

AVALIAÇÃO DE RESERVAS, POTENCIALIDADE E DISPONIBILIDADE DE AQÜÍFEROS

Waldir Duarte Costa¹

Resumo - O presente trabalho objetiva uma proposição para compatibilizar a terminologia e a metodologia de avaliação de valores quantitativos de águas subterrâneas, tanto entre os hidrogeólogos, como também entre os hidrólogos, visto que o estudo e o planejamento de uso de uma bacia hidrográfica - unidade hidrológica dos recursos hídricos - deve levar em conta os volumes armazenados e disponíveis de águas superficiais e subterrâneas. Nesse contexto, são definidos os termos de *reservas (permanente e reguladora)*, *potencialidade* e *disponibilidades (virtual e efetiva)*, assim como, são propostas metodologias de avaliação desses elementos, para os diferentes tipos de aquíferos, quais sejam: aquífero intersticial representado por bacias sedimentares, aquífero intersticial representado por aluviões e aquíferos fissurais.

Palavras-chave - Reservas - Potencialidade - Disponibilidade

INTRODUÇÃO

O estudo de uma bacia hidrográfica, considerada como a unidade de planejamento dos recursos hídricos, requer uma compatibilização de conceitos entre os recursos hídricos de superfície e subterrâneos, objetivando uma avaliação global da potencialidade e disponibilidade de água naquela bacia. Além da compatibilização dos conceitos entre esses dois tipos de mananciais, necessário se torna ainda, que se estabeleça uma uniformização no emprego dos mesmos nos vários estudos de planejamento realizado

¹ Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, Av. Santos Dumont, 320 - Aflitos - Recife - PE - CEP:52.050-050 -Fone(081)241-4815 E.mail: waldir@costa.com.br

nas distintas bacias hidrográficas brasileiras, a nível regional e estadual, sobretudo nos planos estaduais de bacia e nos planos diretores de bacia.

Entre os hidrólogos, não interessa a avaliação de reservas, mesmo nos rios perenes, mas apenas a potencialidade e a disponibilidade de uso desses recursos; não se avalia volumes de água em escoamento mas a parte dela que se pode considerar como recurso hídrico explotável. Ao contrário, entre os hidrogeólogos, em geral, interessa avaliar as reservas permanentes, as reservas renováveis ou reguladoras e os recursos explotáveis, ou seja, os volumes passíveis de exploração, sem prejuízo ao aquífero.

Nesse trabalho, propõe-se uma metodologia de avaliação dos recursos hídricos subterrâneos a fim de possibilitar uma uniformização ou padronização, tanto de conceitos como de avaliações, que venha a ser adotada a nível nacional, após as discussões que deverão gerar no meio técnico dos recursos hídricos.

Saliente-se o fato de os dados que geraram as avaliações, relacionadas ao dimensionamento dos reservatórios subterrâneos, espessuras explotadas e características hidrodinâmicas refletem a situação existente na região nordeste do Brasil, devendo, portanto, ser conciliada com as características das demais regiões, no caso de vir a ser padronizada a metodologia a nível nacional. Essa metodologia foi adotada pelo autor do presente trabalho, no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, do qual foi responsável pelo capítulo das águas subterrâneas.

RESERVAS

RESERVA PERMANENTE - R_p [L]³

Conceito: ***Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica.***

a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

- para aquíferos livres em que se conhece os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos a partir de ensaio de bombeamento com piezômetro:

$$R_{p1} = A_1 \times b \times \mu \quad (1)$$

Sendo:

R_{p1} - reserva permanente no aquífero intersticial de bacia sedimentar

(m^3)
A₁ - área de ocorrência do aquífero (m^2)
b - espessura saturada do aquífero livre ou confinado (m)
 μ - porosidade eficaz do aquífero (adimensional)

- para aquíferos confinados ou semi-confinados, com idêntico nível de conhecimentos:

$$R_{p1} = (A_1 \times h \times S) + (A_1 \times b \times \mu) \quad (m^3) \quad (2)$$

Sendo:

R_{p1} - reserva permanente no aquífero intersticial de bacia sedimentar (m^3)
h - carga potenciométrica do aquífero confinado (m)
S - coeficiente de armazenamento do aquífero confinado (adm)

b) Aquífero intersticial aluvial (inclui eventuais colúvios)

- conhecendo-se os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos do aquífero (caso tenha realizado ensaio de bombeamento com piezômetro) recorre-se a mesma equação (1);
- conhecendo-se os parâmetros dimensionais do aquífero (**A₁** e **b**), pode-se utilizar a equação (1), adotando-se para μ o valor de 10% (média da porosidade eficaz nesses tipos de aquíferos). Assim:

$$R_{p2} = A_1 \times b \times 0,1 \quad (m^3) \quad (3)$$

- quando não se conhece o valor de **b**, pode-se admitir, como igual a 0,5m, tendo em vista que quase toda a água do depósito aluvial é percolada ou evaporada. Assim:

$$R_{p2} = A_1 \times 0,5 \times 0,1 = A_1 \times 0,05 \quad (m^3) \quad (4)$$

- para estudos de bacias hidrográficas, não se conhecendo os parâmetros dimensionais do aquífero, adota-se um percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, com espessura saturada média (**b**) de 0,5m e porosidade efetiva de 10%:

$$R_{p2} = A_2 \times 0,02 \times 0,5 \times 0,1m = A_2 \times 0,001 \quad (5)$$

Sendo:

A_2 - área da bacia hidrográfica (m²)

c) Aqüífero fissural

- em geral não é avaliada, tendo em vista a grande variação de profundidade da zona fraturada, da heterogeneidade na distribuição das fraturas e do nível de conhecimentos existente na atualidade; considerando-se, todavia, a faixa de variação sazonal média desse aquífero na região nordeste, em torno de 5m e a profundidade média utilizável - da ordem de 50m, admite-se que as reservas permanentes sejam de pelo menos 10(dez) vezes as recargas anuais.
- o aquífero cárstico-fissural, sedimentar ou metamórfico, embora possua espessuras explotáveis de até mais de 300m, também tem comportamento muito variável, sobretudo em função da presença de sumidouros, cavernas e outras formas de dissolução cárstica, o que inviabiliza a utilização das equações acima.

RESERVA REGULADORA OU RENOVÁVEL - R_r [L]³[T]⁻¹

Conceito: ***Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios.***

a) Aqüífero intersticial em bacias sedimentares

- quando se dispõe de mapa potenciométrico e se conhece a condutividade hidráulica do aquífero, calcula-se a vazão de escoamento natural - VEN:

$$R_{r1} = VEN = k \times b \times l \times i \quad (m^3/ano) \quad (6)$$

Sendo:

R_{r1} - reserva reguladora do aquífero (m³/ano)

k - condutividade hidráulica do aquífero (m/ano)

b - espessura saturada do aquífero (m)

- I - largura da frente de escoamento (m)
- i - gradiente hidráulico medido entre curvas potenciométricas (adimensional)

- a partir da variação da superfície potenciométrica, quando se tem medidas inter-anuais da variação do nível estático da água nos poços da região:

-

$$R_{r1} = A_3 \times \Delta s \times \mu \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (7)$$

Sendo:

A_3 - área de recarga do aquífero (m^2)

Δs - rebaixamento médio anual da água no poço (m)

- μ - porosidade efetiva do aquífero, que em camadas arenosas pode ser considerada igual a 0,1 quando não se dispõe de dados de ensaio de bombeamento

- quando se dispõe de infiltrômetros instalados na área, calcula-se por:

$$R_{r1} = A_4 \times h' \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (8)$$

Sendo:

A_4 - área do infiltrômetro (m^2)

h' - altura da coluna d'água medida no infiltrômetro (m)

- quando se conhece a taxa de infiltração, calcula-se por:

$$R_{r1} = A_1 \times P \times I \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (9)$$

Sendo:

P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano)

I - taxa de infiltração

b) Agüífero intersticial aluvial

- conhecendo-se os valores do escoamento de base do rio na curva de recessão - hidrograma - a contribuição de água subterrânea corresponde à reserva reguladora;
- conhecendo-se a variação de níveis de poços rasos no depósito aluvial e da área aluvial, encontra-se a reserva reguladora pela equação (7), ou seja:

$$R_{r2} = R_{r1} \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (10)$$

- quando não se conhece o valor de **b** em (1), admite-se como igual a 1,0m , com porosidade eficaz de 10%, para um aproveitamento de 60%, isto é:

$$R_{r2} = A_1 \times 1,0 \times 0,1 \times 0,6 = A_1 \times 0,06 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (11)$$

- para estudos de bacias hidrográficas, não se conhecendo os parâmetros dimensionais do aquífero, adota-se um percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, com espessura saturada média (**b**) de 1 m e porosidade eficaz de 10%, com aproveitamento de 60%, isto é:

$$R_{r2} = A_2 \times 0,02 \times 0,1 \times 0,6 = A_2 \times 0,012 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (12)$$

c) Aquífero fissural

- admitindo-se uma taxa de infiltração mínima de 0,15% da precipitação, calcula-se a reserva reguladora pelo produto dessa lâmina d'água infiltrada pela área da bacia hidrográfica; essa taxa é compatível com as avaliações realizadas pelo método de “balanço de cloretos” na região do Pajeu (valor calculado de 0,12%).

$$R_{r3} = P \times 0,0015 \times A_2 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (13)$$

Sendo:

P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano)

POTENCIALIDADE

Conceito: ***Volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem exploradas, com descarga constante, durante um determinado período de tempo.***

a) Aqüífero intersticial em bacia sedimentar

- a potencialidade representa o somatório das reservas reguladoras com a parcela das reservas permanentes que pode vir a ser explorada;
- apesar de o limite de exploração convencionalmente adotado ser de 30% da reserva permanente em 50 anos, foi adotado neste trabalho o percentual de 10% dessas reservas no mesmo período, como margem de segurança, o que equivale a 0,2% ao ano, durante 50 anos consecutivos. Assim, vem;

$$P_{o1} = (R_{p1} \times 0,002) + R_{r1} \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (14)$$

b) Aqüífero intersticial aluvial

- no Projeto ARIDAS/PE, foi adotada como potencialidade dos depósitos recentes eluvio-colúvio-aluvionar, área aluvial, com média de 2m de espessura, 8% de índice de vazios e aproveitamento de 60% do volume armazenado; no âmbito deste trabalho, os valores médios para a espessura e índice de vazios (porosidade efetiva) foram modificados para 1,5m e 10% respectivamente, para melhor se adaptarem aos parâmetros médios detectados em trabalhos regionais e locais.

$$P_{o2} = A_1 \times 0,02 \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6 =$$

$$P_{o2} = A_1 \times 0,09 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (15)$$

- quando não se conhecer A_1 , será admitido, como no Projeto ARIDAS/PE, o percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, e a potencialidade será calculada por:

$$P_{o2} = A_2 \times 0,02 \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6 = A_2 \times 0,0018 \quad (16)$$

c) Aqüífero fissural

- na ausência de dados confiáveis sobre as reservas permanentes nesse tipo de aquífero a potencialidade será considerada como a reserva reguladora acrescida de 15%; esse percentual equivale aos 0,2% ao

ano da reserva permanente, considerando que $R_p \geq 10.R_r$.

$$P_{o3} = R_{r3} \times 1,15 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (17)$$

DISPONIBILIDADES

DISPONIBILIDADE VIRTUAL - D_v $[L]^3[T]^{-1}$

Conceito: *Parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem.*

Os efeitos indesejáveis podem ser classificados em:

1) De ordem econômica:

- Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso);
- Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água;

2) De caráter hidrogeológico:

- Inviabiliza o uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento;
- Provoca o acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável;
- Provoca recalque do terreno, que prejudica estradas, prédios, tubulações, etc;

3) Conflito de uso (social ou legal):

- Prejudica usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas;
- Prejudica o equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

- para esse aquífero a disponibilidade virtual poderá ser, no máximo, igual a potencialidade, isto é:

$$D_{p1} \leq P_{o1} = (R_{p1} \times 0,002) + R_{r1} \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (18)$$

- quando efetuados estudos específicos, de ordem econômica, hidrogeológica ou de conflito de uso, a D_{p1} será uma parcela da P_{o1}

fixada pelo estudo em questão.

b) Aqüífero intersticial aluvial

- considerando as elevadas perdas por percolação e evaporação, desde que não ocorra intervenção no depósito aluvial, a disponibilidade virtual deverá ser de no máximo 20% da potencialidade, ou seja:

$$D_{p2} = P_{o2} \times 0,2 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (19)$$

c) Aqüífero fissural

- a disponibilidade virtual, desde que não existam estudos específicos de ordem econômica, hidrogeológica ou de conflitos de uso, que venham limitar a utilização das águas subterrâneas armazenadas, será considerada igual a própria potencialidade, ou seja:

$$D_{p3} \leq P_{o3} = R_{r3} \times 1,15 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (20)$$

DISPONIBILIDADE EFETIVA - D_e $[L]^3[T]^{-1}$
INSTALADA - D_{ei}

Conceito: ***Volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima de exploração - ou vazão ótima - e num regime de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano.***

- na prática, admite-se, por inexistência de avaliação da vazão ótima de exploração, os valores de vazão obtidos no teste efetuado após a conclusão do poço e que constam das fichas de poços cadastrados;
- para todos os tipos de aquífero, nos poços ou demais obras de captação em que foram realizados testes de vazão, considera-se a *disponibilidade efetiva instalada* do aquífero ou sistema aquífero, o número total de captações multiplicadas pelas respectivas vazões horárias e pelo número de horas durante o ano (8.760) ; para facilidade de cálculos, considera-se a vazão média horária dos poços; Assim:

$$D_{ai} = n \times Q_m \times 8.760 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (21)$$

Sendo:

n - número de poços ou outras captações existentes no aquífero (adimensional)

Q_m - vazão média horária (m³/h)

- no aquífero aluvial, na maioria dos poços amazonas, não é realizado teste de vazão e nem mesmo se instala sistema de bombeamento, impedindo a avaliação da disponibilidade.

ATUAL - D_{ea} [L]³[T]¹

Conceito: **Volume anual atualmente explotado nas obras existentes**

- a *disponibilidade efetiva atual* é geralmente inferior à *disponibilidade efetiva instalada*, pois, em geral, sobretudo em obras privadas, as vazões captadas são inferiores à vazão ótima e o regime de bombeamento, dificilmente ultrapassa 8h/24h, sendo até mesmo comum, o uso em dias descontínuos; além do mais, muitos dos poços existentes se acham desativados ou abandonados;
- na prática, esses valores somente podem ser obtidos a partir de levantamentos sobre a situação de uso, a vazão horária, horas bombeadas por dia e número de dias por semana;
- por outro lado, vários poços perfurados por empresas privadas ou prefeituras municipais não se acham cadastrados;
- na inexistência desses dados, pode-se adotar a mesma vazão do teste do poço e um regime de exploração de 8/24 horas para poços no aquífero intersticial em bacias sedimentares e de 4/24 horas para poços em aquífero intersticial aluvial ou em aquífero fissural; eventualmente o regime de bombeamento atinge a 20/24 horas, principalmente nos casos de poços para abastecimento público;
- o número de poços desativados não é considerado, quando não é procedido uma atualização de campo, podendo esse percentual ser compensado com aquele referente aos poços não cadastrados.

a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

$$D_{ea1} = n \times Q_m \times 2.920 \quad (m^3/\text{ano}) \quad (22)$$

b) Aqüífero intersticial aluvial

$$D_{ea2} = n \times Q_m \times 1.460 \quad (m^3/ano) \quad (23)$$

c) Aqüífero fissural

$$D_{ea3} = D_{ea2} = n \times Q_m \times 1.460 \quad (m^3/ano) \quad (24)$$