



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

**CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES  
OUTORGÁVEIS EM MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS:  
APLICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL**

**POLIANA MARCOLINO CORRÊA**

**ORIENTADOR: JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Nº 021**

**BRASÍLIA - DF  
JUNHO DE 2011**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

**CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES  
OUTORGÁVEIS EM MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS:  
APLICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE**

**POLIANA MARCOLINO CORRÊA**

APROVADA POR:

---

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos (Orientador) - UnB/IG

---

Prof. Dr. Luciano Soares da Cunha - Examinador Interno - UnB/IG

---

Dr. Fernando Roberto Oliveira - Examinador Externo - ANA

**BRASÍLIA - DF, 05 DE JUNHO DE 2011.**

## **REFRÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CORRÊA, P. M. 2011. Critérios para a determinação de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos: aplicação no Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 104p.

CESSÃO DE DIREITOS:

AUTORA: Poliana Marcolino Corrêa

TÍTULO: Critérios para a determinação de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos: aplicação no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da mesma.

---

Poliana Marcolino Corrêa

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a toda a minha família amada  
e aos meus queridos amigos e amigas.*

## AGRADECIMENTO

*Agradeço a Deus por tudo o que me permitiu viver até o presente momento em minha vida, por ser a rocha firme onde tenho meu sustento e de onde emanam águas de graças que lavam todos os dias minha alma e renovam minhas forças para seguir. Agradeço também a intercessão da Virgem Maria, que passa à frente de todas as coisas e me ensina a cada dia a ser mulher, mãe, filha, profissional.*

*A minha família amada, Marta, Cláudia, Eduardo, Maria Clara, João Victor por toda a ajuda, a todos os parentes amados que sempre me dão força e estão profundamente unidos em oração, e em especial minha jóia mais preciosa, Mariano. Obrigada meu filho por me compreender tantas vezes e ser a certeza de que tudo faz sentido. Amo vocês.*

*Aos meus amigos e amigas, que são muitos, graças a Deus, mas em especial àquelas que fizeram parte desta etapa: minhas queridas Andréia, Karla, Taty, Cristina, Valéria, Fátima, Emília, Fernanda, Marta e Gleicy. Aos seus respectivos companheiros também, por dividirem um pouco do tempo delas comigo. Sem vocês, a efetividade desta conquista não teria sido possível.*

*Agradeço à Universidade de Brasília e ao CNPq pela bolsa fornecida e a todos do Instituto de Geociências pelo suporte. A ADASA, em especial ao Rafael e à Rosângela, pela presteza no fornecimento de dados.*

*Às empresas Geo Lógica Consultoria Ambiental Ltda. e Norte Energia S.A. pelo apoio e compreensão.*

*Agradeço especialmente ao Professor Eloi, por sua orientação, transferência de conhecimento, disponibilidade, respeito, amizade, paciência e coerência, e por viabilizar a realização de um sonho muito particular. Deus o abençoe.*

## RESUMO

Outorga do direito de uso dos recursos hídricos é um instrumento de controle administrativo e legal, no qual se permite que os múltiplos usuários possam captar e utilizar as águas para os diferentes usos por um determinado período de tempo. O gerenciamento embasado tecnicamente possibilita que a ação da outorga aconteça de modo consistente, otimizando e facilitando, conseqüentemente, a preservação dos recursos hídricos. Os principais parâmetros necessários à gestão e outorga dos recursos hídricos subterrâneos podem ser determinados com base em três principais eixos de conhecimento: potencial dos sistemas aquíferos, disponibilidade regional desses sistemas e demanda dos usuários da água.

A definição da vazão de água subterrânea a ser outorgada é uma tarefa muito mais complexa que a outorga de recursos superficiais, uma vez que não é possível determinar o volume de água presente no sistema aquífero e não existem medições históricas que auxiliem *a priori* na avaliação. Assim, a implementação de políticas de gestão integrada dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) com a aplicação de parâmetros hidrogeológicos torna-se uma ferramenta de uso prático e eficiente para o gerenciamento. Diversos são os parâmetros a serem considerados, dentre eles as propriedades dos aquíferos, as características construtivas dos poços tubulares, grau de proteção do aquífero, a capacidade de bombeamento, interferência com outros poços, questões relativas à qualidade das águas, legislação, dentre outros.

Atualmente, o critério utilizado para a definição de vazões outorgáveis de mananciais subterrâneos concentra-se no ponto da captação, ou seja, pela medida de vazão obtida através do bombeamento do poço. Entretanto, a vazão do aquífero é um fator dinâmico dependente do grau de seu próprio desenvolvimento, da razão entre bombeamento-recarga e da variação de condições externas. Assim, a discussão considerou os seguintes critérios para se definir as vazões consideradas sustentáveis (as vazões outorgáveis): percentual da vazão média do aquífero; percentual da vazão média dos poços em exploração no aquífero; vazão de base da drenagem superficial; análise qualitativa dos dados de ensaio de bombeamento; rebaixamento disponível; vazão de segurança; avaliação do tempo máximo diário de bombeamento.

Partindo-se do princípio de que a outorga deve ser conservadora, principalmente nos casos onde os sistemas aquíferos são pouco conhecidos, foram propostas metodologias para a aplicação dos parâmetros selecionados nos três tipos de sistemas aquíferos: intergranulares, fraturados e cársticos. As mesmas basearam-se na avaliação dos parâmetros discutidos e na proposta de percentuais de vazão para a outorga, associadas também às características de uso do solo.

A aplicação da proposta para aquíferos fraturados e simulação da outorga foi realizada para a região do Distrito Federal através do estudo de 26 poços com parâmetros definidos a partir de dados de ensaios de bombeamento. O Mapa de Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do Distrito Federal derivou da integração dos dados de hidrogeologia e uso e ocupação do solo (adaptados para classes de efetiva implicação no balanço hídrico local).

Palavras Chaves: Outorga, água subterrânea, parâmetros técnicos, unidades de gerenciamento.

## ABSTRACT

Permits of water resources users is an instrument of administrative and legal control, which allows multiples users to catch and use groundwater for the different purposes for a determined period of time. The management based on technical parameters makes possible that the permits are emitted in a consistent way, optimizing and facilitating the preservation of the water resources. The main necessary parameters to the management and permits of groundwater must include three main axes of knowledge: potential of the aquifers systems, regional availability of the systems and demand of the water users.

The definition of yields to permits of groundwater is a much more complex task when compared to the surface water resources, once is not easy to determine the water content of the aquifer system and there are not historical measurements to assist previous evaluations. Thus, the implementation of integrated management politics of water resources with the application of hydrogeologic parameters becomes a practical and efficient tool for the managing. Several parameters must be considered, including the aquifers properties, the type of tubular wells technical construction, aquifer degree of protection, the pumping capacity, interference with wells, quality of the water, legislation, among others.

Currently, the criterion used for the definition of yields to groundwater permits is associated to the well flow. However, the outflow of the aquifer is a dynamic factor dependent on its type, the ration between pumping-recharge and the variation of external conditions. Thus, the discussing in the present work considered the following criteria to define sustainable outflows (the yields for the permits): percentage of mean well outflow at aquifers in current; percentage of mean well outflow; base flow of the superficial streams; qualitative analysis of the pumping data; available drawdown; safe yield and evaluation of daily maximum pumping time.

By the principle that the permits must be conservative, mainly in the cases where the aquifers systems are poorly known, methodologies for the application of the selected parameters were proposed in three types of aquifers systems: intergranular, fractured and karstic. The application in the Federal District (Brazil) was based on the evaluation of those parameters and on the percentages of wells yields to definition of permits, associated to the characteristics of land use.

The application of the proposed methodology and simulation of the permit process was carried out for the Federal District region by the study of 26 wells with parameters defined from pumping test data. The Map of Management Units of Groundwater Permits to the Federal District was derived from the integration of hydrogeology and land use and occupation data (adapted for class of effective implication in the local water budget).

Keywords: Groundwater permits, technical parameters, management units.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I .....	1
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Considerações Iniciais .....	1
1.2 Justificativa .....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Métodos.....	5
1.5 Organização do Texto.....	7
CAPÍTULO II .....	8
2 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÕES OUTORGÁVEIS .....	8
2.1 Considerações Iniciais .....	8
2.2 Revisão da Literatura - Aspectos Legais.....	8
2.3 Critérios Técnicos para Determinação das Vazões de Outorga .....	16
2.4 Análise dos Critérios Técnicos .....	19
2.4.1 Percentual da Vazão Média dos Poços em Exploração no Aquífero .....	20
2.4.2 Percentual da Vazão do Poço .....	22
2.4.3 Vazão de Base da Drenagem Superficial .....	23
2.4.4 Análise Qualitativa dos Dados de Ensaios de Bombeamento .....	28
2.4.5 Rebaixamento Disponível.....	32
2.4.6 Vazão Sustentável .....	32
2.4.7 Tempo Máximo Diário de Bombeamento .....	35
CAPÍTULO III .....	37
3 PROPOSTA METODOLÓGICA.....	37
3.1 Diretrizes Gerais e Objetivos da Proposta .....	37
3.2 Aquíferos Intergranulares.....	42
3.3 Aquíferos Fraturados .....	44
3.4 Aquíferos Cársticos.....	46
3.5 Forma de Implementação .....	47
CAPÍTULO IV .....	49
4 APLICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL .....	49
4.1 Considerações Gerais .....	49
4.2 Síntese dos Aspectos Físicos do Distrito Federal .....	49
4.2.1 Geologia.....	49
4.2.2 Clima.....	51
4.2.3 Geomorfologia.....	54
4.2.4 Pedologia .....	54
4.2.5 Hidrogeologia .....	55
4.3 Histórico da Ocupação no Distrito Federal.....	60
4.3.1 Áreas de Risco Efetivo de Contaminação .....	61
4.3.2 Locais Submetidos à Sobreexploração.....	62
4.3.3 Outorga dos Recursos Hídricos Subterrâneos .....	63
4.3.4 Histórico do Processo de Gestão dos Aquíferos no Distrito Federal.....	64
4.4 Critério para Definição de Vazão de Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal ..	65
4.4.1 Exemplos de casos de Emissão de Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal .....	68
4.5 Determinação das Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos ...	74
CAPÍTULO V.....	80
5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	80



6	ANEXOS.....	87
6.1	Anexo 1 - Mapa Hidrogeológico do DF .....	87
6.2	Anexo 2 - Mapa de Vegetação, Uso e Ocupação do DF .....	87
6.3	Anexo 3 - Mapa de Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do DF .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Representação esquemática dos fluxos superficial, interno e de base a partir da precipitação em uma bacia hidrográfica (Modificado de Fetter, 1994).....	24
Figura 2.2	- Curvas de rebaixamento <i>versus</i> tempo para ensaios do tipo escalonados: a) com estabilização do ND e b) sem estabilização do ND (Modificado de Custódio & Llamas, 1983)....	30
Figura 2.3	- Curvas de rebaixamento <i>versus</i> tempo para ensaios do tipo sucessivos: a) com recuperação do NE e b) sem recuperação do NE (Modificado de Custódio & Llamas, 1983).....	31
Figura 2.4	- Ensaio em três etapas com diferentes tempos de bombeamento (Modificado de Custodio & Llamas, 1983).....	31
Figura 4.1	- Arcabouço geológico da região do Distrito Federal (modificado de Freitas-Silva & Campos, 1998).....	50
Figura 4.2	- Distribuição anual dos totais mensais de precipitações da estação Brasília (Fonte: Baptista, 1998).....	52
Figura 4.3	- Isoietas do Distrito Federal, baseada em dados históricos de pluviômetros da CAESB. Fonte: Baptista (1998).....	52
Figura 4.4	- Balanço Hídrico da estação Brasília. Prec. - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ETR - Evapotranspiração Real (Baptista, 1998).....	53
Figura 4.5	- Desenhos esquemáticos dos modelos hidrogeológicos conceituais da região do DF (Lousada & Campos, 2005). S.P.M.F - Superfície Potenciométrica do Meio Poroso; S.P.M.F - Superfície Potenciométrica do Meio Fraturado; N.F - Nível Freático. ....	59
Figura 4.6	- Evolução da ocupação urbana do DF entre os anos de 1991 e 2004 (Fonte: Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/DF. SEDUMA, 2009). Em verde são destacadas as áreas de proteção integral. ....	60
Figura 4.7	- Distribuição espacial dos poços cadastrados junto à ADASA (Fonte: <a href="http://www.adasa.gov.br">www.adasa.gov.br</a> , acessado em 20 de fevereiro de 2010). ....	64
Figura 4.8	- Localização dos 26 poços sobre as classes de favorabilidade (Modificado de Gonçalves, 2007).....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Tabela para ajuste de distribuição segundo método de Gumbel. ....	26
Tabela 3.1	- Caracterização hidráulica das classes de aquífero (adaptado de Struckmeier & Margat, 1995).....	41

Tabela 3.2 - Critérios para determinação dos percentuais da média da vazão para aquíferos intergranulares. ....	42
Tabela 3.3 - Critérios para determinação dos percentuais da vazão do poço para aquíferos fraturados. ....	45
Tabela 4.1 - Classes de solo mais frequentes na região do Distrito Federal (modificado de Souza, 2001). ....	55
Tabela 4.2 - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias (Campos & Freitas-Silva, 1998). ....	56
Tabela 4.3 - Síntese dos aquíferos do domínio poroso na região do DF e parâmetros associados. b - espessura saturada; K – condutividade hidráulica, T - transmissividade. ....	57
Tabela 4.4 - Síntese dos aquíferos do fraturado poroso na região do DF e parâmetros associados. ....	58
Tabela 4.5 - Resumo dos Modelos Hidrogeológicos Conceituais definidos por Lousada & Campos (2005) para a região do DF. ....	59
Tabela 4.6 - Relação de sensibilidade natural à contaminação e sistemas/subistemas aquíferos do DF (Campos & Freitas-Silva, 1998). ....	62
Tabela 4.7 - Dados de ensaios de bombeamento de 26 poços distribuídos na região do DF e usados para a exemplificação da metodologia de outorga. ....	71
Tabela 4.8 - Unidades de Gerenciamento da Outorga de Água Subterrânea no DF. ....	74
Tabela 4.9 - Macrounidades e Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do DF. ....	76

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS  
(EM ORDEM ALFABÉTICA)**

ABAS – Associação Brasileira de Água Subterrânea  
ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal  
ALOS – *Advanced Land Observation Satellite*  
ANA - Agência Nacional de Águas  
CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal  
CF/1988 – Constituição Federal Brasileira de 1988  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil  
DF – Distrito Federal  
PDOT/DF – Plano Diretor de Ordenamento Territorial  
PGIRH – Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal  
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos  
SIG – Sistemas de Informações Geográficas  
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico

# CAPÍTULO I

---

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

Outorga do direito de uso dos recursos hídricos é um instrumento de controle administrativo, onde o poder público federal ou estadual permite que os múltiplos usuários possam captar e utilizar as águas para os diferentes usos por um determinado período de tempo. Dessa forma, uma das funções da outorga de direito de uso é limitar o máximo volume que cada usuário pode captar, de modo que sejam preservadas as características quali-quantitativas da água e assegurado o atendimento às demandas futuras da sociedade de modo geral (ANA, 2010).

No Brasil, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. A mesma lei define anteriormente, no art. 1º, inciso IV, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH, entretanto, sabe-se que os limites entre bacias hidrográficas e bacias hidrogeológicas não são, na maioria das vezes, coincidentes. Faz-se necessário, portanto, a aplicação de diferentes critérios para a determinação de vazões outorgáveis em mananciais superficiais e subterrâneos, uma vez que suas características de armazenamento, circulação e disponibilidade ocorrem de modo distinto.

A outorga de uso de água superficial baseia-se em percentuais de vazões mínimas de referência (por exemplo,  $Q_7$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ ) considerando-se o total disponível na bacia. Esta metodologia é a adotada atualmente nas diferentes unidades da federação e pelo próprio poder federal. Por outro lado, verifica-se a não existência de consenso na determinação das vazões para outorga de água subterrânea.

O critério mais utilizado é concentrado no ponto de captação da água, baseando-se nas especificidades e características do poço como obra de engenharia em si e nos efeitos imediatamente adjacentes (poços vizinhos ou cursos d'água próximos) que a exploração possa causar. Nesse caso, não são considerados os limites de retirada de água subterrânea na bacia hidrográfica, unidade de planejamento dos recursos hídricos, tampouco há o cruzamento de informações no sentido de avaliar o aspecto integrado da gestão dos usos das águas superficiais e subterrâneas.

Assim, a necessidade da realização de estudos de alta complexidade e detalhamento no sentido de se obter maior conhecimento a respeito dos sistemas aquíferos ainda é o maior desafio no panorama atual do gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos. Por outro lado, os conhecimentos técnico-científicos já existentes em diversas regiões permitem a definição de

critérios que possam nortear de modo consistente a outorga para captação de água subterrânea, considerando-se as características físicas e hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos, juntamente com as especificidades técnicas inerentes a cada ponto de captação.

Desta forma, a gestão dos recursos hídricos subterrâneos visa, não apenas sua preservação, mas também a otimização do uso, ampliando-se a oferta de água e contribuindo para a solução de problemas relativos ao abastecimento de água proveniente dos aquíferos.

Para o 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 do solo. Assim, a adoção de medidas visando à eliminação ou mitigação de impactos negativos pode ser tomada com base em critérios técnicos, capazes de garantir a sustentabilidade da exploração do recurso. Portanto, o gerenciamento embasado tecnicamente possibilita que a ação da outorga aconteça de modo consistente, na medida em que sua principal função (a de outorga) é a de limitar o máximo volume que cada usuário pode captar.

Ressalta-se que a falta de critérios e do controle de retirada de água subterrânea podem causar danos, em alguns casos irreversíveis ao sistema, dependendo da intensidade e do período de tempo suportados pelo aquífero. Por exemplo, a redução dos níveis freáticos ocasiona a formação dos denominados cones de depressão ao redor do poço de bombeamento que, na medida em que o nível freático declina de modo muito acentuado, podem causar interferências entre si (Fetter, 1994). As consequências do rebaixamento exacerbado podem implicar diretamente na dinâmica ambiental local.

Por 'implicações na dinâmica ambiental local' entende-se como as modificações do equilíbrio ecossistêmico existente em locais que dependam direta ou indiretamente da água subterrânea. São exemplos desta relação, as áreas parcialmente encharcadas (solos hidromórficos) e cursos de drenagens que podem ter suas vazões modificadas, podendo chegar até mesmo ao secamento completo dessas fontes naturais de saída de água do lençol freático. O rebaixamento no nível das águas subterrâneas pode também ocasionar o aumento da concentração de substâncias que podem tornar-se nocivas à saúde humana e comprometer a vida animal e vegetal dependentes do recurso. Ainda, deve-se considerar o fato de que o crescente aumento da demanda do bem 'água' e sua consequente dificuldade de obtenção acarretam problemas socioeconômicos à sociedade, como já é observado atualmente em diversos locais no mundo.

Assim, considerando-se todos os aspectos relacionados anteriormente, verifica-se que os principais parâmetros necessários à gestão e outorga dos recursos hídricos subterrâneos podem ser determinados com base em três principais eixos de conhecimento: potencial dos sistemas aquíferos, disponibilidade regional desses sistemas e demanda dos usuários da água.

Os principais parâmetros físicos que devem ser considerados para que seja estabelecido o potencial dos sistemas aquíferos e, conseqüentemente sua disponibilidade regional, incluem,

segundo Almeida *et al.* (2006), a geologia, o relevo, o clima e os solos, os quais serão a seguir comentados.

A geologia constitui o principal componente para a compreensão das características dos aquíferos, sua distribuição espacial, extensão lateral, áreas de recarga e exutório e de camadas confinantes. Fornece informações quanto: aos tipos de rochas e variações; ao empilhamento das diversas unidades; à tectônica e estruturação; aos ambientes de formação das rochas supracrustais; e à composição química das rochas.

A geomorfologia representa o padrão de relevo que predomina em cada compartimento morfológico. É controlada pelo substrato, pela declividade regional e estruturas e pode ser modificada 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 relevo também é um fator fundamental que controla a presença de sistemas de fluxo locais, intermediários ou regionais em determinada região.

Os 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 fundamental para os processos de escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração, recarga dos aquíferos, vazão de base dos rios e outros. O balanço hídrico é um sistema de circulação 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 de 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).

O 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 ( $K_v$ ).

O acelerado aumento da demanda dos usuários também deve ser contabilizado na gestão do recurso, uma vez que o aumento exponencial do uso da água está diretamente associado ao crescimento da população economicamente ativa. Assim, a implementação de políticas de gestão integrada dos recursos hídricos, com vistas a atender às demandas de água e a minimizar os impactos sobre a disponibilidade hídrica das bacias e sobre os ecossistemas, deve considerar a interdependência entre os mananciais superficiais e subterrâneos, os biomas

que deles dependem e a sustentabilidade do sistema como um todo. Essa abordagem holística, entretanto, é uma tarefa difícil no sentido de se tentar traduzir questões socioeconômicas e políticas complexas, em questões técnicas que possam ser quantificadas sistematicamente (Alley & Leake, 2004).

Por fim, ressalta-se que a definição de vazões para outorga em cursos superficiais é definida a partir de dados de medições históricas, de forma que o poder outorgante utiliza valores de vazões mínimas como a  $Q_{7,10}$  ou a  $Q_{90}$  para a concessão de outorga aos vários usuários. No caso dos mananciais subterrâneos, a definição da vazão a ser outorgada é uma tarefa muito mais complexa, uma vez que não é possível determinar o volume de água presente no sistema aquífero e não existem medições históricas que auxiliem *a priori* na avaliação, por exemplo, da variação dos níveis freáticos. Outro fator complicador é a determinação da área de contribuição, uma vez que a disponibilidade futura de água subterrânea depende da recarga do sistema, e a delimitação dos limites da bacia hidrogeológica também requer um refinado conhecimento do sistema aquífero (Arraes & Campos, 2007).

## 1.2 Justificativa

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos superficiais já conta com um conjunto de critérios bastante consolidado, pois a base se dá sobre dados de vazões históricas ou níveis anuais das cotas de reservatórios artificiais (barragens ou açudes). O sistema é facilitado, pois é sempre possível quantificar as disponibilidades de forma rápida e relativamente simples.

Por outro lado, a determinação de vazões de outorga para águas subterrâneas é mais complexa e ainda não existe um conjunto de métodos e critérios consolidados e aceitos pela maior parte dos gestores.

A determinação de vazões para a outorga de água subterrânea depende de um complexo conjunto de fatores, dentre os quais se destacam as propriedades do aquífero, o tipo de opção construtiva do poço e seu estado atual de conservação, a capacidade de bombeamento, interferência com outros poços, questões relativas à qualidade das águas, legislação, dentre outros. Assim, os profissionais envolvidos na temática abordada, em especial geólogos e engenheiros, encontram dificuldades na realização de ações estratégicas para a gestão adequada do recurso, uma vez que as atuais metodologias disponíveis consideram aspectos pontuais relativos às vazões outorgáveis.

O principal critério hoje utilizado está relacionado ao desempenho dos poços (vazão), definido a partir dos dados obtidos por meio de ensaios de bombeamento. Esses ensaios podem ser realizados de diversas formas e, apesar de serem excelentes para a determinação de parâmetros dimensionais do aquífero (transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento, nível estático, nível dinâmico, etc.), ainda são aplicados de modo aleatório.

Observa-se, portanto, que a inexistência de uma metodologia formal que considere de forma integrada as diferentes características associadas à capacidade de manutenção e recuperação dos aquíferos tem sido, atualmente, a maior dificuldade existente a respeito da definição das vazões outorgáveis dos mananciais subterrâneos.

Assim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de desenvolvimento de ferramentas de gestão viáveis para a outorga de águas subterrâneas baseados em parâmetros técnico-científicos de modo que sejam definidas metodologias para a quantificação do quanto de água pode ser extraída do sistema aquífero subjacente. Refere-se como 'ferramentas de gestão viáveis' àqueles originados a partir da integração das necessidades sociais, políticas, econômicas e ecológicas. Ou seja, o gerenciamento da demanda por água subterrânea requer, ainda, considerar os interesses de distintos atores, bem como os diferentes usos da água. Costa (2000) ressalta que 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 também informações relevantes, tanto para a avaliação e outorga, quanto para o controle e o acompanhamento da demanda hídrica.

### **1.3 Objetivos**

Os objetivos da presente dissertação são:

- ✓ Enumerar e discutir critérios gerais utilizados para a determinação de vazões de outorga para mananciais subterrâneos;
- ✓ Propor metodologias alternativas para diferentes tipos de aquíferos;
- ✓ Aplicar uma metodologia adequada para as condições dos aquíferos do Distrito Federal;
- ✓ Confeccionar o Mapa das Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do Distrito Federal.

### **1.4 Métodos**

O trabalho foi desenvolvido a partir do conjunto de materiais e métodos a seguir descrito, de forma a se alcançar os objetivos enumerados:

1. Levantamento bibliográfico sobre critérios de outorga de recursos hídricos subterrâneos - neste levantamento buscou-se incluir informações do Brasil e de outros países com relação aos critérios utilizados para determinação das vazões de outorga e os mecanismos gerais aplicados na sua implementação. Parte dos dados e informações foi obtida de manuais técnicos e não é inserida em publicações acadêmicas sobre o tema;



2. Discussão de critérios - nesta etapa enumeraram-se os critérios já utilizados, além de propor outras possibilidades e associações, de forma que se obtenham todas as possibilidades e interações de critérios para a outorga de água obtida de mananciais subterrâneos;
3. Proposição de métodos para outorga - nesta fase foram propostos métodos e critérios para a outorga de diferentes tipos de aquíferos.
4. Aplicação para o Distrito Federal - de posse dos diferentes critérios básicos, foi adaptada uma metodologia adequada para as condições do Distrito Federal. A aplicação foi realizada em poços previamente escolhidos e deve ser entendida como uma forma de mostrar a viabilidade da aplicação dos métodos e critérios propostos.
5. Confecção do Mapa de Gerenciamento da Outorga de Água Subterrânea do Distrito Federal - para a complementação da aplicação anterior, foi necessário construir um mapa de suporte a outorga. A confecção foi realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica e envolveu o cruzamento das seguintes bases: mapa de uso e cobertura vegetal e mapa das unidades hidroestratigráficas do meio fraturado. O mapa de uso foi construído pela reclassificação do mapa do ano de 2010 do Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE - do Distrito Federal (sobre imagem ALOS- *Advanced Land Observation Satellite* - Sensor AVNIR 3 do ano de 2009, composição RGB432 e resolução espacial de 2,5 metros) e resultou em 3 classes, agrupadas em função dos usos significativamente impactantes sobre os sistemas aquíferos. O mapa das unidades de gerenciamento envolveu apenas o meio fraturado, uma vez que inclui os aquíferos com maior importância quantitativa no Distrito Federal. A subdivisão do mapa de suporte à outorga contou ainda com a integração das unidades hidrográficas do DF, no intuito de tornar a gestão da água subterrânea localizada em termos espaciais, buscando-se, entretanto, uma maior integração com os recursos superficiais.
6. Redação de Artigo e da Dissertação - neste último passo foi feita a sistematização e organização dos dados, informações e discussões realizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

A aplicação para a proposição da metodologia foi baseada na avaliação dos seguintes critérios: vazão média do aquífero, vazão média dos poços em exploração no aquífero, vazão de base da drenagem superficial, análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento, rebaixamento disponível, vazão de segurança, além de discutir sobre o tempo máximo diário de bombeamento.

Os critérios considerados e os resultados obtidos foram aplicados aos sistemas aquíferos do Distrito Federal e associados aos graus de favorabilidade definidos por Gonçalves (2007). Os mesmos foram estabelecidos 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).

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos a partir de publicações técnicas e acadêmicas e também disponibilizados pelos órgãos responsáveis pela outorga, coleta e

distribuição de água, respectivamente, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) e Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB).

Foram selecionados 26 poços tubulares distribuídos sobre os sistemas aquíferos identificados por Campos & Freitas-Silva (1998) para o Distrito Federal e sobre os diferentes usos do solo identificados. A escolha dos dados baseou-se, ainda, em seu grau de confiabilidade, detalhamento de informações (vazão, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, profundidade da bomba, etc.) e na existência da descrição dos perfis construtivos e geológicos dos poços.

## **1.5 Organização do Texto**

Este texto apresenta-se distribuído em 5 capítulos, divididos e dispostos de forma a torná-lo mais objetivo e conciso. O presente capítulo apresenta uma introdução ao tema, a justificativa, os objetivos, bem como a metodologia do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica relacionada, na primeira parte, ao contexto legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e em outros países. A segunda parte do capítulo detalha os parâmetros técnico-científicos indicados para a avaliação das vazões para a outorga de água subterrânea e faz uma discussão crítica, avaliação e complementação da literatura.

No Capítulo 3 são apresentadas propostas metodológicas para a outorga de recursos hídricos subterrâneos, respectivamente para aquíferos intergranulares, fraturados e cársticos, bem como os objetivos, diretrizes e restrições à sua aplicação.

O Capítulo 4 apresenta uma revisão do contexto geológico e hidrogeológico do DF, os aspectos legais adotados localmente para a outorga de água subterrânea e a aplicação das metodologias propostas no Capítulo 3 para o caso do Distrito Federal, utilizando-se dados reais de poços tubulares distribuídos em toda a área de estudo. Apresenta ainda o Mapa de Unidades de Gerenciamento da Outorga de Água Subterrânea do DF.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, recomendações e considerações finais alcançadas com o desenvolvimento desta dissertação.

## CAPÍTULO II

---

### **2 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÕES OUTORGÁVEIS**

#### **2.1 Considerações Iniciais**

A gestão das águas no Brasil e no mundo soma grandes avanços alcançados nos últimos 30 anos relacionados, principalmente, aos aspectos científicos, técnicos e legais. A 1ª e a 2ª Conferência Nacional das Nações Unidas ocorridas, respectivamente, em 1972 na cidade de Estocolmo e em 1992 na cidade do Rio de Janeiro foram grandes marcos evolutivos a respeito das necessidades futuras de abastecimento de água e da conscientização da gestão integrada das águas.

No ano de 2002, na cidade de Johannesburg, a comunidade internacional compreendeu que o número de pessoas no mundo que não tem acesso à água potável poderia ser reduzido à metade até o ano de 2015 ao serem definidos os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rebouças, 2008). Assim, é possível antever um crescimento exponencial do uso da água e, conseqüentemente, da exploração de água subterrânea, uma vez que a disponibilidade deste recurso representa cerca de 97% do total de água doce líquida existente no mundo.

No Brasil, o mesmo desafio ocorre na medida em que aproximadamente 60% da população não têm acesso à água potável. Ainda, a desigualdade de distribuição dos recursos hídricos em solo brasileiro (especialmente a água superficial) potencializa as dificuldades de abastecimento: 68% das reservas de água doce do território brasileiro estão concentradas na região amazônica, onde vivem apenas 7% do total da população. Justifica-se desta forma, a estimativa da existência de cerca de 100.000 poços, hoje, no País e o abastecimento através de água subterrânea à aproximadamente 60% da população brasileira (ABAS, 2010).

Apesar da já reconhecida importância da utilização da água subterrânea, muito pouco tem sido feito em direção ao gerenciamento eficiente do uso em função das demandas mundiais. Brechas na legislação, poucos projetos governamentais existentes e principalmente a falta de conhecimento técnico-científico dificultam enormemente a provisão necessária para garantir que as metas estabelecidas mundialmente sejam alcançadas.

#### **2.2 Revisão da Literatura - Aspectos Legais**

O primeiro instrumento legal referente à água subterrânea no Brasil foi apresentado no âmbito do Decreto Nº 24.643 de 10 de julho de 1934, o chamado Código das Águas. Esse

decreto, ainda hoje em vigor (incluindo-se suas alterações, em especial o Decreto-Lei 852 de 11/11/38), fornece diversos conceitos a respeito da caracterização das águas, de modo geral, sua propriedade, aproveitamento, regulamentações gerais, critérios para geração de energia hidrelétrica e ainda, sobre as penalidades aos não cumpridores da lei.

A água subterrânea é referenciada especificamente no Título IV, onde é considerada como bem imóvel associado à propriedade da terra, e as concessões administrativas somente eram necessárias quando se tratava de terrenos de domínio público. Ainda, o Artigo 96 considera que o dono da terra poderia apropriar-se da água subterrânea por meio de poços, galerias, dentre outras formas, contanto que não fossem comprometidos os aproveitamentos existentes nem derivados ou desviados de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares.

O Decreto-Lei Nº 7.841 de 20 de agosto de 1945, o chamado Código de Águas Minerais, teve por objetivo principal a padronização do aproveitamento das águas minerais brasileiras para uso em balneários ou para engarrafamento, advindas de fontes naturais ou artificialmente captadas. Estabelece ainda os estudos necessários para a concessão de autorização de pesquisa e lavra bem como a classificação das fontes de águas minerais, gasosas, termais e potáveis de mesa.

O Decreto-Lei Nº 227 de 28 de fevereiro de 1967, conhecido como Código de Mineração, bem como o Decreto Nº 62.934 de Julho de 1968 que o aprova e regulamenta, novamente contemplam restritamente as jazidas de água mineral, não fornecendo às águas subterrâneas, de modo geral, os artifícios jurídico-institucionais necessários para a sua gestão e regulamentação.

A Constituição Federal Brasileira - CF (promulgada em 05 de outubro de 1988) trouxe definições mais consistentes com relação à dominialidade das águas subterrâneas, fornecendo alguns subsídios para a formulação de políticas públicas em direção ao gerenciamento do recurso. Assim, a CF/1988 definiu que também a água subterrânea é um bem público, de propriedade dos Estados e do Distrito Federal. É bem da União quando correr em terrenos de seu domínio, quando banhar mais de um Estado ou fizer limite com território estrangeiro, bem como os terrenos marginais e praias fluviais, sendo que compete à União legislar sobre sua exploração.

Com o objetivo de assegurar o controle do uso e dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas e superficiais, foi promulgada em 08 de janeiro de 1997 a Lei 9.433 (regulamentada pelo Decreto Nº 2.612/98) a qual estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Neste contexto, a água passou a ser considerada como bem dotado de valor econômico e que sua exploração deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, sua gestão ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público e dos usuários. Entretanto, a lei novamente esbarra na utilização de conceitos que não favorecem a gestão das

águas subterrâneas, uma vez que a bacia hidrográfica é a unidade territorial definida como base para a implementação da PNRH e atuação do SINGREH, e esta, na maioria dos locais, não é espacialmente coincidente com a bacia hidrogeológica.

Especificamente no Capítulo IV, Dos Instrumentos, Seção III, Da Outorga de Direitos de Uso dos Recursos Hídricos, Artigo 12, Inciso II, é indicada que a extração de água do aquífero para consumo final ou insumo de processo produtivo estará sujeita à outorga pelo Poder Público. Por último, é apresentado no Capítulo VI, Título III, as infrações e penalidades às quais poderão ser submetidos aqueles que infringirem as normas de utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

De modo geral, a Lei 9.433/97 busca a integração da gestão dos recursos hídricos com os demais recursos ambientais por meio de instrumentos que garantam o sucesso da gestão integrada do recurso. Entre os instrumentos considerados destacam-se: elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (os quais têm por objetivo a consolidação do planejamento prévio da utilização); preservação e recuperação dos recursos hídricos; outorga de direito de uso e a cobrança como meio de reconhecer o valor econômico do recurso e racionalizar o seu uso.

Ainda, em função da divisão político-administrativa do país, estabelece a criação das agências de águas, as quais têm como área de atuação uma ou mais bacias hidrográficas e suas competências primordiais são o planejamento dos recursos hídricos da bacia e a cobrança pelo uso da água (Tucci, 2000).

Apesar do avanço da legislação no âmbito do gerenciamento das águas fomentado pela Lei 9.433/97, Barth (1999) propõe a criação de uma Legislação Federal que contemple normas sobre o aproveitamento, avaliações, controle, utilização racional, proteção, direitos e obrigações dos usuários. Propõe ainda, a possibilidade de estas normas serem estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Para Rebouças (2008) além da execução da política da outorga-cobrança, que já ocorre em diversos Estados e no Distrito Federal, o que falta é proceder a um amplo levantamento, sistematização e disponibilização dos conhecimentos sobre as águas subterrâneas no âmbito dos usuários, administradores e responsáveis pelas tomadas de decisão.

O próprio CNRH, através da Resolução Nº 15 de 11 de janeiro de 2001, estabeleceu diretrizes para a gestão das águas subterrâneas, considerando a atuação dos diversos agentes (municipais, estaduais e federais) que detêm competências que interferem na quantidade e na qualidade da água subterrânea. A resolução, portanto, buscou o preenchimento de algumas lacunas deixadas nas legislações anteriores, especialmente relacionadas ao enquadramento dos corpos de água subterrânea, outorga, cobrança e do gerenciamento integrado por meio de Sistema de Informações de Recursos Hídricos (SINGREH) nos âmbitos federal, estadual e do Distrito Federal.

A Resolução Nº 15/2001 estabelece ainda que os SINGREHs federal, estaduais e distrital deverão promover a uniformização de diretrizes e critérios para a coleta de dados e elaboração

de estudos hidrogeológicos necessários à identificação e caracterização da bacia hidrogeológica, conforme o artigo 4º da referida resolução, e os Comitês de Bacias Hidrográficas envolvidos deverão buscar o intercâmbio e a sistematização dos dados gerados (Freire, 2002). Também de responsabilidade dos sistemas é a proposição de mecanismos de estímulo aos Estados, Municípios e ao Distrito Federal para a proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a adoção de práticas de reuso e de recarga artificial com vistas ao aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade da água. Estas práticas deverão resultar no fomento de estudos para o desenvolvimento dos usos racionais e práticas de conservação dos recursos hídricos subterrâneos, assim como a proposição de normas para a fiscalização e controle das mesmas.

A Resolução Nº 22 de 24 de maio de 2002, também do CNRH, estabelece algumas diretrizes complementares para os Planos de Recursos Hídricos, e no que tange a água subterrânea destaca os seguintes aspectos:

- ✓ Considerar os usos múltiplos, as peculiaridades do sistema aquífero e os aspectos quantitativos e qualitativos relacionados ao mesmo, de modo a promover o desenvolvimento sustentável;
- ✓ Com a finalidade de se considerar a gestão integrada dos recursos, deverá constar nos Planos de Recursos Hídricos a caracterização dos aquíferos e as inter-relações com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente de modo geral;
- ✓ As informações e os dados sobre as águas subterrâneas devem constar nos planos e incluir, no mínimo, por sistema aquífero existente: 1) caracterização espacial; 2) cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico; 3) estimativas de recargas e descargas, tanto naturais quanto artificiais; e 4) estimativas de reservas permanentes.

Com base na breve revisão da legislação vigente, observa-se a necessidade de uma legislação nacional que contemple aspectos ainda não abordados ou pouco aprofundados, conforme indicado previamente por estudiosos da área e autores supracitados (Barth, 1999 e Rebouças, 2008).

Seu conteúdo deverá contemplar dois aspectos fundamentais: a integração das legislações atualmente em vigência sobre as águas subterrâneas, visto que os instrumentos de gestão tais como a outorga e a cobrança estão sendo implementados de forma ampla no país; e, concomitantemente, o fomento das atividades de pesquisa técnica e científica de modo que auxiliem na implementação das ferramentas de gestão legais. Ressalta-se, novamente, que a falta de subsídios técnicos e a carência de estudos hidrogeológicos (ou, por vezes, a falta de sistematização dos dados existentes) torna hoje a base legal brasileira, consideravelmente mais avançada em relação a muitos outros países, muitas vezes limitada do ponto de vista executivo.

## **Brasil**

No Brasil, a outorga da água subterrânea é feita ainda de formas muito distintas nos diferentes estados. De modo geral, a outorga é dispensada nos casos de pequenas

necessidades (usuários domésticos rurais ou urbanos de pequeno porte), o que significaria vazões de até 1 L/s, ou são emitidas apenas autorizações. Em alguns locais existe a chamada outorga prévia, que é um documento emitido pelo órgão responsável no qual fica garantida uma vazão aproximada para o solicitante durante o período de realização dos estudos necessários à outorga definitiva.

Para a obtenção da outorga final, são exigidos estudos que contemplem informações como a localização, os perfis construtivo e geológico do poço, resultados de testes e ensaios de bombeamento, níveis estático e dinâmico e, em alguns casos, estudos hidrogeológicos mais detalhados.

### **Período da Outorga**

O tempo máximo da outorga de água subterrânea varia de estado para estado, passando de 25 anos no DF (Decreto Nº 22.358/2001) a 30 anos de duração no estado de São Paulo (SP - Decreto Nº 32.955/1991), sendo de até 35 anos no estado da Bahia (BA - Lei 11612/2009).

### **Cobrança**

Em termos de valores, a título de exemplo, o estado de São Paulo cobra para usos industriais entre R\$ 0,04 e 0,23 por m<sup>3</sup> de recurso bruto extraído. Esse valor é consideravelmente inferior para uso agrícola, cerca de R\$ 0,0002 por m<sup>3</sup>, ainda que esta atividade represente cerca de 60% do consumo de água no estado. No Ceará, onde o recurso é mais escasso, os valores cobrados são de R\$ 0,60/m<sup>3</sup> para uso industrial, R\$ 0,01/m<sup>3</sup> para uso urbano e R\$ 0,005/m<sup>3</sup> para uso agrícola (Freire, 2002).

### **Aplicação de Recursos**

Silva *et al.* (1998) afirmam que a cobrança pelo uso da água não deve ser considerada um imposto, mas uma compensação da sociedade pelo uso de um bem público. Sendo assim, os recursos gerados de sua cobrança devem ser empregados integralmente na própria bacia de onde foi extraído. Entretanto, observa-se que a aplicação deste recurso não segue esta premissa onde, por exemplo, em São Paulo até 50% do valor arrecadado pode ser aplicado em outra bacia (Lei Nº 7.663/1991) e no Rio de Janeiro, 10% é aplicado no órgão gestor de recursos hídricos do estado (Lei nº 5234/2008, que altera a Lei Nº 4.247/2003). A cobrança, assim como a outorga, é desconsiderada para volumes insignificantes.

### **Distrito Federal**

No Distrito Federal, observa-se que a legislação pertinente encontra-se em desenvolvimento, tendo a outorga sido prevista somente em 2001, pela Lei Distrital Nº 2.725/01, quando foi instituída a Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal. O Decreto Distrital Nº 22.358/01 forneceu os primeiros instrumentos para a outorga de água subterrânea, definindo os

tipos de usos outorgáveis e volumes associados para atividades diversas, medidas de controle e conservação dos aquíferos, tempo mínimo de 1 ano e máximo de 10 anos de outorga para usuários comuns. A legislação do DF prevê ainda, a outorga por um período de 25 anos para concessionárias de serviços públicos de saneamento.

Com relação à cobrança, o DF não possui uma política definida tampouco redigida na forma de lei distrital. A cobrança está associada somente ao ato de solicitação da outorga, ficando o usuário dispensado de pagamento posterior e livre para utilização da vazão outorgada.

Assim como no Brasil, os poucos países onde existe o controle da exploração de água subterrânea não possuem critérios legais e técnicos gerais para todo o território, sendo adotados procedimentos diversos em função da disponibilidade, tipo de aquífero, tempo de bombeamento, taxa de recarga, dentre outros.

Os preceitos legais de controle do uso de água subterrânea, hoje aplicados em diversos países, têm sua origem em duas regras criadas ainda no século XIX: a Regra Inglesa e a Regra Americana. A primeira foi criada em 1843 na Inglaterra e estabelecia que o proprietário da terra possuísse o direito de utilizar a água subterrânea a qualquer vazão, ainda que o a propriedade adjacente fosse afetada. Apesar de nos Estados Unidos a Regra Inglesa ter sido aplicada na maioria dos estados até a segunda metade do século passado, em 1862, o estado de New Hampshire já estabelecia que usuários de água subterrânea poderiam fazer o uso dentro dos limites de suas terras, mas que este deveria ser feito de modo razoável. Esta regra ficou conhecida como Regra Americana e ainda hoje se encontra ativa, tendo funcionado como subsídio a aplicações iniciais da gestão sustentável das águas subterrâneas (Fetter, 1994).

A seguir são apresentados exemplos de sistemas de outorga de água subterrânea em alguns países.

### **Alemanha**

Na Alemanha as águas superficiais e subterrâneas são utilizadas até o limite que não prejudique o uso de outros usuários e sua cobrança data da década de 70. Para todos os usos é necessária a expedição de uma licença ou a aquisição de direito permanente. As licenças podem ser temporárias ou permanentes, podendo, entretanto, serem cassadas a qualquer momento se a proteção dos recursos assim o justificar. Um direito adquirido, por outro lado, normalmente não pode ser retirado, mas as autoridades levam em consideração os interesses dos outros usuários e o interesse geral pelo recurso. A outorga de direito adquirido é limitada a usos cujos impactos sejam perfeitamente conhecidos e que não seriam satisfeitos com uma licença simples.

Na maioria dos estados existe a cobrança pela utilização dos recursos hídricos, além da taxa de esgoto. No estado de Hessen, por exemplo, a cobrança pela retirada de água subterrânea para abastecimento público é de US\$ 0,30/m<sup>3</sup>, para abastecimento industrial US\$ 0,50/m<sup>3</sup> e para uso em refrigeração US\$ 0,70/m<sup>3</sup>. Parte dessa taxa estadual é aplicada em projetos de conservação e recuperação de ecossistemas.



## **França**

Na França a cobrança pelo uso da água ocorre desde 1964 e o valor é estabelecido pelo Conselho de Administração da Agência de Água, baseando-se nos investimentos previstos para os planos de bacias. A cobrança para os usuários domésticos e industriais considera três elementos básicos: o volume de água derivado no período de estiagem; o uso consuntivo (o produto do valor anterior por um fator de consumo); e o local de captação. No caso do usuário agrícola, a cobrança tem como base o volume de água captado durante a estação da estiagem.

Os valores cobrados por captação de água bruta variam, em função da bacia, de US\$ 0,5 a 1,6/mil m<sup>3</sup> para captação de água superficial e de US\$ 1,6 a 1,8/mil m<sup>3</sup> para água subterrânea.

A experiência da França demonstrou que a cobrança tornou-se possível somente quando se obteve um consenso entre as diversas regiões e que aquelas onde a situação era considerada mais crítica, a aceitação, de modo geral, ocorreu com maior naturalidade.

## **Holanda**

A Holanda é considerada um dos países mais industrializados da Europa, mas também possui em grande parte de seu território agricultura intensiva. Apesar da suficiente disponibilidade de recursos hídricos, os níveis de água subterrânea estão sendo rebaixados devido ao grande aumento da exploração para utilização nos processos agro-industriais.

O sistema de gestão do uso dos recursos hídricos, portanto, é baseado em dois pontos chave: grande número de organizações que exercem a gestão qualitativa e quantitativa da água (o que ocasiona um alto nível de descentralização); e uso de ferramentas comunicativas de consenso tais como consultas, recomendações, planejamentos e acordos voluntários.

A estrutura legal que rege a utilização da água superficial e da água subterrânea não é integrada, ou seja, ocorre por meio de instrumentos diferentes, o que não significa que a avaliação seja feita de forma separada. O principal documento usado para a exploração de água subterrânea é o *Ground Water Act*. De modo geral, o documento estabelece que as grandes abstrações devam requerer um documento de permissão, as médias o chamado registro e as pequenas abstrações não necessitam de qualquer autorização.

Em geral, as províncias que compõem o país (total de 12) definem os limites de extração de água de suas regiões e as permissões são delegadas às denominadas *waterboards*, uma vez que essas são responsáveis pela gestão da água superficial, e em muitos aquíferos da Holanda o nível destes depende diretamente dos níveis da água superficial. Assim, observa-se que as captações de água subterrânea no país são consideradas, em alguns locais, complexas uma vez que ocasionam efeitos negativos diretos nos fluxos de base de drenagens superficiais.

## **Índia**

Na Índia a exploração da água subterrânea ocorre, na maior parte, por meio de fazendeiros proprietários de poços em locais onde há uma alta demanda. Embora seja

reconhecido que a venda de água por fazendeiros no país já ocorra há séculos, os primeiros registros oficiais datam de 1960. Com o acelerado crescimento econômico registrado no país especialmente na última década, os investimentos na exploração de água subterrânea têm se voltado para o desenvolvimento de mecanismos para reduzir as perdas nos processos de extração e transporte. Observa-se, portanto, que não há uma legislação para a gestão do uso da água subterrânea e os preços são determinados pelo custo de extração e pela elasticidade da demanda.

### **Estados Unidos**

Nos Estados Unidos a outorga de água subterrânea é feita de diferentes formas nos estados, sendo que, em geral, está vinculada à propriedade da terra. Atualmente, o país ainda se encontra em transição da Regra Inglesa para a Regra Americana que, conforme abordado anteriormente, leva em consideração a exploração sustentável do recurso pelo proprietário da terra.

Alguns estados do oeste americano definem como públicas as águas fronteiriças e o direito de exploração de água subterrânea é concedido com base no tipo de uso, bem como as outorgas individuais, e são lançadas de acordo com a ordem de solicitação.

### **Chile**

De acordo com a legislação chilena, atualmente regida pela Lei Nº 1.122 de 1981, toda a água no território é de propriedade do Estado onde o mesmo outorga uma concessão de direito de aproveitamento da água (subterrânea ou superficial) a particulares, sem prioridades para uso. A lei, chamada de Novo Código de Águas, concede os direitos de uso de modo permanente ao titular, tendo para isso se fundamentado na teoria econômica do livre mercado, onde a eficiência e melhoria do produto assumem melhores condições na medida em que existe a concorrência. Assim, a lei permite a transferência da outorga entre outros usuários, desde que o uso permaneça o mesmo. Ressalta-se, contudo, que a cobrança data da década de 50, quando o primeiro código foi criado e permaneceu em vigor por quase 20 anos, tendo sido substituído pelo Código de Águas de 1969 e, por fim, pela Lei Nº 1.122/81.

### **Colômbia**

A cobrança para qualquer tipo de uso da água é legalmente permitida na Colômbia desde 1942, embora tenha sido implementada com muitas restrições e com valores bastante baixos somente a partir de 1974. Assim, as poucas cobranças aplicadas tinham a função de cobrir exclusivamente os custos de operação dos sistemas de monitoramento. Nos poucos casos em que se conseguiu superar as restrições e a aplicação da cobrança foi bem sucedida, consta que a atuação induziu à mudanças nos padrões de uso da água, especialmente com reduções no consumo e nos aspectos relacionados à poluição.

## Costa Rica

A chamada *Ley das Aguas* de 1942 da Costa Rica determina que as águas do país são de domínio público, propriedade nacional, e as águas consideradas como privadas são aquelas derivadas da chuva e que caem em propriedade particular, de modo que podem ser aproveitadas por meio de obras que as armazenem. Ainda, as águas subterrâneas são consideradas como pertencentes ao proprietário da terra.

Somente não é necessária a concessão nos casos em que a água seja destinada ao abastecimento de populações (inclusive no interior das propriedades) para uso doméstico e suprimento de necessidades ordinárias. Para todos os demais usos é necessária a concessão de outorga, que vigora por um período máximo de 30 anos, podendo caducar nos casos em que não seja explorada por um período consecutivo de 3 anos ou que mantenha um uso diferente daquele para o qual foi outorgada durante um período de 3 a 5 anos.

As tarifas diferem de acordo com o uso e com a origem do recurso, se a captação é superficial ou subterrânea.

### 2.3 Critérios Técnicos para Determinação das Vazões de Outorga

Meinzer (1920) sugeriu que a quantidade de água que poderia ser extraída do sistema aquífero de forma segura é igual à taxa de sua recarga natural. Atualmente, verifica-se que esse conceito é limitado, à medida que, conforme estabelece a hidráulica de poços preconizada por Theis (1935), toda e qualquer extração de água de um poço gera uma perturbação que se propaga no meio aquífero de forma infinita, estabelecendo novos estados de equilíbrio nas diversas frentes de contribuição e de saída existentes no sistema.

O conceito sugerido por Meinzer (1920) foi denominado por estudiosos modernos como vazão de segurança ou *safe yield*. Sophocleous (1997) questiona essa definição, uma vez que é aplicada como sendo o balanço entre a quantidade de água subterrânea bombeada anualmente do aquífero (retiradas) e a quantidade de recarga natural anual (entradas).

A vazão de segurança seria, nesse contexto, limitada à quantidade de água que retorna naturalmente ao sistema. Entretanto, esse conceito ignora as descargas que ocorrem a médio e longo prazo, principalmente por meio do abastecimento de cursos d'água perenes, os quais representam o fluxo de base do sistema e contém uma gama de variáveis ambientais a serem consideradas. Este foi um dos primeiros conceitos de gestão de águas subterrâneas e, apesar de ser obsoleto, continua sendo aplicado como base da regulação em diversos locais.

A principal observação feita por gestores e reguladores no que diz respeito às condições físicas é a depleção do aquífero quando bombeado. Entretanto, uma vez que o parâmetro utilizado para a regulação é a quantidade de recarga do sistema (ou a reserva renovável), observa-se que este critério não fornece uma relação equivalente já que ocorrem diversas

perdas pelo mesmo sistema além do bombeamento em si (ex: descarga nos cursos d'água, evapotranspiração, vazamentos nos poços, etc.). Assim, o uso da recarga natural como fator determinante de retiradas no sistema hídrico subterrâneo não é consenso entre os estudiosos.

Verifica-se ainda que o conceito de vazão de segurança seja diferente de vazão sustentável. O termo 'vazão sustentável' considera a variável tempo como efeito da recarga. Assim, o desequilíbrio gerado pela retirada da água poderia ser restabelecido a partir da recarga induzida no sistema, uma vez que a recarga natural possui um horizonte temporal da ordem de dezenas e, em alguns casos, de centenas de anos, tornando insustentável a utilização do recurso. Sophoclos (1997) ressalta que a retirada de água que, inicialmente, adviria da reserva, depois de um período, seria extraída da recarga induzida do recurso. O espaço de tempo entre a recarga induzida e sua nova retirada do sistema seria um fator determinante a ser considerado nas políticas de outorga de vazões.

Sobre este tema, Bredehoeft (1997) afirma que para que haja um novo equilíbrio do sistema, a captura (soma do aumento da recarga mais a diminuição da descarga) deve ser igual ao novo estresse submetido no sistema. Ressalta ainda, que a captura é dinâmica e depende da geometria dos aquíferos e de seus parâmetros hidrodinâmicos (por exemplo, permeabilidade e capacidade específica).

A aplicação da definição de vazão sustentável deve conseguir fazer uma ligação entre a prática e a teoria de modo eficiente. Pelo fato de ser uma questão que envolve uma série de considerações além do tema água subterrânea em si, deve englobar aspectos e estudos diversos. Maimone (2004) lista aqueles que devem ser considerados de modo que seja possível uma aproximação organizada em direção ao desenvolvimento de uma definição prática, juntamente com uma gestão adaptável.

Um dos aspectos citados refere-se à necessidade de compreensão da escala espacial dos estudos de vazões sustentáveis que, caso não seja observada, pode torná-los ineficazes. Desta forma, serão observados aspectos não somente gerais, mas os impactos locais que o bombeamento de água subterrânea pode ocasionar. Neste ponto, Maimone (2004) considera que uma boa percepção de onde os poços podem ser alocados e a identificação das áreas onde os impactos serão minimizados (ou maximizados) são considerações a serem feitas na definição de vazões sustentáveis.

Outro ponto a ser considerado é o bom conhecimento da demanda de água (que representa a relação entre o sistema hidrológico e a intervenção humana no mesmo), o qual considera, para efeito de cálculo da vazão sustentável, que o que é consumido deve ser, de alguma forma, devolvido ao sistema. Assim, o suprimento de água deverá considerar tanto o sistema de água subterrânea quanto o superficial e a boa compreensão da demanda facilitará a coleta de informações, a análise e a modelagem.

Bear & Levin (1967) sugeriram em seus estudos a modificação do uso do termo 'vazão de segurança' pelo termo 'vazão ótima'. Definiram assim, que a vazão ótima seria baseada nos seguintes critérios:

- ✓ Características físicas do aquífero, incluindo sua reposição natural e natureza estocástica;
- ✓ Considerações de natureza econômica incluindo-se a finalidade da utilização do recurso;
- ✓ Sistema hídrico, no qual o aquífero é apenas um dos componentes.

Os critérios adotados para a obtenção das 'vazões ótimas' devem basear-se na definição do 'planejamento ótimo', assim definido pelos autores, como a melhor combinação entre as diversas variáveis de tomada de decisão respeitando-se todos os limites impostos pelos fatores condicionantes (físicos, legais, socioeconômicos, bióticos).

A definição do 'plano ótimo', pelo fato de considerar a melhor combinação de fatores associados à exploração do recurso, facilitaria, assim, a implementação das políticas de uso, o controle, bem como o planejamento do uso futuro. Ressaltam, entretanto, que ao plano ótimo deverão ser associados os graus de incerteza (como por exemplo, a mudança no regime pluviométrico esperado), devendo ser definidas, portanto, estratégias de planejamento as quais deverão ser avaliadas de tempos em tempos em função de mudanças ocorridas nas variáveis consideradas.

Assim, os autores indicam que o conceito de '*safe yield*' é falho por não reconhecer o fato de que a vazão do aquífero é um fator dinâmico dependente do grau de seu próprio desenvolvimento, da razão entre bombeamento-recarga e da variação de condições externas.

Missteat & Beeson (2000) aplicaram uma metodologia para a obtenção de vazões outorgáveis no aquífero Chalk, no Reino Unido, baseada primordialmente na análise da variação do nível freático e nos dados de saída gerados a partir de ensaios de bombeamento. Os autores consideram de fundamental importância a garantia da qualidade das informações coletadas, especialmente em se tratando de aquíferos fraturados e livres.

O estudo considerou as variáveis associadas aos graus de incerteza destacadas por Bear & Levin (1967) na medida em que se baseou em dados históricos relacionados a níveis freáticos em períodos de seca (quando os sistemas estão sob maiores condições de estresse) no aquífero Chalk, na Inglaterra.

Assim, verificaram que as informações avaliadas, primariamente, pelos técnicos responsáveis são duas: a vazão disponível e a vazão potencial (disponibilidade e potencialidade do aquífero). A partir da combinação desses fatores obtém-se a vazão para a outorga.

Nesta definição (Bear & Levin, 1967), a vazão disponível seria aquela que leva em consideração as especificações técnicas do sistema de bombeamento utilizado, a vazão produzida, bem como os limites impostos pela legislação. A vazão potencial refere-se

exclusivamente àquela que pode ser potencialmente atingida considerando-se as características intrínsecas ao sistema aquífero.

Com base nas considerações abordadas pelos diversos autores citados na revisão da literatura acerca do tema e na análise técnica, foram enumerados e discutidos a seguir os parâmetros, os quais foram selecionados para a definição de vazões outorgáveis para mananciais subterrâneos dos aquíferos intergranulares, fraturados e cársticos, conforme apresentado nas propostas metodológicas. Ainda, serão apresentadas suas aplicações ideais em termos de tipologia de aquíferos, as vantagens e desvantagens de cada um.

Ressalta-se, contudo, que não há como utilizar um recurso natural sem alterá-lo e sem considerar que sua possibilidade de extração varia ao longo do tempo, bem como as condições ambientais. Assim, ao invés de se determinar números fixos para vazões a serem outorgadas, os parâmetros utilizados deverão estar sempre associados a uma reavaliação ao longo do tempo bem como ao monitoramento do sistema.

## **2.4 Análise dos Critérios Técnicos**

Baseando-se no conceito de vazão de segurança e adicionando-se os principais critérios abordados por Bear & Levin (1967) considerados como fundamentais para o delineamento do chamado *plano ótimo* para definição de vazões outorgáveis em aquíferos, foram identificados os critérios técnicos balizadores das propostas que nortearão de forma prática a outorga e gestão da água subterrânea.

Ainda, os conhecimentos acerca dos sistemas hidrogeológicos e das principais fontes de informações observadas pelos tomadores de decisão quando da outorga de água em mananciais subterrâneos, levaram a uma associação tanto das características físicas do sistema aquífero como parte integrante do ciclo hidrológico, quanto dos parâmetros associados aos pontos de captação da água subterrânea.

Neste sentido, procurou-se identificar as informações que podem ser extraídas das variáveis condicionantes do sistema, de modo que seja possível sua adequação aos diversos tipos de aquíferos, não por meio da aplicação de modelagens matemáticas específicas para cada um, mas a partir da utilização de dados que podem ser facilmente adquiridos e interpretados.

A discussão considerou os seguintes critérios para se definir as vazões consideradas sustentáveis (as vazões outorgáveis):

- ✓ Percentual da vazão média do aquífero;
- ✓ Percentual da vazão média dos poços em exploração no aquífero;
- ✓ Vazão de base da drenagem superficial;
- ✓ Análise qualitativa dos dados de ensaio de bombeamento;

- ✓ Rebaixamento disponível;
- ✓ Vazão de segurança;
- ✓ Avaliação do tempo máximo diário de bombeamento.

A proposição dos critérios também é embasada nas principais funções dos sistemas aquíferos: função produção, que é a característica do sistema de fornecimento de recurso para manutenção das necessidades de consumo; função transporte, onde o sistema aquífero funciona como meio de transporte a partir de zonas de recarga para outras regiões por meio de fluxos locais e regionais; função filtro, que ocorre na medida em que o meio geológico (consolidado ou não) no qual a água subterrânea percola e tem a capacidade de retirar substâncias que poderiam tornar-se nocivas aos seres humanos e ao ambiente de modo geral; e função reguladora, exercida na medida em que o sistema aquífero atua, por exemplo, como mantenedor de vazões em drenagens durante períodos de estiagem ou como alimentador direto ou indireto de outros aquíferos (Manoel Filho, 2008).

A seguir é apresentado o detalhamento dos parâmetros considerados, incluindo-se aspectos relativos às formas de obtenção dos dados e aplicabilidade de cada parâmetro.

#### **2.4.1 Percentual da Vazão Média dos Poços em Exploração no Aquífero**

A vazão média dos poços em exploração no aquífero é determinada a partir de uma população de dados de poços, com diferentes características construtivas, localizados em um dado sistema aquífero. Para a obtenção da vazão, os poços deverão ser submetidos a ensaios de bombeamentos, sendo indispensável à avaliação da ficha técnica do poço bem como a descrição de seu perfil geológico. Os ensaios de bombeamento, atualmente, são as formas mais práticas para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos e determinação das vazões de um poço.

O objetivo de serem avaliados poços com características construtivas distintas é o de se obter uma média que homogeneíze essas diferenças, minimizando assim sua influência no valor final obtido, uma vez que as características construtivas influenciam na eficiência hidráulica do poço podendo causar a sub ou, do contrário, a superexploração do mesmo.

Para a obtenção das vazões em cada poço devem ser observadas as metodologias adequadas de execução de testes e ensaios de bombeamento, de modo que os dados obtidos reflitam corretamente as características do sistema aquífero. Ressalta-se que os testes de bombeamento deverão ser utilizados somente com a função de balizar as vazões a serem utilizadas nos ensaios.

Acerca dessa abordagem, Fetter (1994) descreve que a execução adequada de testes/ensaios em aquíferos envolve um planejamento detalhado e um bom entendimento dos parâmetros hidráulicos. Os cuidados servem não somente para a etapa posterior de interpretação de dados, mas antes, para o desenvolvimento experimental do ensaio pelo qual

serão obtidos dados válidos e confiáveis do ponto de vista de expressão das características do sistema aquífero.

Feitosa & Demetrio (2000) descrevem que fatores importantes a serem considerados no planejamento de um ensaio de bombeamento incluem aspectos hidrogeológicos, econômicos e operacionais. Dentre eles, pode-se destacar:

- ✓ Seleção de locais favoráveis à execução do ensaio e de acordo com os objetivos de modo que sejam obtidos dados representativos;
- ✓ Aquífero mais homogêneo, conhecido e bem definido possível, com estudos prévios diversos;
- ✓ Existência de poços no local escolhido que possam ser utilizados tanto para bombeamento quanto para observar os rebaixamentos;
- ✓ Disponibilidade de energia elétrica (ou utilização de baterias de longa duração e alta potência);
- ✓ Facilidade de acesso;
- ✓ Facilidade de medição dos níveis, onde os poços deverão estar limpos e bem desenvolvidos (o diâmetro do poço deve ser suficiente para a instalação do equipamento de bombeamento pretendido).

Nos ensaios de bombeamento são utilizadas bombas submersíveis as quais conseguem manter facilmente as vazões desejadas pelos períodos determinados. Os ensaios permitem a medição dos níveis estático (NE) e dinâmico (ND), podendo ser utilizados medidores manuais, que podem ser elétricos ou ultra-sônicos, ou automáticos, os chamados registradores automáticos de nível de água ou *levellogger*, que se baseiam na pressão da coluna de água exercida sobre um sensor a partir do ND (Feitosa & Demetrio 2000).

Para a medição da vazão de um poço, dois são os métodos mais utilizados atualmente: através do uso de um hidrômetro ou pelo método volumétrico. O primeiro é um equipamento atualmente utilizado pelas companhias de saneamento nos grandes centros urbanos. O segundo método consiste na cronometragem do tempo necessário para encher um volume conhecido de um recipiente.

Após a validação dos dados, o valor da vazão média dos poços em exploração no aquífero 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).

O percentual da vazão média disponível para outorga deve ser definido com base na análise dos parâmetros hidráulicos e dimensionais dos aquíferos como condutividade hidráulica, espessura saturada, porosidade eficaz e coeficiente de armazenamento. Todos esses



parâmetros são obtidos direta ou indiretamente a partir dos resultados do ensaio de bombeamento.

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

Apresenta-se com certo grau de limitação para casos onde os aquíferos são muito pouco conhecidos (minimamente) e o banco de dados disponível não é suficiente para a determinação das vazões médias nos vários sistemas / subsistemas 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.

Uma alternativa à determinação da vazão outorgável, ainda dentro deste parâmetro, seria a obtenção da capacidade específica média do aquífero. A capacidade específica, também conhecida como vazão específica de um poço é determinada pela relação entre a vazão (Q) e o rebaixamento (s) para um determinado tempo (t) conforme expresso pela equação:

$$Q_{esp} = \frac{Q}{s}$$

Onde: **Q** representa a vazão do ensaio de bombeamento e **s** o rebaixamento obtido pela subtração do nível estático pelo nível dinâmico (NE-ND).

A capacidade específica do poço é medida, em geral, em m<sup>3</sup>/h/m, e é um dos principais parâmetros utilizados inclusive para comparação da produtividade em aquíferos distintos ou entre subsistemas de um mesmo aquífero. Para a outorga, esse parâmetro pode ser utilizado de forma que se possa vincular a vazão para cada usuário à profundidade dos poços e ao rebaixamento provocado pela vazão de bombeamento. A capacidade específica minimiza os problemas relacionados às diferenças construtivas dos poços e traz alguma representatividade do comportamento do aquífero.

#### **2.4.2 Percentual da Vazão do Poço**

Nesse caso é utilizada uma fração da vazão obtida a partir da estabilização do nível dinâmico após ensaio de bombeamento contínuo de 24 horas. Os ensaios contínuos são realizados com vazões constantes durante todo o período de bombeamento. Em alguns casos as perdas de carga hidráulica do sistema e a própria diminuição da alimentação do poço ocasionam a redução da vazão. Contudo o gráfico do rebaixamento obtido é a forma de uma única curva exponencial (sendo os níveis dinâmicos plotados no eixo y).

Os resultados deste tipo de ensaio são mais adequados para a determinação dos parâmetros dimensionais do aquífero, incluindo os valores de condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S).

Para aquíferos intergranulares homogêneos e livres é aplicado o método de Neuman (Neuman, 1972 e 1975) para a determinação de K, T e S. Para aquíferos homogêneos, livres e totalmente confinados podem ser aplicados os métodos de Theis ou de Cooper e Jacob (Theis, 1935 e Cooper & Jacob, 1946). Para poços tubulares construídos em sistemas fraturados livres, com restrita influência do aquífero freático intergranular sobreposto, o método mais aplicável para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos é o de Moench para sistemas fraturados (Moench, 1984 e 1994).

O percentual da vazão do poço aplicado para a outorga por esse parâmetro 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 (em geral, nos meios cárstico e fraturado) uma vez que nesses casos as vazões dos poços podem variar de forma extrema. Assim, a análise pontual aplica-se de forma mais coerente, devendo-se ter em mente a necessidade de monitoramento contínuo nessas regiões e sua relação com o regime hídrico.

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.

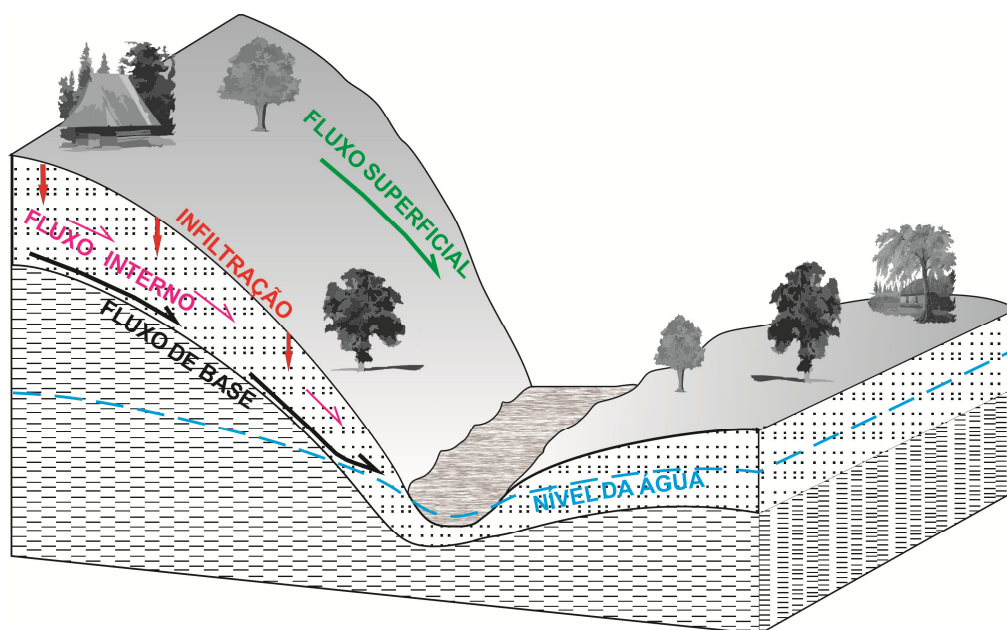
A aplicação adequada desse método requer a avaliação qualitativa dos dados dos ensaios de bombeamento.

### **2.4.3 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 deve ser feita com base em um percentual da vazão de base.

O embasamento dessa afirmação sustenta-se no fato de que as vazões de base variam não somente em função da sazonalidade das chuvas ou ocorrência aleatória das mesmas (tanto com relação à localização quanto à intensidade), mas também em função do caminho que é percorrido na superfície do solo pela água entre o ponto de precipitação até o curso d'água.

Nesse caminho, parte da água escoar diretamente para a drenagem representando de forma quase instantânea no tempo a precipitação ocorrida na bacia hidrográfica (fluxo superficial). Outra parte infiltra nas camadas superficiais do solo dividindo-se aí em dois fluxos: um que fica retido nas porções superficiais do solo, servindo quase sempre como suprimento de água especialmente à vegetação (fluxo interno), e outro que escoar para o sistema aquífero subjacente. Quanto à temporalidade, a fonte advinda do sistema aquífero é a última a alimentar a drenagem, o que ocorre, em geral, nos períodos de recessão de chuvas (Riggs, 1964). Esse é denominado fluxo de base da drenagem superficial e a ilustração dos diferentes caminhos percorridos pela água de precipitação pode ser observada na Figura 2.1.



**Figura 2.1 - Representação esquemática dos fluxos superficial, interno e de base a partir da precipitação em uma bacia hidrográfica (Modificado de Fetter, 1994).**

O comportamento das vazões dos cursos de drenagens superficiais é expresso por meio de hidrogramas. O hidrograma é a denominação dada ao gráfico que relaciona a vazão no tempo sendo esta informação obtida como resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão na bacia hidrográfica.

A forma do hidrograma depende de um grande número de fatores, dentre eles o relevo (forma, densidade de drenagens, declividade etc.), a cobertura da bacia (se com cobertura vegetal ou impermeabilizada), a distribuição, duração e intensidade das precipitações, além das características dos solos na bacia.

Para a definição da vazão dentro deste parâmetro é necessário separar, portanto, os diversos tipos de fluxo no hidrograma 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).

A partir da separação do fluxo de base gera-se a chamada curva de recessão a qual indica, de forma geral, a quantidade de água que advém de fluxo subterrâneo e o tempo necessário para que este seja substancialmente depletado. Portanto, as curvas de recessão são especialmente úteis no delineamento das diferentes vazões de água subterrânea lançadas em cursos d'água superficiais ao longo da bacia (Riggs, 1964).

O princípio teórico desse critério é válido uma vez que há forte vínculo entre a descarga de base com o potencial do aquífero, podendo as vazões outorgáveis alcançar até 30% da vazão de base de longo período. A vazão de base de longo período deve incluir no mínimo 20 anos de monitoramento e, idealmente, pelo menos 30 anos de medição contínua.

A legislação relativa à outorga de recursos superficiais estabelece que deve ser mantido um fluxo residual mínimo à jusante das derivações. As modalidades de vazões mínimas mais utilizadas para este fim são as denominadas  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{90}$ . A  $Q_{7,10}$  é definida como a vazão mínima medida por sete dias consecutivos com recorrência de 10 anos. A  $Q_{90}$  representa a vazão de permanência por pelo menos 90% do tempo.

#### **Determinação de $Q_{7,10}$**

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  deve-se utilizar uma série histórica com os dados de vazões mínimas e aplicados métodos estatísticos para a obtenção da distribuição dos dados. Silveira *et al.* (2006) apontam os seguintes métodos entre os principais métodos de distribuição utilizados: o de frequência, de Gumbel e de Log-Normal.

#### *Distribuição de Frequência*

A distribuição de frequência é um processo estatístico de transformar uma série cronológica de uma variável aleatória em uma série estatística onde as datas de ocorrência são eliminadas e a ordenação dos eventos observados se faz em ordem de grandeza, o que permite verificar a frequência com que ocorreram valores iguais ou superiores a um dado evento. No caso das vazões mínimas de sete dias,  $Q_7$ , pode-se atribuir uma probabilidade a cada um dos eventos e verificar qual a chance de ocorrer um valor inferior ou superior a um evento dado.

A função de distribuição  $F(X)$  informa a  $\text{Prob.}\{x \leq X\}$ , ou seja, informa a probabilidade da variável  $x$  ser inferior a um dado evento  $X$ . Considerando que o número de casos favoráveis que a variável  $x$  possa assumir seja  $m$ , em um total de  $n+1$  eventos, a função de distribuição será:

$$F(x) = \frac{m}{N + 1}$$

Em que:  $F(x)$  = frequência de ocorrência de um evento menor ou igual ao de ordem “ $m$ ” em “ $N$ ” anos e  $N$  = números de anos de observação.

O Período de Retorno é definido como o período de tempo médio, em anos, em que um determinado evento igual ou superior ao de ordem “ $m$ ” deve ocorrer pelo menos uma vez. É determinado pelo inverso da função de excedência,  $1 - F(X)$ , assim:

$$Tr = \frac{1}{1 - F(x)}$$

A análise pela distribuição de frequência direta permite determinar o valor do evento esperado para um período de retorno (Tr, em anos) inferior ao da série observada, neste caso pode-se determinar a vazão Q<sub>7</sub> esperada para um período de retorno de 10 anos.

#### Distribuição de Gumbel

Em geral, para se extrapolar os dados observados e dispostos em uma distribuição de frequência, procura-se ajustar esta distribuição a uma distribuição teórica, onde os parâmetros da distribuição observada serão os estimadores dos parâmetros da distribuição teórica.

A distribuição de Gumbel considera que para ajustar esta distribuição devem-se seguir os seguintes passos, colocar em uma tabela a distribuição de frequência com as vazões Q<sub>7</sub> (Tabela 2.1) em ordenamento crescente e as demais colunas devem ser calculadas na ordem apresentada a seguir, para cada ano da série.

**Tabela 2.1 - Tabela para ajuste de distribuição segundo método de Gumbel.**

Ordem (N)	Q <sub>7mínimo</sub> (m <sup>3</sup> /s)	F(x)	Prob	(Q <sub>7</sub> - μ)	(Q <sub>7</sub> - μ) <sup>2</sup>	Tr
-----------	--	------	------	----------------------	-----------------------------------	----

Em que, para a distribuição de frequência observada, os parâmetros são μ<sub>x</sub> e σ<sub>x</sub> e para a Distribuição de Gumbel são δ e β.

$$P = 100 F(X)$$

é a probabilidade de ocorrer o evento em questão.

$$Tr = \frac{N - 2\alpha + 1}{m - \alpha}$$

Em que:

N = número de eventos; m = posição do valor da amostra e α = 0,4.

Calcula-se então, a média das Q<sub>7</sub>, μ<sub>x</sub>, e o desvio padrão σ<sub>x</sub>, onde:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(Q_i - Q_7)^2}{N - 1}}$$

Para Gumbel:

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

Em que:

$$y = \ln^2 F(x)$$

Calculam-se então os valores de  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  para a série histórica conhecida e a seguir calcula-se:

$$\delta = \frac{\mu_y}{\mu_x}$$

$$\beta = \sigma_x - \frac{\sigma_y}{\delta}$$

Do que resultará:

$$y = \delta (x - \beta)$$

Logo:

$$-\ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{Tr} \right) \right) = \delta \cdot (x - \beta)$$

Em que:

$x$  = valor de  $Q_7$  para  $Tr = 10$  anos

#### *Distribuição Log-Normal*

A distribuição Log-Normal é outra distribuição muito utilizada para o estudo das vazões mínimas por fornecer resultados tão consistentes como a distribuição de Gumbel. Baseado na fórmula de Ven Te Chow, dada por:

$$X_T = X_{\text{méd}} + K_T * S_X$$

Onde,

$X_T$  = valor esperado para o evento com um período de retorno de  $T$  anos;

$X_{\text{méd}}$  = média amostral;

$S_X$  = desvio padrão amostral;

$K_T$  = fator de frequência que depende do período de retorno e da distribuição de probabilidade utilizada.

A distribuição log-normal é aplicada sobre logaritmos das vazões, em vez dos valores diretos das vazões, ficando a equação:

$$y_T = y_{\text{méd}} + K_T * S_Y$$

Onde  $y = \log Q$ .

#### **Determinação de $Q_{90}$**

Conforme descrito anteriormente, a vazão denominada  $Q_{90}$  é a vazão determinada estatisticamente, para certo período de observação num posto fluviométrico, em que 90% daquele período de tempo as vazões foram iguais ou superiores a ela. Em outras palavras,

pode-se aceitar que existe um nível de 90% de garantia de que naquela seção do curso d'água as vazões sejam maiores do que o  $Q_{90}$ . Diz-se que a  $Q_{90}$  é a vazão com 90 % de permanência no tempo, podendo ser extrapolado para outras seções do curso d'água, com base na área da bacia hidrográfica contribuinte e nas quantidades de chuvas da região.

A estimativa da oferta de água superficial é feita com base em toda a rede de drenagem da bacia hidrográfica e as vazões são medidas em alguns pontos específicos por meio de postos fluviométricos e pluviométricos, e regionalizados para o restante da bacia. Para a regionalização, uma das técnicas mais utilizadas no Brasil com resultados satisfatórios é a regionalização de vazões pelo método tradicional, descrito em detalhe em Eletrobrás (1985a).

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.

Conflitos entre os interesses de usuários de águas subterrâneas e águas superficiais podem ocorrer quando a água superficial é alimentada diretamente pela descarga dos aquíferos (principalmente aquíferos cársticos), uma vez que a exploração geralmente causa a depleção do aquífero e a conseqüente diminuição do fluxo de base da drenagem. Assim, na aplicação deste parâmetro deve-se efetivamente colocar em prática o que já preconiza a legislação brasileira: a gestão integrada do recurso por meio da realização da outorga superficial e subterrânea em conjunto.

#### **2.4.4 Análise Qualitativa dos Dados de Ensaio 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 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.

Os resultados do ensaio são armazenados em planilhas de dados de tempo (t), em minutos *versus* rebaixamento (ho-h), em metros. Para aquíferos intergranulares de alta produtividade este procedimento é realizado por um tempo mínimo de 24 horas. Contudo, para sistemas fraturados, bons resultados podem ser alcançados com um tempo de bombeamento superior a 14 horas.

No início do ensaio mede-se o nível estático (NE) e durante sua execução serão medidos os níveis dinâmicos (ND) em intervalos de tempo pré-estabelecidos, de forma a se compor uma escala aproximadamente logarítmica do tempo. As vazões também são medidas para se ter controle de sua estabilização ou de sua variação durante o procedimento.

De modo geral, os ensaios são classificados em três modalidades: contínuos, escalonados ou sucessivos. A seguir é apresentado o detalhamento da execução de cada um dos tipos de ensaios bem como a aplicabilidade. Ressalta-se, novamente, que para a realização de qualquer ensaio de bombeamento deverão ser seguidas as orientações apresentadas no item Percentual da Vazão Média do Aquífero no que diz respeito à preparação para execução dos ensaios.

#### *Ensaio Contínuo*

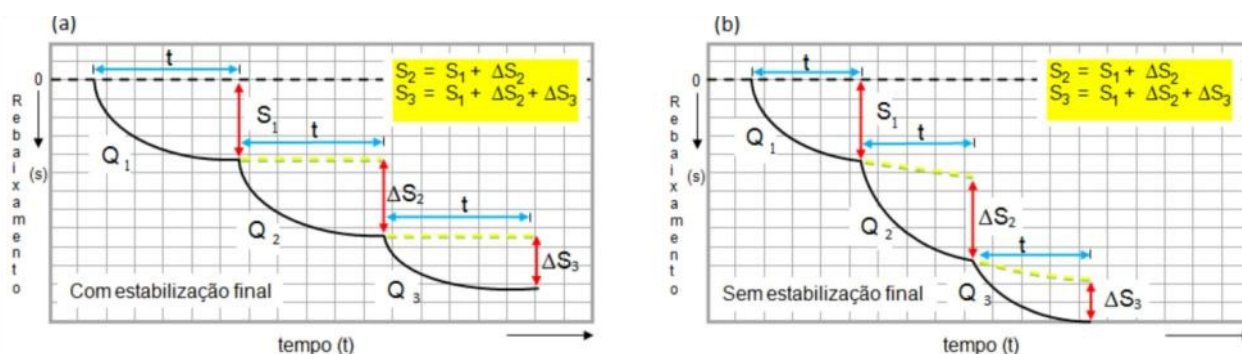
Conforme descrito anteriormente, os ensaios contínuos são aqueles realizados por um período determinado com vazão constante. Este tipo de ensaio permite a fácil obtenção dos parâmetros dimensionais, em especial a condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S). A descrição dos métodos aplicados a cada tipo de aquífero para a obtenção desses parâmetros é descrita no item Percentual da Vazão do Poço.

#### *Ensaio Escalonado*

Os ensaios do tipo escalonados são realizados através de um bombeamento contínuo, passando-se de uma etapa para outra através do aumento brusco da vazão, podendo os intervalos entre cada etapa ser variáveis ou fixos. Ressalta-se, entretanto, que deverão ser realizadas pelo menos 3 (três) etapas de escalonamento, e o gráfico final incluirá tantas curvas exponenciais quantas etapas de bombeamento forem executadas. Os ensaios escalonados são classificados em dois tipos: com estabilização do nível dinâmico (ND), e sem estabilização do nível dinâmico (ND).

A Figura 2.2 apresenta as curvas de rebaixamento *versus* tempo, referentes aos ensaios escalonados com estabilização do ND (a) e sem estabilização do ND (b).





**Figura 2.2 - Curvas de rebaixamento *versus* tempo para ensaios do tipo escalonados: a) com estabilização do ND e b) sem estabilização do ND (Modificado de Custódio & Llamas, 1983).**

Os ensaios escalonados permitem, além da observação das características dimensionais do aquífero, a determinação da equação característica do poço. A obtenção da equação é definida a partir da relação entre o rebaixamento total do poço ( $S_w$ ), as perdas de carga lineares (B) e não lineares (C) do sistema bombeado e a vazão do ensaio (Q), conforme expresso pela equação:

$$S_w = BQ + CQ^n$$

As perdas lineares ocorrem no aquífero e nas vizinhanças do poço em regime de fluxo laminar, são diretamente proporcionais a vazão de bombeamento e podem ser divididas em três componentes: perdas no aquífero, na transição para o pré-filtro e devido à penetração parcial. As perdas não lineares ocorrem no próprio poço e em suas vizinhanças em regime de fluxo turbulento e são diretamente proporcionais a vazão de bombeamento elevada a um expoente n.

Os valores de n devem ser calculados a partir de um sistema de equações estruturados com base nos dados das três etapas de bombeamento, conforme proposto por Rorabaugh (1953).

Para a resolução do sistema de equações, as variáveis do rebaixamento total do poço ( $S_w$ ) devem ser corrigidas para o tempo de 60 minutos em cada etapa e o cálculo dos valores de B, C e n poderão ser feitos com auxílio de programas comerciais para soluções de problemas matemáticos. Para a resolução do sistema de equações pelo programa matemático deverá, contudo, ser respeitada a seguinte relação:  $S/Q$  (etapa 1) <  $S/Q$  (etapa 2) <  $S/Q$  (etapa 3), onde S é o nível dinâmico e Q a vazão. Outra condição é a de que os valores de S e Q aumentem em uma progressão aproximadamente geométrica.

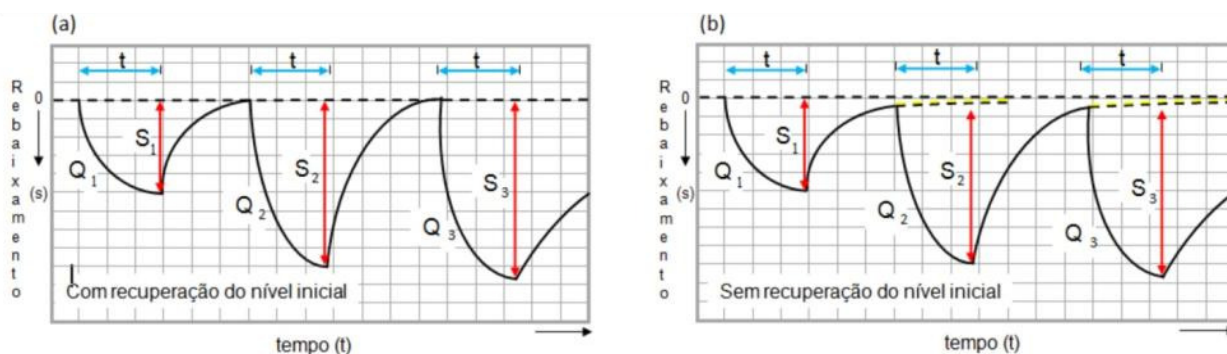
A importância da obtenção da equação característica do poço é a de que essa fornece a vazão máxima disponível onde a projeção da curva característica sobre o rebaixamento máximo disponível (RMD) indica a ordem de grandeza da vazão a ser utilizada, garantindo uma maior vida útil do poço e um menor estresse hídrico ao aquífero.

Os ensaios do tipo escalonados, em geral, são mais utilizados porque apresentam a vantagem de serem realizados com maior rapidez, minimizando os custos de operação.

## Ensaio Sucessivos

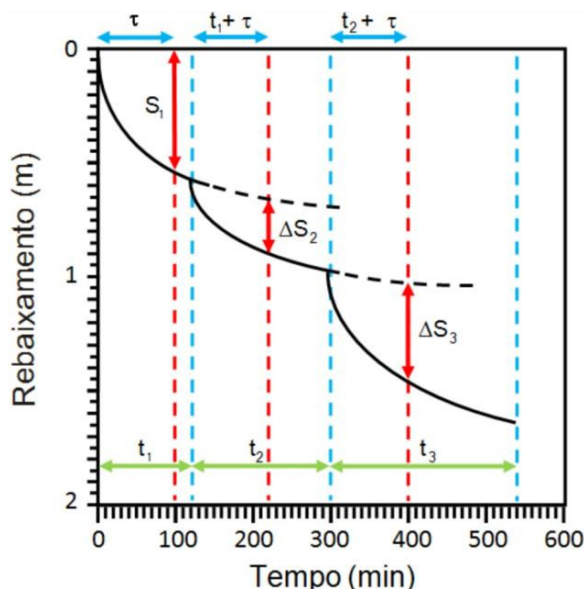
Os ensaios sucessivos são caracterizados pelo desligamento do bombeamento entre cada etapa do ensaio e espera da recuperação do nível estático, normalmente, por um tempo igual ao da etapa de bombeamento, antes de dar início à etapa subsequente. Com o desligamento do sistema de bombeamento o nível se recupera total ou parcialmente, quando se inicia nova etapa de bombeamento com uma vazão maior. Assim, os ensaios sucessivos são classificados em: com recuperação do nível estático (NE) e sem recuperação do nível estático (NE).

A Figura 2.3 apresenta as curvas de rebaixamento *versus* tempo, referentes aos ensaios sucessivos com recuperação do NE (a) e sem recuperação do NE (b).



**Figura 2.3 - Curvas de rebaixamento *versus* tempo para ensaios do tipo sucessivos: a) com recuperação do NE e b) sem recuperação do NE (Modificado de Custódio & Llamas, 1983).**

Os ensaios sucessivos também requerem a realização de pelo menos três etapas e os intervalos de tempo não têm a obrigatoriedade de serem iguais. Para ambos os casos, ensaios escalonados e sucessivos, os valores de rebaixamento deverão ser relacionados para os intervalos de tempo correspondentes ( $\tau$ ), como mostrado na Figura 2.4.



**Figura 2.4 - Ensaio em três etapas com diferentes tempos de bombeamento (Modificado de Custodio & Llamas, 1983).**

Os ensaios sucessivos apresentam a desvantagem de serem mais longos e, portanto, necessitam maiores investimentos e incorre-se no risco de não ser possível a conclusão do ensaio em função da última vazão pré-determinada. Isto por causa da capacidade da bomba ou limite de profundidade do crivo. Permite também avaliar a precisão da Equação Característica do Poço, comparando-se os rebaixamentos calculados com os rebaixamentos observados. Na realização de ensaios de bombeamento deverão sempre ser observadas as condições de equilíbrio dinâmico.

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.

#### **2.4.5 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 de equações construído com os dados de vazão e rebaixamento em cada um dos estágios do ensaio escalonado com vazões crescentes, conforme descrito no item Ensaio de Bombeamento - Ensaio Escalonado.

Este critério aplica-se tanto para os sistemas intergranulares quanto para os cársticos e fraturados, sendo diferenciado o tempo de bombeamento para cada um deles. 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, serem reduzidos 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 uso desse critério deverá ser avaliado em função do tipo de aquífero, se livre ou confinado, e do projeto construtivo do poço. Em poço de aquífero livre, o rebaixamento não deve ser superior a  $1/3$  da espessura saturada. Em aquífero confinado, fica restrito a uma profundidade de nível dinâmico sempre inferior à profundidade do topo do aquífero (Manoel Filho *et al.*, 2008).

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

#### **2.4.6 Vazão Sustentável**

Corresponde à espacialização das reservas exploráveis por unidade de área (km<sup>2</sup> ou hectare, por exemplo). As reservas exploráveis são obtidas a partir da soma da reserva

renovável com um percentual da reserva permanente do aquífero. 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), conforme destacado previamente na presente dissertação.

De todo modo, tendo-se em mente que as estimativas das vazões sustentáveis 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).

Para o uso dos recursos subterrâneos é de fundamental importância que sejam avaliadas as reservas hídricas renováveis, permanentes, totais e explotáveis, para que seja obtida uma previsão do volume de água que poderá ser extraída dos sistemas aquíferos, sem prejuízo do sistema natural e sem risco de colapso do abastecimento após um período contínuo de bombeamento.

A avaliação baseou-se no uso de fórmulas clássicas de obtenção dos diferentes tipos de reservas descritas por Feitosa *et al.* (2000) para os aquíferos livres. Assim, as seguintes definições foram utilizadas:

Reservas renováveis (Rr): Consistem no volume de água do aquífero acumulado por alimentação natural (precipitação) no ano hidrológico. Esse volume é diretamente dependente do regime de precipitação e pode variar anualmente tanto em função da precipitação como das condições de uso do solo. O cálculo da reserva renovável é feito com base na taxa de precipitação média do local estudado, na área disponível para recarga, no valor atribuído à taxa de infiltração efetiva, que é uma média de 12% do total precipitado (Coimbra, 1987) e na taxa de impermeabilização. Assim, a determinação da reserva renovável (m<sup>3</sup>/ano) se dá por meio da relação:

$$Rr = \text{precipitação} \times \text{área} \times \text{taxa de infiltração} \times (1 - \text{coeficiente de impermeabilização})$$

Reservas permanentes (Rpf): São aquelas situadas abaixo do nível de água mínimo, medido no período de estiagem, e que não sofrem influência da sazonalidade das precipitações. O cálculo da reserva permanente depende do tipo de aquífero avaliado. Corresponde ao produto da área do sistema aquífero pela sua espessura saturada e pela porosidade efetiva da rocha. Assim, a determinação da reserva permanente (m<sup>3</sup>/ano) se dá por meio da relação:

$$R_p = A \times b \times \eta_e$$

Onde:  $R_p$  = Reservas permanentes;  $A$  = Área do sistema de aquífero;  $b$  = Espessura saturada;  $\eta_e$  = Porosidade efetiva.

Reserva explotável ( $R_{exp}$ ): Representa o volume total de água que pode ser explotado do aquífero para a sustentabilidade do sistema, ou seja, sem causar o rebaixamento progressivo dos níveis de saturação.

A quantificação das reservas explotáveis pode variar segundo a interpretação dos diferentes gestores, sendo assim considerada:

- ✓  $R_{exp} < R_r$
- ✓  $R_{exp} = R_r$
- ✓  $R_{exp} = R_r + \%R_p$

No primeiro caso há uma preocupação de proteção do sistema, de forma que a  $R_{exp}$  é interpretada como um percentual da reserva renovável. Neste caso o gestor considera que a retirada de toda a recarga poderia comprometer as funções ecológicas do aquífero, por exemplo, com a diminuição de vazões de drenagens ou secamento de áreas úmidas. Na prática tais efeitos não devem ser esperados, pois quando se mede a variação anual dos níveis freáticos, já se considera parcialmente sua descarga por fluxo de base para a manutenção destas funções.

A maioria dos gestores considera que a disponibilidade deve ser igual à recarga anual. Neste caso, o sistema ficaria em equilíbrio, mantendo as funções ecológicas e econômicas do aquífero.

Por fim, existem autores que consideram que a disponibilidade seria equivalente à reserva renovável mais um percentual da reserva permanente (ex. Campos & Freitas Silva, 1998). Neste caso é considerado que a abstração de uma parcela das reservas permanentes causa uma recarga adicional induzida pelo rebaixamento. O sistema tenderia a se equilibrar a partir do preenchimento do espaço geral pelo rebaixamento. Este raciocínio é mais aplicado a sistemas aquífero livres, mas também podem ser considerado para aquíferos confinados.

A grande questão que se levanta é qual o percentual da reserva permanente poderia compor a reserva explotável. De forma geral, este percentual deve ser definido pelo grau de circulação, condições de recarga e sistemas de fluxo a que o aquífero está submetido. Este percentual deverá variar entre zero e no máximo 40% ao ano. Os valores máximos apenas devem ser considerados para sistemas que apresentam balanço hídrico muito favorável (ex. Sistema Aquífero Urucuia - Gaspar, 2006). Valores muito baixos ou nulos devem ser aplicados a sistemas que ocorrem em áreas com grande declividade (relevo forte ondulado a escarpado),

com solos rasos e com balanço hídrico desfavorável (ex. Subsistema Canastra no Distrito Federal - Campos, 2004).

Entre os argumentos que podem ser usados para corroborar o uso deste critério destacam-se: o fato de existirem aquíferos que são explorados a longos períodos com uso de parte das reservas permanentes e que não sofrem sobreexploração (como o exemplo do Sistema Aquífero Urucuia) e o fato de o uso da água não ser uniforme em todo o ano, de forma que na época de chuvas o consumo diminui e a recarga é ampliada na maioria dos locais, em especial nos locais com ampla utilização da água na agricultura e com sistemas mistos de abastecimento, fornecendo um equilíbrio ao sistema.

### **2.4.7 Tempo Máximo Diário 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 a exploração dos sistemas aquíferos se torne sustentável.

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 que quando os poços operam dentro dos limites das vazões consideradas sustentáveis pelos órgãos locais responsáveis pela outorga, não deve há, em geral, restrição 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) consideram 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 Sri Lanka (Jayawardena, 2003), também considera que 16 horas de bombeamento com 8 horas de recuperação é o tempo ideal para exploração destes 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 de alguns sistemas aquíferos fraturados conhecidos no Brasil, como por exemplo, o caso do Distrito Federal, pode-se considerar de forma conservadora que 16 a 20 horas de bombeamento diário com 4 a 8 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.

## CAPÍTULO III

---

### 3 PROPOSTA METODOLÓGICA

#### 3.1 Diretrizes Gerais e Objetivos da Proposta

Com base nos aspectos legais, ambientais e técnicos discutidos anteriormente, é possível o delineamento de propostas que conduzam a uma prática e eficiente gestão dos sistemas aquíferos. A idéia de se propor uma metodologia para a definição de vazões para outorga de água subterrânea está pautada, especialmente, na necessidade de suprimento das demandas dos diversos usuários em consonância à manutenção das condições de equilíbrio do sistema como um todo, bem como na disponibilização de metodologias que auxiliem os gestores de modo eficiente no momento da tomada de decisão.

Os critérios técnicos apresentados aplicam-se aos diferentes tipos de aquíferos e nas mais diversas situações, sendo necessária, entretanto, a coerência no momento da adaptação de um ou mais dos fatores que os compõem para cada localidade.

Inicialmente, para a correta aplicação de qualquer metodologia que seja destinada à concessão de outorga de uso de mananciais subterrâneos, deverá ser caracterizada a geologia (litologias e estruturas) do local de interesse bem como os sistemas aquíferos associados. Este é o ponto de partida para a definição dos parâmetros a serem aplicados. É interessante que também já existam dados de caracterização espacial dos aquíferos, quantificação do volume de águas subterrâneas a partir do balanço hídrico, estimativas de recargas e descargas (naturais e artificiais), bem como estimativas de reservas permanentes (estudos já preconizados pela Resolução Nº 22/2002 do CNRH para a elaboração dos Planos de Bacias).

Conceitualmente, um aquífero é uma formação geológica com porosidade interconectada capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água no meio subterrâneo. O termo quantidades significativas é obviamente relativo e depende do uso final do recurso que advém, em geral, por meio de captações em poços tubulares profundos. No campo da perfuração de poços o mesmo termo significa ainda que a ação seja economicamente viável.

Os sistemas aquíferos podem ser classificados em função de diferentes parâmetros. Em função da porosidade básica os aquíferos podem ser classificados em intergranulares, fraturados ou cársticos. A partir da associação das porosidades fundamentais os sistemas podem ser de dupla-porosidade, físsuro-cársticos ou até intergranular-cárstico.

A associação entre dois ou mais desses tipos de porosidades em sistemas aquíferos é comum em quase todos os locais, entretanto, a dinâmica dos processos é a considerada a mesma (por exemplo, se o aquífero é fraturado ou cárstico ou se é combinado do tipo físsuro-cárstico). Assim, entende-se que os critérios aqui selecionados abrangem de modo consistente



todas as situações bem como a associação dos sistemas aquíferos, cabendo ao gestor a identificação da metodologia que melhor se aplica a um caso de dupla porosidade.

Os aquíferos intergranulares apresentam porosidade entre os clastos, grãos ou cristais constituintes das rochas, as quais são sedimentares terrígenas ou vulcânicas piroclásticas. Os sistemas fraturados são desenvolvidos em rochas plutônicas, metamórficas ou sedimentares clásticas que tiveram toda a porosidade primária obliterada pela cimentação diagenética. Os sistemas cársticos são associados a rochas com amplas sucessões carbonáticas (calcários, dolomitos, margas e mármore) que sofreram dissolução com a formação de vazios. Os sistemas físsuro-cársticos são associados a rochas carbonáticas que ocorrem na forma de lentes e, portanto, não geram dissolução cárstica típica dos modelos cársticos clássicos. No caso dos aquíferos de dupla-porosidade, o reservatório apresenta simultaneamente porosidade primária residual e porosidade secundária planar. Os sistemas intergranulares-cársticos apresentam porosidade entre os elementos aloquímicos (bioclastos, intraclastos, oncólitos e oólitos), além de dissolução ao longo de planos de descontinuidades (juntas e acamamento).

Os aquíferos podem ser classificados ainda em função da pressão das águas nas suas superfícies limítrofes (camada de topo e de base) e também em função da capacidade de transmissão de água dessas respectivas camadas limítrofes (do topo, camada confinante superior, e da base, camada confinante inferior). Portanto, em relação à pressão nessas superfícies limítrofes descritas, os sistemas aquíferos podem ser confinados e livres (Manoel Filho, 2008).

As camadas limítrofes podem ser classificadas como aquioclude, aquiatarde e aquífugo. Um aquioclude é uma formação que pode conter água (por vezes em quantidades significativas), mas que é incapaz de transmiti-la em condições naturais, por exemplo, formações impermeáveis como camadas de argila e folhelhos. O aquiatarde, por sua vez, é uma camada ou formação semipermeável, delimitada no topo e/ou na base por camadas de permeabilidade muito maior, funcionando como uma espécie de filtro. A denominação aquífugo aplica-se a uma formação impermeável que nem armazena e nem transmite água.

Aquíferos confinados são aqueles onde a pressão da água no seu topo é maior do que a pressão atmosférica, ou seja, encontra-se limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis.

Os aquíferos confinados podem ainda ser definidos em função das características das camadas limítrofes como: aquíferos confinados não drenantes ou aquíferos confinados drenantes. Manoel Filho (2008) caracteriza os primeiros como aquíferos cujas camadas limítrofes superior e inferior são impermeáveis. Um poço locado neste tipo de aquífero apresenta o nível da água subterrânea acima da base da camada confinante superior. Esse nível pode ficar abaixo ou acima da superfície do solo. Quando a superfície potenciométrica encontra-se acima da superfície do solo, o poço é denominado de artesiano ou jorrante (Manoel Filho, 2008).

Os sistemas confinados drenantes são definidos como aquíferos onde pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, ou seja, há entrada ou saída de fluxos pelo topo ou pela base. Essa característica é definida como drenança e quando ocorre a partir da camada inferior (base) é chamada de ascendente, e a partir da camada superior (topo) é descendente. Apesar das formações semipermeáveis apresentarem alta resistência a passagem do fluxo de água, quantidades consideráveis podem ser perdidas ou ganhas pelos aquíferos drenantes, especialmente quando possuem grande alcance regional.

Os aquíferos livres, ou também denominados freáticos ou não confinados, são aqueles cujo limite superior é a superfície de saturação ou freática, a qual se encontra sob pressão atmosférica. Os aquíferos livres podem ou não estar associados aos aquíferos confinados, uma vez que suas áreas de exposição correspondem a áreas de recarga através das quais os excessos de água da chuva conseguem penetrar por infiltração. Como ocorre nos aquíferos confinados, os aquíferos livres também podem ser classificados como drenantes (quando a camada inferior ou de base é semipermeável) e não drenantes (quando a camada inferior ou de base é impermeável).

Outros conceitos importantes que se deve ter em mente quando da caracterização de sistemas aquíferos são os de homogeneidade, heterogeneidade, isotropia e anisotropia.

Diz-se como homogênea, uma unidade cujas propriedades sejam as mesmas em toda a sua extensão ou possuam pequenas variações. Para o caso de rochas sedimentares, isso significa que a rocha possui o mesmo tamanho dos grãos, porosidade, grau de cimentação e mesmo a espessura igual em toda sua área de abrangência. Para o caso de rochas fraturadas ocorreria o mesmo padrão de fraturamento, inclusive com mergulho e direção semelhantes. Para rochas cársticas, a homogeneidade seria representada pela mesma quantidade de juntas e padrão de aberturas formadas pela dissolução carbonática em toda sua extensão.

Em uma unidade heterogênea, por sua vez, as propriedades hidráulicas da rocha, refletidas por meio dos padrões de porosidade, fraturamento, cimentação e espessura, variam substancialmente dentro de pequenas extensões da mesma unidade.

A isotropia é uma característica intrínseca à permeabilidade do meio e diz-se que uma rocha é isotrópica quando o potencial de transmissão da água é o mesmo em todas as direções, o que ocorre em aquíferos intergranulares formados por rochas sedimentares, gerando uma superfície cônica relativamente simétrica quando da formação dos cones de depressão a partir do bombeamento.

Um aquífero anisotrópico é aquele onde a água, ou qualquer outro fluido, tem maior potencial de fluxo numa direção em relação a outras. Isto normalmente ocorre com os aquíferos formados por rochas ígneas e metamórficas, onde a porosidade é dada pelas discontinuidades provocadas por fraturas e falhas. Em rochas sedimentares onde há intercalação de lentes de rochas com condutividades hidráulicas diferentes, também pode ocorrer anisotropia. Em um

aquífero anisotrópico o contorno do cone de depressão será alongado segundo a direção da velocidade de menor potencial de fluxo de água.

Posteriormente à identificação do tipo do sistema aquífero e de suas características intrínsecas, conforme detalhado anteriormente, deve-se proceder a avaliação do terreno através do uso de imagens de satélite em escalas superiores a 1:100.000, sendo desejável acima de 1:10.000 no âmbito dos estudos detalhados para a locação dos poços e para a determinação dos critérios de gestão, incluindo a emissão de outorga de direito de uso.

Esta avaliação permite: a identificação de lineamentos (em especial fraturas); tratamentos computacionais que permitem o realce de zonas de maior ou menor umidade; identificação de padrões de drenagem; e delineamento do relevo e padrões de declividade com base nas curvas de nível (e possível identificação de zonas de recarga). Nesta etapa devem ser coletados e sistematizados todos os dados de poços já existentes, bem como outras informações como cadastros de pontos d'água (poços tubulares, poços escavados, fontes naturais, galerias infiltrantes, zonas pantanosas, solos hidromórficos, rios e lagoas diretamente conectados ao aquífero, etc.), levantamentos geofísicos, dados de monitoramento quali-quantitativos, pedológicos e hidroclimatológicos (especialmente quando da existência de séries históricas de monitoramento).

A emissão da outorga do direito de uso, em muitos casos, depende de etapas de campo para a confirmação de informações obtidas em escritório e muitas vezes constituem-se em uma etapa imprescindível, por exemplo, para determinar os riscos de sobreexploração ou de contaminação.

Khan & Mawdsley (1988) ressaltam que o procedimento mais satisfatório anteriormente a qualquer outorga é o conhecimento das vazões disponíveis e as variações das superfícies potenciométricas, de modo que se possa garantir a integridade física, química e biótica do aquífero explorado e suas regiões vizinhas. Os mesmos autores afirmam ainda que a proposição de qualquer critério relacionado à outorga de água subterrânea deve sempre avaliar o que é reserva permanente e reserva explotável e a quantidade a ser outorgada deve sempre levar em consideração o uso para o qual será destinada.

Outra etapa de fundamental importância para a definição das vazões outorgáveis é a identificação da demanda dos usuários, o que deve ser realizado por um especialista ou minimamente observada a partir de planos diretores ou mapas de zoneamento urbano e rural. Ainda, a observância da distribuição desta demanda secundariamente forneceria os vetores de expansão e, conseqüentemente, os padrões de impermeabilização especialmente de áreas de recarga dos sistemas aquíferos.

Assim, a proposta para a determinação das vazões outorgáveis apresentada neste estudo é baseada nas seguintes diretrizes:

- ✓ Associar mais de um critério técnico, aplicável às características dos diferentes aquíferos;

- ✓ Ser de fácil aplicabilidade;
- ✓ Considerar os preceitos da favorabilidade à exploração das águas subterrâneas;
- ✓ Resultar em valores conservadores, principalmente para os casos em que os sistemas aquíferos sejam pouco conhecidos ou já intensamente explorados;
- ✓ Ser alvo de monitoramento de forma que se possa reorientar e até modificar os valores outorgados (o período de validade de cada outorga deve ser inversamente proporcional ao seu grau de conhecimento e de comprometimento da região).

Struckmeier & Margat (1995) utilizaram-se de dados de permeabilidade derivados da analogia entre a geologia (tipo de rocha) e a hidrogeologia (valores da condutividade hidráulica) para a indicação da produtividade dos sistemas aquíferos, conforme apresentado na Tabela 3.1. Os dados obtidos neste estudo foram utilizados como balizadores para a proposição das porcentagens das vazões a serem outorgadas.

**Tabela 3.1 - Caracterização hidráulica das classes de aquífero (adaptado de Struckmeier & Margat, 1995).**

<b>Categoria do Aquífero</b>	<b>Capacidade Específica Qesp (m³/h/m)</b>	<b>Transmissividade T (m²/d)</b>	<b>Condutividade Hidráulica K (m/d)</b>	<b>Produção Esperada Q (m³/h)</b>	<b>Produtividade do Aquífero</b>
A1, B1, C1	> 1	> 75	> 10 <sup>-5</sup>	> 10	Produtividade Alta: Exploração de importância regional
A2, B2, C2	0.1 - 1	5 - 75	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-5</sup>	1 - 10	Produtividade Moderada: Exploração para abastecimento de água local
A3, B3, C3, D2	0.001 - 0.1	0.05 - 5	10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>-6</sup>	0.01 - 1	Produtividade geralmente baixa, mas localmente moderada: Exploração menor para abastecimento de água local
D3	< 0.001	< 0.05	< 10 <sup>-8</sup>	< 0.01	Produtividade baixa: Fontes para o abastecimento de água local são difíceis de garantir

A - Aquíferos intergranulares e inconsolidados; B - Aquíferos fraturados; C - Aquíferos cársticos; D - Aquíferos composto por formações de baixa permeabilidade; 1 - Produtividade elevada; 2 - Produtividade moderada e 3 - Produtividade baixa.

Assim, com base nas considerações abordadas anteriormente, foram formuladas propostas metodológicas para a obtenção de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos associadas a cada tipo de sistema aquífero, as quais serão apresentadas a seguir.

### 3.2 Aquíferos Intergranulares

Os aquíferos intergranulares são, em geral, prioritários para a exploração uma vez que apresentam muitas vantagens do ponto de vista do aproveitamento, incluindo: facilidade de perfuração, tornando o sistema de abastecimento com maior funcionalidade em menos tempo e com menor custo; em geral, ocorrem em regiões onde a superfície freática é mais rasa; situam-se, frequentemente, em locais favoráveis à recarga; e apresentam maior capacidade de infiltração, maior porosidade efetiva e elevada condutividade hidráulica.

Para a emissão da outorga para os aquíferos intergranulares propõe-se uma associação dos seguintes critérios:

- ✓ Percentual da vazão média dos poços em exploração no aquífero ou alternativamente capacidade específica média;
- ✓ Análise qualitativa de dados ensaios de bombeamento;
- ✓ Rebaixamento disponível;
- ✓ Vazão de segurança.

Não há uma ordem de aplicação dos critérios, ficando a definição de acordo com as informações existentes e disponíveis para avaliação, além da adequabilidade à legislação local.

O percentual da vazão média do aquífero é um parâmetro que deverá ser aplicado em aquíferos intergranulares com características hidráulicas conhecidas bem como os perfis construtivos e geológicos dos poços. Obedecerá aos critérios apresentados na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 - Critérios para determinação dos percentuais da média da vazão para aquíferos intergranulares.**

DEMANDA (OU PRESSÃO DE EXPLOTAÇÃO)	TIPO DE USO	PERCENTUAL DA VAZÃO MÉDIA A SER OUTORGADA
Baixa	Abastecimento de pequenas comunidades e propriedades rurais de subsistência	90%
Moderada	Abastecimento de condomínios, aglomerados urbanos de pequeno a médio porte, agropecuária de pequeno a médio porte, pequenas indústrias.	80%
Alta	Áreas urbanas, indústrias de médio porte e agropecuária de médio porte.	60 a 70%
Muito Alta	Áreas urbanas de alta densidade, indústrias e agropecuária de grande porte.	50%

Este critério está diretamente associado aos parâmetros de análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento e rebaixamento disponível, uma vez que esses parâmetros fornecem os subsídios para o conhecimento das características hidrodinâmicas do aquífero. Através dos ensaios de bombeamento obtém-se o rebaixamento do poço, que é representado pela diferença entre o NE e o ND depois das etapas de desenvolvimento e ao final do ensaio de bombeamento prolongado. A avaliação dessa variação é de fundamental importância para a verificação das condições de circulação do aquífero.

Os valores obtidos deverão ser comparados àqueles apresentados por Struckmeier & Margat (1995), conforme indicados na Tabela 3.1, e enquadrados na Tabela 3.2 para verificação do percentual da vazão média do aquífero a ser outorgada em função das condições de potencial dos sistemas aquíferos, disponibilidade e demanda, conforme preconizado no capítulo introdutório desta dissertação.

Para locais onde os aquíferos intergranulares são pouco conhecidos ou semiconfinados, deverá ser utilizada a vazão específica ou capacidade específica do aquífero como balizador dos percentuais das vazões. Nestes casos, para capacidades específicas acima de  $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  poderão ser mantidas as porcentagens definidas e mesmo ampliadas em até 10% para cada demanda. Para capacidade específica inferior a  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  as porcentagens deverão ser reduzidas em pelo menos 10%. Para os casos de aquíferos totalmente confinados e com camadas confinantes não-drenantes, os percentuais da vazão média do aquífero deverão ser reduzidos para cada demanda em função dos graus de confinamento.

O uso do rebaixamento disponível deverá ser usado como um parâmetro adicional para determinar as vazões máximas. Assim, para os casos em que os percentuais das vazões médias ainda causarem rebaixamento demasiado, o órgão responsável pela emissão da outorga poderá exigir a instalação de um relé de nível em porção superior ao crivo da bomba e alterar, ainda que em caráter temporário, os percentuais das vazões outorgadas. Na análise de rebaixamento disponível também deverá ser considerado o rebaixamento associado a cones de depressão que se interceptam, especialmente em locais com alta densidade de poços em atividade.

Com relação ao tempo máximo de bombeamento, em princípio, não há restrições, pois estes aquíferos operam em regime permanente com alimentação assegurada desde que se obedeça a capacidade produtiva do aquífero.

A utilização da vazão de segurança deverá ser aplicada para aquíferos intergranulares livres e conhecidos, uma vez que este parâmetro é diretamente dependente da taxa de infiltração de parte da precipitação (recarga). Assim, deverão ser calculadas as reservas reguladoras ( $R_r$ ), permanentes ( $R_p$ ) e explotáveis ( $R_{exp}$ ) e observadas as relações das diferentes variáveis hidrológicas atuantes no sistema:

- a)  $R_{exp} < R_r$  - Esta relação deve ser observada em locais onde principalmente as variáveis precipitação, impermeabilização (natural ou artificial) e área de recarga não são favoráveis ou quando da existência de muitas fontes de águas superficiais dependentes do fluxo subterrâneo.
- b)  $R_{exp} = R_r$  - Quando as variáveis precipitação, impermeabilização e área de recarga são favoráveis.
- c)  $R_{exp} = R_r + \%R_p$  - Quando, além da favorabilidade das variáveis consideradas, o sistema aquífero apresenta um bom grau de circulação do fluxo. A porcentagem da reserva permanente a ser somada deve ser diretamente proporcional a transmissividade e espessura do aquífero.

### 3.3 Aquíferos Fraturados

Aos aquíferos fraturados deverão estar associados os seguintes parâmetros para a definição das vazões para outorga:

- ✓ Percentual da vazão do poço;
- ✓ Análise qualitativa de dados ensaios de bombeamento;
- ✓ Rebaixamento disponível;
- ✓ Capacidade específica;
- ✓ Tempo de bombeamento diário.

Em geral, os sistemas fraturados apresentam-se fortemente anisotrópicos e heterogêneos. A produtividade desse tipo de aquífero é também função da transmissividade originada a partir do grau de intercomunicação entre as fraturas bem como do tamanho de suas aberturas (porosidade secundária). Desta forma, o estudo realizado por Struckmeier & Margat (1995) também será utilizado como referência para a observação da produtividade do aquífero fraturado e definição de vazões para outorga.

Todos os parâmetros listados deverão ser avaliados em conjunto. A avaliação dos dados de parâmetros hidrodinâmicos obtidos a partir do método de Moench (Moench 1984, 1994) para aquíferos fraturados deverá ser enquadrada na tabela Struckmeier & Margat (1995) para verificação de percentuais (Tabela 3.3). Os mesmos critérios poderão ser usados, conforme estabelecidos para os aquíferos intergranulares:

- ✓  $Q_{esp} > 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  - as porcentagens poderão ser ampliadas em até 10% para cada demanda;
- ✓  $Q_{esp} < 0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  - as porcentagens deverão ser reduzidas em pelo menos 10% para cada demanda.

**Tabela 3.3 - Critérios para determinação dos percentuais da vazão do poço para aquíferos fraturados.**

DEMANDA (OU PRESSÃO DE EXPLOTAÇÃO)	TIPO DE USO	PERCENTUAL DA VAZÃO DO POÇO A SER OUTORGADA
Baixa	Abastecimento de pequenas comunidades e propriedades rurais de subsistência	90%
Moderada	Abastecimento de condomínios, aglomerados urbanos de pequeno a médio porte, agropecuária de pequeno a médio porte, pequenas indústrias.	80%
Alta	Áreas urbanas, indústrias de médio porte e agropecuária de médio porte.	60 a 70%
Muito Alta	Áreas urbanas de alta densidade, indústrias e agropecuária de grande porte.	50%

Da mesma forma, para aquíferos confinados e com camadas não drenantes, deverá ser feita uma avaliação do grau de confinamento bem como do grau de comprometimento da região e características de circulação da água (áreas de recarga, características das camadas confinantes, padrão de fraturamento das rochas, preenchimento de fraturas, interconexão de fraturas, etc.).

O uso do rebaixamento disponível deverá ser feito em caráter complementar para determinação das vazões máximas. Sendo o aumento do rebaixamento inversamente proporcional à capacidade ou vazão específica do poço, essa desproporção em aquíferos fraturados é ainda mais justificável pelo fato de que as fraturas, a partir de uma certa profundidade, vão se tornando mais fechadas.

Assim, para os casos em que os percentuais das vazões dos poços causarem rebaixamento demasiado, o órgão responsável pela emissão da outorga poderá exigir a instalação de um relé de nível em porção superior ao crivo da bomba de modo a adaptar o percentual da outorga para valores mais conservadores. Na análise de rebaixamento disponível também deverá ser considerado o rebaixamento associado a cones de depressão que se interceptam, especialmente em locais com alta densidade de poços em atividade.

Para o caso de aquíferos fraturados é ideal que se tenha dados gerados a partir de ensaios escalonados sem recuperação de nível, pois permitem avaliar conjuntamente o comportamento da capacidade específica a cada intervalo de ampliação da vazão, dando uma excelente resposta especialmente sobre o comportamento da circulação da água no sistema.

O estabelecimento de um tempo máximo diário de bombeamento é fundamental para manutenção de vazões sustentáveis de exploração em aquíferos fraturados, conforme apresentado nos trabalhos de Jayawardena (2003) e FAO (1986).



Assim, apresenta-se a seguinte relação para a limitação do bombeamento:

- ✓ Aquíferos fraturados conhecidos, livres ou semiconfinados - bombeamento máximo de 20 horas, com pelo menos 4 horas de recuperação.
- ✓ Aquíferos fraturados não conhecidos ou confinados - bombeamento máximo de 16 horas, com pelo menos 8 horas de recuperação.

### **3.4 Aquíferos Cársticos**

Os aquíferos cársticos, dentre os apresentados, são aqueles que necessitam de maior ponderação e avaliação quando do estabelecimento de vazões para outorga, uma vez que apresentam diversas peculiaridades geomorfológicas e hidrogeológicas, além de intrínseca relação com as águas superficiais. Devido a suas características essencialmente anisotrópicas e heterogêneas, os seguintes parâmetros foram selecionados:

- ✓ Análise qualitativa de dados de ensaios de bombeamento;
- ✓ Rebaixamento disponível;

Para o caso dos aquíferos cársticos, outro parâmetro fundamental deverá ser complementado: a análise em tempo real da variabilidade dos níveis d'água.

Apesar dos sistemas cársticos não satisfazerem totalmente às condições de aplicação das equações de Theis ou Jacob, é possível, em alguns casos, a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos a partir de ensaios de bombeamento utilizando-se estes métodos. Entretanto, os dados obtidos deverão ser aplicados somente nos locais adjacentes ao poço testado (Silva, 2008). É possível a extrapolação dos valores desde que haja um padrão geológico e de carstificação mínimo verificado no sistema aquífero estudado (zonas homogêneas), devendo-se sempre considerar o valor modal como sendo o mais representativo e nunca a média.

Os ensaios deverão ser de tempo prolongado, no mínimo por 36 horas contínuas, o que pode minimizar o risco de se captar águas de cavidades saturadas sem interconexão. Este tipo de problema é observado em sistemas cársticos e na prática representa a exaustão do aquífero com conseqüente secamento do poço quando submetido a regime permanente de bombeamento.

Os aquíferos cársticos são, assim como os cursos de drenagem de água superficial, dependentes das condições climatológicas vigentes. Em geral, os locais onde as oscilações apresentam-se menores são nas áreas de recarga, de maneira que os poços perfurados nessas áreas conservam a mesma vazão durante todo o ciclo hidrológico. Em outros casos as oscilações de nível no interior do aquífero podem inclusive causar a diminuição da vazão por perda acentuada da carga hidráulica ou por diminuição da espessura saturada no sistema.

Assim, a determinação das vazões de outorga deverá variar com relação aos meses do ano. Esta variabilidade é justificada pelo comportamento semelhante desses sistemas ao das águas superficiais. Assim, a outorga em aquíferos cársticos poderá ser feita do seguinte modo a partir dos dados de ensaios de bombeamento:

- 1 - Até no máximo 90% da vazão do ensaio nos períodos de chuva e
- 2 - Até no máximo 40% da vazão nas épocas de estiagem.

O uso do parâmetro fluxo de base das drenagens superficiais poderia ser aplicado, entretanto para a determinação do hidrograma unitário e obtenção da curva de recessão são necessários dados históricos de, no mínimo, 20 anos de medições, o que em geral não é disponível para as regiões cársticas.

Diretamente associado à outorga, deve estar o monitoramento contínuo das variações dos níveis freáticos ou da potenciometria nos casos de sistemas confinados. Para isso, deverá ser realizado um inventário dos pontos d'água o mais completo possível, incluindo veredas, lagoas, fontes, zonas pantanosas e poços. A análise das oscilações dos níveis freáticos é fundamental na determinação dos efeitos de recarga e descarga do aquífero cárstico. A medição dos níveis deverá ser feita com auxílio de medidores automáticos (transdutores de pressão), preferencialmente com possibilidade de acesso aos dados continuamente (transmissão telemétrica).

A comparação entre os dados da curva de recessão dos fluviômetros instalados nas drenagens formadas a partir do fluxo de águas do carste e os dados dos poços de monitoramento será fundamental para verificar se a vazão outorgada dos aquíferos não interfere na vazão dos cursos d'água superficiais.

Por fim, devem ser considerados dois fatores de extrema importância de análise da outorga de água em sistemas aquíferos cársticos: a maior vulnerabilidade à poluição e o risco de colapsos das superfícies dos terrenos, em função da descompressão das cavidades a partir da exploração. Mais uma vez ressalta-se, diante destes riscos potenciais, a necessidade de integração com o abastecimento por águas superficiais, especialmente nos períodos de estiagem, com o intuito de manter preservada a integridade física do sistema.

### **3.5 Forma de Implementação**

Todas as metodologias propostas deverão ser aplicadas por meio da espacialização das informações e definição de unidades de gerenciamento. As unidades de gerenciamento serão identificadas a partir dos seguintes critérios: tipo de aquífero ou sistema aquífero (hidrogeologia) e tipo de uso da bacia. Assim, o mosaico das unidades poderá ocupar áreas com poligonais

variáveis, desde pequenas (alguns hectares) até muito amplas, da ordem de dezenas de quilômetros quadrados.

A elaboração do mapa das unidades de gerenciamento deverá, preferencialmente, ser realizada a partir da identificação preliminar das bacias hidrogeológicas. Dentre as principais técnicas utilizadas encontram-se os estudos de piezometria, hidrologia, hidroquímica, ensaios de traçadores e geofísica (Arraes & Campos, 2007). Dentre suas principais aplicações e implicações podem ser citadas a gestão integrada dos recursos hídricos, o estudo de aquíferos transfronteiriços (no limite entre estados e entre outros países), a definição do perímetro de proteção dos poços e o estudo de remediação de aquíferos contaminados.

A assimetria entre os limites das bacias hidrográficas e hidrogeológicas pode ser resultante de vários parâmetros com destaque para: heterogeneidades dos aquíferos, anisotropia em sistemas aquíferos fraturados e cársticos, variação brusca da potenciometria em situações de limites laterais de aquíferos, presença de estruturas geológicas de grande porte (dobras, falhas).

A identificação preliminar dos dados anteriormente indicados é de fundamental importância, pois permitirá o conhecimento do comportamento dos aquíferos, entretanto, não é limitante para a implementação imediata das metodologias. A existência, inicialmente, de um mapa geológico em escala adequada e de alguns poços com perfis construtivos e geológicos conhecidos já fornecerá subsídios suficientes para uma primeira avaliação de modo consistente, especialmente em regiões ainda com baixa pressão de exploração. Para áreas já sob estresse hídrico, deverão ser aplicadas todas as ferramentas recomendadas.

Ressalta-se, contudo, que a outorga deverá ser sempre conservadora, devendo ser acompanhada de monitoramento, inclusive, em tempo real por meio do uso de tecnologias já disponíveis como monitoramento de nível freático via GPS e telemetria e lançamento dos dados em bases de sistemas de informações geográficas. Para tal fim, poços tubulares com finalidade exclusiva de monitoramento deverão ser instalados em locais estratégicos.

Depois de se confeccionar o mapa de unidades de gerenciamento, as reservas hídricas exploráveis deverão ser calculadas para cada unidade. A cada emissão de outorga, a vazão permitida deve ser subtraída do valor da reserva explorável total. Quando as vazões de outorga alcançarem as disponibilidades máximas, novos pedidos de outorga deverão ser negados pelos órgãos gestores.

## CAPÍTULO IV

---

### 4 APLICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

#### 4.1 Considerações Gerais

No presente capítulo as metodologias anteriormente propostas serão adaptadas para a realidade dos sistemas aquíferos do Distrito Federal e o conjunto de parâmetros aplicado a dados reais, efetuando-se uma simulação do que ocorre na prática.

A proposição do critério local será feita com base na realidade dos aquíferos, nos tipos de demandas mais comuns e em parâmetros de vulnerabilidade a que cada área está submetida. A simulação da outorga será realizada com base na qualidade dos dados apresentados e na análise de risco à contaminação.

Para uma análise apropriada das condições locais de aplicação da metodologia, serão apresentadas abaixo informações sobre os aspectos físicos do DF bem como uma síntese da legislação local referente à outorga de água subterrânea. Em seguida é apresentada a aplicação da metodologia selecionada em função das propostas para os diferentes sistemas aquíferos, bem como exemplos da emissão da outorga.

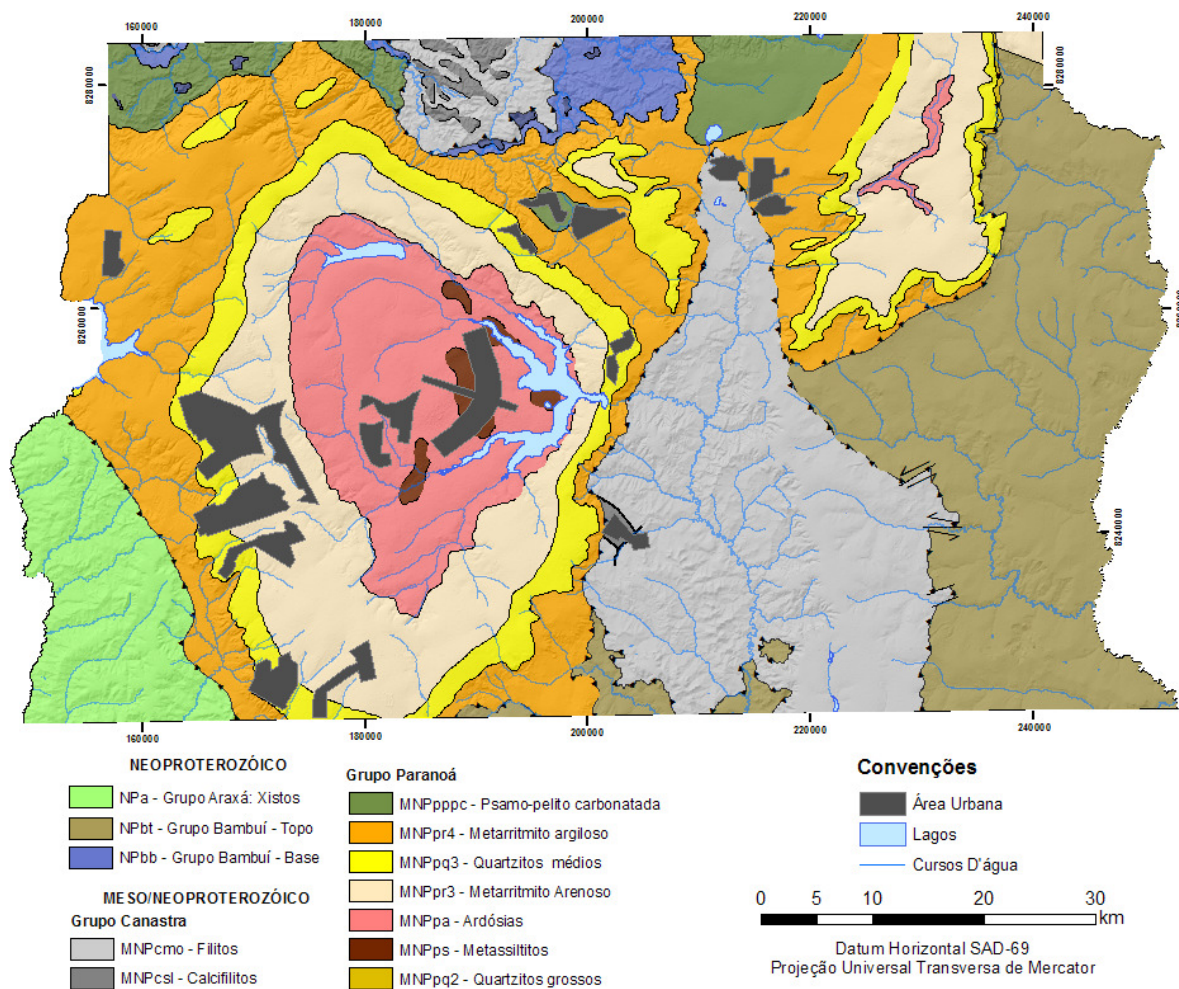
#### 4.2 Síntese dos Aspectos Físicos do Distrito Federal

##### 4.2.1 Geologia

O Distrito Federal está localizado na região central do contexto geológico da Faixa de Dobramentos Brasília, na transição entre a porção interna e a externa, respectivamente de maior e menor grau metamórfico. Esta localização confere à região um padrão de estruturação bastante complexo, em geral, com superposição de dobramentos com eixos ortogonais, impressos nas litologias por meio de falhas, fraturas e dobras de padrões e dimensões diversos.

Quatro conjuntos litológicos distintos compõem o contexto geológico do DF: grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí (Figura 4.1). Os dois primeiros possuem idades Meso/Neoproterozóica enquanto os grupos Araxá e Bambuí são datados do Neoproterozóico.

Na região do DF o Grupo Paranoá é apresentado principalmente nos trabalhos de Faria (1995) e Campos & Freitas-Silva (1998) como sendo uma sequência psamo-pelito-carbonatada composta por sete unidades litoestratigráficas correlacionáveis, da base para o topo, com as sequências deposicionais **Q<sub>2</sub>**, **S**, **A**, **R<sub>3</sub>**, **Q<sub>3</sub>**, **R<sub>4</sub>** e **PC** das áreas-tipo da região de Alto Paraíso de Goiás.



**Figura 4.1 - Arcabouço geológico da região do Distrito Federal (modificado de Freitas-Silva & Campos, 1998).**

A unidade **S** é composta essencialmente por metassiltitos maciços e metarrimitos arenosos próximos ao topo da sequência, podendo haver localmente camadas de quartzito estratificado e, mais raramente, lentes de metacalcário. A espessura máxima é da ordem de 130 metros, sendo observadas estruturas de contração típicas.

A unidade **A** é constituída por ardósias homogêneas, com clivagem ardosiana típica, acamamento sedimentar e intenso padrão de fraturamento observados em afloramento. Possui espessura da ordem de 60 metros.

A unidade **R<sub>3</sub>** é um metarrimito arenoso representado por intercalações irregulares de quartzitos finos, brancos e laminados da ordem de até 8 metros de espessura com camadas de metassiltitos, metalamitos e metargilitos de cores variegadas e espessuras em geral centimétricas. São observadas nesta unidade estruturas sedimentares de acamamento, estratificações do tipo sigmoidais, *hummockys*, além de marcas onduladas. Ocorrem dobramentos do tipo chevron e a espessura máxima desta unidade é de 150 metros.

A unidade **Q<sub>3</sub>** é composta por quartzitos finos a médios, brancos ou rosados, silicificados e intensamente fraturados. Localmente, possui leitos de granulometria grossa a conglomerática

fina e sua espessura é da ordem de 100 metros. Apresentam estratificações cruzadas variadas e mais raramente marcas onduladas.

Os metarritmitos argilosos da unidade **R<sub>4</sub>** são constituídos por intercalações regulares de quartzitos e metapelitos, com espessuras da ordem de 1 a 3 centímetros e espessura total máxima de 100 metros.

Como última unidade litoestratigráfica, topo da sequência, destaca-se a Unidade Psamo Pelito Carbonatada composta por lentes de metacalcários, camadas e lentes de quartzitos pretos e grossos interdigitados com metassiltitos e metargilitos com cores amareladas, que passam a tons rosados quando alterados. A espessura máxima desta unidade é de 150 metros.

Freitas-Silva & Dardenne (1994) abordaram a estratigrafia regional do Grupo Canastra, sendo este composto por sericita filitos, clorita filitos, calcifilitos, quartzo-sericita filitos com lentes e níveis de quartzitos, metarritmitos e raras lentes de mármore finos próximos à base da sequência.

Os trabalhos de Teixeira & Danni (1978) e Pimentel *et al.* (1992 e 1995), dentre outros, fornecem informações sobre o Grupo Araxá. No DF, este grupo é composto por clorita xistos, muscovita-quartzo xistos, biotita-muscovita xistos raramente granadíferos, além de ocasionais lentes e intercalações de quartzitos micáceos finos.

O Grupo Bambuí foi estudado por Dardenne (1978ab, 1979 e 1981) e representa um conjunto essencialmente pelito-carbonatado composto por argilitos, folhelhos, siltitos argilosos, calcários e dolomitos, com sucessão de arcóseos no topo. No Distrito Federal ocorrem sedimentos dobrados correlacionáveis com as formações Serra da Saudade e Três Marias (da seção superior), além de rochas relacionadas às formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena (da porção superior da estratigrafia)(Freitas-Silva & Campos, 1998).

Todas as litologias presentes no Distrito Federal apresentam um padrão ortorrômbico de fraturamento com famílias de fraturas nas seguintes direções preferenciais: NS, EW e N45E - N45W.

#### **4.2.2 Clima**

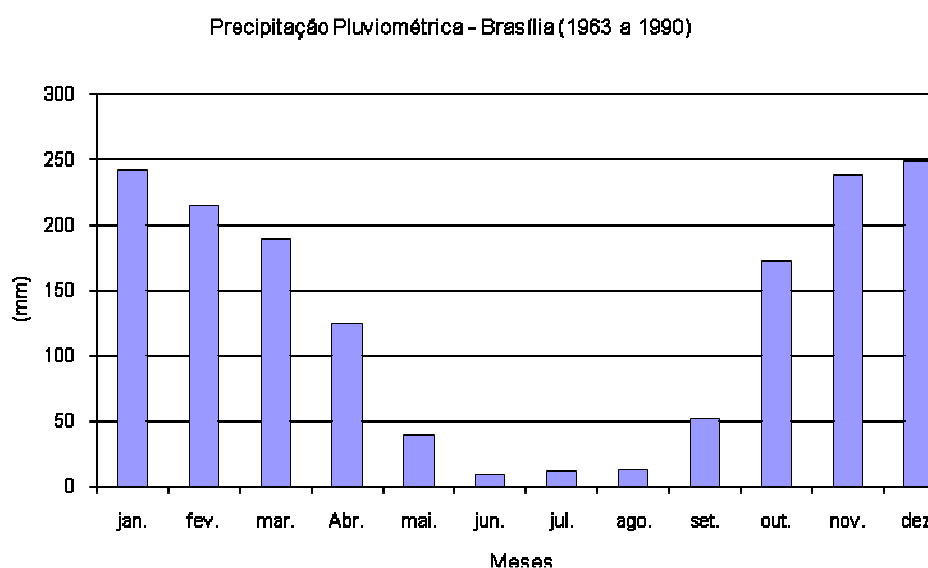
De acordo com a classificação de Köppen, o clima do DF situa-se entre os tipos tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco, caracterizado pela existência bem marcada de duas estações: uma chuvosa e quente, entre outubro a abril, e outra fria e seca, de maio a setembro. As variações locais de precipitação não são relevantes e a classificação climática é baseada essencialmente em variações de temperatura, relacionadas a diferenças de altitude, permitindo a definição dos seguintes tipos climáticos:

- Tropical, com duas estações bem marcadas (Aw): clima de savana, com temperatura do mês mais frio superior a 18°C, em locais com altitudes abaixo de 1.000 m;

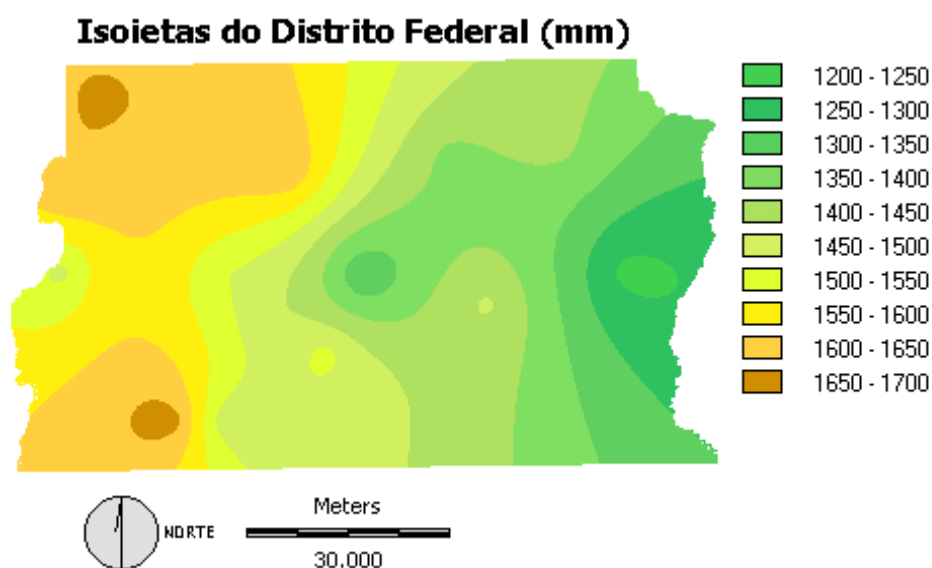
- Tropical de altitude (Cwa): mês mais frio com temperatura inferior a 18°C, média superior a 22°C no mês mais quente, em áreas com altitudes entre 1.000 e 1.200 m;

- Tropical de altitude (Cwb): mês mais frio com temperatura inferior a 18°C, média inferior a 22°C no mês mais quente, em locais com altitudes superiores a 1.200 m.

Outro componente importante a ser analisado é a precipitação pluviométrica, que apresenta uma distribuição anual geral conforme apresentado na Figura 4.2. A espacialização dos totais anuais da precipitação pluviométrica foi obtida por meio de dados de Estações Pluviométricas da CAESB (Companhia de Águas e Esgotos de Brasília) no período de 1979 a 1995, e submetidos por Baptista (1998) a uma interpolação utilizando-se o método geoestatístico de krigagem (Figura 4.3).



**Figura 4.2 - Distribuição anual dos totais mensais de precipitações da estação Brasília (Fonte: Baptista, 1998).**

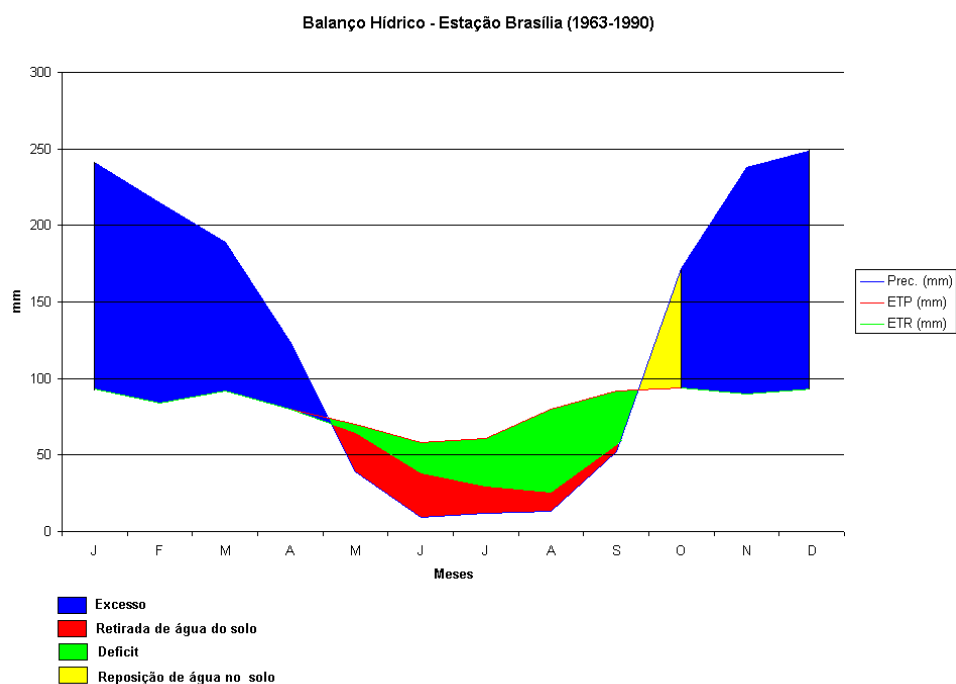


**Figura 4.3 - Isoietas do Distrito Federal, baseada em dados históricos de pluviômetros da CAESB. Fonte: Baptista (1998).**

Conforme pode ser observado no mapa de isoietas, a porção oeste do DF apresenta maiores índices pluviométricos, passando a valores intermediários na região central. Os menores índices ocorrem na porção leste do DF. Observa-se, portanto, que a variação sazonal da precipitação pluviométrica entre os dois extremos ultrapassa 400 mm anuais, ficando a média em torno de 1500 mm.

A evapotranspiração é outro fator climatológico de extrema importância a ser considerado em função de sua relação com o balanço hídrico. A evapotranspiração pode ser entendida como a perda de água por evaporação do solo e transpiração da vegetação (Tucci, 2000). O balanço hídrico por sua vez, é o somatório das quantidades de água que entram e saem de certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo.

Baptista (1998) utilizando-se de dados da estação Brasília (precipitação, evaporação, evapotranspiração, escoamento superficial e subterrâneo) e aplicando a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), obteve os seguintes resultados para o cálculo do balanço hídrico da região (Figura 4.4).



**Figura 4.4 - Balanço Hídrico da estação Brasília. Prec. - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ETR - Evapotranspiração Real (Baptista, 1998).**

O gráfico apresentado demonstra as seguintes situações: a) períodos de excesso correspondentes ao verão e primavera na região do DF; b) períodos de deficiência hídrica, quando a evapotranspiração potencial excede a precipitação pluviométrica; e c) época de recarga do solo, quando a precipitação excede a evapotranspiração potencial.

Por último, estimativas de Coimbra (1987) mostram que cerca de 12% da precipitação total que infiltra na zona vadosa efetivamente alcança a zona saturada do aquífero. O mesmo autor indica que a evapotranspiração real na região fica em torno de 900 mm anuais, sendo que



os meses de maio a setembro apresentam déficit hídrico, enquanto o período de outubro a abril apresenta superávit, exatamente como ilustrado nos gráficos elaborados por Baptista (1998).

### **4.2.3 Geomorfologia**

O Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil e os estudos mais recentes apresentam a geomorfologia do DF constituída pelos seguintes compartimentos: Regiões de Chapadas, Regiões de Dissecção Intermediária, Regiões Dissecadas de Vales, Regiões de Rebordo e Regiões de Escarpas (Novaes Pinto, 1994ab; e Martins & Baptista, 1998).

Dentre os fatores responsáveis pela evolução morfodinâmica do Distrito Federal, destacam-se o clima, o tipo de vegetação, a evolução dos perfis de alteração, a estruturação neotectônica além de processos de incisão de vales nas amplas chapadas elevadas. Campos (2004) enfatiza o substrato litológico como o principal controle da evolução da paisagem na região, a partir das seguintes observações:

- a) As Chapadas são controladas pela presença de tipos petrográficos atribuídos às unidades R3 e Q3 do Grupo Paranoá;
- b) As Regiões de Dissecção Intermediárias são controladas por rochas pelíticas (ex: Unidade das Ardósias (A) e Grupo Bambuí);
- c) Os Vales Dissecados são condicionados por unidades muito impermeáveis, com pequena capacidade de infiltração e maior potencial erosivo, condicionados por rochas dos grupos Canastra, Araxá e Unidade Psamo Pelito Carbonatada (PPC) do Grupo Paranoá, e;
- d) Os rebordos e escarpas são controlados pela região de transição ou contato brusco entre litologias com alto contraste de erodibilidade.

### **4.2.4 Pedologia**

No DF, a principal fonte de informações pedológicas é o levantamento de reconhecimento de solos realizado pela Embrapa (1978), com elaboração de mapa pedológico em escala 1:100.000. Martins & Baptista (1998) observam que a distribuição espacial dos principais tipos de solo do DF apresenta íntima relação com a geomorfologia do Distrito Federal, conforme apresentado na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Classes de solo mais frequentes na região do Distrito Federal (modificado de Souza, 2001).**

Classe	Características	Distribuição Espacial	Espessura	Área aproximada no DF (%)
Latossolos	Horizonte B latossólico textura argilosa a média, enriquecidos em sesquióxidos. Ocorrem associações dos tipos vermelho, amarelo e vermelho-amarelo.	Predominantes nas áreas de chapadas. Ocorrem também nas regiões de dissecação intermediária.	Até 25 metros com média de 15 metros*	55%
Cambissolos	Presença de B câmbico (pouco desenvolvido). Espessura em geral menor que 70 cm.	Predominantes nas áreas dissecadas de vales. Associados a relevos com declividades moderadas a elevadas.	Em geral menor que 70 centímetros. O saprolito pode alcançar mais de 70 metros	31%
Argissolos e Nitossolos	Presença de B textural com textura argilosa a média. Apresentam agregados granulares a subangulosos, pequenos a médios.	Principalmente na região de dissecação de vales na bacia do Rio Maranhão.	Comumente da ordem de 10 metros	5%
Outros	Gleissolos, plintossolos, neossolos quatzarênicos.	Localização restrita	Não superiores a 5 metros	9%

\*No caso dos latossolos o regolito (solo + saprolito) pode alcançar 50 metros de espessura.

#### 4.2.5 Hidrogeologia

O Distrito Federal está situado no contexto da Província Hidrogeológica do Escudo Central, caracterizado principalmente por aquíferos fissurais cobertos por manto de intemperismo (solos e rochas alteradas), em um alto regional que funciona como divisor natural de águas que correm para as bacias do Paraná, do São Francisco e do Tocantins. Assim, as águas subterrâneas são fundamentais para a manutenção do abastecimento de água na região bem como na manutenção de vazões dos cursos de drenagens, especialmente nos períodos de estiagem.

No DF podem ser distinguidos dois grandes grupos de aquíferos (Anexo 1 - Mapa Hidrogeológico do DF): o Domínio Aquífero Poroso e o Domínio Aquífero Fraturado, respectivamente, representados por materiais inconsolidados (solo, saprolito, aluviões) e por meios rochosos consolidados nos quais a água ocupa espaços vazios em planos de fratura, micro fraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas.

Devido à heterogeneidade da geologia local, Campos & Freitas-Silva (1998) dividiram os domínios aquíferos do DF em sistemas e subsistemas, conforme a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias (Campos & Freitas-Silva, 1998).**

<b>AQUÍFERO (Sistema/Subsistema)</b>	<b>MÉDIAS DAS VAZÕES (L/h)</b>
<b>AQUÍFEROS DO DOMÍNIO POROSO</b>	
SISTEMAS P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> e P <sub>4</sub>	< 800
<b>AQUÍFEROS DO DOMÍNIO FRATURADO</b>	
<b>SISTEMA PARANOÁ</b>	
Subsistema S/A	12.700
Subsistema A	4.390
Subsistema Q <sub>3</sub> /R <sub>3</sub>	12.200
Subsistema R <sub>4</sub>	6.150
Subsistema PPC	9.100
<b>SISTEMA CANASTRA</b>	
Subsistema F	7.500
Subsistema F/Q/M	33.000
<b>SISTEMA BAMBUÍ</b>	5.210
<b>SISTEMA ARAXÁ</b>	3.150

### **Domínio Poroso**

No DF, o domínio aquífero poroso ou intergranular é representado pela cobertura de solos, saprolitos e aluviões, que são diretamente controlados pela geologia e pelo relevo. Os aquíferos relacionados a esse domínio apresentam, em geral, baixas vazões, espessuras que variam de 15 a 25 metros, são livres, homogêneos e de grande continuidade lateral.

Em função da espessura e da condutividade hidráulica, este domínio é dividido em quatro sistemas denominados P1, P2, P3 e P4 (Campos & Freitas-Silva, 1998). A Tabela 4.3 apresenta a caracterização geral dos sistemas que compõem o domínio poroso na região do DF.

**Tabela 4.3 - Síntese dos aquíferos do domínio poroso na região do DF e parâmetros associados. b - espessura saturada; K – condutividade hidráulica, T - transmissividade.**

AQUÍFEROS DO DOMÍNIO POROSO							
Sistema	Associação	b	K	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)*	Característica	Importância Local
P <sub>1</sub>	Latosolos	>10 metros	Alta	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	Contínuos, livres e de grande extensão lateral	Elevada
P <sub>2</sub>	Nitossolos, Argissolos e chernossolos	>5 metros	Média	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-6</sup>	Contínuos, livres e de grande distribuição lateral	Mediana
P <sub>3</sub>	Gleissolos e plintossolos	>5 metros	Baixa	10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-7</sup>	Livres, descontínuos e de restrita distribuição.	Pequena
P <sub>4</sub>	Cambissolos	<2,5 metros	Baixa	< 10 <sup>-8</sup>	-	Livres, descontínuos, e muito restritos	Muito pequena

No DF, o domínio poroso exerce as funções filtro e reguladora, uma vez que absorvem e transmitem a água, mantendo assim as fontes relacionadas aos fluxos regionais e intermediários com vazões superiores a 2,0 l/s nos longos períodos de estiagem da região, bem como a alimentação do domínio fraturado (Campos & Freitas-Silva,1998).

### Domínio Fraturado

O domínio fraturado no DF é representado por metassedimentos proterozóicos, onde a saturação do aquífero ocorre nos espaços formados a partir dos processos decorrentes da evolução tectônica da região, classificados como porosidade secundária.

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, este domínio está limitado a profundidades pouco superiores a 250 metros, sendo que em profundidades maiores há uma tendência de selamento dos planos abertos pela pressão litostática. A condutividade hidráulica é controlada pela densidade de descontinuidades do corpo rochoso e pelo grau de interconexão entre as mesmas (Campos & Freitas-Silva,1998).

Os mesmos autores classificaram este domínio aquífero em quatro conjuntos distintos com base no conhecimento geológico, na análise estatística dos dados de vazões e em feições estruturais. A Tabela 4.4 apresenta os sistemas/subsistemas bem como suas principais características.

Tabela 4.4 - Síntese dos aquíferos do fraturado poroso na região do DF e parâmetros associados.

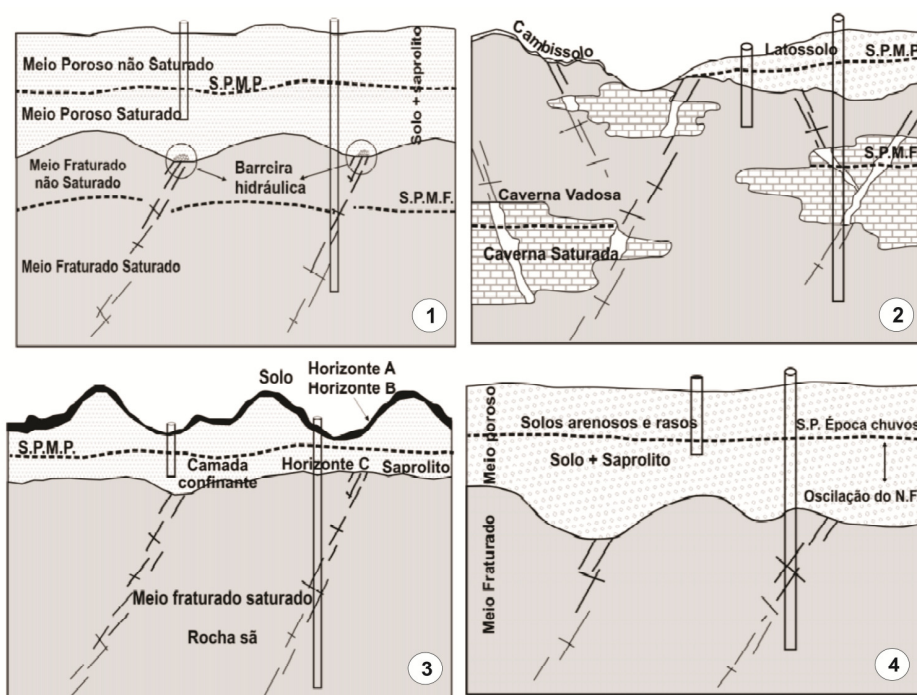
AQUÍFEROS DO DOMÍNIO FRATURADO							
Sistema Paranoá	Associação	Profundidade (m)	K	K (m/s)	Vazão Média (L/h)	Característica	Importância Local
<b>Subsistema S/A</b>	Unidade Metassilito	100 a 150	Média	$10^{-6}$ a $10^{-7}$	12.700	Livres ou confinados (confinados pela camada de ardósias sobreposta), descontínuos, com restrita extensão lateral e anisotrópicos	Elevada
<b>Subsistema A</b>	Unidade Ardósia	100 a 120	Baixa	-	4.300	Livres, descontínuos, com restrita extensão lateral e anisotrópicos	Muito pequena
<b>Subsistema Q<sub>3</sub>/R<sub>3</sub></b>	Unidades Quartzito e Metarrilito Arenoso	140 a 180	Alta	$10^{-4}$ a $10^{-5}$	12.200	Livres ou confinados, descontínuos, com extensão lateral variável e anisotrópicos	Elevada
<b>Subsistema R<sub>4</sub></b>	Unidade Metarrilito Argiloso	100 a 130	Média	-	6.140	Livres, descontínuos, restritos lateralmente e anisotrópicos	Mediana
<b>Subsistema PPC</b>	Unidade Psamo Pelito Carbonatada	até 200	Variável	-	9.100 (com grande desvio padrão)	Muito heterogêneo (lentes de calcários/quartzitos e processos de carstificação), livres, descontínuos	Variável
Sistema Canastra	Associação	Profundidade	K	K (m/s)	Vazão Média (L/h)	Característica	Importância Local
<b>Subsistema F</b>	Filitos	100 a 140	Baixa	-	7.500	Livres, descontínuos	Mediana
<b>Subsistema F/Q/M</b>	Lentes de mármore, calcifilitos e quartzitos	Até 180	Alta	-	33.000	Livres ou confinados, descontínuos, heterogêneos e anisotrópicos (com grau de carstificação local variável)	Muito alta
<b>Sistema Bambuí</b>	Associação	Profundidade	K	K (m/s)	Vazão Média (L/h)	Característica	Importância Local
	Metassilitos, metassilitos argilosos e arcóseos	140	Média	-	5.210	Livres, descontínuos lateralmente, anisotrópicos	Mediana
<b>Sistema Araxá</b>	Associação	Profundidade	K	K (m/s)	Vazão Média (L/h)	Característica	Importância Local
	Xistos com ocasionais lentes de quartzitos	120	Muito baixa	-	3.140	Livres, descontínuos e anisotrópicos	Muito baixa

Campos & Freitas-Silva (1998) apresentaram, inicialmente, para a região do DF o chamado “Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas”, o qual considera que existe uma zona não saturada entre a base do domínio poroso saturado e o topo da zona representada pelas fraturas saturadas, conforme apresentado na Figura 4.5. Posteriormente, o conceito foi abordado e detalhado por Lousada (1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001), Cadamuro *et al.* (2002) e Lousada & Campos (2005).

Lousada & Campos (2005), refinaram o Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas e descreveram outros três modelos conceituais para a região com base em observações *in situ* a partir da instalação de poços tubulares em diversas localidades, descrição de testemunhos de sondagem, cálculo de parâmetros hidrodinâmicos a partir de dados de ensaio de bombeamento, realização de ensaios de infiltração e ensaios de traçadores. A Tabela 4.5 apresenta um resumo dos modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos do DF e a Figura 4.5 os desenhos esquemáticos associados.

**Tabela 4.5 - Resumo dos Modelos Hidrogeológicos Conceituais definidos por Lousada & Campos (2005) para a região do DF.**

MODELO	CARACTERÍSTICAS
<b>1 - Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas</b>	Associado a regiões de chapadas elevadas e solos espessos, considera que existe uma zona não saturada entre a base do domínio poroso saturado e o topo da zona representada pelas fraturas saturadas.
<b>2 - Modelo Fissuro-Cárstico</b>	Associado à lentes de rochas carbonáticas interdigitadas com rochas fraturadas de baixa permeabilidade Associação de uma ou mais superfícies potenciométricas dependendo do relevo.
<b>3 - Modelo de Superfície Potenciométrica Única com Confinamento</b>	Associado a regiões de relevo movimentado e solos rasos, que funcionam como aquitardes, gerando comportamento artesianiano. A alimentação se dá por gotejamento e por fluxo lateral advindo das regiões de chapadas elevadas.
<b>4 - Modelo de Superfície Potenciométrica Única sem Confinamento</b>	Associado a regiões de relevo suave ondulado e áreas de rebordo, com solos espessos. 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.



**Figura 4.5 - Desenhos esquemáticos dos modelos hidrogeológicos conceituais da região do DF (Lousada & Campos, 2005). S.P.M.P - Superfície Potenciométrica do Meio Poroso; S.P.M.F - Superfície Potenciométrica do Meio Fraturado; N.F - Nível Freático.**

### 4.3 Histórico da Ocupação no Distrito Federal

A construção da nova capital do Brasil nos anos 60 atraiu para o DF, desde o início, um grande fluxo migratório que teve como consequência a ocupação desordenada da cidade e do seu entorno, resultando em uma realidade diferente daquela que estava prevista nas intenções originais (Nogueira *et al.*, 2004).

Assim, o território do DF, que possui área total de 5.789,16 km<sup>2</sup>, passou a contar com subdivisões de seu território em RAs (Regiões Administrativas). Para se ter uma idéia do incremento da expansão populacional, no ano de 1994 as RAs somavam 19 e atualmente tem-se o total de 30 RAs.

No início dos anos 90 o DF tornou a ver números de crescimento populacional com aumentos exponenciais em função da política fundiária adotada à época, especialmente por programas de parcelamentos de população de baixa renda e pelo incremento dos parcelamentos irregulares. A partir de 1995 uma nova configuração da forma de organização habitacional no DF expandiu-se através dos parcelamentos regulares, denominados 'condomínios', sobretudo destinados à população de média a alta renda, sendo hoje considerados os maiores consumidores de água subterrânea no DF. A Figura 4.6 apresenta o comparativo das situações da ocupação urbana do território entre os anos de 1991 e 2004.

Observa-se a inclusão na representação da ocupação urbana dos principais adensamentos populacionais localizados na região do entorno imediato e inseridos no contexto da denominada RIDE/DF - Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno. Estas regiões são consideradas estratégicas na interação com o território do DF uma vez que seu crescimento está diretamente associado às atividades econômicas do DF (e em muitos casos é dependente das mesmas).

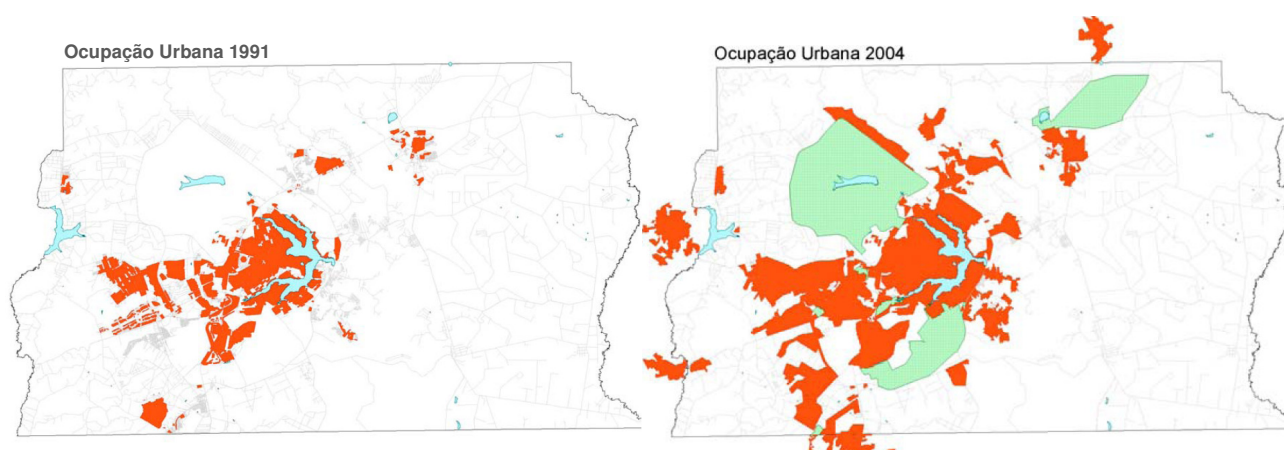


Figura 4.6 - Evolução da ocupação urbana do DF entre os anos de 1991 e 2004 (Fonte: Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/DF. SEDUMA, 2009). Em verde são destacadas as áreas de proteção integral.

A área rural do DF predomina nas porções leste e extremo oeste do território, sendo caracterizada por atividades produtivas diversas (pecuária, cultivo de hortaliças, agricultura intensiva, avicultura, suinocultura, etc.). Ainda, é bastante expressiva a ocupação rural por chácaras com culturas de subsistência além de práticas destinadas ao lazer e turismo. O Anexo 2 (Mapa de Uso e Ocupação do DF) apresenta o um panorama atual do uso e ocupação do solo no território do Distrito Federal.

#### **4.3.1 Áreas de Risco Efetivo de Contaminação**

No DF o processo de ocupação do solo urbano e rural tem causado poluição das águas superficiais e subterrâneas pela descarga de esgotos domésticos e industriais, efluentes de origem animal, utilização de agrotóxicos e lançamentos de drenagem pluvial, comprometendo alguns de seus usos, especialmente para o abastecimento da população e para as atividades de lazer e turismo.

Através do cruzamento digital de informações de carga contaminante, parâmetros do meio físico e tipo de uso e ocupação da superfície pelo método DRASTIC, Campos & Freitas-Silva (1998) apresentaram seis classes de vulnerabilidade das águas subterrâneas no DF: muito alta, alta, moderada, mediana, baixa e desprezível.

No DF, os aquíferos fraturados estão relativamente protegidos da contaminação pela zona não saturada dos aquíferos porosos sobrepostos. Contudo a produção de efluentes por um longo período de tempo (exposição contínua a efluentes muito solúveis) e a ocorrência de poços tubulares mal construídos (sem o devido cuidado com o isolamento de águas rasas) constitui-se em risco real à contaminação das águas profundas. O locais com disposição de cargas contaminantes pontuais e de alta concentração no DF referem-se à cemitérios, o lixão do Jóquei Clube e ETEs. Em termos de áreas urbanas as regiões de expansão recente (últimos 15 anos), como condomínios sem sistema de captação de esgotos, são as que apresentam maior preocupação pelo volume e área de abrangência de pontos com carga contaminadora, especialmente aqueles situados em áreas de chapadas elevadas (áreas de recarga de aquíferos).

Os aquíferos porosos, com zona não saturada pouco espessa ou muito arenosa, representam os sistemas com maior risco natural à contaminação por diversos tipos de poluentes potenciais, notadamente o Sistema P<sub>1</sub> desenvolvido sobre o Subsistema R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>.

A Tabela 4.6 abaixo resume a correspondência entre os vários sistemas/subsistemas aquíferos e a classes de sensibilidade consideradas:



**Tabela 4.6 - Relação de sensibilidade natural à contaminação e sistemas/subsistemas aquíferos do DF (Campos & Freitas-Silva, 1998).**

<b>SENSIBILIDADE</b>	<b>SISTEMAS e SUBSISTEMAS AQUÍFEROS</b>
Elevado	Subsistemas R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub> e S/A do Sistema Paranoá e Subsistema F/Q/M do Sistema Canastra.
Moderado	Subsistema PPC e Subsistema F do Sistema Canastra
Mediano	Subsistema R <sub>4</sub> do Sistema Paranoá
Baixo	Subsistema A do Sistema Paranoá e Sistema Araxá.

### **4.3.2 Locais Submetidos à Sobreexploração**

O Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH (2006) aponta para uma suficiência, de modo geral, da capacidade de atendimento à demanda de água tanto para abastecimento à população como para as atividades econômicas e de lazer e turismo. No entanto, já são enfrentadas situações de conflitos relativos ao uso múltiplo da água, decorrentes de dificuldades para o atendimento de demandas em aspectos quantitativos e qualitativos (PDOT, 2009).

O uso de água subterrânea no Distrito Federal apresentou um grande incremento nos últimos 15 anos em função do novo modelo de ocupação do solo adotado, conforme explicitado anteriormente. A partir da segunda metade da década de 80, com o advento e a expansão dos condomínios e a ampliação de núcleos urbanos consolidados, a água subterrânea passou a desempenhar um papel de maior importância no abastecimento público. Nesse período, estima-se que o número de poços tubulares profundos na região do Distrito Federal tenha triplicado, passando de cerca de 1.500 para 4.500 poços (Campos, 2004).

O aumento da demanda pela água subsuperficial está diretamente relacionado ao aumento da densidade populacional em regiões fora do alcance do Sistema Integrado de Abastecimento da Companhia de Saneamento de Brasília (CAESB).

O aumento de demanda de recursos hídricos ocorre justamente nas regiões onde foram concentrados os principais vetores de expansão urbana do DF. A bacia do rio Preto (porção leste do DF) também apresenta uma pressão elevada em função de seu uso essencialmente rural caracterizado por intensa atividade agrícola, em especial as culturas de milho, feijão e soja plantados sob irrigação por meio do uso de pivô central (Dolabella, 1995).

### 4.3.3 Outorga dos Recursos Hídricos Subterrâneos

No DF a outorga foi prevista inicialmente pela Lei Distrital Nº 2.725/01, a qual instituiu a Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal e criou o seu respectivo Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em seguida, o Decreto Distrital Nº 22.358/01 contemplou em sua redação os instrumentos para a outorga de uso da subterrânea no território do DF, citada na lei supramencionada no Inciso II, Artigo 12, fornecendo ainda subsídios à gestão das águas subterrâneas, tipos de usos outorgáveis, proteção sanitárias dos poços, conservação, bem como o monitoramento das águas exploradas.

O mesmo decreto, no Art. 7º, Parágrafo Único, indica 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 características hidrogeológicas de cada subsistema aquífero, observando o grau de ocupação da área e seu grau de favorabilidade ao uso da água subterrânea.

Ainda, o Art. 8º indica a isenção de outorga à captação da água subterrânea destinada exclusivamente ao uso doméstico em área rural e à irrigação paisagística, que se enquadre em um dos seguintes casos: a) poço tubular ou amazonas/cisterna/poço escavado/cacimba com profundidade inferior a 30 metros; b) poço tubular ou amazonas/cisterna/poço escavado/cacimba com vazão média de até 5 m³/dia (cinco metros cúbicos por dia).

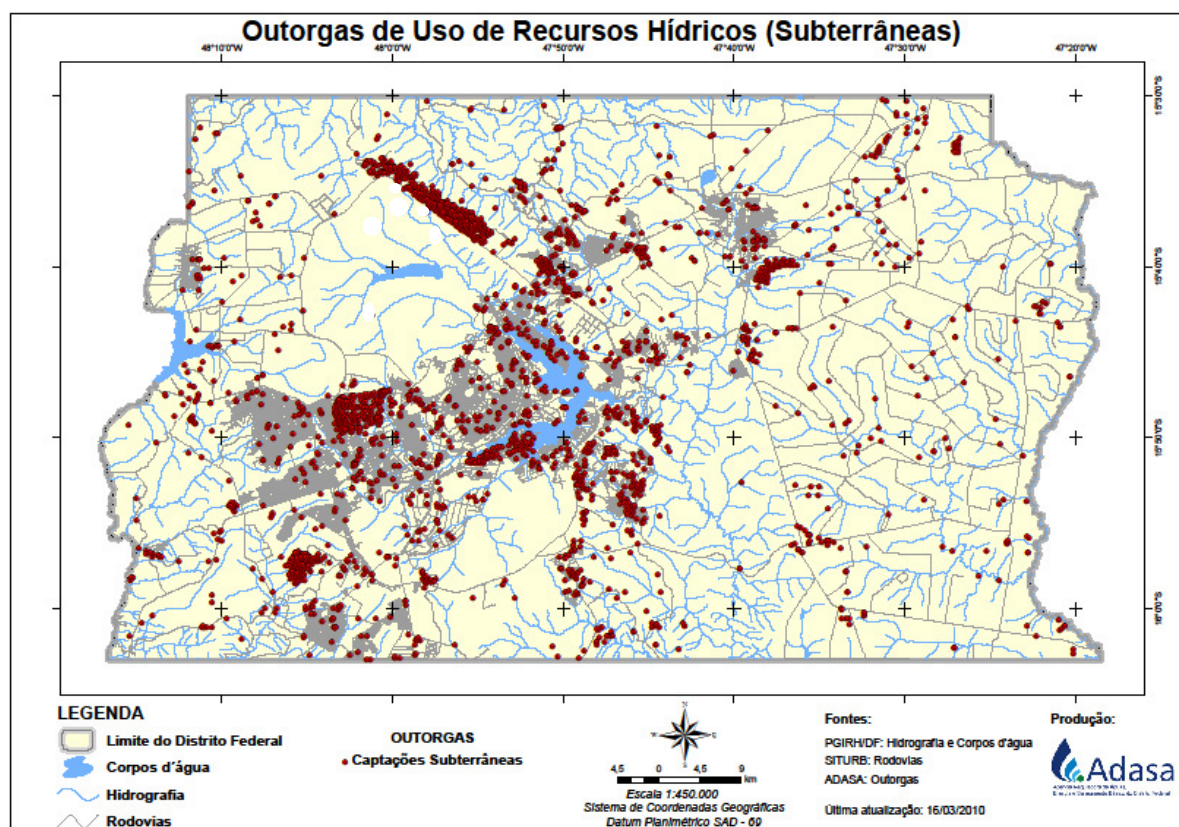
No DF é proibido uso de água por captação de água subterrânea em locais onde haja sistema de abastecimento público, exceto para os seguintes casos: a) irrigação de áreas com superfície superior a 5.000 m²; b) usos comerciais; c) usos industriais.

Quanto às questões de proteção da qualidade dos recursos hídricos captados por poços tubulares, os seguintes critérios são adotados: a) poços com mais de 30 metros em domínio poroso devem conter pelo menos 20 metros de revestimento cimentado e espaço anelar entre a parede do poço e o revestimento; e b) superfície concretada na entrada do poço com pelo menos 1 metro de diâmetro e devidamente isolado.

As concessões são efetuadas por meio de outorga prévia e de outorga de direito de uso dos recursos hídricos. No primeiro caso, o período de uso da água subterrânea é de 1 (hum) ano, renovável, mas sem conferir direito de uso. No segundo caso, a outorga chega a 25 anos para a concessionária de serviço público de saneamento e 10 anos para os demais usuários. A renovação fica dependente da apresentação de novo ensaio de bombeamento. A outorga é realizada sobre um percentual de 75% da vazão nominal do poço durante 20 horas de bombeamento, ficando 4 horas disponíveis para recuperação do aquífero.

Atualmente, 49% dos usuários outorgados no DF são para exploração de água subterrânea, 39% água superficial, 12% caminhão pipa e 1% para lançamento de efluentes. Apesar dos intensivos esforços da ADASA - Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - em cadastras os poços existentes no DF hoje, estima-se que cerca de 25 mil

usuários continuam em situação irregular ([www.adasa.df.gov.br](http://www.adasa.df.gov.br)). A Figura 4.7 a seguir apresenta a distribuição espacial dos poços cadastrados no território do DF.



**Figura 4.7 - Distribuição espacial dos poços cadastrados junto à ADASA (Fonte: [www.adasa.gov.br](http://www.adasa.gov.br), acessado em 20 de fevereiro de 2010).**

#### **4.3.4 Histórico do Processo de Gestão dos Aquíferos no Distrito Federal**

Conforme citado anteriormente, o processo de gestão dos aquíferos no DF teve início legal marcado pela Lei Distrital Nº 2.725/01, a qual instituiu a Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal, seguida pelo o Decreto Distrital Nº 22.358/01 o qual dispôs sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território distrital.

Os estudos técnicos científicos que embasaram as propostas iniciais de gestão das águas subterrâneas na região foram marcados principalmente pelos trabalhos de Romano & Rosas (1970), Barros (1987 e 1994), Coimbra (1987), Amore (1994), Mendonça (1993), Campos & Freitas-Silva (1998 e 1999), Zoby (1999) e Souza (2001). Posteriormente juntaram-se a este acervo os trabalhos de Cadamuro (2002), Joko (2002), Campos (2004), Lousada & Campos (2005) e Gonçalves (2007).

Campos (2004) indica que os maiores problemas associados ao uso das águas subterrâneas no DF estão relacionados à sobreexploração localizada dos aquíferos, à impermeabilização das áreas de recarga regionais, à má construção dos poços, a não observação dos parâmetros de proteção sanitária das obras de captação e à falta de conhecimentos específicos sobre as disponibilidades hídricas. Indicou assim, algumas medidas

mitigadoras e ações de gestão diretamente associadas às funções filtro, reguladora e armazenadora dos sistemas aquíferos da região.

Dentre elas destacam-se: a) a elaboração do Mapa de Risco à Contaminação das Águas Subterrâneas Profundas do DF, gerado a partir da integração de dados fornecidos por Campos & Freitas-Silva (1998); b) a proposição do manejo integrado com sistemas de abastecimento mistos, com uso de água superficial a partir de pequenas captações durante a estação chuvosa e abastecimento via sistema aquífero no período de seca; e c) a adoção de sistemas de recarga artificial de aquíferos.

A recarga artificial de aquíferos vem sendo aplicada em sistemas pilotos a partir da utilização de água de chuva captada em coberturas de residências e direcionada para caixas cilíndricas preenchidas por material permeável, construídas em áreas verdes de casas localizadas em regiões de Chapadas Elevadas (Cadamuro, 2002). Nestas áreas um volume superior a 20% da precipitação total infiltra através da zona vadosa do domínio poroso para recarregar a zona saturada do domínio aquífero fraturado (Zoby, 1999 e Carmelo, 2002).

#### **4.4 Critério para Definição de Vazão de Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal**

Uma vez que no Distrito Federal os sistemas aquíferos não são homogêneos e são fortemente anisotrópicos, foi considerado que a metodologia a ser aplicada para a estimativa das vazões outorgáveis deve ser baseada em dados operacionais obtidos *in loco*, onde existe informação disponível, e não simplesmente em aproximações teóricas, o que é perfeitamente possível para locais onde os aquíferos são homogêneos e existem somente informações pontuais.

Para o Distrito Federal a vazão média dos poços, denominada vazão nominal do poço, é considerada como base para a definição da 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 e abertura das fraturas) e de fatores relacionados ao desempenho/eficiência do poço (profundidade, comprimento da seção de filtros, diâmetro, tipo de desenvolvimento adotado e potência da bomba).

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.

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. Áreas de elevada favorabilidade devem ser naturalmente propícias para a infiltração (planas, pouco inclinadas, com solos espessos e permeáveis) e não serem impermeabilizadas. Áreas de baixa favorabilidade têm condições inadequadas à recarga (alta declividade, solos pouco profundos e baixa condutividade hidráulica) ou apresentam ampla impermeabilização / compactação em função dos usos da terra.

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.

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 o rebaixamento seja muito acentuado (acima de 40 metros), 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 (vide Anexo 2 – Mapa de Vegetação, Uso e Ocupação do DF).

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, II, III, IV e V e Subclasse **a**, **b** e **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 respectivas classes de favorabilidade.

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

- 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;

- 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;

- 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 devem-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. A esta subclasse estão

associadas regiões sem risco a exploração ou contaminação. Esse critério é considerado válido desde que os mapas de apoio a outorga sejam atualizados a cada três 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 prática essa sub-classe representa o indeferimento do pedido de outorga.

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.

Esse sistema apresenta as seguintes vantagens:

- pode ser rapidamente atualizado, por prover informações para apoio à decisão de forma praticamente instantânea (bastando apenas alimentar com as coordenadas do ponto de interesse);

- permite visualizar de forma sequencial todos os planos de informação utilizados para sua composição (ex. pode-se observar a classe de uso e ocupação e também a imagem que deu origem ao mapa de uso de ocupação e até mesmo o comportamento das isoietas que convergem para o ponto de interesse).

#### **4.4.1 Exemplos de casos de Emissão de Outorga de Água Subterrânea no Distrito Federal**

Para a exemplificação da aplicação da metodologia proposta e integração com as classes de favorabilidade descritas para a região do Distrito Federal, foi realizada a análise de dados reais de 26 poços distribuídos por toda a região, sendo alguns deles já cadastrados junto à ADASA. A localização dos pontos de captação selecionados encontra-se apresentada na Tabela 4.8. Na seleção destes pontos procurou-se verificar localizações em diferentes condições de uso, relevo e sistemas/subsistemas hidrogeológicos.

Foi elaborada uma tabela para a entrada, consolidação e interpretação dos dados de ensaios de bombeamento contínuos de 24 horas com as seguintes informações: nome do poço, localização, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, profundidade, vazão do ensaio, hidroestratigrafia, classe de favorabilidade, classe de outorga e vazão de outorga (Tabela 4.7). Esta vazão é a que deve ser efetivamente atribuída como descarga sustentável.

Os dados de localização, NE, ND, rebaixamento, profundidade e vazão foram obtidos diretamente a partir dos dados dos poços cadastrados, avaliados e em seguida lançados sobre a base cartográfica elaborada para subsidiar a outorga. A base teve como principais subsídios o Mapa de Favorabilidade à Exploração (Gonçalves, 2007), o Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva 1998) e o Mapa de Vegetação, Uso e Ocupação do DF (Modificado do ZEE, 2010).



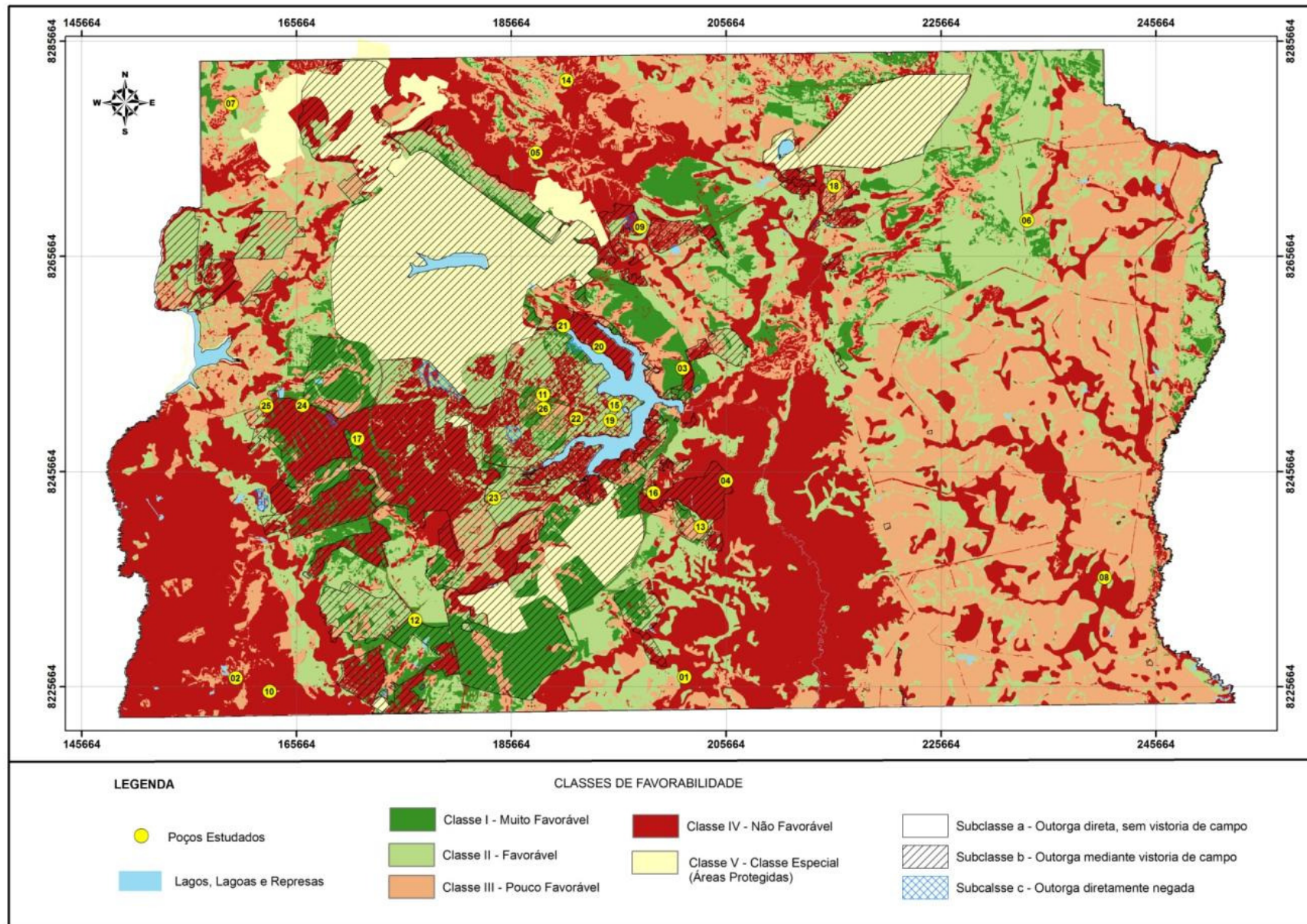


Figura 4.8 - Localização dos 26 poços sobre as classes de favorabilidade (Modificado de Gonçalves, 2007).

Tabela 4.7 - Dados de ensaios de bombeamento de 26 poços distribuídos na região do DF e usados para a exemplificação da metodologia de outorga.

Nº	Designação do Poço	COORD. (N/E - UTM)	PROF. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Vazão de Teste (m³/h)	Qesp. (m³/m³/h)	Hidrogeologia	Classe de Favorabilidade	Classe de Outorga	Vazão de Outorga (m³/h) (Favorab.)	Vazão de Outorga (m³/h) (Corrêa, 2011)
1	009/05	8226548/201769	120	12,00	30,00	18,00	16,00	0,88	BambuÍ	Não Favorável	IV	8,00	90% - 14,40
2	011/07	8226443/159996	170	16,13	54,06	37,93	16,74	0,44	Araxá	Não Favorável	IV	8,37	80% - 13,39
3	1188/04	8255251/201626	138	12,00	48,00	36,00	4,46	0,12	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Muito Favorável	I	4,01	60% - 2,67
4	1563/01	8244798/205624	150	17,00	70,50	53,50	3,20	0,05	F	Não Favorável	IV	1,00	60% - 1,92
5	168/04	8275282/187927	150	22,00	68,00	46,00	5,00	0,10	F	Pouco Favorável	III	2,00	60% - 3,00
6	216/07	8268990/233653	72	6,00	42,00	36,00	8,00	0,22	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Favorável	II	6,40	80% - 6,40
7	283/05	8279852/159583	75	3,00	6,41	3,41	9,33	2,73	PPC	Pouco Favorável	III	5,59	90% - 8,39
8	284/06	8235804/240855	62	12,00	15,00	3,00	2,89	0,96	BambuÍ	Favorável	II	2,31	90% - 2,60
9	823/03	8268379/197649	85	14,00	60,00	46,00	3,36	0,07	PPC	Não Favorável	IV	1,00	50% - 1,68
10	839/09	8225199/163165	70	8,00	33,00	25,00	20,00	0,80	Araxá	Não Favorável	IV	10,00	90% - 18,00
11	944/09	8252799/188611	130	71,42	84,88	13,46	9,68	0,71	S/A	Muito Favorável	I	8,71	70% - 6,77
12	996/03	8231831/176698	92	23,27	48,31	25,04	4,13	0,16	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Muito Favorável	I	3,71	60% - 2,47
13	CAESB 067	8240510/203296	100	6,83	24,92	18,09	52,80	2,91	F/Q/M	Não Favorável	IV	26,40	80% - 42,24
14	COL. 001	8282014/190787	100	64,00	67,00	3,00	9,30	3,1	F/Q/M	Pouco Favorável	III	5,58	90% - 8,37
15	COL. 002	8251813/195307	112	15,10	42,00	26,90	13,65	0,50	S/A	Favorável	II	10,92	60% - 8,19
16	COL. 003	8243659/198902	43	18,00	33,00	15,00	19,80	1,32	R <sub>4</sub>	Não Favorável	IV	9,90	80% - 15,84
17	COL. 010	8248697/171335	140,20	5,00	45,60	40,60	8,00	0,19	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Não Favorável	IV	3,50	50% - 4,00
18	COL. 016	8272179/215707	90,80	49,00	80,80	31,80	8,00	0,25	R <sub>4</sub>	Favorável	II	6,40	50% - 4,00
19	COL.024	8250392/194869	102	12,35	40,00	27,65	6,60	0,23	A	Favorável	II	5,28	50% - 3,30
20	COL.027	8257254/193839	104	23,28	32,12	8,34	2,33	0,27	A	Não Favorável	IV	1,16	50% - 1,16
21	COL.061	8259201/190503	27,7	1,70	12,45	10,75	13,20	1,22	S/A	Não Favorável	IV	6,60	80% - 10,56
22	COL.057	8250582/191723	104	51,20	55,00	3,80	34,43	9,06	S/A	Favorável	II	27,54	100% - 34,43
23	MSPW	8243196/184031	230	18,00	42,00	34,00	10,00	0,29	S/A	Favorável	II	8,00	60% - 4,80
24	P30	8251798/166213	192	30,00	40,60	10,60	21,00	1,98	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Muito Favorável	I	18,90	90% - 18,90
25	P38	8251753/162872	202	3,00	26,00	23,00	29,30	1,27	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Muito Favorável	I	26,37	90% - 26,37
26	PARQUE	8251489/188655	160	24,00	34,00	10,00	26,00	2,60	S/A	Muito Favorável	I	23,40	90% - 23,40

Observa-se que as vazões outorgadas estariam vinculadas não somente às vazões nominais dos poços ou à aplicação direta da modelagem da favorabilidade, mas também a uma avaliação das características de uso do solo (impermeabilização inversamente proporcional à porcentagem outorgada) e características da hidroestratigrafia associada, uma vez que os ensaios de bombeamento fornecem informações a respeito dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero.

Verifica-se, portanto, algumas inconsistências nos números de outorga resultantes, fazendo-se necessária, então, a aplicação dos critérios técnicos apresentados para a definição de outorga de mananciais subterrâneos. Dentre os resultados obtidos, exemplos serão tomados para ilustrar a aplicação da outorga considerando-se alguns dos parâmetros apresentados.

### **Poços 1, 2, 10, 16 e 21**

Poço 1 - Apesar da classe de favorabilidade do poço ser Não Favorável, a análise dos valores da vazão, rebaixamento e capacidade específica enquadram-no como sendo um poço de boa qualidade. Assim, dentro da proposta apresentada para aquíferos fraturados, a vazão outorgada sem a avaliação desses parâmetros estaria subestimando a real disponibilidade do recurso. Como o poço está localizado em região de uso rural, ou seja, sem pressão de exploração, a vazão outorgável poderia chegar a 14,4 m<sup>3</sup>/h, com um percentual de outorga de 90% da vazão nominal, sem haver qualquer risco para o sistema aquífero. Observa-se ainda, que os parâmetros encontram-se dentro daqueles adaptados de Struckmeier & Margat (1995).

Poço 2 - Este poço encontra-se enquadrado, segundo a classe de favorabilidade, também como sendo Não Favorável à exploração, especialmente devido à baixa condutividade hidráulica atribuída ao sistema aquífero onde está localizado. Este enquadramento faria com que sua vazão, que é de 16,74 m<sup>3</sup>/h sofresse uma redução de 50%. Verifica-se que o  $s$  é de cerca de 38 metros e que, portanto, a Qesp é igual a 0,44. Segundo a proposta apresentada para aquíferos fraturados, este valor de capacidade específica, aliada à vazão (> 10 m<sup>3</sup>/h) e à baixa ocupação do solo permitiria a outorga de 80% da vazão nominal do poço.

A mesma relação pode ser observada para os poços 10, 16 e 21.

### **Poços 7, 13 e 14**

Estes casos trazem excelentes exemplos da aplicação da proposta para aquíferos cársticos. A aplicação única da favorabilidade reduz em até 50% a outorga para estes poços, entretanto, a análise especialmente do rebaixamento disponível após ensaio de bombeamento contínuo de 24 horas, mostra que as reduções são quase que insignificantes se confrontadas com as altas vazões a que os poços instalados nesses sistemas são submetidos por períodos prolongados.

Para os poços 7 e 14 as vazões outorgadas podem ser concedidas com valores de 90% da vazão nominal do poço no período chuvoso pelo fato de estarem localizadas em áreas de uso rural de baixa densidade de uso. Para os períodos de seca, uma redução temporária das vazões outorgadas e associação à sistemas de abastecimento por água superficial até a compreensão mínima da dinâmica do aquífero através de monitoramento contínuo faz-se necessária de modo a conservar a integridade física do sistema.

O poço 13 necessitaria, ainda, de uma análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento, de preferência por períodos de 36 horas, conforme apresentado na proposta, especialmente em suas proximidades devido à maior pressão por exploração observada na região (proximidade com região da Subclasse **b**). Ainda assim, apresenta alta produtividade e os percentuais outorgados devem estar diretamente vinculados à análise da variação dos níveis dinâmicos.

#### **Poços 4, 5, 9 e 17**

Apresentam a peculiaridade de apresentarem rebaixamentos considerados demasiados, maior ou igual a 40 metros. Nestes casos, há ampla redução da capacidade específica e a vazão de outorga deve ser reduzida, entretanto verifica-se que não há necessidade de se chegar a valores 40% das vazões nominais.

Depois de enquadrar na respectiva classe de favorabilidade e de outorga, a vazão foi reduzida em uma taxa variável em função do rebaixamento. Este procedimento pretende ampliar a proteção ao aquífero. Em alguns casos as vazões obtidas nos ensaios apresentam-se superestimadas apenas para se atender a aspectos contratuais, entre o proprietário do poço e a empresa de construção.

A emissão da outorga deve ser sistematizada da seguinte forma: 1- determinação pelo gestor da solicitação da outorga no contexto hidrogeológico, de uso e ocupação e favorabilidade à exploração (deve-se entender este último como uma ferramenta complementar e indicadora de condições gerais de favorabilidade, entretanto, a não existência desse dado não é impeditiva à aplicação dos parâmetros). Todos os parâmetros são facilmente obtidos a partir de sistemas de informações geográficas, desde que a coordenada do ponto de captação seja conhecida; 2 – avaliação do ensaio de bombeamento fornecido pelo solicitante da outorga: 3 - aplicação dos parâmetros propostos para avaliação das características hidrodinâmicas do sistema aquífero (vazão, rebaixamento, capacidade específica, etc.); 4 - aplicação das propostas metodológicas para os diferentes tipo de aquíferos com os respectivos percentuais de vazão atribuídos à outorga.

#### 4.5 Determinação das Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos

Com a finalidade de se criar mais uma ferramenta de gestão de fácil aplicação e resposta rápida, foi realizado o cruzamento dos dados de vegetação, uso e ocupação do solo com as unidades hidroestratigráficas do DF. A partir do cruzamento destas informações foi possível o delineamento de unidades de gerenciamento de outorga.

Inicialmente, uma compilação das principais feições de uso do solo identificadas foram agrupadas em três usos que apresentam efetiva influência nos recursos hídricos subterrâneos: áreas de uso agropecuário, pivôs de irrigação, chácaras, matas de galeria, vegetação de reflorestamento, áreas úmidas e locais de vegetação de cerrado remanescente - uso rural; e áreas de solo exposto, mineração e área urbana em geral - uso urbano. O terceiro uso identificado foi o das unidades de proteção integral as quais possuem função estratégica, principalmente na região do DF, devido à grande parte de suas áreas estarem localizadas em regiões de chapadas elevadas (altamente propícias à recarga dos aquíferos).

A integração destes dados (uso e hidrogeologia) forneceu a configuração de 19 unidades de gerenciamento, sendo uma das subunidades caracterizada como sendo área de proteção integral (Tabela 4.8).

**Tabela 4.8 - Unidades de Gerenciamento da Outorga de Água Subterrânea no DF.**

<b>SISTEMA PARANOÁ</b>	
Urbano - S/A	Rural - S/A
Urbano - A	Rural - A
Urbano - Q <sub>3</sub> /R <sub>3</sub>	Rural - Q <sub>3</sub> /R <sub>3</sub>
Urbano - R <sub>4</sub>	Rural - R <sub>4</sub>
Urbano - PPC	Rural - PPC
<b>SISTEMA CANASTRA</b>	
Urbano - F	Rural - F
Urbano - F/Q/M	Rural - F/Q/M
<b>SISTEMA BAMBUÍ</b>	
Urbano - Bambuí	Rural - Bambuí
<b>SISTEMA CANASTRA</b>	
Urbano - Canastra	Rural - Canastra

A subdivisão em unidades de gerenciamento faz-se necessária devido à necessidade de controle em termos espaciais das diferentes características físicas e econômicas da região.






































Ainda, torna a gestão mais dinâmica e precisa, na medida em que facilita a articulação entre os diversos atores usuários dos recursos hídricos que ocupam áreas mais restritas.
















































Caso não fosse utilizado um critério para a redução dos limites das Unidades de Gerenciamento, poderia haver sobreexploração local mesmo sem se alcançar a disponibilidade dentro de uma mesma unidade. Este princípio deve ser aplicado à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, mesmo em se tratando de um sistema aquífero regional considerado homogêneo e isotrópico. Isto é, o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos deve envolver essencialmente os aspectos locais.

De modo a iniciar a efetiva aplicação da gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, as unidades obtidas a partir do cruzamento da hidrogeologia e uso foram agrupadas em macrounidades que tem como parâmetro de integração local as unidades hidrográficas do DF.











































O Anexo 3 (Mapa das Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do DF) apresenta o resultado da integração dos dados anteriormente listados e a Tabela 4.9 mostra as respectivas Macrounidades, Unidades de Gerenciamento e suas respectivas áreas em hectares.
















Tabela 4.9 - Macrounidades e Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do DF.

Nº	MACROUNIDADES DE GERENCIAMENTO (UNIDADES HIDROGRÁFICAS)	UNIDADES DE GERENCIAMENTO	UNIDADES DE GERENCIAMENTO	ÁREA TOTAL (hectares)
		RURAL	URBANA	
1	ALAGADO/PONTE ALTA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - Araxá  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3	26.181
2	ALTO JARDIM	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F  Rural - Bambuí	-	24.050
3	BAIXO JARDIM	 Rural - F  Rural - Bambuí	-	14.850
4	BANANAL	 Áreas de Proteção Integral  Rural - A	 Urbano - A  Urbano - S/A	12.316
5	BURITI	 Rural - R4  Rural - Araxá	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - Araxá	9.222
6	BURITI VERMELHO	 Rural - Bambuí	-	5.440
7	CACHOEIRINHA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F  Rural - Bambuí	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4	19.082
8	CAPÃO DO LOBO	 Rural - Bambuí	-	4.018
9	DOIS IRMÃOS	 Rural - R4  Rural - Araxá	 Urbano - R4	6.191
10	ENGENHO DAS LAJES	 Rural - Araxá	 Urbano - Araxá	7.421
11	EXTREMA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - Bambuí	-	24.048
12	JACARÉ	 Rural - R3/Q3	-	20.958

Nº	MACROUNIDADES DE GERENCIAMENTO (UNIDADES HIDROGRÁFICAS)	UNIDADES DE GERENCIAMENTO		ÁREA TOTAL (hectares)
		RURAL	URBANA	
		 Rural - Bambuí		
13	LAGO DESCOBERTO	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4	34.621
14	LAGO PARANOÁ	 Rural - R3/Q3  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - A  Urbano - S/A	28.066
15	MÉDIO JARDIM	 Rural - F  Rural - Bambuí	 Urbano - F	15.218
16	BELCHIOR	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - Araxá	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - Araxá	21.925
17	MESTRE D'ARMAS	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - PPC  Rural - F  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - F	20.494
18	PALMA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - PPC  Rural - Bambuí  Rural - F  Áreas de Proteção Integral	-	20.901
19	PAPUDA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F  Rural - F/Q/M	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - F/Q/M	21.309
20	PARANOÁ	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - F	13.474



Nº	MACROUNIDADES DE GERENCIAMENTO (UNIDADES HIDROGRÁFICAS)	UNIDADES DE GERENCIAMENTO	UNIDADES DE GERENCIAMENTO	ÁREA TOTAL (hectares)
		RURAL	URBANA	
21	PEDREIRA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - PPC  Rural - F  Rural - F/Q/M  Áreas de Proteção Integral	-	14.417
22	PIPIRIPAU	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - A  Rural - F	 Urbano - R4  Urbano - F	19.672
23	RIACHO FUNDO	 Rural - R3/Q3	 Urbano - Q3/R3  Urbano - A  Urbano - S/A	21.292
24	RIBEIRÃO DO GAMA	 Rural - R3/Q3  Rural - A  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - A	14.489
24	SAIA VELHA/MARIA PEREIRA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - Bambuí	-	8.859
26	SAMAMBAIA	 Rural - F	-	4.904
27	SANTA MARIA	 Rural - R3/Q3	 Urbano - Q3/R3	2.680
28	SANTA MARIA/TORTO	 Rural - R3/Q3  Rural - A  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - A  Urbano - S/A	24.272
29	SANTA RITA	 Rural - R3/Q3  Rural - Bambuí	-	8.718
30	SANTANA	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F  Rural - Bambuí  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - F  Urbano - Bambuí	14.555

Nº	MACROUNIDADES DE GERENCIAMENTO (UNIDADES HIDROGRÁFICAS)	UNIDADES DE GERENCIAMENTO		ÁREA TOTAL (hectares)
		RURAL	URBANA	
31	SÃO BERNARDO	 Rural - F  Rural - Bambuí	-	8.195
32	SÃO JOSE	 Rural - Bambuí	-	9.382
33	SOBRADINHO	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - F  Urbano - PPC	25.017
34	SONHIM	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - Bambuí  Rural - F  Rural - F/Q/M  Áreas de Proteção Integral	 Urbano - Q3/R3  Urbano - PPC	20.549
35	TABOCAS	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - F	 Urbano - Q3/R3  Urbano - R4  Urbano - F	11.275
36	VEREDA GRANDE	 Rural - R3/Q3  Rural - R4  Rural - PPC  Rural - Bambuí  Áreas de Proteção Integral	-	22.014

## CAPÍTULO V

---

### 5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo permite enumerar as seguintes considerações e conclusões:

A aplicação das metodologias apresentadas favorece a desburocratização da outorga.

A efetiva aplicação de critérios técnicos à outorga amplia o controle dos órgãos gestores das águas subterrâneas.

As propostas apresentadas são de fácil aplicação o que amplia a flexibilidade de atuação, uma vez que em muitos casos os técnicos que trabalham em processos de outorga não são especialistas em hidrogeologia ou área afim.

A implantação das metodologias propostas neste trabalho, de forma integral ou parcial, assegura o não comprometimento dos mananciais subterrâneos e dos mananciais superficiais diretamente dependentes dos primeiros.

Não deve ser estabelecido um valor fixo para a vazão de outorga, uma vez que os sistemas aquíferos não são precisamente conhecidos e variam em função de diversos fatores. O ideal é que a outorga seja feita por sistema aquífero e por unidades de gerenciamento, inicialmente definida de acordo com os parâmetros apresentados neste estudo, e monitorada através de poços de observação locados em pontos estratégicos dos sistemas e acompanhados em tempo real via banco de dados georreferenciado.

O monitoramento deverá ser acompanhado de análises de qualidade de água com frequência trimestral no 1º ano, semestral no 2º ano e anual nos anos seguintes (caso não ocorram inconformidades) para fins de verificação de contaminação da água, especialmente em áreas urbanas.

A avaliação da demanda hídrica não deve mais ser avaliada somente em função da disponibilidade de água superficial. Esforços mínimos para a gestão das águas subterrâneas, a exemplo da aplicação das propostas metodológicas de fácil aplicação como as apresentadas neste estudo, são de grande valia para a outorga de água subterrânea.

A água subterrânea é um bem de importância estratégica, pois em diversos locais a quantidade e a qualidade da água superficial encontram-se comprometidas em função de questões naturais diversas ou ações antrópicas.

Os custos relativos à exploração de água subterrânea são cada vez mais acessíveis e, na medida em que o conhecimento dos sistemas aquíferos seja ampliado, deverá haver aumento das pressões de exploração, aumentando ainda mais a importância de se estabelecer um sistema de outorga adequado.

A construção de poços deve ser feita somente por empresas cadastradas junto aos órgãos gestores e de reconhecida qualificação técnica. Os dados de ensaios de bombeamento deverão ser obrigatórios para qualquer processo de outorga.

Os sistemas de outorga devem ser acompanhados da cobrança pelo uso do recurso hídrico. O binômio outorga-cobrança deveria ser aplicado em conjunto, de forma a se tornar necessária a medição do volume captado (o pagamento deve ser proporcional ao volume captado).

Parte do valor arrecadado deverá ser investido por macrounidade, especialmente através de trabalhos de cunho técnico sobre os sistemas aquíferos (para garantir o conhecimento detalhado dos reservatórios) e conscientização do uso sustentável da água (para gestão da demanda).

Para dar funcionalidade às propostas de outorga apresentadas neste trabalho deverão ser calculadas as disponibilidades hídricas por unidade de gerenciamento. A cada outorga de direito de uso emitida a respectiva vazão deverá ser extraída da reserva explotável até que o volume máximo seja alcançado (de forma semelhante ao que é atualmente feito para os recursos hídricos superficiais).

Para acompanhamento pelos órgãos gestores deverão ser instalados hidrômetros nos poços e uma avaliação anual do uso deverá ser realizada para fins de readequação das outorgas concedidas e benefício de múltiplos usuários.

Os usos considerados 'insignificantes' deverão também ser cadastrados e quando forem explotados de aquíferos vulneráveis à contaminação ou estratégicos deverão ser contabilizados nos processos de outorga.

A determinação das vazões de outorga para aquíferos deverá partir de um princípio conservador e deverá ser aplicada a períodos não superiores a quatro anos.

Para o caso do Distrito Federal, a aplicação das classes de favorabilidade deve estar sempre associada à interpretação dos dados dos ensaios de bombeamento e aplicação obrigatória de um ou mais dos parâmetros técnicos discutidos.

A água subterrânea no Distrito Federal é limitada, devendo ser vista como um recurso hídrico estratégico para a complementação de abastecimento em períodos mais secos ou como opção de expansão do sistema de abastecimento por mananciais superficiais. Do ponto de vista de integração com os recursos hídricos superficiais, as águas subsuperficiais apresentam um papel muito importante na regularização de vazões da rede de drenagem superficial.

Com a intensificação do uso e ocupação do terreno e conseqüente impermeabilização da superfície, é importante, em áreas com maiores possibilidades, o desenvolvimento de projetos de pesquisa visando à recarga artificial dos aquíferos (principalmente sobre os aquíferos do subsistema  $R_3/Q_3$  recobertos pelo Sistema  $P_1$ ).

Para o detalhamento das propostas aqui apresentadas e sua implantação serão necessárias as seguintes ações:

- 1 - Investigações Hidrogeológicas:
  - a) Delimitação de bacias hidrogeológicas;
  - b) Elaboração de mapas potenciométricos em escala condizente com a precisão requerida da informação (por unidade de gerenciamento);
  - c) Criação de redes de poços de monitoramento em tempo real;
  - d) Utilização de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas;
  - e) Definição de zonas de recarga e aplicação das metodologias de recarga artificial;
- 2 - Investigações e Medidas Socioeconômicas;
  - a) Identificação de demanda de usuários;
  - b) Identificação de previsão de aumento de demanda em centros urbanos e indicação dos vetores de expansão;
  - c) Ampliação do cadastro de poços existentes;
  - d) Elaboração de cadastro de construtores de poços tubulares;
  - e) Intensificação de atividades de educação ambiental para a sustentabilidade do uso das águas;
  - f) Aplicação de medidas de estímulo à adequação de sistemas de recarga artificial dos aquíferos junto aos usuários e aos serviços terceirizados de construção das caixas de captação.

Por fim ressalta-se que a incidência de erros nos processos de outorga de água subterrânea pode gerar consequências irreversíveis aos sistemas aquíferos. Desta forma, é imprescindível a delimitação de unidades de gerenciamento e uso de critérios de fácil aplicação para a efetiva implantação das metodologias propostas neste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional das Águas - ANA. 2010. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). Acessado em 04/05/2010.
- Alley, W.M.; Leake, S.A. 2004. The journey from safe yield to sustainability. *Ground Water*, vol. 42, no. 1, p. 12-16.
- 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 - inédita).
- Arraes, T.M. & Campos, J.E.G. 2007. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. *Revista Brasileira de Geociências* 37(1):81-89.
- Associação Brasileira de Água Subterrânea. 2010. [www.abas.com.br](http://www.abas.com.br). Acessado em 15/06/2010.
- Baptista, G.M.M. Caracterização climatológica do Distrito Federal. *In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília: Governo do Distrito Federal. 1998. Formato digital.
- Barros J.C.B. 1987. Geologia e hidrogeologia do Distrito Federal. *In: GDF/CAESB Inventário hidrogeológico do Distrito Federal*. 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.. pp. 265-283.
- Barth, F.1999. Aspectos Institucionais do gerenciamento de recursos hídricos. *In: Águas Doces do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. Org. e Coord.: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J. p 565-599.
- Bear, J., & Levin, O. 1967. The optimal yield of an aquifer. I.A.S.H. Symposium on Artificial Recharge and Management of Aquifers, IASH Publ. No. 72, pp. 401-412.
- Bredehoeft, 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. Brasília. 126p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- 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, pp. 1-84, (Vol. IV Relatório Técnico).
- 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.
- Carmelo A.C. 2002. Caracterização de aquíferos fraturados por integração de informações geológicas e geofísicas. Brasília. 161p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- Coimbra A.R.S.R. 1987. Balanço hídrico preliminar do Distrito Federal. *In: IEMA/SEMATEC/UnB 1998, Inventário hidrogeológico do Distrito Federal*. (GDF/CAESB) Brasília DF. P. 50-78.
- Cooper, h.h. & Jacob, c.e. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants an summarizing well field history. *Am. Geophys. Union Trans.* Vol. 27, p. 526-534.
- 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.

- Custodio, E. & Llamas, M.R. 1983. Hidrología Subterránea. 2.ed., Barcelona. Ed. Omega.
- Dardenne M.A. 1978a. Geologia da Região de Morro Agudo (Minas Gerais). Bol. Inform. SBG/Centro Oeste, **7-8**:68-84.
- Dardenne, M.A. 1978b. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In*: Congr. Bras. Geoc., 30. Recife, 1978. Anais, SBG.v. 2. p. 597-610.
- Dardenne, M.A. 1979. *Les minéralisations plomb, zinc, fluor du Proterozoïque Supérieur dans le Brésil Central*. Paris. Univ. Pierre et Marie Curie - Paris VI. 251p. These de Doctorat d'Etat.
- Dardenne, M.A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. *In*: Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais.
- Dolabella R.H.C. 1995. Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura irrigada na bacia hidrográfica do Rio Jardim (DF). Brasília, Dissertação de Mestrado.
- ELETOBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. 1985a. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro. v. 1.
- EMBRAPA. 1978. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Boletim Técnico. No 53. SNLCS. Rio de Janeiro. 455p.
- 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*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 199p.
- Feitosa, E.C., Manoel Filho, J., Costa, W.D., Demétrio, J.G., França, H.P.M. 2008. Avaliação de recursos Hídricos Subterrâneos. *In*: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Org. e coord.: Feitosa, F. A. C *et al.* 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro-RJ. Serviço Geológico do Brasil - CPRM: LABHID. pp.507-523.
- Feitosa, F. A. C. & Demétrio. 2008. Testes de Bombeamento em Poços Tubulares. *In*: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Org. e coord.: Feitosa, F. A. C *et al.* 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro-RJ. Serviço Geológico do Brasil - CPRM: LABHID. pp.507-523.
- Fetter, C.W. 1994. Applied hydrogeology. McMillan College Publ. Co. New York. 680p.
- Freire, C. C. 2002. Modelo de gestão para a água subterrânea. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Freitas-Silva F.H. & Dardenne M.A. 1994. Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. *In*: Simp. Geol. Centro Oeste., **4**. Brasília, 1991. *Anais*. Brasília, SBG-DF/CO, p.164-165.
- Gaspar, M. T. G. 2006. Sistema Aqüífero Urucua: caracterização regional e propostas de gestão. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília. 158 p.
- 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).
- Khan, L.S., & Mawdsley, 1988. J.A. Reliable yield of unconfined aquifers. Hydrological Sciences Journal – des Sciences Hydrologiques, 33, 2, 4/1988.p151-171.

- 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.
- 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. *et al.* (Org. e coord.). Fortaleza - CE. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. pp.13-32.
- Manoel Filho, J. 2008. Evolução Histórica do Conhecimento. *In: Feitosa, F. A. C. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Org. e coord.: Feitosa, F. A. C *et al.* 3ª ed. Rev. e Ampl. Rio de Janeiro-RJ. Serviço Geológico do Brasil – CPRM: LABHID. pp.5-29.
- Manoel Filho, J., Feitosa, F.A.C., Feitosa, E.C., Demetrio, J.G.A. 2008. Capacidade de Produção de Poços. *In: Feitosa, F. A. C. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Org. e coord.: Feitosa, F. A. C *et al.* 3ª ed. Rev. e Ampl. Rio de Janeiro-RJ. Serviço Geológico do Brasil – CPRM: LABHID. pp.617-644.
- Martins E.S. & Baptista G.M.M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. *In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília: IEMA / SEMATEC / UnB. Vol 1. p 89-137.
- Meinzer, O. E. 1920. Quantitative methods of estimating groundwater supplies. *Bulletin of the Geological Society of America*, [S.I.] v. 31, n. 2, p. 329-338.
- 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. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 154p. (Dissertação de Mestrado - inédita)
- Missteat, B.D.R & Beeson. 2000. *Using operational data to estimate the reliable yields of water-supply wells*. *Hydrogeology Journal* 8(2):177-187.
- Moench, A.F. 1984. Double-porosity models for fissured Groundwater reservoir with fracture skin. *Water Resources Research*, 20(7):831-846.
- Moench, A.F. 1994. Specific yield as determined by type-curve analysis of aquifer test data. *Groundwater* 32(6):949-957.
- Neuman, S.P. 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. *Water Resources Research*, vol. 8, nº 4, p. 1031-1045.
- Neuman, S.P. 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed yield, *Water Resources Research*, vol. 11, nº. 2, p. 329-342.
- Nogueira, J.M., Junior, A.N., Junior, J.M.N, Junior, P.R.S., Ito, C., Couri, C.L., Carramacshi, I.H.C. 2004. Evolução das Atividades Produtivas de Polarização Regional. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal e Entorno. Relatório Técnico Parcial 2 – Etapa 1. Volume I. 190p.
- Novaes Pinto M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. *In: M. Novaes Pinto (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: M. Novaes Pinto (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília. Editora UnB. 2a ed. p. 511-542.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Dardenne M.A., Del'rey Silva L.J.H., Meneses P.R. 1995. Magmatismo ácido peraluminoso associado ao Grupo Araxá na região entre Pires do Rio e Ipameri, Goiás: características geoquímicas e implicações geotectônicas. *In: SBG*,
- Pimentel M.M., Heaman L., Fuck R.A. 1992. Idade do metariolito da Sequência Maratá, Grupo Araxá, Goiás: estudo geocronológico pelos métodos U-Pb em zircão, Rb-Sr e Sm-Nd. *An. Acad. Bras. Cien.* 64:19-28.



- Rebouças, A.C. 2008. Importância da Água Subterrânea. *In: Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. Feitosa, F. A. C *et al.* (Org. e coord.). 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008. pp.13-29.
- Riggs, H.C. 1964. The Base Flow Recession Curve as an Indicator of Ground Water. *Hydrol. Sci. Bull./Journal*, 63: 352-363.
- Romano O. & Rosas, J. G. C. 1970. Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. *In: SBG, Congr. Bras. Geol., 24. 1970. Anais...*, Brasília, SBG. p.313-333.
- Rorabaugh 1953. *Graphical and theoretical analysis of step drawdown test of artesian well*. Proc. Am. Soc. Civil Engrs., vol 79.
- SEDUMA – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Distrito Federal. 2009. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. 312p.
- Silva, A.B. 2008. Hidrogeologia de Aquíferos Cársticos. *In: Feitosa, F. A. C. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Org. e coord.: Feitosa, F. A. C *et al.* 3ª ed. Rev. e Ampl. Rio de Janeiro-RJ. Serviço Geológico do Brasil – CPRM: LABHID. pp.153-174.
- Silva, R.S., Marques, C., Monteiro, A.B.1998. Implantação do sistema de outorga em Pernambuco, mimeo.
- Silveira, A., Moura, R.M.P., Andrade, N.L.R. 2006. Determinação da  $Q_{7,10}$  para o rio Corumbá, Mato Grosso, Brasil, e comparação com a vazão regularizada após a implantação do Reservatório de Aproveitamento Múltiplo de Manso. *In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 26 al 30 de noviembre. Punta Del Este, Uruguay.8p.*
- 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).
- Struckmeier, W.F. & Margat, J. 1995. *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. International Association of Hydrogeologists, Hannover, 17, pp. 1-177.
- Tallaksen, L.M., 1995. *A review of baseflow recession analysis*. *Journal of Hydrology*, 165: 349-370.
- Teixeira N.A. & Danni J.C.M. 1978. Contribuição a estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. *In: SBG, Congr. Bras. Geol., 30. Recife, 1970. Anais ... Recife, Vol. 3 p.700-711.*
- Theis, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Transactions of American Geophysical Union, Washington, v.2, p.519-524.*
- 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. pp. 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.
- ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. 2010. Greentech Consultoria Ambiental. Inédito.
- 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).

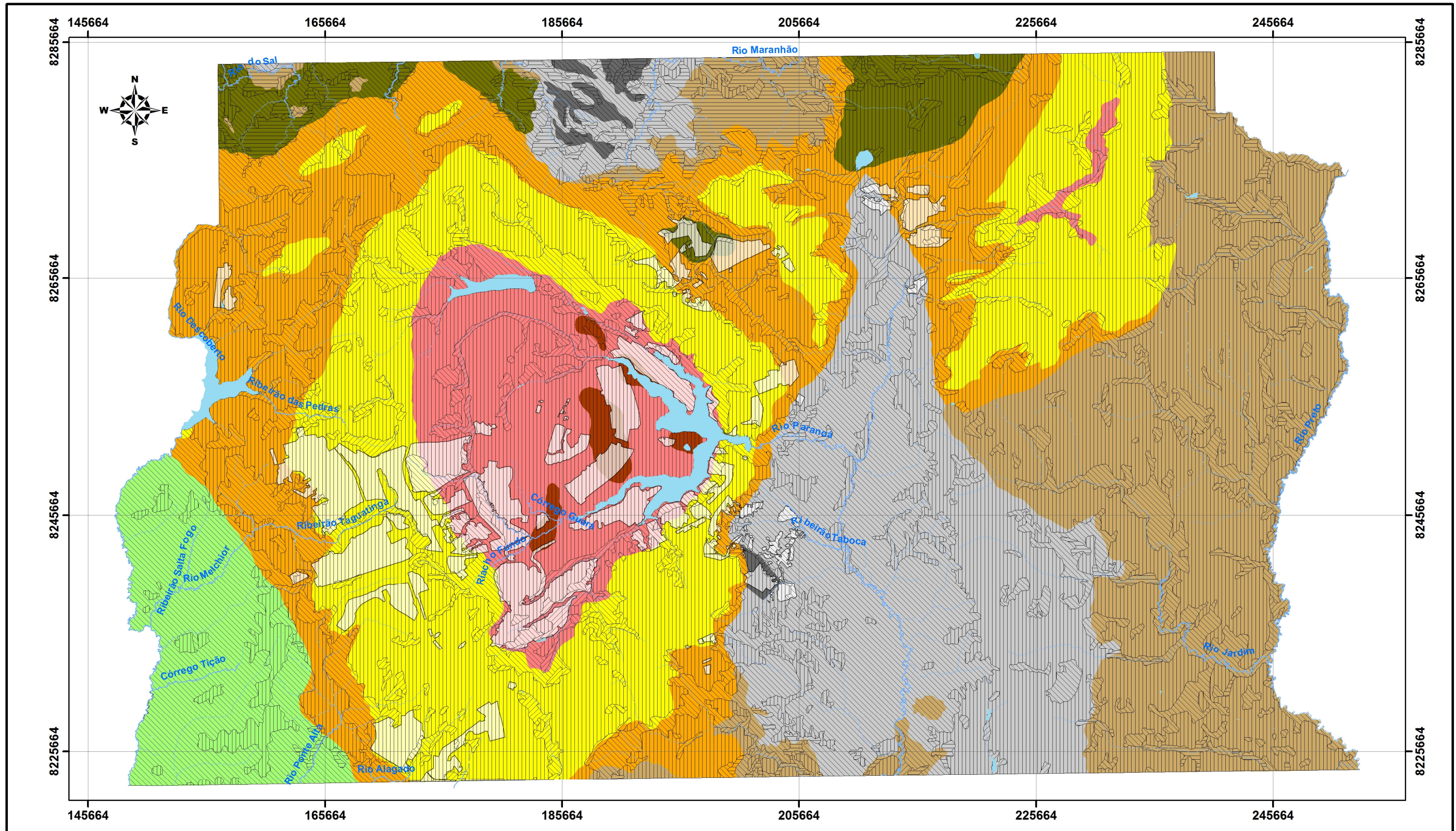
## **6 ANEXOS**

**6.1 Anexo 1 - Mapa Hidrogeológico do DF**

**6.2 Anexo 2 - Mapa de Vegetação, Uso e Ocupação do DF**

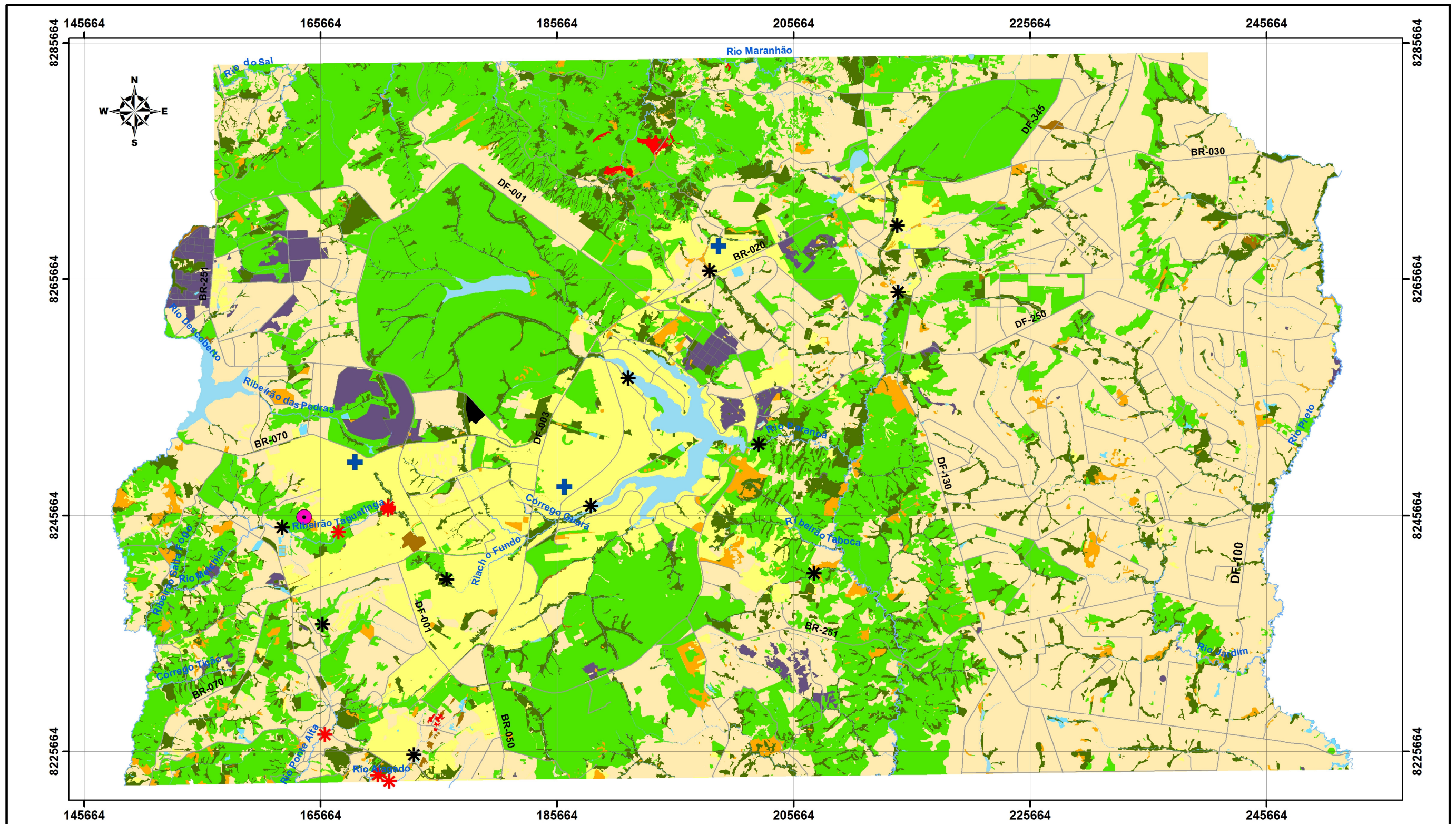
**6.3 Anexo 3 - Mapa de Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água Subterrânea do DF**

## Anexo 1 - Mapa Hidrogeológico do DF



<b>LEGENDA</b>		<b>Domínio Poroso</b>		<b>Domínio Fraturado</b>		<b>Título do mapa</b>	
Hidrografia	P1 - Aquíferos intergranulares contínuos, livres e de grande extensão lateral. Latossolos textura média.	<b>Sistema Bambuí</b>	Subsistema A. 4,39 m³/h.	<b>Sistema Canastra</b>		<b>MAPA HIDROGEOLÓGICO DO DF</b>	
Lagos, Lagoas e Represas	P2 - Aquíferos intergranulares contínuos, livres e de grande distribuição lateral. Latossolos argilosos.	Bambuí. 5,21 m³/h.	Subsistema R3/Q3. 12,2 m³/h.	Subsistema F. 7,5 m³/h.	Data <b>MARÇO/2011</b>		Folha <b>01/01</b>
Áreas Urbanas	P3 - Aquíferos intergranulares, descontínuos e livres. Latossolos argilosos/Neossolos.	<b>Sistema Araxá</b>	Subsistema R4. 6,14 m³/h.	Subsistema F/Q/M. 33 m³/h.	Escala Gráfica 0 5 10 km		Escala Numérica <b>1:300.000</b>
	P4 - Aquíferos intergranulares, descontínuos e livres. Neossolos/Cambissolos.	Araxá. 3,14 m³/h.	<b>Sistema Paranoá</b>	Subsistema PPC. 9,1 m³/h.	Elaboração <b>Poliana Marcolino Corrêa</b>		Sistema Universal Transverso Mercator Datum SIRGAS 2000 Zona 23 Sul
		Subsistema S/A. 12,7 m³/h.			Fonte Base cartográfica: SICAD 1:10.000 Hidrogeologia do DF - Campos & Freitas-Silva (1998)		

## **Anexo 2 - Mapa de Vegetação, Uso e Ocupação do DF**



**LEGENDA**

- Vias de Acesso
- Hidrografia
- Lagos, Lagoas e Represas

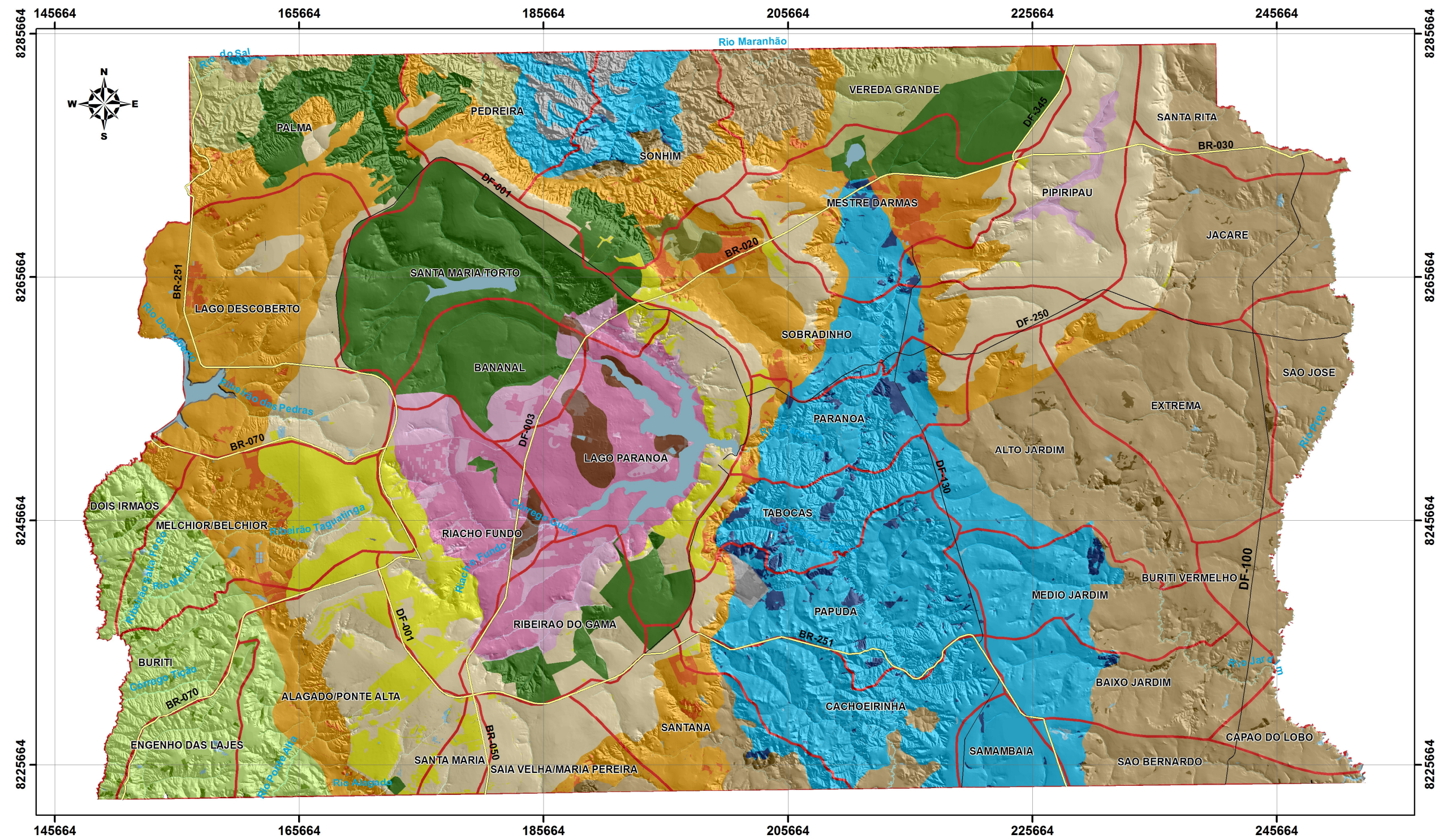
- Cemitérios
- Lançamento de esgoto bruto
- Lançamento de esgoto tratado
- Futuro Aterro de Samambaia
- Aterro do Jôquei Club

**Classes de Vegetação, Uso e Ocupação**

- Área Rural - Agropecuária, Chácaras, Pivôs de Irrigação
- Área Urbana
- Solo exposto
- Mineração
- Áreas úmidas
- Cerrado remanescente
- Mata de Galeria
- Reflorestamento

Título do mapa	
<b>MAPA DE VEGETAÇÃO, USO E OCUPAÇÃO DO DF</b>	
Data	Folha
MARÇO/2011	01/01
Escola Gráfica	Escola Numérica
	1:300.000
Elaboração	Sistema Universal Transverso Mercator
Pollana Marcolino Corrêa	Datum SIRGAS 2000 Zona 23 Sul
Fonte	
Base cartográfica: SICAD 1:10.000 Modificado de Zoneamento Ecológico Econômico do DF - 2010	

**Anexo 3 - Mapa de Unidades de Gerenciamento de Outorga de Água  
Subterrânea do DF**



**LEGENDA**

- Hidrografia
- Vias de Acesso Federais
- Vias de Acesso Distritais (Principais)
- Lagos, Lagoas e Represas
- Unidades Hidrográficas

**UNIDADES DE GERENCIAMENTO**

- Áreas de Proteção Integral
- SISTEMA PARANOÁ**
- Urbano - S/A
- Rural - S/A
- Urbano - A
- Rural - A

- Urbano - Q3/R3
- Rural - R3/Q3
- Urbano - R4
- Rural - R4
- Urbano - PPC
- Rural - PPC

- SISTEMA CANASTRA**
- Urbano - F
- Rural - F
- Urbano - F/Q/M
- Rural - F/Q/M

- SISTEMA BAMBUÍ**
- Urbano - Bambuí
- Rural - Bambuí
- SISTEMA ARAXÁ**
- Urbano - Araxá
- Rural - Araxá

Título do mapa		<b>UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE OUTORGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DO DF</b>	
Data	MARÇO/2011	Folha	01/01
Escala Gráfica		Escala Numérica	1:300.000
Elaboração	Poliana Marcolino Corrêa		Sistema Universal Transverso Mercator Datum SIRGAS 2000 Zona 23 Sul
Fonte	Base cartográfica: SICAD 1:10.000 Zoneamento Ecológico Econômico do DF - 2010 Hidrogeologia do DF - Campos & Freitas-Silva (1998)		