise das observações envolveram a escolha das áreas de interesse e o agrupamento de classes conforme os objetivos propostos neste estudo.



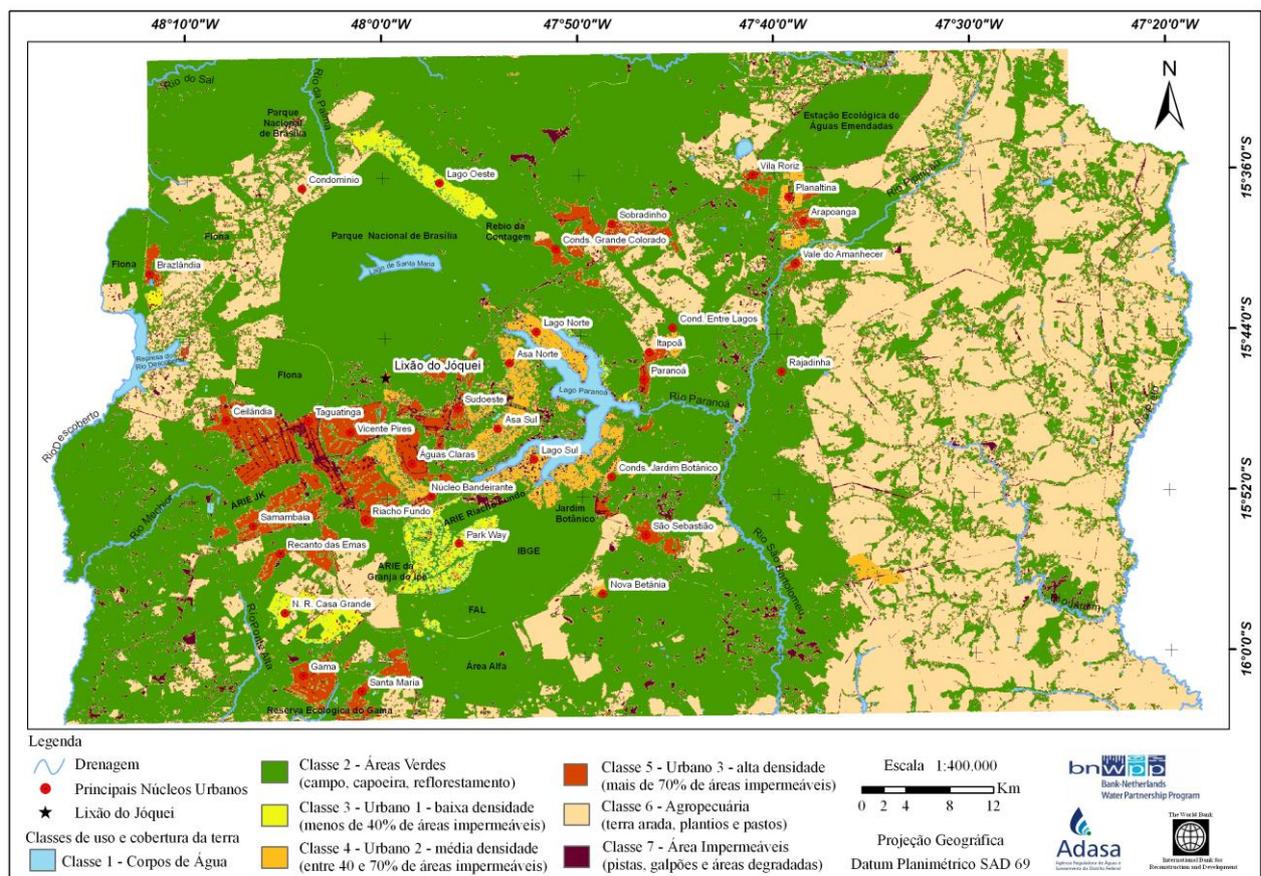
**Figura 3.6** - Imagem Spot 5, composição colorida R – infravermelho próximo (0,78 a 0,89  $\mu\text{m}$ ), G – vermelho (0,61 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) e B – verde (0,50 a 0,59  $\mu\text{m}$ ).

O sistema de classificação adotado levou em consideração o grau de impermeabilização das superfícies locais e, conseqüentemente, o controle dos processos de infiltração. A Tabela 3.1 mostra o resultado do agrupamento das classes de interesse e a Figura 3.7 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra reclassificado.

É importante salientar que o presente mapa de uso e cobertura vegetal foi confeccionado para atender aos objetivos deste trabalho e, portanto, não apresenta grande número de classes como os mapas de usos tradicionais.

Regiões de Interesse (ROIs)	Descrição
Classe 1	Corpos de água.
Classe 2	Cobertura vegetal natural (formações florestais, savânicas, campestres) e Reflorestamento.
Classe 3	Área urbana com alta densidade de ocupação.
Classe 4	Área urbana com média densidade de ocupação.
Classe 5	Área urbana com baixa densidade de ocupação.
Classe 6	Cobertura vegetal plantada – área agropastoril e área irrigada por pivô central.
Classe 7	Áreas impermeáveis (sistema viário pavimentado ou não, áreas de empréstimo, pedreiras, galpões, pista de pouso, solo exposto, áreas degradadas e alvos não identificados com alta reflectância).

**Tabela 3.1** - Sistema de Classificação do Uso e Cobertura da Terra do DF.



**Figura 3.7** – Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Distrito Federal (classificado a partir da imagem Spot 5 – 2003 e atualizado por meio de trabalho de campo).

## 3.2 PRODUTOS

### 3.2.1 Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (S)

Um dos objetivos deste estudo é obter os valores numéricos da capacidade de retenção máxima de água dos solos (**S**) para as condições de superfície da região do Distrito Federal no que diz respeito à potencialidade de infiltrar água. Um das formas de obter o valor **S** é a partir do método Curva-Número (*CN*).

O Curva-Número (*CN*) foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo - SCS; atualmente chamado de Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e é comumente usado para determinar a quantidade de chuva que infiltra no solo ou no aquífero e a quantidade de chuva que esco superficialmente numa determinada região (Zhan & Huang 2004).

O *CN* é um parâmetro adimensional e os valores encontram-se tabelados de acordo com a combinação do grupo hidrológico do solo com o tipo de cobertura e tratamento da terra, ambos associados a uma condição de umidade antecedente do solo.

A condição de umidade antecedente do solo foi usada como um parâmetro representativo da variabilidade natural de umidade. O SCS definiu três condições de umidade antecedente de solo, como mostra a Tabela 3.2.

<b>Condição I</b>	Situação em que os solos estão secos, mas não no ponto de murcha das plantas.
<b>Condição II</b>	Caso em que os solos se encontram nas condições que precederam a ocorrência de uma enchente máxima anual. A umidade do solo deve corresponder à capacidade de campo.
<b>Condição III</b>	Condição em que os solos se apresentam quase saturados, quando da ocorrência de precipitações consideráveis durante cinco dias anteriores.

**Tabela 3.2** - Condições antecedentes de umidade de solo. Fonte: McCuen (1989) in Sartori (2004).

Os valores do *CN* retratam as condições do solo, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior, valor = 0) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior, valor = 100).

O *CN* representa uma curva média de infiltração que separa a parte da precipitação que escoará superficialmente. O número de cada curva está relacionado com a capacidade de retenção máxima dos solos (**S**), dado pela equação 3.1.

$$S (mm) = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.1)$$

Fonte: Sartori 2004.

Segundo Ogrosky & Mockus (1964) *in* Sartori (2004), os solos podem ser classificados de acordo com suas propriedades hidrológicas, independentemente da cobertura e da declividade da bacia.

O SCS definiu quatro grupos hidrológicos de solo, conforme as taxas de infiltração ou condutividade hidráulica aparente de cada solo. Os grupos foram estabelecidos com base na premissa de que solos com características semelhantes responderão de forma semelhante a uma chuva de longa duração e intensidade apreciável.

Como os valores do *CN* são fundamentados nos tipos de solos em regiões de climas temperados e as características dos solos em regiões tropicais apresentam comportamentos diferentes dos critérios definidos pelo SCS (Serviço de Conservação do Solo dos EUA), foi necessário adaptar os grupos de solos à realidade do Distrito Federal.

Esta adaptação foi embasada na proposta de Lombardi-Neto (1989) para a classificação hidrológica de solos brasileiros. Outra adaptação feita foi com relação ao uso e cobertura da terra. Critérios específicos foram determinados para atender aos objetivos deste estudo.

A Tabela 3.3 apresenta a adaptação da classificação dos grupos hidrológicos de solos, desenvolvida por Lombardi-Neto *et al.* (1989) *in* Sartori (2005).

Baseando-se nas características físicas dos solos do Distrito Federal e nos valores de condutividade hidráulica desses solos, a Tabela 3.4 apresenta uma proposta para o enquadramento das classes gerais de solos registrados no Mapa de Reconhecimento de Solos do Distrito Federal em escala 1:100.000 (Embrapa 1978), com relação ao grupo hidrológico referente ao Curva-Número respectivo.

A Figura 3.8 mostra o mapa de solos classificados de acordo com os grupos hidrológicos para a região do Distrito Federal.

Vale lembrar que Lombardi-Neto considerou as mesmas condições antecedentes de umidade de solo proposta pelo SCS, a saber: Condição II (Tabela 3.2).

Para se obter o *CN* foi necessário, além de definir os grupos de solos da região, classificar a cobertura da terra de acordo com os interesses deste estudo e adaptar as condições de superfície para a realidade brasileira.

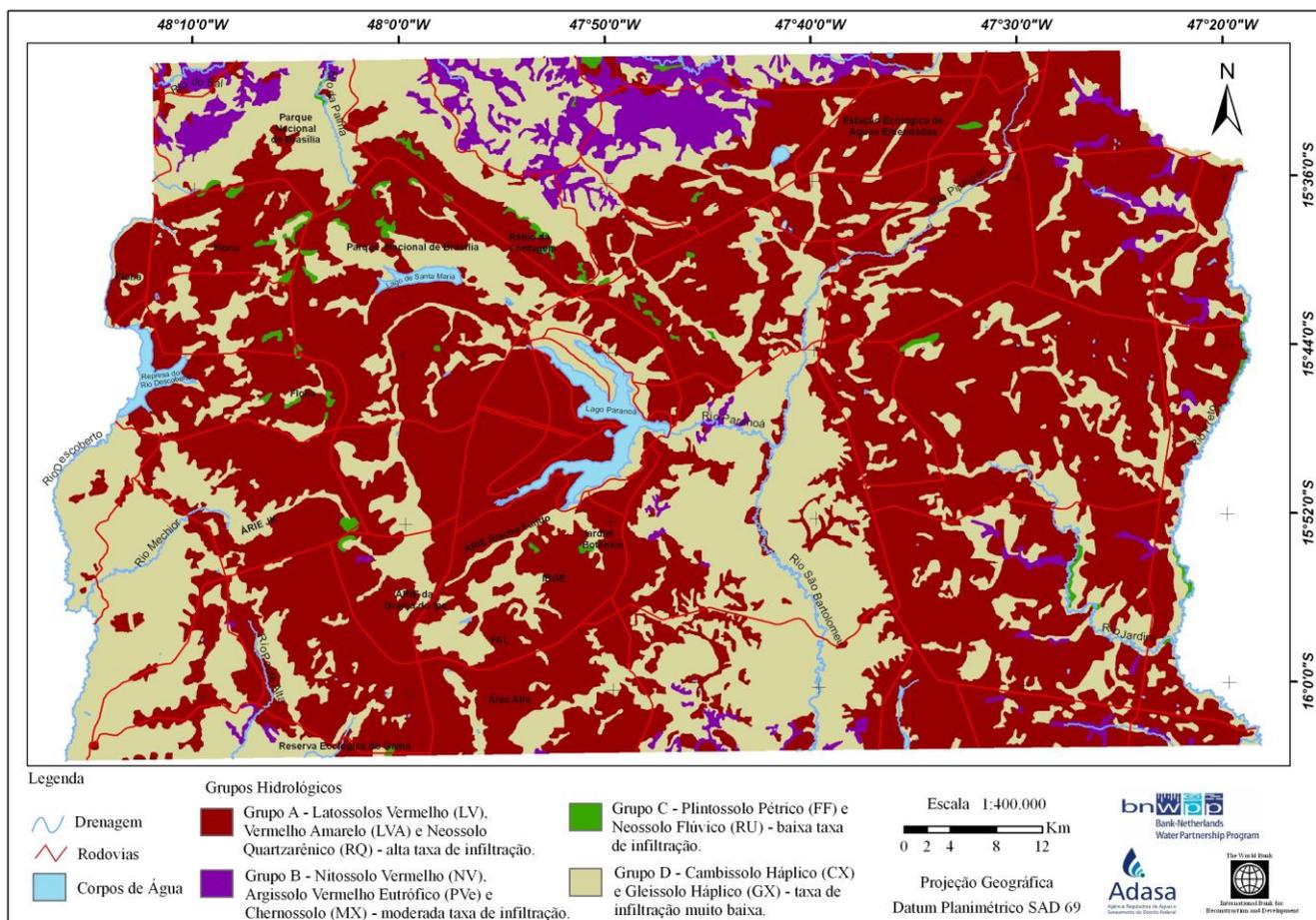
Os valores do *CN* foram determinados por analogia, através da média das condições hidrológicas de cada uso das tabelas do *CN* que apresentavam características semelhantes às condições de cobertura observadas no Distrito Federal.

A Tabela 3.5 apresenta uma proposta de adequação das classes de uso do Distrito Federal aos tipos de uso definidos nas tabelas do CN.

Associando as classes de uso aos grupos hidrológicos de solo, tem-se na Tabela 3.6, os valores do CN.

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Principais Características</b>
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solos muito profundos (prof. &gt; 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm). Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;</li> <li>▪ Solos porosos com baixo gradiente textural (&gt; 1,20). Solos de textura média;</li> <li>▪ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta microporosidade em todo o perfil;</li> <li>▪ Solos bem drenados ou excessivamente drenados;</li> <li>▪ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li> <li>▪ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa;</li> <li>▪ Condutividade Hidráulica comumente entre <math>10^{-5}</math> e <math>10^{-6}</math> m/s desde a superfície até 200 cm.</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solos profundos (100 a 200 cm). Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão;</li> <li>▪ Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;</li> <li>▪ Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média, mas com horizonte superficial arenoso;</li> <li>▪ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil;</li> <li>▪ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa;</li> <li>▪ Condutividade Hidráulica da ordem de <math>10^{-5}</math> a <math>10^{-6}</math> m/s com tendência de diminuição em maiores profundidades.</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100);</li> <li>▪ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;</li> <li>▪ Solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;</li> <li>▪ Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);</li> <li>▪ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial variável;</li> <li>▪ Condutividade Hidráulica variável, com tendência de diminuição rápida a partir de pequenas profundidades do perfil.</li> </ul>
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solos com taxa de infiltração muito baixa com pouquíssima resistência e tolerância à erosão. Solos rasos (prof. &lt; 50cm);</li> <li>▪ Solos pouco profundos associados a mudança textural abrupta aliada à presença de saprolitos a partir de 50 cm do perfil;</li> <li>▪ Solos orgânicos;</li> <li>▪ Condutividade Hidráulica <math>10^{-6}</math> m/s em superfície caindo rapidamente para a ordem de grandeza de <math>10^{-7}</math> a <math>10^{-8}</math> m/s em profundidade de 100 cm.</li> </ul>

**Tabela 3.3** - Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras. Fonte: Adaptado de Lombardi Neto (1989) *in* Sartori (2005).



**Figura 3.8** – Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos do Distrito Federal (adaptado do CN).

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Classes de Solo do Distrito Federal</b>
<b>A</b>	Latossolos Vermelho (LV) e Vermelho Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ).
<b>B</b>	Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe) e Chernossolo (MX).
<b>C</b>	Plintossolo Pétrico (FF), Neossolo Flúvico (RU).
<b>D</b>	Gleissolo Háptico (GX), Cambissolo Háptico (CX).

**Tabela 3.4** - Enquadramento das classes de solo do Distrito Federal nos grupos hidrológicos propostos por Lombardi-Neto (1989).

<b>Utilização ou Cobertura da Terra</b>	<b>Condições de Superfície</b>
<b>Classe 1</b>	Corpos de água.
<b>Classe 2</b>	Campo, capoeira, reflorestamento – combinação de gramas e pomares ou árvores, fazendas e chácaras.
<b>Classe 3</b>	Áreas urbanas com menos de 40% de áreas impermeáveis.
<b>Classe 4</b>	Áreas urbanas entre 40 e 70% de áreas impermeáveis.
<b>Classe 5</b>	Áreas urbanas com mais de 70% de áreas impermeáveis.
<b>Classe 6</b>	Terra arada, plantios em linha, pequenos grãos ou cereais, sementeira densa de leguminosas ou dos pastos em rodízio, campos ou pastos.
<b>Classe 7</b>	Áreas impermeáveis.

**Tabela 3.5** - Proposta de adequação das classes de uso e cobertura da terra do Distrito Federal aos tipos de uso e cobertura definidos pelo CN.

Para determinar a capacidade de retenção máxima de água dos solos (**S**) é necessário aplicar a equação 3.1 aos valores do CN.

<b>Classes de Uso</b>	<b>CN para os grupos hidrológicos dos solos</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Classe 1</b>	0	0	0	0
<b>Classe 2</b>	40	61	74	80
<b>Classe 3</b>	46	65	77	82
<b>Classe 4</b>	68	79	86	89
<b>Classe 5</b>	89	92	94	95
<b>Classe 6</b>	63	74	81	85
<b>Classe 7</b>	98	98	98	98

**Tabela 3.6** - Composição do CN pelo método de Lombardi-Neto (1989) e Sartori (2005).

A Tabela 3.7 apresenta os valores encontrados e mostra que o valor **S** varia de uma condição péssima de saturação ( $S = 5$ ), revelando uma superfície praticamente impermeável, a uma condição ótima ( $S = 318$ ), resultante de uma superfície preservada ou sem usos significativos.

Classes de Uso	Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (mm)			
	A	B	C	D
Classe 1	0	0	0	0
Classe 2	381	162,393	89,2432	63,5
Classe 3	298,174	136,769	75,8701	55,7561
Classe 4	119,529	67,519	41,3488	31,3933
Classe 5	31,3933	22,087	16,2128	13,3684
Classe 6	149,175	89,2432	59,5802	44,8235
Classe 7	5,18367	5,18367	5,18367	5,18367

**Tabela 3.7** - Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (S).

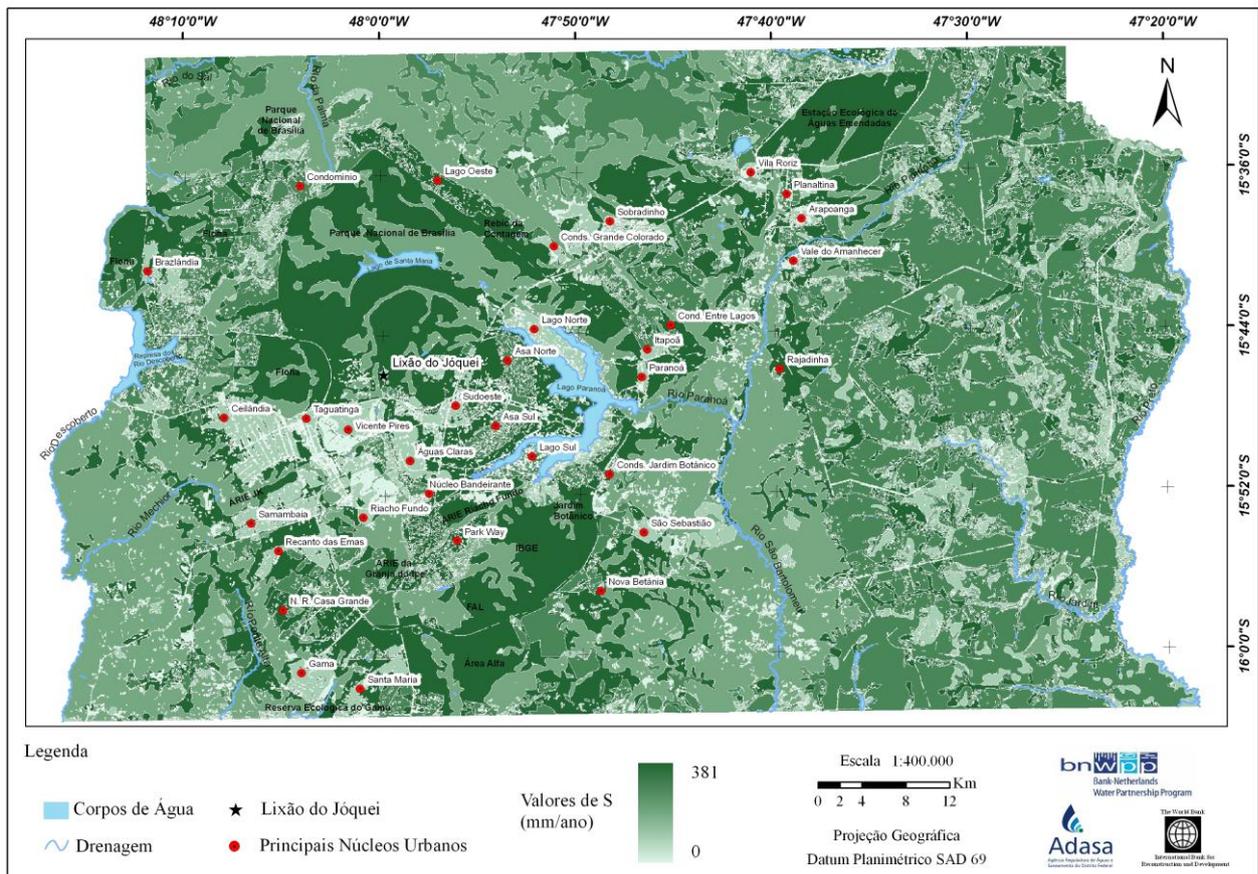
No mapa de capacidade de retenção máxima de água dos solos (Figura 3.9), pode ser observada a interferência do uso e da cobertura vegetal na taxa de infiltração natural de água nos solos. Sabe-se que os solos do tipo **A** apresentam as melhores condições de infiltração. Entretanto, o Distrito Federal possui um histórico de ocupação em que a retirada da cobertura vegetal, a intensidade e a forma desordenada de uso da terra, principalmente na periferia dos centros urbanos, proporcionam a impermeabilização das superfícies, restringindo as áreas com maior potencial de infiltração.

A informação óbvia de que quanto maior a taxa de impermeabilização menor a infiltração, pode ser quantificada no presente estudo.

Os valores de **S** são discrepantes, sobretudo nas áreas urbanas. Em cidades como Santa Maria, Gama, Recanto das Emas, Samambaia, Taguatinga e Ceilândia, mesmo estando inseridas no grupo A de solos, apresentam taxas de infiltração baixas, correspondentes a cerca de 10% da altura pluvial.

No Plano Piloto, embora haja considerável densidade de ocupação, os valores de **S** são altos em função do percentual de áreas verdes, fato este que confirma as observações de campo.

A influência que os solos exercem nesse processo pode ser avaliada a partir da analogia entre os resultados para as regiões dos bairros Lago Sul e Lago Norte. Apesar de essas áreas apresentarem baixos índices gerais de impermeabilização, há um considerável contraste materializado pela predominância de solos da classe **A** e **D** nas áreas do Lago Sul e do Lago Norte, respectivamente. Esse fato resulta em maiores valores de saturação potencial no Lago Sul em relação ao Lago Norte.



**Figura 3.9** - Mapa de Capacidade de Retenção Máxima de Água dos Solos (S).

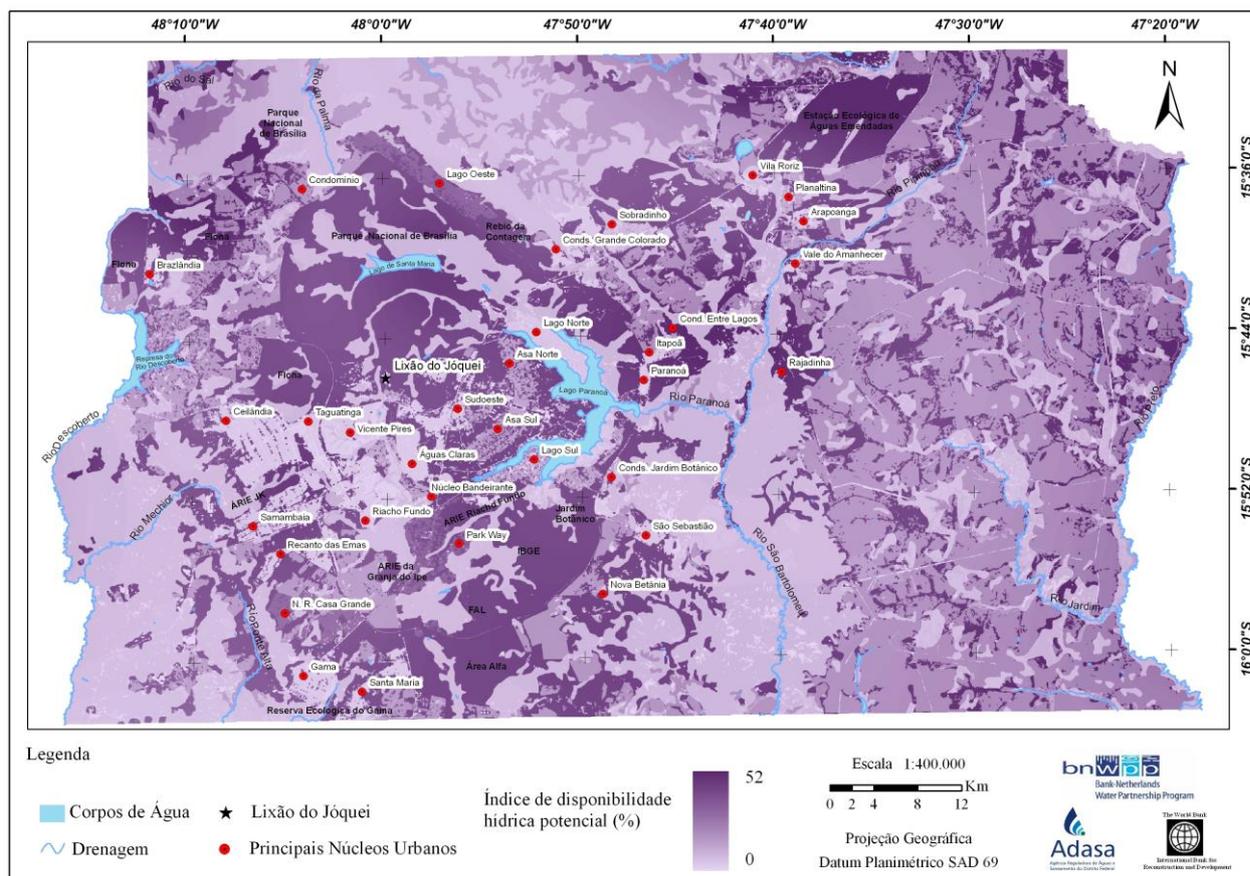
Observa-se, também, que locais onde predominam solos do grupo **D**, como os cambissolos, mesmo estando sob as maiores faixas de cobertura vegetal natural do Distrito Federal, apresentam baixos valores de S, conforme mostra a Tabela 3.6.

Relativamente às áreas ocupadas por práticas agropecuárias, associadas aos solos do grupo **A**, em sua maioria na porção leste do DF, percebe-se uma resposta semelhante às áreas de vegetação nativa compostas por campos sujos e limpos. Cerca de 80% dessas áreas encontra-se com aproximadamente 40% de capacidade de saturação do solo.

Da análise integrada, depreende-se que os principais controles que determinam a disponibilidade hídrica subterrânea potencial são as classes hidrológicas dos solos e o tipo de uso e cobertura da bacia.

### 3.2.2 Disponibilidade Hídrica

O mapa de capacidade de retenção máxima de água dos solos, integrado ao mapa de isoietas, resultou no índice de disponibilidade hídrica potencial da área (Figura 3.10). Esse resultado representa uma estimativa do percentual das chuvas que potencialmente pode infiltrar em cada ponto em um longo período de tempo, de forma que se possa considerar as médias das alturas pluviométricas como fator controlador dos processos de disponibilização de águas para os aquíferos.



**Figura 3.10** - Mapa de Disponibilidade Hídrica Potencial do Distrito Federal.

A partir dessa análise, considera-se apenas a altura pluvial média em intervalos de tempo não inferiores a cinco anos, pois não se pode avaliar as variações sazonais em curtos intervalos de tempo, como, por exemplo, eventos de chuvas anômalas em meses que na média ocorrem reduzidos totais pluviométricos.

Entretanto, cabe repetir que a carência de dados em alguns locais (bacias dos rios Preto e Maranhão) fez com que o método de interpolação utilizado subestimasse as médias mínimas de altura pluvial nos locais mencionados. Mesmo assim, optou-se, inicialmente, por utilizar o mapa de isoietas gerado, pelo fato dessas médias recobrirem apenas pequenas áreas no extremo norte e leste do DF e, posteriormente, como o objetivo final é gerar índices de disponibilidade hídrica, na ausência de dados, recomenda-se que tais índices sejam subestimados.

Na operação de cruzamento desses PIs (“S” e isoietas), as classes de S foram divididas pelo mapa de isoietas não classificado (valor real contínuo). Dessa forma, obteve-se um índice que varia de 0 a 50%. Isso significa que, em condições ideais de chuva e de capacidade de saturação dos solos, conclui-se que, no máximo, 50% da precipitação naquele determinado ponto pode ser a disponibilidade hídrica potencial. Por outro lado, em casos extremos, certos locais representam condições de recarga nula.

Considerando as médias mensais geradas pela interpolação dos dados das estações pluviométricas utilizadas no presente trabalho, a distribuição da chuva no Distrito Federal varia de 706 a 1.890 milímetros. Além da forte sazonalidade, o período chuvoso concentra 95% da precipitação total e a região apresenta características peculiares, como a freqüente ocorrência de chuvas isoladas. Alguns estudos realizados no DF (Baptista 1997 e 1998) mostram que estas características estão relacionadas a controles orográficos, acarretando variações na disponibilidade hídrica de pequenas áreas da região.

Os maiores índices pluviométricos encontram-se no extremo norte e sudoeste do DF e os menores, na porção leste. Entretanto, constata-se que nos locais onde predominam baixos valores de saturação de água no solo, o percentual de disponibilidade hídrica também é menor, independentemente da distribuição das chuvas. Neste caso, vale mencionar a influência de áreas muito impermeabilizadas, como na cidade de Santa Maria. Apesar de essa cidade estar inserida entre isoietas que variam de 1500 a 1700 mm, processos erosivos lineares se intensificam no seu entorno em consequência do incremento do fluxo superficial (*runoff*), provocada pela impossibilidade de absorção de água pelos solos.

Situação oposta à mencionada anteriormente é observada no nordeste do DF, particularmente na unidade de conservação de Águas Emendadas. Embora não seja o local onde as isoietas registram os maiores valores, altos índices de disponibilidade hídrica são encontrados. Este fato se justifica pela capacidade de saturação dos solos, ou seja, trata-se de uma região de solos espessos e vegetação preservada.

Baixos valores também são encontrados onde predominam solos rasos, mesmo com cobertura vegetal nativa ou pouco alterada e pequenas taxas de impermeabilização. No vale do rio São Bartolomeu, por exemplo, o índice de disponibilidade hídrica varia de 3 a 5%. Esses valores são coerentes com os resultados de Souza (2001) que aplicou metodologias distintas.

### **3.2.3 Potencial de Recarga**

O mapa de potencial de recarga do Distrito Federal foi gerado a partir da integração do mapa de disponibilidade hídrica (DH) e da taxa de infiltração em função da declividade ( $T_{decl}$ ), por meio da seguinte operação matemática:

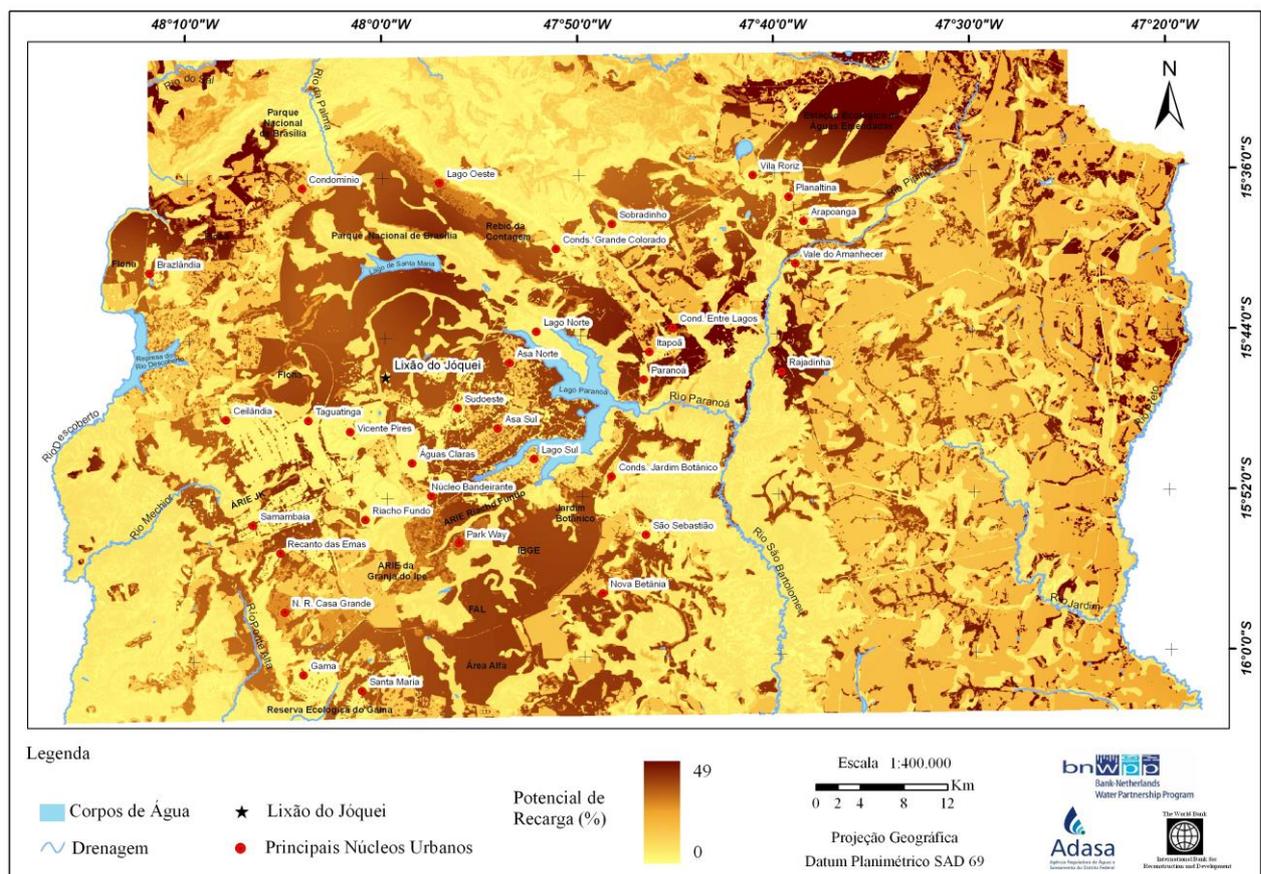
$$PR = \frac{(DH \times T_{decl})}{100} \quad (3.2)$$

onde, PR = potencial de recarga; DH = disponibilidade hídrica;  $T_{decl}$  = taxa de infiltração em função da declividade.

Os valores variam de 0 a 50%, aproximadamente.

A declividade funciona como um controlador da disponibilidade hídrica, na medida em que o potencial de recarga diminui com o aumento do grau de dissecação do relevo. Sendo assim, torna-se possível afirmar que as melhores zonas de recarga encontram-se em áreas com baixo grau de inclinação das superfícies. Entretanto, na medida em que as superfícies são impermeabilizadas, regiões potencialmente favoráveis à recarga deixam de exercer adequadamente esta função.

No mapa de potencial de recarga do Distrito Federal (Figura 3.11), percebe-se maiores taxas de infiltração nas regiões onde predominam declividades que variam de 0 a 8%.



**Figura 3.11** – Potencial de Recarga do Distrito Federal.

A estas áreas, também estão relacionados os solos profundos do grupo A. Nota-se, contudo, restrições à recarga decorrentes do tipo de uso, como é o caso de áreas de condomínios horizontais de alta densidade de ocupação (por exemplo, Condomínio San Diego, Condomínio

Jardim Botânico e outros), sobretudo em regiões planas e elevadas em bordas de chapadas. As áreas mais altas também favorecem a recarga, uma vez que apresentam maior gradiente e, em geral, maior carga hidráulica, facilitando as condições de infiltração e a transferência de águas de precipitação para áreas mais profundas dos aquíferos.

Nos perímetros urbanos com taxas de impermeabilização maiores que 70%, o potencial de recarga varia de 1 a 4%. Estes percentuais podem ser observados na Vila Roriz, condomínio de baixa renda, e nas cidades de Sobradinho, São Sebastião, Paranoá, Santa Maria, Gama e outras.

É ainda relevante considerar a expressiva influência dos solos rasos, de textura grossa, como os cambissolos, comumente associados a regiões de vales dissecados, que, mesmo sob condições de vegetação preservada, resultam em áreas de baixo potencial de recarga. Esse exemplo mostra que considerar a declividade é fundamental nas análises da disponibilidade hídrica subterrânea de determinada bacia hidrogeológica.

O potencial de recarga da área em estudo, associado à vazão média ( $\bar{Q}$ ) de cada unidade hidrogeológica, resultou, especialmente, no potencial de disponibilidade hídrica subterrânea, o qual pode ser expresso pelo grau de favorabilidade à exploração de água subterrânea no Distrito Federal.

#### **3.2.4 Favorabilidade à Exploração**

Os valores resultantes da integração do potencial de recarga com a vazão média do meio fraturado, embora tenham relações hierárquicas, ou seja, quanto menor o valor, menor o grau de favorabilidade, não representam uma escala numérica absoluta. São dados nominais sem qualquer relação real com os resultados, inclusive não apresentam escalas ou unidades baseadas em elementos naturais.

Sendo assim, o mapa de favorabilidade foi reclassificado por critério subjetivo, considerando as características do meio físico, o tipo de uso e cobertura vegetal, além das experiências e dos conhecimentos específicos da pesquisadora da área em questão. A Tabela 3.8 apresenta as classes de favorabilidade à exploração e suas principais características.

Na Figura 3.12 é possível observar que as regiões mais favoráveis encontram-se em chapadas elevadas com vegetação preservada e sobre os sistemas aquíferos **Q3/R3**. Este fato já era esperado, tendo em vista o baixo grau de impermeabilização e as características hidrodinâmicas do referido subsistema aquífero.

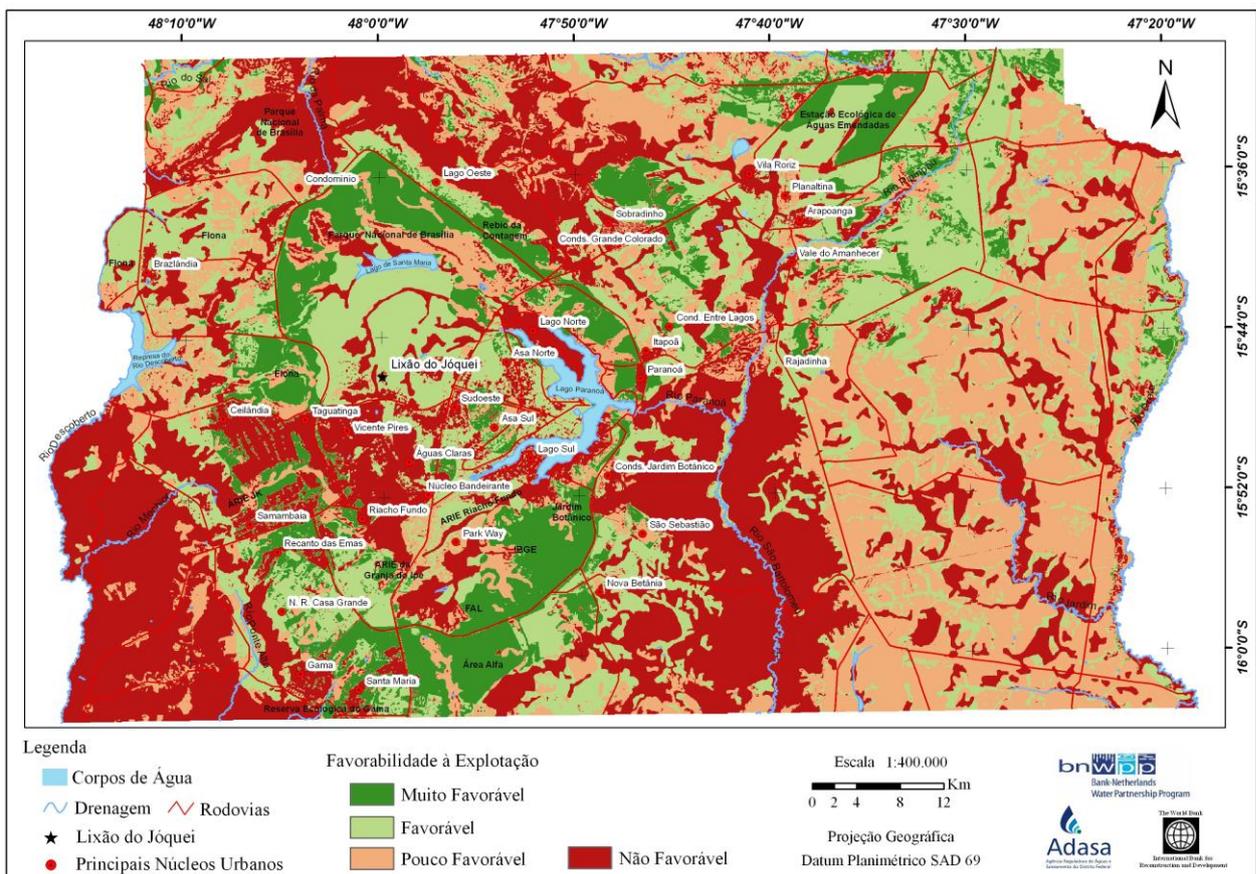
<b>Favorabilidade à Exploração</b>	<b>Principais Características</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual</b>
<b>Muito Favorável</b>	Solos espessos (K variando entre 10 <sup>-5</sup> e 10 <sup>-6</sup> m/s); declividade baixa (0 - 8%); vegetação preservada, sem áreas urbanas e vazão média elevada (> 12.000L/h).	623,5	11%
<b>Favorável</b>	Solos espessos (K variando entre 10 <sup>-5</sup> e 10 <sup>-6</sup> m/s); declividade baixa (0 - 8%); vegetação preservada, áreas urbanas com menos 40% de áreas impermeabilizadas e vazão variando entre 4.500 e 12.000 L/h.	1.435,4	25%
<b>Pouco Favorável</b>	Solos espessos ou rasos (K variando entre 10 <sup>-5</sup> e 10 <sup>-6</sup> m/s); declividade variável (3 - 15%); áreas urbanas variando entre 40 e 70% de áreas impermeáveis ou vegetação preservada e vazão variando entre 3.500 e 9.000 L/h.	1.361,2	25%
<b>Não Favorável</b>	Solos espessos ou rasos (K variando entre 10 <sup>-5</sup> e 10 <sup>-7</sup> m/s); declividade variável (0 - 70%); áreas urbanas com mais de 70% de áreas impermeabilizadas ou vegetação nativa em terrenos com alta declividade e vazão média entre 3.500 e 6.500 L/h.	2.318,5	40%

**Tabela 3.8** - As classes de favorabilidade à exploração de água subterrânea e suas principais características.

As áreas densamente urbanizadas ou localizadas em regiões de vales dissecados apresentaram os menores índices, mesmo associadas a aquíferos de alta vazão. Exemplos dessas ocorrências são observados no extremo norte do Distrito Federal, onde predominam os aquíferos mais produtivos da região. Entretanto, devido à intensa movimentação do relevo, são pouco favoráveis à exploração. Em outros casos, as áreas densamente impermeabilizadas limitam os processos de recarga. Apesar de estarem sobre solos espessos, em regiões de baixa declividade, as cidades de Taguatinga, Ceilândia e Recanto das Emas possuem baixo grau de favorabilidade em função do alto percentual de áreas impermeabilizadas.

Na porção leste do Distrito Federal, onde predominam baixos índices de impermeabilização e declividade, o grau de favorabilidade é moderado devido, principalmente, às características intrínsecas dos sistemas aquíferos da região.

Assim, pode-se afirmar que a favorabilidade à exploração dos aquíferos no Distrito Federal decorre da integração dos seguintes fatores: tipo de solo, tipo de aquífero fraturado local, declividade da superfície, tipo de uso e cobertura vegetal e variação da altura pluviométrica média.



**Figura 3.12** - Mapa de Favorabilidade à Exploração de Água Subterrânea do Distrito Federal.

### 3.2.5 Risco a Contaminação das Águas Profundas

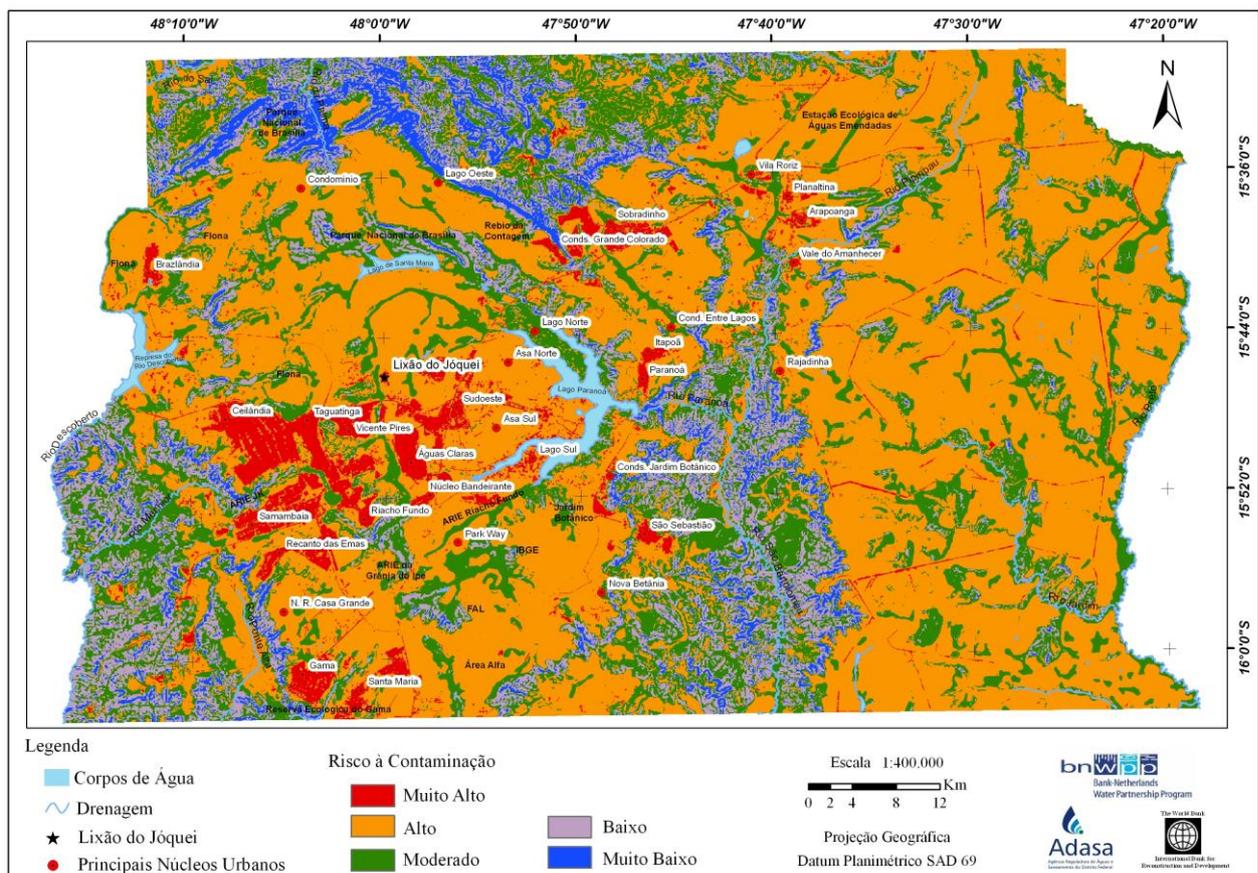
O mapa de risco a contaminação de águas profundas do Distrito Federal foi confeccionado por meio da integração das classes de uso e cobertura vegetal da terra, dos grupos hidrológicos de solos e da declividade. Conforme mostra a Tabela 3.9, a cada um dos PIs mencionados, foram atribuídos pesos de 1 a 10 de acordo com o grau de susceptível desses parâmetros às cargas contaminantes. O produto final foi reclassificado, por critério subjetivo, em cinco classes de risco, a saber: Risco Muito Alto, Risco Alto, Risco Moderado, Risco Baixo e Risco Muito Baixo.

No Mapa de Risco a Contaminação das Águas Profundas do Distrito Federal (Figura 3.13), observa-se a influência das áreas densamente urbanizadas. Nessas regiões, a compactação dos solos e a pavimentação elevaram significativamente o risco. Por outro lado, a maioria dessas áreas encontra-se sobre solos profundos em regiões mais planas, onde é grande a espessura da zona vadosa.

O risco a contaminação é menor em regiões de relevo mais movimentado pelo fato do fluxo superficial favorecer a transferência das cargas contaminantes para outras áreas.

Parâmetro	Classe	Peso
Solo	Água	0
	A / Latossolos Vermelho (LV) e Vermelho Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ)	8
	B / Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe) e Chernossolo (MX)	7
	C / Plintossolo Pétrico (FF), Neossolo Flúvico (RU)	3
	D / Gleissolo Háptico (GX), Cambissolo Háptico (CX)	2
Uso e Cobertura Vegetal	Classe 1 / Água	0
	Classe 2 / Áreas Verdes	1
	Classe 3 / menos de 40% de áreas impermeáveis	2
	Classe 4 / 40 a 70% de áreas impermeáveis mais de 70% de áreas impermeáveis	5
	Classe 5 / mais de 70% de áreas impermeáveis	8
	Classe 6 / Áreas agricultadas	4
	Classe 7 / Áreas impermeáveis	9
Declividade	< 8%	9
	8 - 15%	6
	15 - 30%	4
	> 30%	1
	> 30%	1

**Tabela 3.9** – Os parâmetros utilizados para confecção do mapa de risco a contaminação e seus respectivos pesos.



**Figura 3.13** - Mapa de Risco a Contaminação de Águas Profundas do Distrito Federal.

### 3.2.6 Apoio à Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal

O mapa de apoio à outorga foi construído a partir dos cruzamentos realizados anteriormente, que culminaram na confecção do mapa de favorabilidade à exploração, e das observações de campo.

Desse modo, foi possível propor cinco classes de outorga, considerando como critérios técnicos, o grau de favorabilidade à exploração e o percentual da vazão de ensaio de bombeamento. A referida vazão deve ser estabelecida com base no bombeamento de 24 horas, para a vazão estabilizada ao final do teste. A escolha deste critério considerou a importância do entendimento da evolução dos níveis estático e dinâmico para a sustentabilidade do aquífero. Assim, deve-se avaliar a profundidade do nível dinâmico e, quando este for muito profundo, reduzir a vazão de outorga.

Na presente proposta, as classes de outorga são representadas por números romanos, de I a V, e discriminadas por cores no mapa ou no SIG final. Os critérios adotados para a definição dos percentuais da vazão passível de outorga tiveram como base as potencialidades hídricas de cada aquífero e o grau de impermeabilização da superfície.

A Tabela 3.10 mostra as classes de outorga e os critérios de vazão a serem adotados.

<b>Classes de Outorga</b>	<b>Favorabilidade</b>	<b>Vazão Outorgável</b>
<b>Classe I</b>	Muito Favorável	90% da vazão de ensaio
<b>Classe II</b>	Favorável	80% da vazão de ensaio
<b>Classe III</b>	Pouco Favorável	60% da vazão de ensaio
<b>Classe IV</b>	Não Favorável	50% da vazão de ensaio
<b>Classe V</b>	Indefinida	A respectiva da classe de favorabilidade equivalente

**Tabela 3.10** - Classes de outorga e critérios da vazão nominal a serem considerados.

Regiões consideradas muito favoráveis possuem as melhores condições de circulação e armazenamento de água subterrânea. Portanto, a outorga de 90% da vazão nominal dos poços tubulares profundos situados nesses aquíferos não deverá comprometer o funcionamento dos sistemas, desde que mantidas as mesmas características de uso e cobertura vegetal. Exemplos desse tipo de situação podem ser observados nas regiões mais altas e planas do Lago Sul e do Setor de Mansões do Lago Norte e nas unidades de conservação do DF, como, por exemplo, a Estação Ecológica de Águas Emendadas e a Reserva Ecológica do IBGE.

Regiões enquadradas na classe de explotabilidade favorável, embora os aquíferos não apresentem produtividade muito alta como na situação anterior, a taxa de impermeabilização é baixa, podendo ser outorgado até 80% da vazão nominal. Este é o caso das seguintes regiões: Chapada de Brasília, Plano Piloto, parte da poligonal do Setor Habitacional Vicente Pires e sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau.

Nos locais pouco favoráveis, o tipo de solo, as características intrínsecas dos aquíferos e a taxa de impermeabilização limitam o percentual da vazão a ser outorgada. Áreas onde os aquíferos são restritivos situam-se em toda porção leste do DF. Os solos se constituem em fator limitante no Setor de Mansões do Lago Norte e nas regiões de domínio dos cambissolos, no Lago Sul e no Setor de Mansões Park Way. A densidade urbana é mais intensamente observada na região de Sobradinho e nos condomínios residenciais do Grande Colorado.

Em situação mais extrema, encontram-se os locais com alta taxa de impermeabilização dos solos, onde apenas 50% da vazão de teste poderá ser outorgada. Nessas circunstâncias, podem ser consideradas, dentre outras, as cidades de Ceilândia, Taguatinga, Guará, Gama, Santa Maria, Sobradinho II. Em condições de exploração desfavorável também estão as áreas localizadas em regiões onde prevalecem os cambissolos, como, por exemplo, o vale do rio São Bartolomeu, parte da região da APA de Cafuringa e o extremo sudoeste do DF.

As Unidades de Conservação e outras áreas de usos restritos da região foram enquadradas numa classe especial (classe V) onde a favorabilidade é indefinida, visto que, os poços a serem outorgados devem ser destinados apenas a pesquisas ou abastecimentos de baixa demanda.

As vazões outorgáveis foram assim definidas com o intuito de se preservar, ao máximo possível, a dinâmica e a sustentabilidade dos sistemas aquíferos da região. Essa premissa deve ser considerada sempre que os processos de outorga estejam em fases iniciais de implantação. Se o monitoramento futuro mostrar que não ocorre prejuízo aos aquíferos e que os sistemas de abastecimento são sustentáveis, pode-se elevar as vazões outorgadas.

Impermeabilização, exploração e contaminação podem ser consideradas o trinômio norteador da outorga de recursos hídricos subterrâneos, vez que, tais parâmetros são representativos das características de circulação, renovação e proteção das águas subterrâneas, os quais definem a sustentabilidade dos aquíferos.

A impermeabilização, mesmo sendo superficial, afeta os processos de recarga, tendo em vista que a renovação dos aquíferos tem início no processo de infiltração na superfície. A exploração ou sobreexploração pode exaurir os sistemas aquíferos, tornando-os insustentáveis. Em razão da dificuldade de monitorar os níveis estáticos para quantificar a exploração, as áreas sob pressão foram identificadas, neste estudo, qualitativamente, a partir das observações de campo das zonas urbanas exclusivamente abastecidas por poços.

As fontes de contaminação, em sua maioria, são provenientes do saneamento *in situ*, mas, também, podem se oriundas de cemitérios mal locados e indevidamente operados, agrotóxicos em regiões agrícolas ou produtos químicos provenientes de setores industriais, etc.

Com base nas observações de campo, três subclasses de outorga foram definidas a partir das restrições impostas não só pelo tipo de uso antrópico, mas, também, pela pressão de exploração e pelo risco de contaminação.

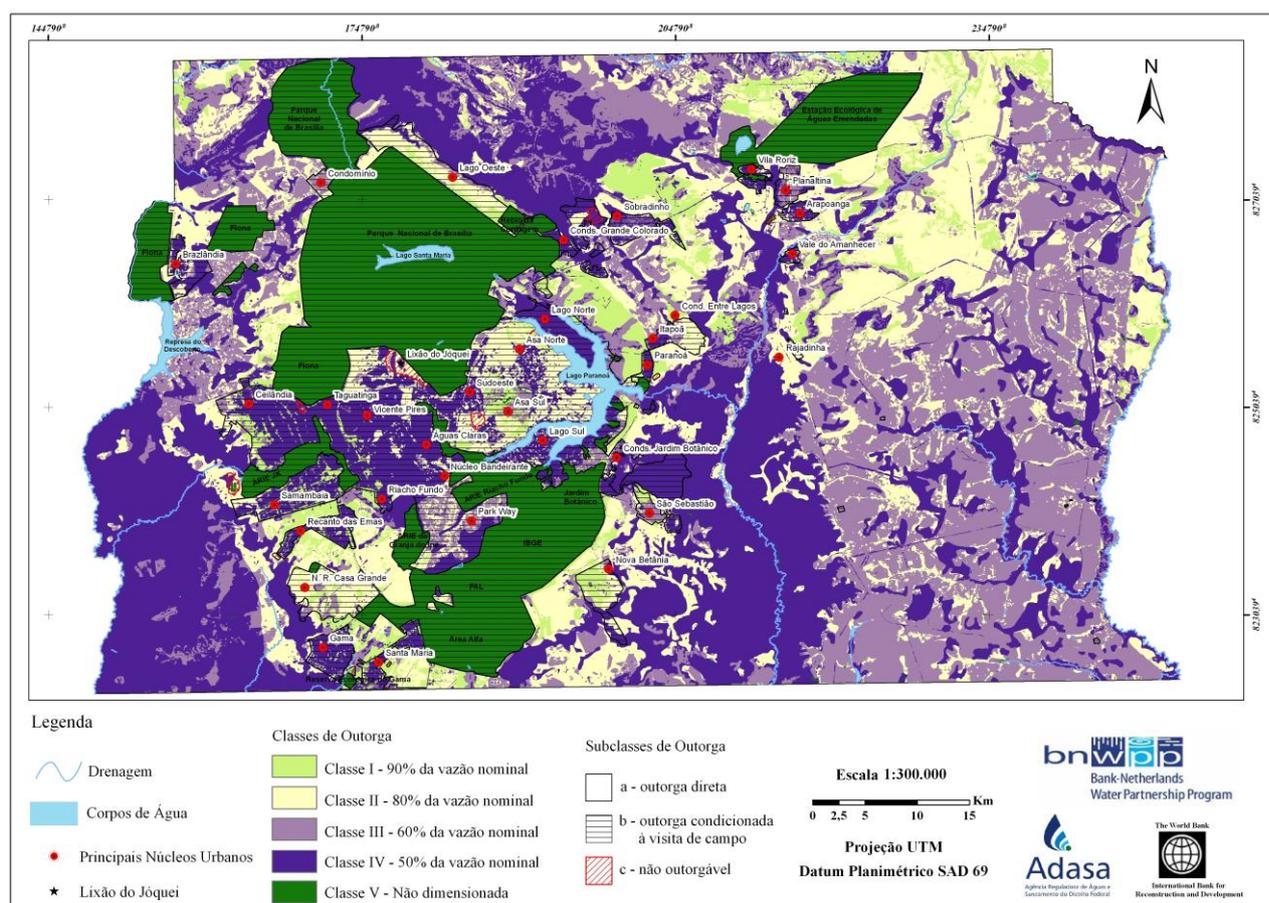
No presente estudo, as subclasses de outorga são representadas pelas letras **a**, **b** e **c**, e identificadas por hachuras no mapa analógico ou no SIG. Essas subclasses definem os critérios a serem adotados para concessão de outorga do ponto de vista das restrições locais, associadas à pressão de exploração e ao risco efetivo de contaminação. A subclasse **a** refere-se a concessão de outorga direta, a subclasse **b** indica que a outorga está condicionada a visita de campo e a subclasse **c** representa as regiões que não poderão ser alvo de outorga de água subterrânea.

As áreas da subclasse **a** são isentas de restrição porque não sofrem pressão de exploração, nem risco de contaminação. Observa-se no mapa que a maior parte do Distrito Federal encontra-se nesta situação.

As áreas da subclasse **b** estão condicionadas a visita de campo, pois necessitam ser analisadas quanto às distâncias entre os poços e quanto aos focos de contaminação. A distância entre os poços indicará a densidade de poços por metro quadrado, para que se avalie a pressão sobre os aquíferos. Os principais focos de contaminação a serem observados são as fossas, muitas vezes construídas no raio de influência de poços, e as áreas adjacentes a cemitérios e regiões agrícolas. São exemplos destas áreas, todas as faixas de dinamização urbana, em geral, áreas originalmente rurais que sofrem processo de fracionamento, como, por exemplo, os núcleos rurais Lago Oeste e Casa Grande e inúmeros condomínios em estágio incipiente de ocupação. As áreas urbanas consolidadas e as unidades de conservação, embora amparadas por lei específica, também estão enquadradas nesta subclasse.

Regiões que não poderão ser outorgadas, representadas pela subclasse de outorga **c**, possuem restrições tanto em relação à pressão de exploração quanto ao risco de contaminação. São locais extremamente impermeabilizados, exclusivamente abastecidos por poços, sem sistema de esgotamento sanitário coletivo e/ou sob intenso risco de contaminação. São exemplos típicos a cidade de Sobradinho II, os condomínios do Jardim Botânico e da região do Grande Colorado, bem como todas as áreas adjacentes às estações de tratamento de efluentes que contenham lagoas de estabilização. Nessa subclasse de alta restrição estão também as áreas adjacentes ao Lixão do Jockey, incluindo tanto as áreas de acumulação atual de resíduos quanto aquelas com lixo enterrado.

A Figura 3.14 apresenta o mapa de apoio à outorga de água subterrânea no Distrito Federal. Vale mencionar que a tabela do referido mapa contém as informações de todos os mapas integrados. Desse modo, quando uma área for identificada na versão digital do mapa (ou seja, no Sistema de Informação Geográfica), a tabela de atributos informará a geologia, o tipo de solo, o percentual de declividade, a altura de chuva em milímetros, o tipo de uso, a vazão média do aquífero, o grau de favorabilidade à exploração e as classes e subclasses de outorga.



**Figura 3.14** – Mapa de Apoio à Outorga de Água Subterrânea do Distrito Federal.

### 3.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Informações confiáveis, tanto para avaliação quanto para acompanhamento e controle, são fundamentais ao gerenciamento adequado da disponibilidade de recursos hídricos em determinada região.

Neste sentido, buscou-se no presente trabalho, sob a ótica do pesquisador, a adoção de procedimentos de análise que apresentem melhores resultados e possam ser aplicados pelos gestores. Vale ressaltar que, embora não se tenha gerado dados primários neste estudo, a base de informações utilizada foi detalhadamente avaliada e, sempre que julgados inconsistentes ou

incompletos, os dados passaram por processos de correção ou atualização, inclusive com apoio em trabalhos de campo.

Os planos de informação obtidos neste estudo foram integrados de modo a produzir novas informações fundamentais ao entendimento dos processos hidrodinâmicos e das influências do uso e da cobertura territorial na região do Distrito Federal. A cada mapa analítico gerado, procedeu-se a reclassificação dos atributos, de modo a permitir análises de acordo com as necessidades e objetivos do trabalho.

Vale lembrar que, os parâmetros necessários à gestão e à outorga dos recursos hídricos subterrâneos devem ser determinados em função do **potencial** dos sistemas aquíferos, da **disponibilidade** regional desses sistemas e da **demanda** dos seus usuários. Entretanto, devido às dificuldades de obtenção destes dados, os critérios capazes de apoiar o gerenciamento e a outorga das águas subterrâneas no Distrito Federal foram escolhidos a partir de informações disponíveis e metodologias específicas. Dessa forma, os dados foram integrados por critérios qualitativos.

A gestão de recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal deve ser pautada no modelo de gerenciamento sistêmico para que a exploração desses recursos não comprometa a sustentabilidade dos aquíferos da região.

Observa-se, nos resultados desta pesquisa, que a identificação da situação das águas subterrâneas do DF requer conhecimento técnico adequado, pois o aumento indiscriminado do consumo, da impermeabilização das áreas de recarga e do risco de contaminação pode levar ao colapso dos sistemas aquíferos e modificar os regimes de fluxo, comprometendo a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas.

Com relação aos sistemas de suporte à decisão, as metodologias de geoprocessamento empregadas neste estudo responderam satisfatoriamente às necessidades da pesquisa e mostra que este tipo de ferramenta pode ser utilizada de forma adequada nas práticas de gestão do uso das águas subterrâneas. O levantamento cadastral, as análises integradas e a estatística espacial foram métodos empregados de forma a permitir maior entendimento e controle dos processos hidrodinâmicos das águas subterrâneas do Distrito Federal.

Assim, recomenda-se que o banco de dados do Sistema de Informação Geográfica, manipulado neste trabalho, seja realimentado periodicamente, sobretudo no que diz respeito ao uso e à cobertura vegetal da região. Este plano de informação é de suma importância para o gerenciamento e outorga dos recursos hídricos subterrâneos, tendo em vista o caráter restritivo à recarga das áreas densamente impermeabilizadas.

Neste sentido, o presente estudo representa uma importante contribuição para nortear os processos de gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal, vez que, quantifica as condições

potenciais de recarga sob as atuais condições de usos e cobertura das terras. Os resultados podem ser adaptados e aplicados a outras regiões com condições hidrogeológicas similares.

O método Curva-Número (CN) adaptado de Lombardi-Neto (1989) e Sartori (2005) resultaram em condições de saturação de água nos solos compatíveis com aquelas esperadas para o Distrito Federal. O emprego do referido método é recomendado quando se torna inviável o cálculo do balanço hídrico.

Observa-se, contudo, que a outorga é um instrumento de difícil implantação e administração. Inicialmente, pela complexidade que advém da própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos e, posteriormente, pelo contexto em que se insere seu gerenciamento. Este último aspecto envolve interesses conflitantes e os mais distintos atores, desde os órgãos públicos gestores e entidades da sociedade civil até os usuários finais da água. A esse quadro, soma-se a falta de informações confiáveis, tanto para a avaliação e o acompanhamento da disponibilidade hídrica quanto para o controle e o gerenciamento da demanda.

Por outro lado, a busca pela gestão eficiente dos recursos hídricos passa, necessariamente, pela estruturação de um sistema de registros de informações referentes ao uso e a disponibilidade de água. Nesse contexto, emergem a importância e a utilidade dos Sistemas de Informações Geográficas, aqui entendidos como ferramentas passíveis de auxiliar indivíduos ou grupos organizados no processo de análise e escolha de alternativas que visem alcançar a exploração sustentável das águas.

A outorga de direito de uso, enquanto instrumento de gestão, garante ao usuário sua cota de recursos hídricos e, quando associada aos instrumentos de fiscalização e de cobrança, estimula o desenvolvimento de uma postura de responsabilidade individual e coletiva na utilização desses recursos. Os critérios de cobrança são reconhecidamente um dos principais aspectos de gestão da demanda e consumo de recursos hídricos.

A regulação dos usos da água, respaldada em critérios e ações definidos nas instâncias local, estadual e federal, favorecerá a distribuição mais justa deste recurso natural, indispensável ao desenvolvimento econômico. No Distrito Federal, apesar da limitação dos mananciais subterrâneos, os aquíferos contribuem com cerca de 15% do volume total das demandas, considerando-se o abastecimento da cidade de São Sebastião e da maioria dos condomínios horizontais (exclusivamente por água subterrânea), além do complemento do abastecimento doméstico, industrial e institucional (escolas, clubes esportivos, e outros) em áreas isoladas.

Quanto aos bancos de dados e sua manipulação, conclui-se que:

- ✓ a integração entre o mapa de uso e cobertura vegetal e os solos (adaptados às classes do método Curva-Número) resulta na cartografia da capacidade de retenção máxima de água nas coberturas;
- ✓ o mapa de capacidade de retenção máxima de água nos solos, após integrado ao mapa de isoietas, gera o mapa de disponibilidade hídrica subterrânea potencial da área;
- ✓ da sobreposição do mapa de disponibilidade hídrica potencial ao mapa de declividade, resulta o mapa de recarga potencial dos aquíferos, que, em última análise, é a representação cartográfica das reservas outorgáveis.

O mapa de favorabilidade à exploração das águas subterrâneas do Distrito Federal resultou da quantificação relativa das condições de exploração regionalizadas, a partir das vazões médias dos sistemas aquíferos. A metodologia empregada em sua confecção pela primeira vez considerou a integração do mapa de isoietas (além dos mapas de uso e cobertura vegetal, declividade, geologia e solos) para a determinação do potencial de exploração dos aquíferos do Distrito Federal.

Esse mapa de favorabilidade deve ser considerado como a base para a definição das vazões de outorga para a região do Distrito Federal e, em função da similaridade do meio físico, pode ser utilizado nas áreas adjacentes do Entorno.

O presente estudo propõe que a outorga para exploração de água subterrânea seja classificada por um conjunto de códigos (números e letras) que qualifiquem a região por meio dos seguintes critérios:

- ✓ classes associadas às vazões e aos usos gerais devem ser denominadas por algarismos romanos maiúsculos, de I a IV, respectivamente relativas a 90%, 80%, 60% e 50% da vazão de ensaio de bombeamento prolongado de 24 horas. O algarismo V representa uma classe de outorga especial destinada aos poços tubulares e aos poços para pesquisas científicas em áreas de unidade de conservação ambiental de grande restrição (ex. parques nacionais, reservas biológicas e estações ecológicas) ou a outras áreas de uso restrito (ex. áreas militares).
- ✓ subclasses associadas a restrições qualitativas (alto risco efetivo de contaminação) ou quantitativas (áreas sob pressão de exploração ou submetidas a sobreexploração). Nesses casos deverão ser atribuídas as letras **a**, **b** ou **c**, relacionadas ao progressivo aumento das restrições. Poços situados em áreas da subclasse **a** podem ser outorgados diretamente sem sequer a necessidade de visita a campo ou uso de critérios mais exigentes. Áreas cartografadas com índice **b** poderão ser outorgadas após visita de campo por parte do gestor responsável, que deverá avaliar a densidade de poços e os focos de contaminação. Áreas inseridas na subclasse **c** devem ter o pedido de outorga indeferida diretamente, pois

já representam áreas com recursos hídricos subterrâneos comprometidos sob o aspecto da exaustão das disponibilidades ou da contaminação potencial.

Por fim, recomenda-se que, em estudos futuros, os resultados desta pesquisa sejam otimizados com as seguintes ações: a) elaboração do mapa de declividade do DF na escala 1:10.000, devido à importância deste tema para quantificação do potencial de recarga dos aquíferos. Para tanto deve ser utilizada a base SICAD 1:10.000 com curvas de nível de equidistância de cinco metros; b) produção de um mapa de solos na escala 1:50.000 incluindo as áreas urbanas, pelo fato de suas características serem essenciais ao entendimento do funcionamento hídrico dos aquíferos; e c) desenvolvimento de balanços hídricos em pequenas bacias, preferencialmente em unidades de conservação ambiental, para validação dos modelos hidrogeológicos desenvolvidos para o Distrito Federal.

### 3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA. 2006. *Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA. Plano de Gerenciamento Integrado de recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH*. [www.pgirh.df.gov.br](http://www.pgirh.df.gov.br), acesso em 25 de agosto de 2006.
- ANA. 2006. Agência Nacional de Águas - ANA. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), acesso em 16 agosto de 2006.
- Araújo-Filho, M.da C. 2005. Desenvolvimento de um sistema de classificação hierárquico para mapas de uso e cobertura da terra por meio de imagens de satélite Landsat ETM+. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília - DF. 117p.
- Baptista, G.M.M. 1997. Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-001A/97, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília – DF. 112p.
- Baptista, G.M.M. 1998. Caracterização Climatológica do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte VI. p.187-208.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte IV. 85p. (inédito).
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: XII Simp. Geol. Centro-Oeste. Boletim de Resumos. Brasília. 113p.
- CODEPLAN. 1984. Companhia de Desenvolvimento do Planalto. Atlas do Distrito Federal. Brasília, GDF. 78p.
- EMBRAPA. 1978. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro. EMBRAPA. SNLCS. Boletim Técnico. 455p.
- Faria, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D’Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 199p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- Faria, A. 1997. Mapa Geológico do Distrito Federal. Escala 1:100.000. Brasília, DNPM/UnB. 30p.

- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Parte I. IEMA-SEMATEC/Universidade de Brasília. 86 p. (Relatório Inédito).
- IBGE. 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), aceso em 13 de maio de 2006.
- Lombardi-Neto, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J. B. Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terracimento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
- Roig, H. L. 2005. Modelagem de dados aplicados à análise dos processamentos erosivos e de transporte de sedimentos: o caso da bacia do rio Paraíba do Sul – SP. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF. Dissertação de Doutorado, 223p.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 306p.
- Sartori, A. 2004. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Universidade de Campinas, Campinas – SP, dissertação de Mestrado, 159p.
- Zhan, X. & Huang, M.L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *Environmental Modeling & Software* 19 (10) 875-879.