

# FUNDAMENTOS DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS

*Decio Tubbs<sup>1</sup>; Sueli Yoshinaga Pereira<sup>2</sup>*

## RESUMO

A recarga artificial tem por objetivo principal armazenar água superficial em aquíferos durante épocas de excesso hídrico. Esse processo é concretizado pela introdução da água através de lagoas, trincheiras, poços ou outro tipo qualquer de dispositivo que facilite a infiltração da água até o aquífero. A recarga artificial pode ser usada também para controlar a salinização, subsidência do solo, manter o fluxo de base em alguns rios, e elevar o nível da água subterrânea reduzindo os custos de bombeamento. A eficácia de um sistema de recarga artificial é determinada principalmente pelas condições hidrogeológicas, da topografia local e da qualidade e quantidade da água superficial. Embora aceita em diversos países do mundo como método eficaz de conservação de água, no Brasil a técnica de recarga artificial ainda é pouco conhecida e tampouco empregada em projetos comerciais. Este trabalho apresenta os conceitos fundamentais relacionados a recarga artificial de aquíferos.

## ABSTRACT

Artificial recharge is a planned human activity of augmenting the amount of ground water available through works designed to increase the natural replenishment or percolation of surface waters into the ground water aquifers, resulting in a corresponding increase in the amount of ground water available for abstraction. Artificial recharge of ground water is achieved by putting surface waters in basins, trenches, pits, wells or other facilities where it infiltrates into recharge aquifers. Artificial recharge can be used to control seawater intrusion, control land subsidence, maintain base flow in some streams and raise water levels to reduce the cost of ground water pumping. The effectiveness of artificial recharge schemes is governed by hydrogeology, local topography and source water availability. Artificial recharge has gained acceptance in various parts of the world as effective method of conserving water for future use, for improving water and many other uses.

## PALAVRAS-CHAVE

recarga artificial de aquíferos

1) Decio Tubbs, Dep. de Geociências, IA, UFRural RJ: [tubbs@ufrj.br](mailto:tubbs@ufrj.br)

2) Sueli Yoshinaga Pereira, Dep Geologia e Recursos Naturais, IGE, UNICAMP: [sueliyos@ige.unicamp.br](mailto:sueliyos@ige.unicamp.br)

## INTRODUÇÃO

A excelência climática e hidrográfica proporciona ao Brasil uma boa parcela de toda a água doce existente no planeta. “Esses infinitos mananciais” dispensaram à grande parte das regiões brasileiras, maiores preocupações com a eficácia das estruturas destinadas a melhoria do abastecimento das grandes cidades.

A despeito da relativa fartura de recursos hídricos, cada vez mais eles são obtidos a maiores distâncias dos grandes centros, com qualidade degradada e a um custo crescente. Logo, alternativas devem ser buscadas para o aproveitamento de outros mananciais, reorganizando e otimizando os recursos já existentes.

Aquíferos são armazenadores naturais de água e em algumas regiões eles são extensivamente usados. Onde os limites de sustentabilidade desses recursos são alcançados, devem ser elaboradas propostas criativas de gerenciamento dos recursos hídricos, inclusive por reabastecimento artificial desses aquíferos, otimizando seu uso com o mínimo de impacto ambiental.

A utilização conjunta dos recursos hídricos é aparentemente um conceito de fácil entendimento, embora nem sempre de fácil execução.

Devido à relativa aplicabilidade desse conceito, nos últimos anos a atenção dos gestores dos recursos hídricos foi desviada para a alternativa de uso integrado das águas superficiais e subterrâneas. O gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas, inclusive mediante o armazenamento de água nos aquíferos, proporciona os melhores resultados, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental (LLAMAS, 1999). Desta forma, os excedentes climáticos ou derivados das estações de tratamento em épocas de menor consumo, seriam armazenados nos aquíferos para futura utilização nos períodos de seca mais prolongada ou mesmo quando da ocorrência de falhas técnicas na adução ou no tratamento dos sistemas convencionais.

Portanto, abordagens inovadoras devem ser buscadas para aumentar a sustentabilidade envolvendo a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos através da recarga artificial, realçando desta forma o caráter estratégico das águas subterrâneas.

Este trabalho apresenta os fundamentos principais da recarga artificial, a partir da captação de água de uma fonte superficial, não considerando sistemas que utilizem águas de reúso, águas pluviais e barragens subterrâneas.

## ASPECTOS GERAIS DA RECARGA ARTIFICIAL

Genericamente, *Recarga Artificial* é o processo pelo qual os excessos das águas superficiais, de qualquer origem, são armazenados pela introdução da água diretamente no aquífero ou espalhada sobre a superfície do solo.

A *Recarga Artificial* pode ser definida ainda como um conjunto de técnicas cujo objetivo principal é permitir uma melhor exploração dos aquíferos pelo aumento de seus recursos e reservas, mediante uma intervenção direta ou indireta no ciclo hidrológico, (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1985).

Seu objetivo, como em qualquer obra técnica de regulação e armazenamento de água, é contribuir, sempre que seja economicamente factível, para uma racionalização do potencial hídrico que apresenta uma determinada bacia hidrográfica.

São objetivos específicos da recarga artificial, WALTON (1970) E CUSTÓDIO E VILARÓ (1985) BOUWER (2002).

- Armazenar água em épocas de excesso hídrico,
- Aumentar a quantidade de água subterrânea disponível,
- Reduzir, corrigir ou impedir a interação com água salgada,
- Armazenar água para reduzir os custos de bombeamento,

- Remover os sólidos em suspensão presentes na água, através da filtração pelo solo, promovendo a depuração da água da recarga,
- Diluir as águas existentes em um aquífero e ajudar a manter o balanço de sais, principalmente em áreas agrícolas,
- Misturar águas de diferentes qualidades,
- Reduzir ou eliminar a subsidência de um aquífero.

Historicamente o reabastecimento artificial, “sensu stritu”, foi iniciado na Alemanha, na cidade de Chernnitz em 1875 e na Suécia no ano de 1897 em Gottemburgo, (CEDERSTROM, 1964). CUS-TÓDIO E VILARÓ (1985) sugerem que a prática de recarga artificial já era empregada pelos antigos Romanos, principalmente em áreas áridas do norte da África. A partir dos empreendimentos pioneiros suecos, a prática foi se difundido por toda Europa, entretanto, foi a Finlândia o primeiro país europeu a implementá-la em escala industrial.

Nos Estados Unidos a recarga artificial data do início do século 20 (WEEKS, 2002), e ainda apresenta um intenso desenvolvimento, principalmente na estados da Califórnia, Flórida e em diversas áreas do Centro Oeste. Atualmente milhares são os projetos de recarga artificial em operação em dezenas de países. 85% desses projetos se encontram nos Estados Unidos da América, 13% na União Européia e 2% em outros Países do mundo (Austrália, Israel, Jordânia Índia, Argentina, Paraguai, China), (LOPÉZ E HERNÁNDEZ, 2000).

Em termos gerais pode-se considerar que na Europa, o interesse primordial da recarga artificial é a produção e a “potabilização” da água, Nos Estados Unidos o conceito empregado é a utilização do aquífero como armazenador estratégico da água de recarga, que será utilizada em um prazo breve de tempo. São considerados também, áreas úmidas artificiais, que aproveitam as águas residuais tratadas com a finalidade ambiental e paisagística. Por fim, na Austrália a reutilização de águas residuais tratadas e de escoamento superficial derivada de enchentes é considerada como alternativa viável para incrementar a disponibilidade dos recursos hídricos.

No Brasil, embora ainda não existam projetos em operação comercial, o primeiro estudo sistemático sobre a recarga artificial é descrito por NETO ET ALLI (1985), onde foi estudado, a interação físico química e biológica da água de recarga (açude Cocorobó) injetada através de um poço tubular para as águas subterrâneas. LEITE (2000), apresenta um estudo preliminar de aplicação do sistema de ASR (aquifer storage recovery) na Região Metropolitana de Recife, como forma de redução do impacto ambiental da exploração das águas subterrâneas. VENDRAME (1998), propõe o emprego de poços de infiltração, utilizando água da chuva, como forma de incrementar a quantidade de água subterrânea na área do Aeroporto Internacional de São Paulo. CADAMURO (2002), avaliou o emprego da recarga artificial para minimizar os impactos causados pela exploração em aquíferos fraturados na região de Brasília. COSTA ET ALLI (2002), propõe a recarga artificial através de poços de injeção utilizando água do Rio Jaguaribe, como forma de corrigir o rebaixamento da água subterrânea e a salinização do aquífero litorâneo do Recife.

A recarga artificial inclui uma variedade de técnicas divididas em recarga de superfície e em profundidade, existindo variações para sistemas mistos.

1 - Recarga superficial. Nesse sistema se destaca o “espalhamento” e aspersão da água sobre superfície do terreno através de bacias de inundação, canais e trincheiras, (Figura 1).

2 - Recarga em profundidade. Quanto a esses sistemas, podem ser de três tipos: (1) poços convencionais, com a injeção e a produção individualizada; (2) uma outra forma de recarga direta ocorre onde poços de produção e exploração são únicos, servindo à recarga ou a produção de acordo com a necessidade. A água introduzida diretamente no próprio aquífero através de poços tubulares. Neste caso costuma receber a denominação em inglês de ASR (Aquifer Storage Recovery), (PYNE, 1995) IN JONES ET ALLI (1999),); (3) poços secos, quando são perfurados unicamente na zona não saturada.

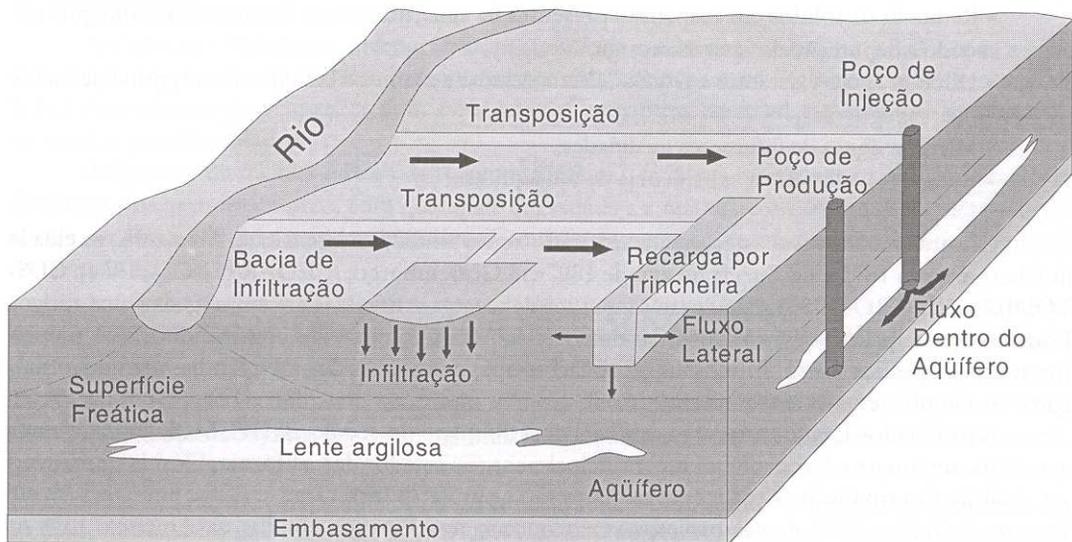


Figura 1 - Modelo Conceitual de Recarga Artificial

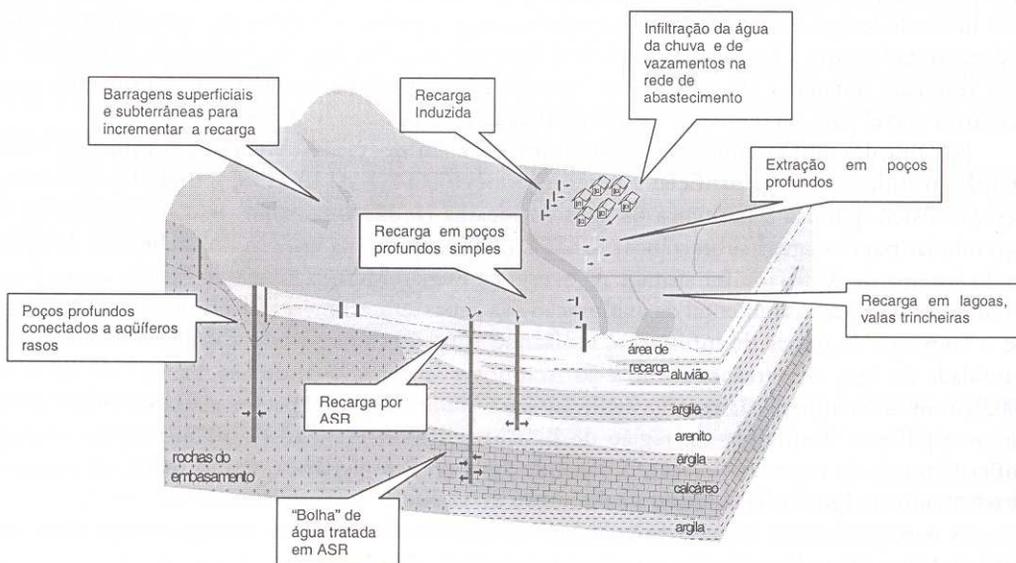


Figura 2 - Diferentes métodos de recarga artificial em diferentes ambientes geológicos, adaptado e ampliado de BSGS (2002)

3 - Recarga induzida. Considera-se também como recarga artificial, a recarga induzida ou infiltração induzida, ou seja, o uso de um poço perfurado próximo a um rio, lago ou área inundada que apresente conexão hidráulica com o aquífero subjacente. Todas as formas de irrigação também podem ser consideradas como recarga artificial, (PYNE,2000). O quadro nº1 resume os diferentes sistemas de recarga artificial.

Quadro 1 - Métodos e sistemas de recarga artificial

Métodos e Sistemas de Recarga Artificial			
	Tipo	Descrição	Observação
Superficiais (Indireta)  (Aqüíferos livres com processo de atenuação através da zona não saturada)	Bacias de Inundação	São lagoas, geralmente de tamanho considerável, pouca profundidade e com predominância da infiltração pelo fundo.	As profundidades ficam em torno de 1,5 m. São de fácil construção e manutenção. Podem ser associadas a bacias de sedimentação para reduzir o material em suspensão.
	Fossas	São semelhantes as bacias de inundação, mas com predominância de infiltração lateral	São ideais para aqüíferos espessos inconsolidados de boa permeabilidade, e com superfície freática profunda.
	Canais, Valas Trincheiras	São sistemas de pouca profundidade que seguem a topografia.	Consiste em fazer a água circular através de sulcos no Terreno entre 0,5 a 1,5 metros. Requer uma área considerável com baixo gradiente topográfico.
	Áreas de aspersão Superficial	São sistemas desenvolvidos em grandes áreas e necessitam de grande quantidade de água.	Consiste aumentar a quantidade de água que se infiltra no solo através de "irrigação"
Em Profundidade (Direta)  Ideais para zonas urbanas	Poços de Injeção	São sistemas que empregam poços múltiplos de tamanho e profundidade variáveis.	Consiste na injeção direta da água em profundidade e captação por outros sistemas.
	Galerias de infiltração e drenos radiais	São galerias ou drenos radiais instalados no fundo de poços ou outros sistemas, visando intensificar a infiltração.	São associados a outras técnicas.
	ASR – aquífer storage recovery	São poços tubulares profundos especialmente projetados e desenvolvidos para o objetivo específico.	Nesse sistema o poço tubular profundo apresenta dupla finalidade: injeção, e armazenamento de água previamente tratada para posterior exploração, ocorrendo o desenvolvimento de uma "bolha" no aquífero.

Os seguintes fatores devem ser considerados para que o processo de recarga artificial seja eficiente, (DRISCOLL, 1995), (O'HARA ET AL.,1986),(DOMENICO E SCHWARTZ,1990) :

- Existência de água superficial em quantidade e qualidade.
- Características do aquífero, principalmente transmissividade e armazenamento.
- Potencial de colmatção.
- Profundidade do aquífero a ser recarregado,
- Profundidade da superfície freática,
- Topografia e fisiografia favoráveis,
- Características da zona vadosa, quanto a infiltração e percolação,
- O tipo de sistema escolhido para a recarga artificial,
- Viabilidade econômica.

As principais vantagens recarga artificial são:

- Armazenar água em tempos de excesso hídrico.
- Remoção de contaminantes através da filtração e percolação no solo.
- Promover a sustentabilidade de um aquífero,
- São técnicas de fácil aplicação, operação e baixo custo.

Quanto as principais desvantagens, podem ser citadas:

- O potencial de contaminação de algumas águas superficiais,
- Nem sempre é possível injetar um volume considerável de água, tornando o projeto inviável economicamente.
- Falta de financiamentos públicos para o emprego da técnica,

Em relação aos efeitos ambientais da recarga artificial, são variados de acordo com as condições locais. Genericamente, entretanto, as transformações ambientais no solo, no meio hídrico e no ecossistema aquático podem ser previstas preliminarmente, sendo de efeito reduzido (NRC,1994). O quadro nº 2 compara os diferentes sistemas de recarga artificial.

Quadro 2 - Adaptado e ampliado de GETA E HERNÁNDEZ (2000)

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL		
Vantagens e Desvantagens		
Métodos	Superficiais	Profundidade
<b>Fatores</b>		
Custos de Implantação, Disponibilidade de Terreno e Manutenção	O custo do terreno pode inviabilizar o projeto, devido a necessidade de disponibilizar grandes áreas para infiltração de volumes consideráveis de água. Custo de implantação e manutenção relativos ao porte do projeto.	Custo relativamente pequeno devido a necessidade de pouco espaço para implantação dos poços de recarga e de produção. Depende também da profundidade da recarga, principalmente em ASR." Custo de Manutenção pode ser elevado
Restrições Ambientais, Visuais e de Segurança	Pode contribuir na proliferação de insetos e roedores. Necessita ser cercado e possuir segurança contra invasões	Pouca Restrição Necessita definição da área de proteção dos poços.
Permeabilidade do Aquífero	Média a Grande, pois a baixa permeabilidade implica em maiores áreas para obtenção de volumes consideráveis de recarga	Variável. Geralmente são empregados quando existe uma alternância de níveis permeáveis / impermeáveis ou quando existem níveis pouco permeáveis entre a superfície e o aquífero
Volume para Recarga	Pode ser muito grande	Inferior quando comparado aos métodos superficiais
Perdas por Evaporação	Em certas situações pode ser grande, dependendo do tamanho das instalações	Nulas
Restrições relacionados a qualidade da água para recarga	Pouca, desde que a atenuação no solo/aquífero seja efetiva	Requer água de boa qualidade, pois ela é introduzida diretamente no aquífero. As vezes o custo do pré tratamento pode ser considerável. O tratamento é indispensável em sistemas ASR
Colmatção	A tendência de colmatção variável, dependendo das características físicas, químicas e biológicas da água de recarga.	Apresenta uma grande suscetibilidade a colmatção dos poros e dos filtros do sistema de produção. Pode ser altamente restritivo
Grau de atenuação de do Terreno de possíveis contaminantes da água de recarga	Pode ser elevado em função da eficiência do nível não saturado em atenuar possíveis contaminações.	Pouco ou inexistente.

## ASPECTOS FÍSICOS E AMBIENTAIS RELACIONADOS A RECARGA ARTIFICIAL

A eficiência da recarga artificial é determinada por fatores climáticos, geológicos, hidrogeológicos, topografia do local, qualidade e quantidade de água, aspectos legais e sócio econômicos e a relação entre esses fatores determina o sucesso de um projeto.

### 1- FATORES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS

As condições climáticas e hidrológicas influenciam na aplicação da recarga artificial, por determinar a quantidade de água disponível para o armazenamento. Sob condições úmidas onde a pluviosidade geralmente é suficiente para reabastecer os aquíferos, satisfazendo a evaporação e influenciando no fluxo de base dos rios, vai favorecer a disponibilidade de água para a recarga.. Em regiões de maior aridez, com distribuição irregular da precipitação e com chuvas torrenciais, a recarga pode ser dificultada tanto pela variabilidade das chuvas, quanto pela qualidade da água para recarga.

### 2- TOPOGRAFIA

A topografia é um importante fator a ser considerado quanto ao local do projeto. O gradiente topográfico pode facilitar ou retardar o escoamento superficial e portanto, influenciar na taxa e na quantidade de água a ser armazenada. Uma atenção maior deve ser dada nos casos onde a

recarga seja efetuada em aquíferos livres, onde a o nível da água subterrânea pode alcançar a proximidade da superfície ou mesmo aflorar ao terreno. Este fato é particularmente importante em áreas com padrões de fluxo de difícil definição, como em rochas cristalinas e carbonáticas. Áreas com pouco relevo tendem a apresentar baixo gradiente hidráulico, quando comparado a áreas de maior declividade. Este é um importante aspecto a ser considerado em função do movimento da água a partir da área de recarga artificial. A profundidade da água geralmente também esta relacionada a topografia, e em áreas onde ocorra próxima a superfície, de relevo plano, determinará uma redução no volume de água a ser recarregada.

### 3- FATORES HIDROGEOLÓGICOS:

A eficácia de um projeto de recarga artificial depende em muito, das condições hidrogeológicas locais. Essas condições controlam a percolação da água da recarga através do da zona não saturada e também as propriedades de armazenamento do aquífero.

Os principais fatores a considerar são:

- Hidrogeologia do aquífero e das formações superficiais,
- Limites físicos e hidráulicos do aquífero,
- Profundidade do aquífero,
- Qualidade da água.

A recarga artificial pode ser praticada em qualquer tipo de formação permeável que tenha condições de estocar e transmitir a água da recarga. Portanto a aplicação desta técnica esta intimamente relacionada as características hidrogeológicas, hidrodinâmicas, de armazenamento e do regime de exploração. Assim é necessário que a água permaneça no aquífero um tempo suficiente para permitir a sua utilização posteriormente. Preferencialmente, a recarga artificial, deve ser implementada em aquíferos livres, com a superfície freática a pouca profundidade e a matriz aquífera constituída por sedimentos inconsolidados como depósitos aluvionares, ou consolidados, como calcáreos e dolomitos fraturados e/ou carstificados. Aquíferos confinados mais profundos e rochas granulares parcialmente cimentadas também podem servir eventualmente para a recarga artificial, embora neste caso, os volumes armazenados devam ser menores.

As condições hidrogeológicas à superfície e na zona não saturada são as mais importantes quando a técnica utilizada é a de espalhamento, pois a água deve sofrer um movimento descendente através dessas zonas até alcançar o aquífero. A taxa de percolação depende da permeabilidade vertical da zona não saturada. Uma vez que a água de recarga alcance a zona saturada, a quantidade a ser estocada pelo aquífero depende de suas características hidráulicas (Transmissividade, armazenamento, porosidade, etc...) além da espessura e área. A formação receptora deve possuir permeabilidade e espessura para aceitar o volume de água determinado. Todavia, aquíferos que possuam condutividade hidráulica elevada, permitem a rápida circulação da água, limitando o volume de água a ser recuperada.

A profundidade do nível da água irá determinar a escolha do método a ser empregado. Quando o aquífero está próximo a superfície, a recarga por espalhamento sobe a superfície, bacias e trincheiras podem ser empregados, mesmo que ocorram pequenas lentes de materiais menos permeáveis sobrejacente ao aquífero. Entretanto, se as camadas impermeáveis forem mais espessas a opção deve ser exclusivamente para cavas e trincheiras, e que penetrem na camada confinante. Onde os níveis de baixa permeabilidade apresentam espessuras consideráveis, ou ainda quando o aquífero é profundo, a técnica de recarga devera ser feita através de poços e outras perfurações. Aquíferos com baixa capacidade de armazenamento apresentam limitações para aceitar uma nova quantidade de água para a recarga. Aquíferos que apresentem a superfície freática pouco profunda podem resultar em uma rápida circulação da água para os pontos de descarga em rios e riachos, podendo prolongar o fluxo em drenagens efêmeras. Contudo, esse processo pode não ocorrer em áreas onde as águas subterrâneas sejam intensamente exploradas, reduzindo os níveis da água.

## QUALIDADE DA ÁGUA DE RECARGA

A disponibilidade de água em volume e qualidade destinada a recarga é um dos principais fatores condicionantes para o projeto de recarga artificial.

A qualidade da água deve ser investigada sob dois enfoques: quanto à qualidade da água de recarga, as especificações podem ser flexíveis, pois são as condições hidrogeoquímicas, método de recarga, profundidade do aquífero, necessidade de pré tratamento, etc... que determinarão os cuidados necessários durante a fase exploratória. Isto significa dizer que o projeto de recarga artificial deverá garantir a qualificação da água na fase produtiva, e em função do seu destino, atender as normas vigentes. Outro importante aspecto a ser considerado é em relação aos processos hidrogeoquímicos e de colmatação.

Estudos demonstram que a água derivada para a recarga artificial deve satisfazer determinadas características, a fim de que a sua interação com a água subterrânea e com o próprio aquífero, não provoque a contaminação nem a redução da porosidade no solo, da estrutura do aquífero ou mesmo nos filtros dos sistemas utilizados para a injeção e produção da água. Assim, antes de se proceder à recarga, é indispensável o conhecimento da qualidade das águas envolvidas no processo de mistura, para que se possam prever as possíveis interações físicas, químicas e biológicas entre elas. A previsão das interações entre os constituintes mineralógicos do aquífero (e do solo), e os componentes químicos da mistura resultante é igualmente importante.

Provavelmente, o principal problema enfrentado em sistemas de infiltração para a recarga artificial é a colmatação da matriz aquífera, entendendo-se como tal, o processo de acumulação de materiais sobre a superfície de infiltração da água, seja a matriz aquífera, interstícios do solo ou ainda os filtros dos poços de injeção. A colmatação se caracteriza pela perda da capacidade de transmissão da água por parte de um determinado meio poroso permeável, reduzindo a taxa de infiltração e os volumes da recarga, e é produzida por processos físicos, biológicos e químicos, (BOWER, 2002).

Os processos físicos são acumulações devidas a presença de sólidos em suspensão, de origem inorgânica e orgânica na água de recarga, tais como silte, argilas, algas e micro-organismos. Outro processo físico é a penetração em profundidade de partículas finas provocadas pelo movimento descendente da água próprio no meio poroso, solo ou aquífero e a acumulação dessas partículas em horizontes mais profundos. Os fatores que influenciam este processo são: viscosidade da água, densidade dos sedimentos em suspensão, velocidade de infiltração da água, concentração e tamanho médio das partículas em suspensão.

A colmatação biológica ocorre devido a acumulação de algas, e colóides bacterianas e ao crescimento de micro organismos no solo, formando biofilmes e biomassas.

Em relação a mistura de águas com composição química diferente, podem ocorrer reações que precipitam produtos insolúveis capazes de reduzir lentamente a porosidade do aquífero, logo reduzindo o potencial armazenador da matriz litológica. Os processos químicos de colmatação incluem a precipitação de carbonatos, sulfatos, fosfatos e outras substâncias químicas. Em aquíferos recarregados por poços podem ocorrer também a precipitação de hidróxidos de ferro e manganês devido a presença de oxigênio dissolvido, e de carbonatos de cálcio devido a modificação do pH e  $\text{CO}_2$ . Os principais fatores que influenciam a colmatação química são as características da água de recarga, a mineralogia do aquífero, sua capacidade de troca iônica e as variações da temperatura.

Infelizmente se esse processo tem início, pode se difundir por todo aquífero, tornando sua recuperação difícil. De acordo com HEM (1985), e NETO ET ALLI (1985), as principais reações são as seguintes:

- Precipitação de metais alcalinos-terrosos como bário, cálcio, estrôncio e magnésio, gerando carbonatos, sulfatos, e hidróxidos relativamente insolúveis,
- Reações de troca iônica resultando na dispersão ou crescimento das partículas de argilo minerais,
- Precipitação de produtos de reação de oxidação-redução, envolvendo reações de ferro e manganês com o oxigênio dissolvido na água de recarga, originando hidróxidos insolúveis,

Apesar de difícil previsão, os processos de colmatção podem ser estudados através de fórmulas empíricas resultantes das inúmeras experiências, como também através de modelagem matemática

BOWER (2002), ressalta que a colmatção pode ser controlada pela redução dos parâmetros que provocam esse processo. Para água superficial deve ser feita a pré sedimentação para assentar as partículas em sedimentação, e em projetos de recarga que utilizem a infiltração através de poços, será necessária a filtração prévia. O crescimento de algas e outros agentes biológicos é minimizados pela redução de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e outra substâncias orgânicas.

## ASPECTOS ECONÔMICOS DA RECARGA ARTIFICIAL

Talvez a principal objeção feita à recarga artificial, se refere aos custos envolvidos. Este argumento deve ser questionado, pois a decisão de executar um projeto com essas características não deve ser sustentada em uma análise estritamente econômica, mas considerando, principalmente, os aspectos sociais e ambientais.

Devem ser ressaltados o caráter estratégico de armazenar água para uso posterior, a recuperação de uma água que seria “desperdiçada”, e geralmente, a melhoria de uma água com qualidade inferior.

Embora os parâmetros envolvidos na análise de viabilidade econômica de um projeto quase sempre sejam os mesmos, em função de características inerentes a estratégia de cada projeto, o custo final pode apresentar um elevado grau de flutuação numérica, (Tabela 3).

Tabela 3 - Custos da recarga artificial

Valores Estimados para Recarga Artificial (US\$ / 1000 m <sup>3</sup> )				
Local	Sistema Empregado			Observações
	Superficial	ASR	Misto	
California (USA)	80 – 125	-----	-----	LOPÉZ E HENÁNDEZ (2000)
Arizona (USA)	3.8	-----	-----	USDI (1996)
Seattle – Highline	-----	142	215	USDI (1996)
Argentina (Rio San Juan)	150 – 200	-----	-----	De acordo com o tempo estimado para o projeto UNEP (2000)
Oklahoma (USA)	0.63	-----	-----	OSBORN ET ALLI (1997)
California (USA) (média)	34	-----	-----	CUSTÓDIO E VILARÓ
Nebraska (USA)	32	-----	-----	USDI (1998)
Austrália (média)	-----	150	-----	PYNE (2000)
Índia (média)	20 - 70	-----	1000	Os menores valores correspondem a aquíferos aluviais e os superiores a poços de injeção. UNEP (2000)
Média Mundial	118-138	-----	-----	REBOUÇAS (1999)
Média Mundial	-----	121	-----	LEITE (2000)

A título de comparação os valores abaixo representam outras técnicas utilizadas para captação de água, Rebouças (1999). (US x 1000 m<sup>3</sup>)

Água Subterrânea	Captação de Rio (só armazenamento)	Osiose Reversa
88	123 – 246	120-397

É certo que a hidrogeologia, a técnica a ser utilizada, a dimensão e o tempo de vida útil do projeto, são alguns parâmetros que determinarão o custo. Assim, por exemplo, se a recarga for feita através de poços de injeção o valor será quase sempre superior ao espalhamento superficial. Por outro lado, se o sistema a ser empregado for de ASR, o custo será condicionado, principalmente, pela profundidade de armazenamento, produção do poço e o pré tratamento da água.

A avaliação econômica de qualquer projeto de recarga artificial se faz para as duas grandes fases do processo. A fase de armazenamento (captação e transposição) e a fase de exploração ou produção. Logo os

custos envolvidos no projeto sofrerão variações relacionadas a uma dada condição específica do local do projeto. Então os custos podem variar fortemente entre projetos que utilizem o mesmo sistema de recarga, bastando que a transferência da água superficial em um determinado projeto, seja feita a uma distância considerável, aumentando, portanto, o custo de construção da adutora. Resumidamente, podem ser citados os seguintes itens que compõem os custos de um projeto:

- Estudos hidrogeológicos,
- Captação da água superficial,
- Aquisição de terrenos,
- Pré tratamento,
- Instalações auxiliares,
- Equipamentos e instalações da recarga,
- Exploração e manutenção.

### ASPECTOS LEGAIS DA RECARGA ARTIFICIAL

Por ser tratar de uma prática ainda não explorada e igualmente pouco desenvolvida em nosso país, a recarga artificial congrega uma interface de diferentes ambientes naturais, carece de rotinas técnicas, como também de tratamento legal específico. A despeito dos benefícios, a recarga artificial é um processo de alguma complexidade e se constitui em um desafio para as estruturas legais vigentes. As seguintes questões podem ser colocadas:

- O conjunto de leis existente consegue regular a prática de recarga artificial;
- A outorga (e a cobrança), como instrumento legal, será exigida em ambas as fases, na derivação da água superficial e na exploração do aquífero;
- Podemos entender a recarga como um ato de transformação de classe da água, de uma inferior em outra superior;
- Que políticas públicas específicas devem ser elaboradas para regular o sistema;
- Seriam os projetos de recarga artificial, projetos constituídos por uma prática poluidora do solo e das águas subterrâneas, logo sujeitos a uma legislação ambiental pertinente?

Mesmo que essas questões não possam ser respondidas prontamente, devemos entender a recarga artificial como um instrumento de gestão de recursos hídricos, auxiliar na solução de crises locais de água, e para tal, identificar na legislação existente subsídios que incentivem o desenvolvimento dessas técnicas. Assim, não só existem argumentos fundamentados na Lei dos Recursos Hídricos, nº 9433/97, como também nas leis relativas a Política Nacional de Meio Ambiente, que em tese, proporcionam uma visão positiva e legalmente favorável à recarga artificial das águas subterrâneas, (TUBBS E YOSHINAGA, no prelo).

Quanto aos aspectos ambientais, considerando a recarga artificial como um processo de geotecnologia, que interfere, ainda que positivamente, no ciclo hidrológico e é passível de algum tipo impacto ao meio ambiente, seria lúcido exigir no futuro a todos os projetos a serem implementados com essa finalidade no mínimo, o Licenciamento Ambiental.

### CONCLUSÃO

Mesmo sendo uma técnica conhecida e empregada em diversos países, a recarga artificial ainda hoje não é utilizada em escala comercial no Brasil. Contudo, diversas são as regiões brasileiras que estão próximas a um colapso no fornecimento de água, quer devido a dificuldade em obter de novos mananciais ou a intensa poluição das águas superficiais, motivando assim, a implementação de todas as técnicas possíveis que assegurem o abastecimento da população.

A recarga artificial por promover o uso integrado dos recursos hídricos, tem como resultado principal a poupança da água armazenada em aquíferos em tempos de excesso hídrico superficial para a utilização futura. Sua aplicação requer conhecimentos geológicos, hidrogeoquímicos, hidrológicos e econômicos. Por ser uma prática que geralmente proporciona ganho ambiental e social, bem sucedida em milhares de projetos ao redor do mundo, possui grande potencial de desenvolvimento em diversas regiões brasileiras, notadamente para aquelas que já experimentam uma contabilidade hídrica próxima a da "gota d'água".

## BIBLIOGRAFIA

- BOWER, HERMAN – 2002 – Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering. *Hydrogeology Journal*. V.10. No 1; February 2002.
- CADAMURO, LUIZ DE MOURA. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residências do Distrito Federal, Dissertação de Mestrado, IGE,UB.2002.
- CEDERSTROM, D.J. Água Subterrânea- Uma Introdução.USAID. RJ.1964.
- COSTA, WALDIR DUARTE; FILHO, WALDIR DUARTE COSTA; MONTEIRO, ADSON BRITO. Sobre a Exploração dos Aquíferos Costeiros em Recife-PE. *Groundwater and Human Development*. 2002.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M.R. . Hidrologia Subterrânea, v.1, 2 ed. Ediciones Ômega, Barcelona pp. 845, 1985.
- CUTÓDIO E., VILRÓ F. Recarga Artificial, in *Hidrologia Subterrânea* , sección19, v.1,2 ed Ediciones Ômega, Barcelona pp 845.
- DOMENICO, A. PETRICK E SCHWARTZ, W., FRANKLIN. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons. 1994.
- DRISCOLL, FLETCHER G. *Groundwater and Wells*. 2ed. U.S. Filter Johnson Screens, St. Paul. 1995
- GETA, J.A.L.; HERNANDEZ, R. – 2000 – Recarga Artificial de Aquíferos. *Libros Síntesis Metodológicos, Estudios y Actuaciones*. Instituto Geológico y Minero de España.
- HEM, J.D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*: U.S. Geol. Survey Water Supply Papers, 1473. 1985.
- INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE. UNEP. Artificial Groundwater. *Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Countries in Asia*. [www.unep.or.jp/ietc](http://www.unep.or.jp/ietc)
- INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE. UNEP. Artificial Groundwater. *Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and The Caribbean*. [www.unep.or.jp/ietc](http://www.unep.or.jp/ietc)
- JONES, K.H., GAUS, I, WILLIAMS, T. A, SHAND P., GALE, N.I.. ASR (Aquifer Storage and Recovery- UK)-A review of the Status of Research and Investigations. *British Geological Survey*. [www.bgs.ac.uk/hydrogeology/home.html](http://www.bgs.ac.uk/hydrogeology/home.html). 1999
- LEITE, BETTY T. Preliminary Evaluation of Aquifer Storage and Recovery in the Recife Metropolitan Region, Pernambuco, Brazil. 1<sup>st</sup> Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza, Brasil. 2000
- LLAMAS, M.R. La Inserción de Las Águas Subterráneas en los Sistemas de Gestión Integrada. *Boletín Geológico y Minero*. V/110, Julho-Agosto. No 4.
- MCCLURG, S (1996). Maximizing groundwater supplies. *Water Education Foundation*, May/June 1996, pp 4-13
- NETO, J.X.C., LEITE, J.L., ROCHA, V.C. Estudo das Interações Físico-Químicas e Biológicas da Água de Superfície com a Água Nativa do Reservatório de Cocorobó-Bahia. *Revista Águas Subterráneas*. 1985. ABAS. No 8

- NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Recharge Water Using Waters of Impaired Quality (1994).  
Internet. [www.nap.edu/openbook](http://www.nap.edu/openbook).
- OSBORN, N.I.; ECKNSTEIN, E.; FABIAN, R.S.. Demonstration and Evaluation of Artificial Recharge  
of Blaine Aquifer in Southwestern Oklahoma. Oklahoma Water Resources Board. Technical  
Report 97-5s. Dez. 1997.
- REBOUÇAS, ALDO DA CUNHA.. In Águas Doces no Brasil. Capital Ecológico, Uso e  
Conservação. 1999. pp 1- 36.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Wood River Artificial Groundwater Recharge  
Demonstration Project Summary. March 1998.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Highline Well Field Artificial Groundwater Recharge  
Demonstration Project Summary. June 1996.
- VENDRAME, IF. Considerações Sobre o Emprego de Poços de Infiltração. X Congresso Brasileiro  
de Águas Subterrâneas. São Paulo, 1998.
- WALTON, W.C. Groundwater Resource Evaluation. Macgraw-1970