

# XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

## Valoração de serviços ecossistêmicos de águas subterrâneas: notas introdutórias

Bruno Peregrina Puga<sup>1</sup>; Osvaldo Aly Junior <sup>2</sup>, Ricardo César Aoki Hirata<sup>3</sup>, Reginaldo Antonio Bertolo<sup>4</sup>

**Resumo** – As águas subterrâneas desempenham papel crucial na manutenção de ecossistemas resilientes e na provisão de serviços ecossistêmicos imprescindíveis para a sociedade. No entanto, devido a suas características físicas e geográficas, ela ainda não possui um papel de destaque na governança ambiental local/regional. Isso tem resultado em sérias ameaças a suas funções essenciais. O objetivo deste trabalho é discutir os desdobramentos da literatura sobre serviços ecossistêmicos relacionados às águas subterrâneas. Com a revisão da literatura disponível sobre o assunto, buscou-se experiências relacionadas a identificação e valoração dos serviços prestados pelas águas subterrâneas. Mais especificamente, estudos relacionados a valoração de danos causados a estes ecossistemas. As conclusões preliminares demonstram que o tema ainda é pouco explorado na literatura, face ao grande interesse que o tema vem despertando nas áreas ambientais, pelos *policymakers* e pelo potencial de manancial hídrico subterrâneo no enfrentamento das crises de abastecimento de água.

**Abstract** – Groundwater plays a crucial role in maintaining resilient ecosystems and the provision of essential ecosystem services to society. However, due to their physical and geographical features, it still does not have a role in local / regional environmental governance. This has resulted in serious threats to their core functions. The objective of this paper is to discuss the developments of the literature on ecosystem services related to groundwater. With the review of the available literature on the subject, we sought experiences related to identification and valuation of services provided by groundwater. More specifically related to valuation of damage to these ecosystems studies. Preliminary findings show that the issue has been little explored in the literature, given the huge interest in the subject has aroused in environmental areas, by policymakers and potential underground water sources in facing the crisis of water supply.

**Palavras-Chave** – valoração econômica; serviços ecossistêmicos; águas subterrâneas;

---

<sup>1</sup> Doutorando em Desenvolvimento Econômico IE/Unicamp. Rua Pitágoras, 353 (19) 3521-5708 bppuga@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Ciência Ambiental PROCAM/USP, Pesquisador convidado do CEPAS/IGC/USP - oalyjunior@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Doutor Livre Docente do Instituto de Geociências da USP rhirata@usp.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Instituto de Geociências da USP bertolo@usp.br

## 1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas perfazem 94% de toda a água potável disponível para a humanidade. Quase dois bilhões de pessoas dependem diretamente dos aquíferos para água para consumo, mas principalmente para a agricultura. Cerca de 40% de toda a produção agrícola mundial utiliza de irrigação predominantemente de águas subterrâneas. Além disso, seu uso não se restringe ao uso pessoal. As atividades industriais, processos manufatureiros, águas termais para plantas de energia, são também altamente dependentes de águas subterrâneas (FAO, 2003).

Os principais critérios considerados nas diretrizes de política quanto ao estado dos aquíferos geralmente são restritos a qualidade (química) e quantidade. No entanto, há uma clara omissão quanto a perspectiva ecológica do mesmo. Deve-se caminhar para políticas que reconheçam as funções ecológicas desempenhadas pelas águas subterrâneas e suas interações com os ecossistemas dependentes destas águas. Para o desenvolvimento de políticas realmente efetivas dos recursos hídricos, o entendimento destas conexões entre águas na superfície e subterrâneas é extremamente necessário. Para isso, requer uma abordagem de gestão e política que englobe distintos elementos oriundos das mais diversas tradições científicas como hidrologia, biogeoquímica, ecologia e eco hidrologia (Danielopol et al, 2004).

Apesar de sua elevada importância, as águas subterrâneas sofrem com ameaças que podem afetar diretamente sua provisão e os benefícios que a sociedade obtém delas. Diferentemente dos recursos hídricos na superfície, devido ao seu caráter de visibilidade, podem sofrer de ameaças geralmente associadas aos bens públicos. As principais ameaças estão relacionadas a contaminações por substâncias perigosas e metais pesados. Isso afetaria diretamente a capacidade de provisão de importantes funções ecológicas que estas desempenham.

Mais recentemente, surge na literatura científica uma maneira distinta de enxergar as inter-relações entre os ecossistemas e os benefícios humanos, através das funções e serviços ecossistêmicos. Tal arcabouço, vem ganhado força nas arenas política e teórica. O que era inicialmente uma forma de chamar a atenção para as ameaças aos ecossistemas, tem se tornado uma forma mais holística de enfrentar a complexidade ecossistêmica.

Com isso, há novas possibilidades de fornecer dados para a tomada de decisão ao lidarmos com danos ambientais às águas subterrâneas. O surgimento da valoração econômica vem ao encontro desta abordagem. Ao conseguir determinar um valor aos bens que usualmente não são precificados, pretende-se fornecer subsídios para a construção de políticas mais eficazes.

Este trabalho está dividido em 5 seções, além desta introdução. A segunda traça um breve panorama da agenda da literatura das funções e serviços ecossistêmicos. Na terceira, abordaremos o papel que as águas subterrâneas desempenham nesse framework. A quarta seção versa sobre os métodos e estudos de valoração econômica mais comumente utilizados. Por fim, na quinta seção são apresentados alguns comentários conclusivos sobre este artigo.

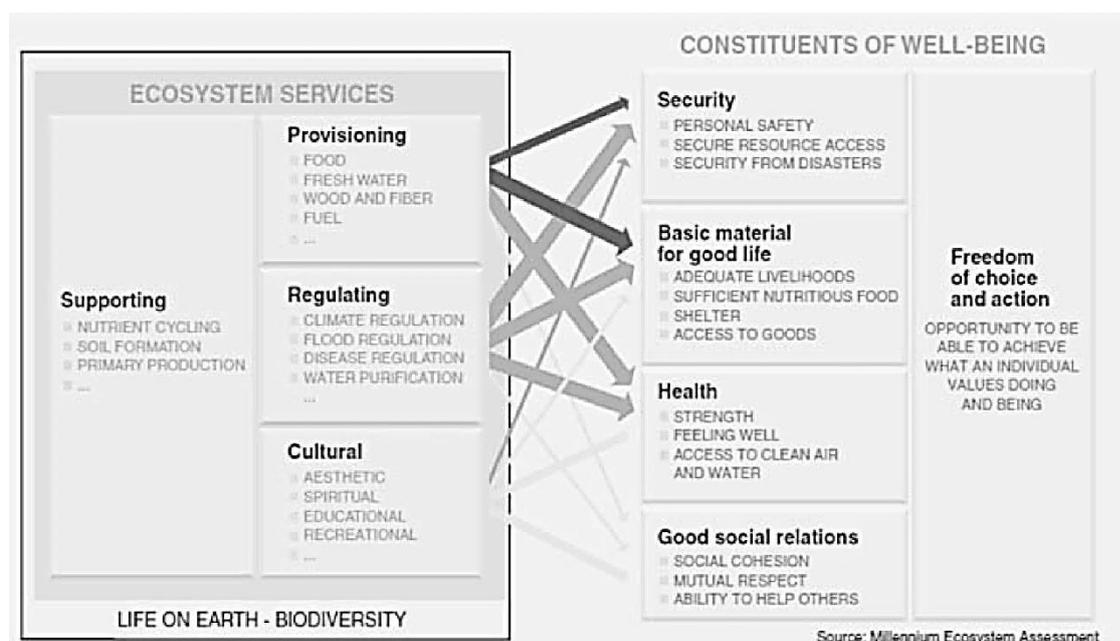
## 2. FUNÇÕES E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

A origem histórica do conceito de serviços ecossistêmicos se dá nos anos 1970 com o enquadramento utilitarista das funções benéficas dos ecossistemas como forma de ganhar a atenção pública em torno de preocupações quanto às ameaças aos mesmos (Gómez-Baggethun, 2010). O termo serviço ecossistêmico foi primeiramente introduzido por Ehrlich and Ehrlich (1981), onde até meados dos anos 1980 o uso deste conceito tinha viés preponderantemente pedagógico, como forma de mostrar *“how the disappearance of biodiversity directly affects ecosystem functions that underpin critical services for human well-being”*.

Há certo intercâmbio entre o uso dos termos serviços ecossistêmicos e serviços ambientais. Segundo Daly (1997), os serviços ecossistêmicos são aqueles serviços prestados pelos ecossistemas e espécies que os compõe, na sustentação das condições da vida humana na Terra. Já os serviços ambientais são aqueles prestados pelos humanos no estabelecimento das condições de manutenção e melhoramento da provisão dos serviços ecossistêmicos. Ou seja, o primeiro é um conceito naturalmente ligado à dinâmica ecológica enquanto o segundo pode ser definido como uma ação antropogênica ligada na proteção do primeiro.

Em 2005, tem-se a publicação do primeiro grande marco na agenda de pesquisa desta nova área. Trata-se da Avaliação Ecossistêmica do Milênio, sendo um esforço científico transdisciplinar que tem por objetivo estabelecer um arcabouço conceitual para entender as contribuições dos ecossistemas ao bem-estar humano. Ao utilizar de uma abordagem multiescalar, esta iniciativa demonstrou que a humanidade tem afetado de forma significativa e irreversível a provisão dos serviços ecossistêmicos essenciais a humanidade. Na Figura 1 temos ilustrado as contribuições que os serviços ecossistêmicos têm com o bem estar humano.

Figura 1 – Serviços ecossistêmicos e bem-estar humano. Fonte: MEA (2005)



Tal arcabouço sistematizou uma tipologia para enquadramento das distintas funções e serviços ecossistêmicos. A divisão em quatro grandes conjuntos (provisão, regulação, suporte e culturais) busca aglutinar os serviços em torno das funções compartilhadas. Na seção seguinte serão apresentadas estas categorias, bem como as funções desempenhadas pelas águas subterrâneas.

O estudo de Gómez-Baggethun *et al* (2010) traça um panorama da evolução da agenda dos serviços ecossistêmicos, dividindo-a em três etapas (Tabela 1). A primeira fase engloba o enquadramento das funções ecológicas com serviços ecossistêmicos, ocorridas entre os anos 1970 e 1980. Nesse período inicia-se os primeiros estudos de valoração. A etapa seguinte, em meados dos anos 1990, experimenta uma grande profusão de valoração ambiental em termos monetários. Já o último estágio corresponde aos diversos esforços para ‘pagar’ os serviços ecossistêmicos, com a construção de estruturas institucionais e de mercados reais.

Tabela 1 - Evolução da agenda dos serviços ecossistêmicos. Fonte: Gómez-Baggethun et al (2010)

Período	Estágio	Conceptualização	Ação	Valor
1960-1990	Abordagem utilitarista	Funções ecossistêmicas como serviços	Funções ecossistêmicas enquadradas em termos utilitárias	Valor de uso
Início em 1960 com aceleração nos anos 1990	Monetarização	Serviços ecossistêmicos passível de valoração	Refinamento de métodos para valoração ecossistêmica em termos monetários	Valor de troca
Início nos 1970 e aceleração nos anos 2000	Apropriação	Serviços ecossistêmicos como apropriáveis	Definição clara dos direitos de propriedade dos ecossistemas	Valor de troca
	Troca	Serviços ecossistêmicos como transacionáveis	Estruturas institucionais criadas para vendas/troca	Valor de troca

### 3. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTEMICOS

As condições de ocorrência das águas subterrâneas em uma determinada região dependem da interação entre os fatores climáticos (muito irregulares no tempo e no espaço) e dos fatores geológicos (cuja variabilidade também é muito grande em função da dimensão da área estudada). No caso brasileiro, mais de 90% do território recebe uma boa quantidade de chuvas (em média 3 mil mm/ano) e a interação entre o clima e as condições hidrogeológicas condicionam as formas de ocorrência da recarga, do armazenamento, da circulação, e da descarga influenciando substancialmente a qualidade das águas subterrâneas (REBOUÇAS, 2006).

Assim, torna-se importante considerar vários aspectos como: zona de recarga e descarga dos aquíferos e suas relações com as formas de uso e ocupação do meio físico, deposição inadequada de resíduos, implantação de obras hidráulicas nos rios e controle de enchentes. De acordo com REBOUÇAS (2006), as principais funções da água subterrânea são:

**Função de Produção:** Esta é a função mais tradicional que é o fornecimento de água para o consumo humano, industrial e agropecuário. Particularmente, pode se incluir nessa categoria a água mineral e a água embotelhada, que embora tenha legislação própria para a sua extração e comercialização, é também água subterrânea.

**Função Ambiental:** Além de ser um contribuinte na formação e na manutenção da vazão de base dos mananciais superficiais, as águas subterrâneas também estão sujeitas a degradação da qualidade de suas águas, o que pode comprometer a sua potabilidade e o seu uso para o fornecimento humano e para a indústria de alimentos e bebidas. Entre os agentes antrópicos mais comuns detectados no solo se destacam: os contaminantes inorgânicos, os metais tóxicos, e os compostos orgânicos.

**Função Transporte:** muitas vezes um reservatório aquífero é utilizado como um mecanismo de transportar água a partir das suas zonas de recarga para as zonas de extração, e isso ocorre por meio da recarga natural ou artificial. Esta é uma forma de garantir a segurança hídrica e assegurar e manter a continuidade e capacidade dos volumes de água extraídos em determinada localidade ou região.

**Função Estratégica:** Na concepção da gestão integrada de recursos hídricos em regiões metropolitanas a água subterrânea cumpre uma função complementar ou alternativa no processo de

abastecimento. Inclusive os aquíferos podem cumprir o papel de armazenamento de água mediante a recarga artificial, podendo esta água ser utilizada nos períodos de pico de consumo. O uso integrado das águas superficiais e subterrâneas proporciona os melhores resultados em termos de qualidade, quantidade e custos. Esta função de armazenamento dos aquíferos já é uma realidade em algumas cidades europeias e americanas.

**Função Filtro:** É uma maneira de aproveitar as propriedades biogeoquímicas do solo do maciço natural permeável para depurar e filtrar a água de rios ou mesmo de águas servidas. Um exemplo seria a instalação de um poço à uma distância determinada dos rios para extrair água, e assim reduzir os custos dos processos convencionais de tratamento.

**Função energética:** É o uso da água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal, como fonte de energia elétrica ou termal.

**Função de Estocagem e Regularização:** É a utilização dos aquíferos para estocar os excedentes de água que ocorrem durante o período da estação das chuvas. Adicionalmente, pode-se incluir as funções de lazer, pois a água subterrânea é o principal atrativo das estâncias hidrotermominerais e de sua indústria de serviços à saúde humana.

A contaminação de águas subterrâneas geralmente é resultado de vazamentos, derramamentos ou disposição errônea de produtos e resíduos. A remediação é frequentemente justificada uma vez que a contaminação pode apresentar riscos inaceitáveis para a saúde humana e adjacentes. Os possíveis riscos com esta contaminação podem incluir: a) riscos de danos aos recursos subterrâneos, bem como aos usuários destes recursos; b) riscos de impacto nas águas de superfície, como resultado da contribuição das águas subterrâneas, e consequente impacto nos usuários das águas. c) risco de impacto aos receptores como resultado da migração de contaminação via água subterrânea (Hardisty e Ozdemiroglu, 2002).

No estudo de Dunford (2000), ao analisar a avaliação de danos aos recursos subterrâneos, há o desenvolvimento do processo de estimativa destes danos em três etapas. A primeira estaria relacionada ao prejuízo ambiental (*injury determination*), que englobaria a coleta de dados relativos ao caso, como: concentração máxima de substâncias, concentração de contaminantes, extensão da área contaminada, direção e fluxo dos contaminantes ao longo do tempo, conexão das águas subterrâneas com outros recursos naturais.

Em seguida, seria necessário realizar a quantificação dos serviços. Os autores utilizam de tipologia semelhante às funções ecossistêmicas, fazendo distinção entre os serviços para uso

humano e serviços ecológicos. A análise dos serviços é feita através da comparação quantitativa da provisão dos serviços que ocorreria na ausência do dano. Isto envolve a determinação de uma linha de base dos serviços. Como esta linha de base não pode ser observada, ela deve ser estimada de alguma forma. Tal estimativa é feita usualmente através de informações históricas da provisão dos serviços (Dunford, 2000).

**Figura 2 – Dano aos recursos ambientais. Fonte: Dunford (2000).**



Na terceira etapa, de determinação dos danos, devem ser levantados os custos de restauração, os valores de compensação e os custos de avaliação do dano (Figura 2). Os custos de restauração são os custos das ações que retornariam a provisão dos serviços ao nível da linha de base mais rapidamente do que a recuperação natural. Já o valor de compensação é o montante de dinheiro necessário a compensação dos afetados pela redução dos serviços comparados à linha de base. Por último, os custos de avaliação do dano referem-se aos valores incorridos para a realização de estudos no processo avaliativo do dano. No entanto, tem uma visão um tanto quanto extrema em termos econômicos:

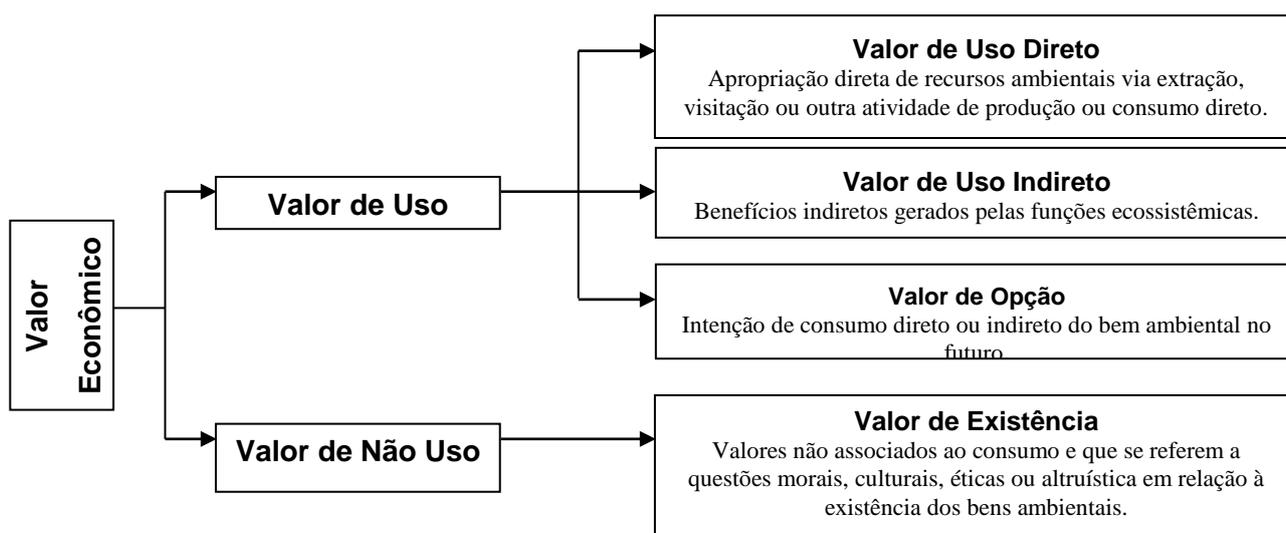
"If restoration costs are far larger than the value of services being restored, then natural resource should be allowed to recover naturally, in which case restoration costs will be minimal but compensable values may be high. Thus, restoration costs and compensable value tend to move in opposite directions." (Dunford, 2000:26)

#### **4. VALORAÇÃO ECONÔMICA**

Maia *et al* (2004) decompõem o valor econômico de um recurso ambiental em duas categorias iniciais: valor de uso e valor de não uso. O primeiro envolve o valor direto (benefícios econômicos diretos da apropriação dos recursos via extração), valor indireto e valor de opção. Já os valores de não uso referem-se a valores que não são passíveis de serem valoradas de forma econômica. Tais valores são comumente atrelados ao valor da existência de terminando bem, não sendo passíveis de

valoração de forma monetária por estar associado geralmente a questões culturais. Dentro da categoria de Valor de Uso, temos os valores de uso direto, indiretos e de opção. No caso do valor de não uso, basicamente é o seu valor de existência, assim como exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Composição do Valor Econômico. Fonte: Maia et al (2003)



**Custos evitados:** Este método procura relacionar os possíveis gastos com relação a possibilidade de mortalidade humana. O valor estimado então seria uma aproximação dos custos evitados se determinada ação prejudicial não ocorresse.

**Custos de controle:** Estes custos estão relacionados aos gastos exercidos para garantir a qualidade de determinados bens ambientais à sociedade. Um bom exemplo é o do tratamento de esgoto e dejetos, onde evita-se a poluição de um rio ou corpo d'água. Sendo assim, ao limitar o nível de emissões e tratar os poluentes, evita-se um custo posterior de tratamento da água.

**Custos de reposição:** este método utiliza os custos necessários para substituir os benefícios gerados por determinado bem ambiental, caso ocorra uma diminuição ou interrupção de seus serviços. Exemplo disso pode ser mais bem observado no caso da fertilidade do solo para a produtividade agrícola. Como é sabido, o solo não é simplesmente um aglomerado de nutrientes e repositores genéricos, mas sim um complexo ecossistema que desenvolve uma série de funções e serviços ecossistêmicos para a humanidade.

**Custo de oportunidade:** O cálculo do custo de oportunidade envolve inicialmente a identificação de todos os usos do solo da região avaliada, focando principalmente nas culturas mais significantes em termos de valor e quantidade

**Preços hedônicos:** este método procura estabelecer uma relação entre os atributos de um produto e seu preço de mercado. O preço é obtido através de uma regressão econométrica ajustada à uma série de características que possam influenciar no seu valor, tais como características físicas, ambientais, geográficas e socioeconômicas. No entanto, a dificuldade na aplicação deste método reside na determinação exata de todas as variáveis que possam influenciar seu preço, sendo assim, somente serão significantes aquelas que possuem uma correlação (tanto positiva quanto negativa) com o preço do mesmo.

**Avaliação contingente:** Método em que confia nas preferências reveladas dos entrevistados. Para obter tais informações dois tipos de abordagem são utilizados. A disposição a pagar (DAP) ou a Disposição a receber (DAR). O objetivo por trás deste método é de descobrir o quanto o indivíduo está disposto a pagar por determinada mudança no bem ou serviço, demonstrado em valores monetários

No caso dos serviços ecossistêmicos relacionados às águas subterrâneas, são poucos os estudos que buscam identificar dentro da tipologia anteriormente apresentada. O estudo de Bergkamp e Cross (2006) faz um esforço nesse sentido. A constatação é de que os valores de uso e de não uso destes serviços são de difícil mensuração, uma vez que muito das informações necessárias não estão disponíveis. Além disso, considera que o uso da água subterrânea tem sido subutilizado nas questões técnicas e como são serviços que não encontram semelhantes nos mercados econômicos conhecidos, tal tarefa se torna ainda mais complicada. Na Tabela X, há uma pequena aproximação dos serviços ecossistêmicos identificados providos por águas subterrâneas.

	Valor de uso	Valor de não uso
Valores diretos	Provisão de serviços ecossistêmicos: água potável, ciclo de nutrientes, produtos florestais e agrícolas dependentes de águas subterrâneas	
Valores indiretos	Serviços de regulação e de suporte: controle de enchentes, regulação da vazão e de fluxos, purificação da água, retenção de nutrientes, regulação climática.	
Valores de opção	Prêmio colocado em manter os recursos para uso futuro conhecido e desconhecido. Exemplo: preservar espécies e ecossistemas dependentes de	

	águas subterrâneas.	
Valores de existência		Valores intrínsecos dos recursos e paisagem, independente do seu uso (serviços culturais com significado religioso e espiritual, educacional, etc.)

O desenvolvimento dos métodos de valoração se deu em sua maioria a partir do arcabouço da teoria microeconômica neoclássica. Nessa abordagem, o mercado possui um papel central, cabendo ao mecanismo de determinação de preços (através da oferta e procura) revelar a utilidade dos bens e serviços para os consumidores. Os métodos de valoração são divididos em diretos e indiretos. O primeiro conjunto envolve descobrir a Disposição a Pagar (DAP) dos consumidores. Sendo assim, os preços relativos dos bens e serviços ambientais demonstrariam o quanto os usuários estariam dispostos a pagar pelos serviços ecossistêmicos, demonstrando a utilidade destes. Os métodos indiretos chegam a estes valores através das mudanças nos preços ocorridas caso a provisão ou disponibilidade dos bens e serviços sejam alteradas.

<b>Método de valoração</b>	<b>Tipo de valor estimado</b>	<b>Tipo de aplicação mais comum</b>	<b>Serviços ecossistêmicos valorados</b>
<b>Custo de viagem</b>	Uso direto	Recreação	Manutenção de espécies benéficas, ecossistemas produtivos e biodiversidade
<b>Custo evitado</b>	Uso direto	Impactos ambientais na saúde humana	Controle da poluição e descontaminação
<b>Preços hedônicos</b>	Uso direto e indireto	Impactos ambientais em propriedades residências e mortalidade humana	Proteção contra chuvas e enchentes; manutenção da qualidade do ar
<b>Função produção</b>	Uso indireto	Pesca comercial e recreativa; sistemas agrícolas; controle de espécies invasivas; proteção hidrográfica; custos evitados;	Manutenção de espécies benéficas; manutenção de terras produtivas e produtividade agrícola; prevenção de erosão; recarga hídrica; drenagem e irrigação natural; mitigação de enchentes e proteção contra chuva;
<b>Custo de reposição</b>	Uso indireto	Custos evitados de danos; oferta de água potável	Drenagem e irrigação natural; proteção contra chuva e mitigação de enchentes
<b>Preferência declarada</b>	Uso e não-uso	Recreação: impactos ambientais na riqueza humana e propriedades residenciais; custos evitados; valor de existência de preservar ecossistemas.	Todos acima

#### **4.1. Valoração econômica de águas subterrâneas**

Nesta subseção exemplificaremos alguns estudos selecionados na literatura disponível representando os métodos apresentados na seção anterior. O objetivo não é de fazer uma análise exaustiva, mas sim apresentar algumas considerações sobre as distintas formas de valoração. Fica evidente, de antemão, a falta de estudos relacionados ao tema deste artigo na literatura brasileira.

Como não estão associados a mercados econômicos já existentes, são difíceis de valorar em termos monetários. Dunford (2002) afirma que a valoração contingente, único método plausível, tem se mostrado altamente não confiável para calcular os valores de não uso. O autor considera que a análise conjunta e análise de habitat equivalente são mais apropriados para lidar com tais serviços. A mensuração de valores de não uso é um dos tópicos mais controversos dentro da economia ambiental. Enquanto os valores de uso podem ser mais simplesmente estimados, ao observar o comportamento das pessoas, os valores de não uso não possuem comportamento associados. Isso resulta no reconhecimento de que muitas pessoas dão valor a existência de certos bens naturais, mesmo que não utilizem destes diretamente.

Como os recursos subterrâneos estão em uma categoria especial, uma vez que ao contrário de recursos na superfície, são praticamente invisíveis, causaria uma dificuldade na população afetada em conceitualizar acerca dele. Além disso, o autor afirma que diversos estudos demonstram que a população tem uma ideia errada das características dos aquíferos. Por exemplo, o estudo de Mitchel & Carson (1989) demonstrou que a população consultada acreditava que as águas subterrâneas se moviam muito mais rápida do que realmente o fazem, isso resultaria em crer que uma determinada contaminação iria se espalhar rapidamente. Outros, pensavam que se tratavam de piscinas subterrâneas, demonstrando pouca familiaridade com o tema.

Laoudi et al (2011) valoram os danos ambientais às águas subterrâneas como provedor de água potável através de uma abordagem mercadológica. Os autores reconhecem que os custos estimados no estudo é apenas um referencial quantitativo mínimo do valor perdido do recurso. Utilizam basicamente a técnica de custo de reposição para os recursos hídricos subterrâneos na região de Atenas (Grécia). Para isso, construíram cenários através da reposição da oferta de água afetada pela poluição por fontes alternativas, tais como água mineral engarrafada, abatimento da poluição focal e unidades de osmose reversa. Ao comparar os valores das opções disponíveis, conseguem aferir o custo mínimo para que a água provida pelo aquífero fosse substituída, caso houvesse algum dano ou interrupção do fornecimento. Com isso, conseguem chegar a um valor estimado para o custo do dano ambiental anual. Os autores reconhecem que o exercício subestima o

valor total do ano, uma vez que há incertezas intrínsecas e significantes faltas de dados acerca de dados. Além disso, não considera as possíveis externalidades e efeitos adjacentes à qualidade e resiliência dos ecossistemas locais.

Sun et al (1992) utilizam do método de valoração contingente para o estabelecimento do preço de opção para a proteção da qualidade das águas subterrâneas no sudoeste do estado da Geórgia (EUA). A pesquisa revelou que os benefícios monetários de proteger as fontes destas águas da contaminação por produtos químicos (principalmente oriundos da agricultura) eram substantivos. A escolha pelo método, segundo os autores, se deve a dificuldade de estimar os benefícios da proteção da qualidade das águas subterrâneas. Parte-se do pressuposto de que um dos benefícios desta maior qualidade seja uma melhora na saúde humana.

Hardisty e Ozdemiroglu (2002) utilizam de uma análise custo benefício para delimitar diretrizes para gestão da contaminação de águas subterrâneas. Elencam como obstáculos da valoração dos benefícios da proteção e remediação de águas subterrâneas: a) dificuldade em monetizar benefícios especificamente locais; b) inerente limitação dos métodos de valoração, especialmente no que diz respeito aos riscos de contaminação; c) os valores de não-uso, talvez os mais significantes, sejam os mais difíceis de mensurar; d) a falta de pesquisa básica sobre o valor da água subterrânea; e) a falta de análise científica quanto aos efeitos da opção em reduzir os impactos da contaminação.

## **5. CONCLUSÕES PRELIMINARES**

Buscamos neste pequeno texto apresentar os conceitos e ideias relativos à agenda dos serviços ecossistêmicos e sua relação com as águas subterrâneas. Como forma de apoio a decisão e à gestão, apresentamos distintos métodos de valoração econômica. O uso destes métodos deve ser encarado como uma das ferramentas possíveis, não como um número absoluto e único.

Reafirmamos aqui as limitações do instrumento de valoração econômica, o qual ao, por fins metodológicos, utiliza de um extenso reducionismo dos serviços ecossistêmicos. Apesar disso, o instrumento pode sim ser utilizado para referência e exercícios estimativos. Os preceitos de uma avaliação econômica mais voltada à ecologia (como as teorias da Economia Ecológica), as quais julgamos com uma visão mais realista e prudente, afirmam que a dimensão monetária é uma das dimensões passíveis de serem valoradas. Mas que o uso exclusivamente desta dimensão é uma

irrealidade com efeitos potencialmente perigosos, se utilizados de maneira equivocadas. Abordagens multidimensionais, como a análise multicritério, são mais adequadas para lidar com as complexidades inerentes aos ecossistemas, caracterizados como dinâmicos e não-lineares.

Os desafios quanto a gestão das águas subterrâneas no tocante às suas ameaças são grandes. Primeiro, estabelecer claramente as ligações entre substancias perigosas, danos e redução nos serviços. Sem esta ligação, dificilmente teremos confiabilidade no real impacto destas substancias nas águas subterrâneas. Além disso, a avaliação qualitativa das dimensões dos serviços ecológicos das águas subterrâneas, visto que apenas volume e fluxo destas águas não são suficientes para medir o efeito nos dependentes destas águas. Outro desafio é a determinação adequada da compensação pelos serviços ecossistêmicos perdidos, uma vez que há uma lacuna técnica para esta avaliação. Por último, há o desafio de identificar a abordagem mais custo-efetiva, lembrando do claro trade-off entre custos de restauração e valor de compensação (Dunford, 2000).

Destacamos também o papel pioneiro que teve Rebouças (2006) no fortalecimento da hidrogeologia no Brasil, assim como alertando para a importância da gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos no país. Ele foi um pioneiro na busca de traçar os primeiros arrazoados sobre as funções e os serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas, uma vez que a época estes termos ainda eram novos no mundo acadêmico da hidrogeologia.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural and water management**, v. 45, p. 217–228, 2000.

DANIELOPOL, D. L.; GIBERT, J.; GRIEBLER, C.; et al. Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. **Environmental Conservation**, v. 31, n. 3, p. 185–189, 2004. Disponível em: <[http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S0376892904001444](http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0376892904001444)>. Acesso em: 27/5/2014.

DUNFORD, R. W. Estimating groundwater damage from hazardous substance releases. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 126, 2000.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Groundwater management. The search for practical approaches. Water Reports 25. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, 2003.

- GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R. DE; LOMAS, P. L.; MONTES, C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, v. 69, n. 6, p. 1209–1218, abr 2010.
- HARDISTY, P. E.; OZDEMIROGLU, E. *Costs and Benefits Associated with the Remediation of Contaminated Groundwater : Application and Example*. Bristol, 2002.
- JEWITT, G. Can Integrated Water Resources Management sustain the provision of ecosystem goods and services ? **Physics and chemistry of the Earth**, v. 27, p. 887–895, 2002.
- LAOUDI, A.; TENTES, G.; DAMIGOS, D. Groundwater damage : A cost-based valuation for Asopos River basin. *Proceedings of the 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference*. p.975–981, 2011.
- MAIA, A.G., ROMEIRO, A.R., REYDON, B.P. Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações. *Texto para Discussão, Instituto de Economia/UNICAMP*, n° 116, março, 2004.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- REBOUÇAS, A. Águas Subterrâneas. In REBOUÇAS, A., BRAGA,B., TUNDISI, J. G., (orgs). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, SP:Escrituras Editora, 3ª. Edição, 2006;
- WHITEHEAD, J. C. *Methods for Valuing the Benefits of the Safe Drinking Water Act : Review and Assessment*. ,1997.