

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

José Eloi Guimarães CAMPOS¹ & Poliana Marcolino CORREA²

(1) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Endereço eletrônico: eloi@unb.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Endereço eletrônico: polimarcolino@hotmail.com

Introdução

Critérios técnicos para definição de vazões outorgáveis

Percentual da Vazão Média dos Poços do Aquífero

Percentual da Vazão do Poço

Vazão de Base da Drenagem Superficial

Vazão de Segurança

Rebaixamento Disponível

Análise Qualitativa dos Dados de Ensaio de Bombeamento

Aplicação para o caso do Distrito Federal

Tempo Diário Máximo de Bombeamento

Considerações finais

Referências

RESUMO - A proposição de critérios para a definição de vazões para outorga de direito de uso de águas subterrâneas é apresentada no presente trabalho. A discussão considerou os seguintes critérios para se definir as vazões consideradas sustentáveis: percentual da vazão média do aquífero, percentual da vazão média do poço, percentual do fluxo de base da rede de drenagem superficial, rebaixamento máximo disponível, vazão de segurança e análise qualitativa dos resultados de ensaios de rebaixamento. Foi determinado que a melhor forma para a determinação das vazões deve incluir mais de um critério. Um estudo de caso com aplicação para o Distrito Federal, propõe que a outorga seja concedida com base em um percentual da vazão de ensaio em função do grau de favorabilidade a exploração do aquífero com as seguintes taxas: 90% para os casos de alta favorabilidade, 80% para as áreas favoráveis, 60% para regiões com média favorabilidade e apenas 50% para as situações não favoráveis à exploração. A determinação da favorabilidade à exploração deve levar em consideração a relação entre condições naturais e atuais de recarga. Em muitos casos a recarga atual é intensamente reduzida por impermeabilização e compactação da superfície.

Palavras-chave: direito de uso de águas subterrâneas, favorabilidade à exploração dos aquíferos.

ABSTRACT - The proposition of criteria to definition of reliable yields for groundwater management is presented in this paper. The discussion considered the following criteria to definition of sustainable pumping rates: percentile of the mean aquifer yield, percentile of the mean well yield, percentile of the base flow on streams, maximum possible drawdown, safe yield and qualitative data of pumping test results. It has been defined that the sustainable pumping rate must be determined by the association of the former criteria. A case study, with the application in the Federal District region, Brazil, stands that reliable yields must be authorized by the management office as a percentile of the well yield based on the exploitation favorability of the aquifer. The following rates are considered: 90% in the cases of high favorability, 80% to the favorable areas, 60% to regions with medium favorability and 50% to the not favorable aquifer exploitation situations. The determination of the exploitation favorability must take into consideration the relations between de natural and the present day recharge conditions. In many cases de present day recharge conditions are significantly decreased by surface compaction and sealing.

Keywords: rights of groundwater users, aquifer exploitation favorability.

INTRODUÇÃO

Outorga do direito de uso dos recursos hídricos é um instrumento de controle administrativo, onde o poder público federal, estadual ou municipal por delegação do primeiro, permite que os múltiplos usuários possam captar e utilizar as águas subterrâneas para os diferentes usos. Dessa forma, uma das funções da outorga de direito de uso é limitar o máximo volume que cada usuário pode captar.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos visa, não apenas sua preservação, mas também a otimização do seu uso por meio da ampliação da oferta de água ou da solução de problemas relativos ao abastecimento de águas provenientes 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 da terra para que medidas, visando à eliminação ou mitigação de impactos negativos, sejam tomadas com base em critérios técnicos, capazes de garantir a sustentabilidade atual e futura dos sistemas aquíferos.

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

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

A geologia constitui o principal componente para a compreensão das características dos aquíferos, sua distribuição espacial, extensão lateral, áreas de recarga e exutório, camadas confinantes e bases impermeáveis. Fornece informações quanto 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 de substrato, 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 importante 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 fechado com armazenamento de água na superfície do terreno, em rios e lagos, oceanos, na atmosfera e no subsolo (Tucci 2000). O cálculo do balanço hídrico obedece ao princípio da conservação da massa segundo o qual, em um sistema qualquer, a diferença entre as entradas e as saídas é igual à variação do armazenamento dentro do sistema (Manoel-Filho 2000).

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).

A definição de vazões para outorga em cursos superficiais é definida a partir de dados de medições históricas, de forma que o poder outorgante deverá utilizar valores de vazões mínimas como a $Q_{7,10}$ ou a Q_{95} 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. Outro fator complicador é a determinação da área de contribuição, uma vez que a delimitação dos limites da bacia hidrogeológica também requer amplo conhecimento do sistema aquífero (Arraes & Campos 2007).

Assim, o objetivo da presente contribuição é enumerar e discutir critérios para a definição das vazões a serem outorgadas para mananciais subterrâneos.

CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA DEFINIÇÃO DE VAZÕES OUTORGÁVEIS

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

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

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

Percentual da Vazão Média dos Poços do Aquífero

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

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

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

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

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

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

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

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. O percentual deve variar em função do grau de comprometimento da região em que se solicita a outorga e do grau de circulação (recarga e descarga) do aquífero para cada região em estudo. O comprometimento a ser avaliado deve considerar as questões de sobreexploração ou pressão de exploração e as questões referentes aos riscos de contaminação a que os sistemas estejam submetidos, isto é devem ser consideradas as limitações quantitativas e qualitativas.

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

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

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

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

Para a definição da vazão será necessário separar os diversos tipos de fluxo no hidrograma unitário, com a determinação do fluxo superficial, do fluxo interno e do fluxo de base. Para tanto, pode-se utilizar

diversos métodos hidrológicos consagrados na literatura como, por exemplo, o Método de Barnes e outros (Zoby 1999, Tallaksen 1995 e Wittenberg & Sivapalan 1999).

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

Outras limitações para a aplicação desse critério são:

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

Rebaixamento Disponível

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

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

O rebaixamento disponível pode ser

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

Vazão de Segurança

Corresponde à espacialização das reservas exploráveis por unidade de área (km² ou hectare, por exemplo). As reservas exploráveis são obtidas a partir da soma da reserva renovável com um percentual da reserva permanente do aquífero (ver item sobre cálculo de reservas das águas subterrâneas). Nesse caso a vazão outorgável será função da área de aquífero a que cada usuário tem à sua disponibilidade.

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

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

(altas taxas de bombeamento com o estabelecimento de cones de depressão regionais).

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.

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.

APLICAÇÃO PARA O CASO DO DISTRITO FEDERAL

O conhecimento da hidrogeologia do Distrito Federal conta com um amplo acervo de trabalho que permitem definir as diretrizes para a outorga do direito de uso das águas subterrâneas. Dentre os trabalhos mais importantes destacam-se: Barros (1994), Campos & Freitas-Silva (1998), Campos & Troger (2000), Souza (2001), Joko (2002), Campos (2004), Moraes (2004) e Lousada & Campos (2005).

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).

A vazão é um dos parâmetros dos aquíferos que sintetiza seu potencial, porque é diretamente relacionada com a condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de

armazenamento, porosidade, etc. Como é um dado comumente disponível para a maioria dos poços, pode ser facilmente aplicado para as tomadas de decisão relativas às concessões de outorgas. Outros critérios baseados em resultados de ensaios de bombeamento prolongados ou em informações técnicas dos aquíferos (espessura saturada, porosidade efetiva, evolução dos níveis estáticos, etc) são de difícil aplicabilidade, em virtude da inexistência dessas informações ou de incertezas em sua estimativa.

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

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

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

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 os níveis dinâmicos sejam muito profundos ou em que o rebaixamento seja exacerbado, a vazão aplicada aos percentuais de favorabilidade deverá ser reduzida.

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

Além da definição das vazões dos poços o gestor público responsável pelos processos de outorga aos usuários das águas

subterrâneas deverá também considerar as restrições locais com relação aos possíveis riscos ambientais. As questões mais significativas são o “risco efetivo de contaminação” e a definição de “áreas sob pressão de exploração”.

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

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

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 proposta 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. 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, pode

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 de seu origem ao mapa de uso de ocupação e até mesmo o comportamento das isoietas que convergem para o ponto de interesse).

Tempo Diário Máximo de Bombeamento

Além dos critérios para se definir a vazão a que cada usuário terá direito, outro aspecto importante para a gestão é a definição do tempo máximo de bombeamento diário de forma que 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 quando os poços operam dentro dos limites das vazões sustentáveis não deve haver 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) considera para aquíferos fraturados um intervalo máximo de bombeamento de 16 horas diárias como sendo

um tempo de exploração sustentável.

Trabalho de maior detalhe especificamente relacionado ao tempo de bombeamento diário máximo recomendado para aquífero fraturado no do Sri Lanka (Jayawardena 2003), também considera que 16 horas de bombeamento com 8 horas de recuperação é o tempo ideal para exploração 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 do Distrito Federal, pode-se considerar de forma conservadora que 16 a 20 horas de bombeamento diário com 6 a 4 horas de recuperação, seja um intervalo de tempo sustentável para os aquíferos locais.

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

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da importância de se determinar as vazões ecológicas dos poços ainda são escassos os trabalhos com interesse direto neste tema. Misstear & Beeson. (2000) é um excelente exemplo deste tipo de esforço. A maior parte dos trabalhos que analisa essa problemática é específica para um determinado sistema aquífero.

O aumento do uso dos mananciais subterrâneos leva a um aumento da necessidade de gerenciamento destes recursos, e a outorga de direito de uso associada à cobrança é uma poderosa ferramenta para a gestão da demanda.

Os limites das vazões de outorga devem ser determinados por metodologias

com base técnica e não a partir de critérios pessoais ou simplesmente legais. De forma ideal a determinação da vazão outorgável deverá ser feita a partir dos critérios anteriormente discutidos.

A vazão de outorga deve ser inferior a qualquer valor máximo obtido por qualquer técnica, de forma a se compor um cenário conservador. O monitoramento posterior à

emissão da outorga deverá ser útil para a adequação da vazão estipulada.

Os resultados apresentados para o estudo de caso do Distrito Federal não podem ser aplicados para qualquer sistema aquífero fraturado. Estudos locais de favorabilidade à exploração devem ser desenvolvidos de forma a balizar o percentual da vazão do poço que poderá ser outorgada.

REFERÊNCIAS

1. 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.
2. ARRAES, T.M. & CAMPOS, J.E.G. 2007. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, no prelo.
3. BARROS, J.G.C. 1994. Caracterização geológica e hidrogeológica do Distrito Federal. In: **Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas**. Pinto, M.N. (Org.). Brasília. Editora UnB/SEMATEC. 2ª ed.. p. 265-283.
4. BREDEHOEFT, J. 1997. Safe yield and the water budget myth. *Ground Water*, 35(6):929.
5. CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*, Brasília, IEMA / SEMATEC / UnB, p. 1-84, (Vol. IV Relatório Técnico).
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1986. Water for animals. Cap. 6 Ground Water.
10. 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).
11. 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.
12. 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).
13. 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.
14. MAIMONE, M. 2004. Defining and managing sustainable yield. *Ground Water*, 42(6):809-814.
15. MANOEL-FILHO, J. 2000. Ocorrência das Águas Subterrâneas. In: **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. Feitosa, F.A.C. & Manoel, Filho J. (Coord.). Fortaleza – CE. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. p.13-32.
16. MORAES, L.L. 2004. **Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e entorno**: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

128p.

17. MISSTEAR, B.D.R & BEESON. 2000.

Using operational data to estimate the reliable yields of water-supply wells. **Hydrogeology Journal** 8(2):177-187.

18. SOPHOCLEOUS, M. 1997. Managing water resources systems: why “safe yield” is not sustainable. *Ground Water*, 35(4):561.

19. 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).

20. TALLAKSEN, L.M., 1995. A review of baseflow recession analysis. **Journal of Hydrology**, 165: 349-370.

21. TUCCI, C. E. M. 2000. Escoamento Superficial. In: **Hidrologia: ciência e aplicação.** Tucci, C.E.M. (org.) 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. p. 391-441.

22. 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.

23. ZOBY, J. L. G. 1999. Hidrogeologia de Brasília - DF. Bacia do Ribeirão Sobradinho. São Paulo. Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado - inédita).

*Manuscrito recebido em: 31 de dezembro de 2011
Revisado e Aceito em: 22 de abril de 2013*