

# SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS: UM DIÁLOGO COM A CONTRIBUIÇÃO DE ALDO REBOUÇAS

Oswaldo Aly Junior<sup>1</sup>

**Resumo.** *A avaliação da relação entre desenvolvimento das atividades humanas e o seu impacto sobre o funcionamento dos ecossistemas é essencial para a sustentabilidade do desenvolvimento. Este artigo faz um resgate da contribuição de Aldo Rebouças para o avanço do conhecimento hidrogeológico no país e analisa em que medida o seu pensamento, que tem origem na visão da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, pode contribuir para a análise de serviços ecossistêmicos expressada na Avaliação Ecossistêmica do Milênio, elaborado a pedido das Nações Unidas em 2005.*

**Abstract.** *Assessing the relationship between the development of human activities and their impact on the functioning of ecosystems is essential for the sustainability of development. This article retrieves Aldo Rebouças' contribution to the advancement of hydrogeological knowledge in the country and analyzes the extent to which his thinking, which originates from the vision of Integrated Water Resources Management, can contribute to the analysis of ecosystem services expressed in the Assessment Millennium Ecosystem, prepared at the request of the United Nations in 2005.*

**Palavras chave:** águas subterrâneas, serviços ecossistêmicos, gestão integrada de recursos hídricos, Aldo Rebouças.

## INTRODUÇÃO

A água subterrânea constitui numa importante fonte para o abastecimento humano, sendo, em algumas regiões de nosso planeta, a única fonte disponível e representa 2/3 da água doce do planeta. Porém, quando se considera apenas o que está disponível para consumo, elas passam a representar 95% do total da água doce do planeta. O restante é composto principalmente de lagos, rios e a umidade dos solos.

No Brasil, em que pese o fato de aproximadamente 90% da água subterrânea extraída via poços tubulares ser informal - sem o devido pedido de outorga, estima-se que 76,85 milhões de pessoas que residem no meio urbano são abastecidas por este recurso (HIRATA *et al* 2019), e 3,87 de estabelecimentos agropecuários em 2017 faziam uso de águas

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Geociências pelo IGc-USP, pesquisador associado ao Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP) e pós-doutorando no IGc-USP, pesquisador e professor colaborador na Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da UNIARA.

subterrâneas, sendo que 1,01 milhões de estabelecimentos o consumo ocorre via poços tubulares (ALY JR, 2019).

Os dados revelam a necessidade da análise e produção e dados para que se torne conhecida como de fato ocorre essa utilização. Ou seja, quais os diferentes usos que se realizam com as águas subterrâneas, qual é o percentual e onde estão localizados os consumidores situados na agricultura, na indústria, nos serviços e pelo lazer; como também o seu papel para a manutenção dos ecossistemas.

Mesmo em locais com clima e geologia favoráveis ao acúmulo de água superficial, como na região sul e sudeste do país, a importância da água subterrânea emerge em períodos críticos de seca, quando esses recursos superficiais não conseguem atender à demanda.

Em diferentes formações geológicas elas influenciam na estabilidade de áreas declivosas e impedindo o rebaixamento de terrenos (subsistência). Ainda, são responsáveis pela vazão de base que pereniza os rios.

Na gestão integrada de recursos hídricos é essencial entender o papel das águas subterrâneas no ciclo hidrológico de cada bacia. Ademais, as águas em bacias hidrográficas resultam da combinação da drenagem superficial e do afloramento da água subterrânea. Dessa forma, na gestão de bacias hidrográficas o fluxo de água subterrânea é tão crucial quanto o superficial (DANIELOPOL *et al*, 2004).

Apesar da sua importância, as águas subterrâneas sofrem ameaças sem que a sociedade se dê conta e isso poderá afetar a sua capacidade futura de manutenção dos ecossistemas e prover benefícios que a sociedade obtém delas. As ameaças estão relacionadas à contaminação por substâncias tóxicas e metais pesados.

Partindo desse enfoque o artigo busca recuperar na produção de Aldo Rebouças sua contribuição para o desenvolvimento sustentável a partir do entendimento das funções e serviços prestados pelas águas subterrâneas a partir da Avaliação Ecológica do Milênio (MEA, 2005), reconhecendo o seu alinhamento com a visão da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH ou IWRM – sigla em inglês).

## **FUNÇÕES ECOLÓGICAS E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS**

No Brasil nas últimas décadas tem crescido o uso e o consumo de águas subterrâneas e, em muitos casos gerando impactos negativos sobre a qualidade dessas águas. Por sua vez as respostas dos ecossistemas às intervenções humanas dependem do contexto ecológico e da dinâmica do uso e ocupação do solo que podem trazer consequências locais e regionais de curto e longo prazos para os serviços e as funções ecossistêmicas.

A origem do conceito de serviços ecossistêmicos data dos anos 1970 com o enquadramento utilitarista das funções benéficas dos ecossistemas como uma forma de chamar a atenção para as ameaças sofridas pelos ecossistemas. A análise de serviços ecossistêmicos pode ter duplo caráter:

*primeiro* destacar a importância e o papel dos recursos e serviços analisados da sua contribuição para o funcionamento dos ecossistemas e do que ele agrega em termos de qualidade para a vida humana e estimar quais os prejuízos em termos de qualidade ambiental e de vida quando da sua perda ou inutilização;

*segundo* para a valoração econômica desses serviços ofertados de forma gratuita pelos ecossistemas, como também do que custa perder este serviço cujo conhecimento muitas só ocorre após a sua perda efetiva (DALY, FARLEY, 2008).

### **a) Funções Ecossistêmicas**

As funções ecossistêmicas podem ser definidas como as interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, é o caso da transferência de energia, a ciclagem de nutrientes, relação climática e o ciclo da água. Estas funções são consideradas um subconjunto dos processos ecológicos e das estruturas ecossistêmicas, e criam uma verdadeira integridade sistêmica cujo todo (produto do conjunto de todas as interações) é maior que o somatório das partes individuais, são as funções ecossistêmicas que geram os serviços ecossistêmicos (DALY, FARLEY, 2008).

A natureza, por ser produto da interação de diferentes funções ecossistêmicas, faz com que a análise de seus serviços requeira a compreensão das interconexões existentes entre seus diferentes componentes, resguardando a capacidade dinâmica de funcionamento dos ecossistemas em gerar seus serviços (ANDRADE, ROMEIRO, 2009).

Por sua vez as funções e os serviços devem ser estudados de acordo com as diferentes escalas espaciais e temporais, o que torna esta tarefa ainda mais complexa. A vida no Planeta Terra está condicionada ao bom funcionamento dos ecossistemas que garantem a provisão continuada de serviços ecossistêmicos. As funções ecossistêmicas são divididas em:

- **Funções de Regulação:** relacionadas com a capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera. Eles são mediados por fatores abióticos e pelos organismos vivos. Elas têm o papel de manter a saúde dos ecossistemas e impactam direta ou indiretamente sobre as populações humanas (DALY, FARLEY, 2008; ANDRADE, ROMEIRO, 2013).

Entre as funções de regulação (da biota) em escala global está a que responde pela composição química da atmosfera, dos oceanos e da biosfera – equilíbrio entre o oxigênio e dióxido de carbono, manutenção da camada de ozônio etc., mantida por processos biogeoquímicos que são influenciados pelos componentes bióticos e abióticos de um ecossistema.

Estas funções também se relacionam com aspectos estruturais dos ecossistemas, como a cobertura vegetal e o sistema de raízes: a capacidade de prevenção (ou mitigação) de distúrbios, ou danos naturais; capacidade de absorção de água e resistência eólica da vegetação; a capacidade de filtragem e estocagem de água, que regulam sua disponibilidade ao longo das estações climáticas; a capacidade de retenção e proteção do solo (prevenindo a erosão e compactação do solo), beneficiando diretamente as funções ecossistêmicas como (re)ciclagem de nutrientes (ANDRADE, ROMEIRO, 2013).

- **Funções de Habitat:** são essenciais para a conservação biológica e genética e para a preservação de processos evolucionários. Destacam-se as funções de refúgio e berçário, dado que os ecossistemas naturais fornecem espaço e abrigo para espécies animais e vegetais, contribuindo para a manutenção da diversidade genética e biológica. Também no caso dos sistemas costeiros, de serem áreas ideais para a reprodução de espécies comerciais, possibilitando a sua reprodução e perpetuação (MPE, 2008).

- **Funções de Produção:** estão relacionadas com a capacidade de fornecer alimentos para o consumo humano, através de processos como a fotossíntese, sequestro de nutrientes e de ecossistemas trabalhados pelo homem como é o caso das terras cultivadas. As funções de produção se relacionam com a produção de alimentos, de matérias primas (ceras, gomas, tintas naturais, gorduras, folhagens etc.), recursos genéticos, recursos medicinais e recursos

ornamentais. Independentemente do tipo de ecossistema, é possível obter-se recursos da parte biótica e abiótica - com destaque para os minerais (DALY, FARLEY, 2008; ANDRADE, ROMEIRO, 2013).

- **Funções de Informação** se relacionam com a formação de valores humanos, o que dificulta a sua correta definição e mensuração. Estas são funções que estão relacionadas com a interação entre os ecossistemas naturais e a manutenção da saúde humana.

#### **b) Serviços Ecossistêmicos**

O conceito de serviços ecossistêmicos parte do pressuposto da existência de uma correlação positiva entre bem-estar humano e bem-estar ambiental, ou seja, existe uma conexão entre a existência humana e a manutenção das funções dos ecossistemas.

O termo serviço ecossistêmico foi primeiramente introduzido por Ehrlich and Ehrlich (1981), e até meados dos anos 1980 o uso deste conceito esteve relacionado predominantemente com os aspectos pedagógicos, como uma forma de mostrar como a redução da biodiversidade afeta diretamente as funções do ecossistema que dão suporte aos serviços que provêm bem-estar aos seres humanos.

Como resultado das interações entre as diferentes funções ecossistêmicas, é que ocorrem os chamados serviços ecossistêmicos. Estes são benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas e que lhe proporcionam bem-estar (utilidade antropocêntrica). Eles podem ser resultados de uma ou mais funções ecossistêmicas. Também, uma função ecossistêmica pode gerar um ou mais serviços ecossistêmicos. (ANDRADE, ROMEIRO, 2009, apud CONSTANZA et al. 1997, Daly, 1997)

Partindo-se da noção de que os ecossistemas naturais oferecem gratuitamente serviços essenciais, sobre os quais se apoiam a vida e as atividades humanas, é que se busca construir os modelos para valorar esses serviços e, também, avançar nas avaliações ambientais a partir de critérios ecológicos não utilitaristas.

Estes modelos visam calcular os impactos e as respostas como resultado das intervenções humanas e da produção econômica sobre o meio ambiente e a relação destas respostas com bem-estar social. Descrever qual a capacidade que possui o ambiente para atenuar os impactos da sociedade de consumo.

Do ponto de vista da praticidade de operar este conceito, os serviços ecossistêmicos foram agrupados em quatro categorias: de suporte, de regulação, de provisão e cultural:

- **Serviços de Provisão:** incluem os produtos obtidos dos ecossistemas e a sua análise não deve ser medida apenas em termos de fluxos, mas deve-se considerar a capacidade de suporte do ambiente natural, atentando para as restrições quanto à sustentabilidade ecológica (MEA, 2005).

- **Serviços de Regulação:** estão relacionados com as características regulatórias dos processos ecossistêmicos, como a manutenção da qualidade do ar, regulação do clima, purificação da água. (MEA, 2005).

- **Serviços de Culturais:** incluem a diversidade cultural, que em parte é produto da interação com diferentes ecossistemas, e influenciam na multiplicidade de culturas, valores religiosos e espirituais, geração de conhecimento (formal e tradicional), valores educacionais e estéticos, entre outros (MEA, 2005).

- **Serviços de Suporte:** são aqueles necessários para a produção de outros serviços ecossistêmicos e seus impactos sobre o ser humano são indiretos e/ou ocorrem no longo prazo (MEA, 2005).

Em 2005, tem-se a publicação do primeiro grande marco na agenda de pesquisa na área de serviços ecossistêmicos: a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA) um esforço científico transdisciplinar com o objetivo de 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.

Jax (2010) Apud Cook & Spray (2012) considera que a MEA (2005) não deixou muito clara a diferença entre função e serviço ecossistêmico, e sobre qual seria o nível mínimo de recursos bióticos e abióticos necessários ao funcionamento dos ecossistemas já que, para obter seu bem-estar, a humanidade depende de todos esses processos subjacentes.

## **O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A água subterrânea é uma parte do conjunto de eventos que promovem a circulação de água sobre a superfície terrestre chamado de Ciclo Hidrológico. O Ciclo Hidrológico é

produto de processos de precipitação, evaporação<sup>2</sup>, evapotranspiração<sup>3</sup>, condensação, escoamento<sup>4</sup>, infiltração, dentre outros (REBOUÇAS, 2004).

A água subterrânea é uma característica natural e importante do ambiente e se relaciona tanto com problemas ambientais como, em alguns casos, responde pelas possíveis soluções. Na sua interação com outros componentes bióticos e abióticos da natureza ela possibilita o desenvolvimento de diferentes tipos de ecossistemas (HIRATA, 2014, REBOUÇAS, 2004).

Praticamente toda a água subterrânea tem sua origem na precipitação e em processos de infiltração de água superficial. Atualmente, existem processos artificiais de recarga de aquíferos que ocorrem pelas perdas e percolação de canais de irrigação, excesso de água na irrigadas, das perdas de sistemas urbanos de distribuição de água, galerias de águas pluviais etc.

Em geral as estimativas de infiltração de água no solo, em uma determinada área, se dividem aproximadamente da seguinte ordem: (i) 80% retorna para a atmosfera mediante os processos de evapotranspiração; (ii) 10,8% de todo o volume que precipita vai para os aquíferos; e (iii) 9,2% do que precipitou escorre superficialmente (Comisión Nacional Del Agua, 1994).

No Brasil, as reservas renováveis de água subterrânea alcançam 42.289m<sup>3</sup>/s e correspondem a 24% do escoamento dos rios em território nacional (vazão média anual de 179.433 m<sup>3</sup>/s). Na estiagem seu peso sobe chegando a 49% da vazão. Somente os 27 principais aquíferos sedimentares, que ocupam 32% da área do país, totalizam 20.473m<sup>3</sup>/s. Essa gigantesca vazão de água é distribuída, de forma simplificada, em dois grandes grupos: aquíferos de rochas e materiais sedimentares e aquíferos de rochas fraturadas (ANA, 2005).

No Brasil, de um modo geral, em que pese os esforços de convergência, os estudos se especializam nas águas subterrâneas ou na superficial, raros aqueles que consideram a complexa interligação hidrológica entre os dois tipos de água. Ademais as águas superficiais, subterrâneas ou de chuva – meteóricas tem suas especificidades com relação ao seu potencial de uso (Quadro 1).

---

<sup>2</sup> Se relaciona com as condições de pressão de vapor, da umidade atmosférica, do vento, e da temperatura

<sup>3</sup> E pode ocorrer mediante os processos fisiológicos de funcionamento das plantas e áreas úmidas

<sup>4</sup> Ele pode ser superficial ou subterrâneo. No caso do superficial ele é uma função da intensidade e duração da precipitação, permeabilidade do solo, tipo e extensão da cobertura vegetal, área de captação da bacia hidrográfica, geometria dos rios, profundidade da superfície freática, declividade do terreno, etc.

Os aquíferos são formações geológicas ou estratos constituídos por poros, passagens ou fissuras interconectados entre si, capazes de armazenar água e cedê-la com facilidade. É característico dos aquíferos ter seus poros totalmente saturados. De modo geral são subdivididos em livres ou confinados.

O tempo médio de residência da água subterrânea em aquíferos é estimado em 280 anos e, esse tempo de residência elevado, significa que as taxas de recarga são muito pequenas, fato que é contrabalanceado pelo enorme volume armazenado nos poros dos aquíferos, são os poros ou o tamanho das fissuras que conferem a capacidade de armazenamento. É esta característica que torna a água subterrânea uma reserva estratégica a longo prazo, isto a depender do gerenciamento da sua extração e não contaminação.

<b>Tipo de Recurso Hídrico</b>	<b>Águas Subterrâneas</b>	<b>Águas Superficiais</b>	<b>Água de Precipitação</b>
	<b>Características Hidrológicas</b>		
<b>Capacidade de Armazenamento</b>	Grandes Volumes	Volumes Pequenos a moderados	Volumes pequenos
<b>Extensão Territorial</b>	Maior dispersão	Condicionalada ao leito dos rios	Praticamente irrestrito
<b>Taxas de Vazão</b>	Baixa ou muito baixa	Moderada a alta	Demanda estrutura de retenção
<b>Tempo de Armazenamento</b>	Geralmente décadas ou séculos	Maior parte semanas ou meses	Horas ou dias
<b>Influência dos Períodos Secos</b>	Geralmente baixa	Geralmente alta	Alta
<b>Perdas por Evaporação</b>	Pequena e localizada	Elevada nos reservatórios	Alta
<b>Impacto da Extração do Recurso</b>	Não é imediato e de forma dispersa	Imediato	Baixo
<b>Qualidade Natural</b>	Geralmente é boa (nem sempre)	Variável e geralmente precisa tratamento	Geralmente elevada ou moderada
<b>Vulnerabilidade à Poluição</b>	Possui uma proteção natural variável	Muito vulnerável	Associado com a poluição atmosférica
	<b>Fatores Sócio-Econômicos</b>		
<b>Percepção pelo Público</b>	Não é muito conhecido do público	É conhecido e buscado para a contemplação	Moderadamente conhecido
<b>Custos para Extração</b>	Geralmente modesto	Na maioria dos casos elevado	Pode ser elevado, depende dos volumes

### **Quadro 1: Características das Diferentes Fontes de Recursos Hídricos.**

Fonte: Hirata e Conicelli, 2012; Cleary, 1989; Aly Junior, et al, 2015; adaptado pelo autor.

## **A CONTRIBUIÇÃO DE ALDO REBOUÇAS PARA AS FUNÇÕES E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

O geólogo Aldo Rebouças trabalhou na SUDENE na década de 1960 e participou de primeiro programa de mapeamento hidrogeológico do Nordeste, região na qual foram iniciados os estudos em hidrogeologia no país. Ele foi professor titular na Universidade de São Paulo, no Instituto de Geociências, e consultor da Secretaria Nacional de Recursos Hídricos.

Duas publicações são usadas como referências no presente artigo, são elas: “O uso inteligente da água” de 2004 e “As Águas Subterrâneas” de 2006. Nestas publicações o autor aborda a importância e os papéis desempenhados pelos aquíferos se referenciando a produção relacionada com a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) ou a Integrated Water Resources Management (IWRM) cujas discussões antecedem a MEA (2005).

O conceito de Gestão Integrada de Recursos Hídricos provém da Associação Mundial para a Água (GWP), fundada em 1996 pelo Banco Mundial, pelo Programa das Nações Unidas (PNUD) para o Desenvolvimento e pelo Ministério para Cooperação e Desenvolvimento da Suécia. Esta associação se propõem a ajudar os países a promoverem a gestão sustentável de suas fontes de água. Dele também participam agências de desenvolvimento, ONGs e organizações de pesquisa.

Foi o GWP que conceituou a gestão integrada de recursos hídricos definida como um processo de estímulo ao manejo coordenado da água, da terra e dos recursos correlatos, de sorte a maximizar o resultado econômico e social do bem-estar, de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade vital dos ecossistemas (COOK, SPRAY 2012).

Baseado nestes conceitos, Rebouças considera que 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 os geológicos (cuja variabilidade 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 características dos aquíferos determinam as formas de recarga, armazenamento, circulação e descarga influenciando substancialmente a qualidade das águas subterrâneas (Rebouças, 2006)

Assim, é importante considerar aspectos como áreas de recarga e afloramento de aquíferos e suas relações com as formas de uso e ocupação do solo - deposição de resíduos, obras hidráulicas nos rios e para o controle de enchentes. Em sua produção Rebouças (2004 e 2006) emprega comumente o termo funções, em vez de serviços, e considera que as principais funções 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 nesta categoria a água mineral e a água engarrafada, 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 estão sujeitas a degradação da sua qualidade e isso pode comprometer a potabilidade, o seu consumo humano e pela indústria de alimentos e bebidas.

*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 de armazenamento de grandes volumes de água.

*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 cumprindo o papel de armazenamento de água mediante a recarga artificial.

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 regiões europeias e americanas, como Madrid e Califórnia, por exemplo

*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. É o caso de poços instalados a uma distância determinada dos rios para extrair água que reduzem os custos 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 hidrotermo-minerais e de sua indústria de serviços à saúde humana.

### **ANALISANDO A CONTRIBUIÇÃO DE REBOUÇAS A PARTIR DA MEA (2005)**

Neste tópico é feita uma análise comparativa (Quadro 2) entre as proposições de Rebouças e os serviços ecossistêmicos (MEA) e sinalizando algumas ausências na sua produção. Também é realizada uma comparação entre os conceitos trabalhados em serviços ecossistêmicos (MEA, 2005) e a gestão integrada de recursos hídricos (GIRH).

<b>Proposição de Rebouças</b>	<b>Enquadramento Serviços Ecossistêmicos – MEA (2005)</b>
<p><b>Função de Produção</b></p> <p>Fornece água para o consumo humano e as atividades produtivas;</p> <p>Fornece água para engarrafamento.</p>	<p><b>Serviço de Provisão</b></p>
<p><b>Função Ambiental</b></p> <p>Contribui para a formação e manutenção dos mananciais superficiais</p>	<p><b>Serviço de Regulação</b></p>
<p><b>Função Transporte</b></p> <p>Capacidade de armazenamento do aquífero é utilizada como mecanismo de transporte das áreas de recarga para as áreas de afloramento. Segurança Hídrica</p>	<p><b>Serviço de Suporte</b></p>
<p><b>Função Estratégica</b></p> <p>Papel complementar no abastecimento urbano de água, desempenhando a função de armazenamento</p>	<p><b>Serviço de Provisão</b></p>

<b>Função Filtro</b> Aproveita-se das propriedades bioquímicas do aquífero para depurar e filtrar água de rios e reuso	<b>Serviço de Regulação</b>
<b>Função Energética</b> Geração de energia elétrica a partir de mananciais de águas quentes	<b>Serviço de Provisão</b>
<b>Função de Estocagem e Regulação</b> Estocagem de água para uso futuro, no período da seca. Em estâncias hidrominerais: lazer e saúde	<b>Serviço Cultural e Regulação</b>

Quadro 2: Comparativo MEA (2005) e as funções das águas subterrâneas segundo Rebouças  
Fonte: Rebouças, 2004; Rebouças, 2006, elaborado pelo autor.

A abordagem de Rebouças (2004 e 2005) não faz distinção entre função e serviço, sua produção e contribuição para a hidrogeologia e as funções e serviços dos aquíferos é anterior à MEA (2005). Ademias, sua concepção tem forte viés antropocêntrico, ou seja, as funções e serviços estão referenciadas no uso pela sociedade, a importância das águas subterrâneas para os demais seres vivos e o funcionamento e manutenção dos ecossistemas não são abordadas. Temas que poderiam, por exemplo, terem sido abordados pela função ambiental.

Um exemplo entre a não distinção entre função e serviço, de acordo com a MEA (2005), é apresentada na função de transporte, uma vez que o aquífero é um grande armazenador de água que garante a vazão de inverno dos rios e ao mesmo tempo armazena água para consumo humano, via bombeamento, no período da seca.

Também, as funções de estoque e regulação no caso de estações hidrotermais podem ser consideradas, na concepção da MEA (2005), ao mesmo tempo uma função e um serviço.

Cook & Spray (2012), retratam o debate entre GIRH e a MEA e destacam que a definição do GWP de gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) prioriza a qualidade do ambiente e a sua interação com os indivíduos, a economia e o bem estar social. Em 2001, quatro anos de antes MEA (2005) e seguindo as deliberações da Convenção da Diversidade Biológica de 1992, os autores ligados ao GWP argumentavam que o uso dos recursos hídricos poderia ser gerenciado e manejado de sorte a manter o sistema vital de suporte à vida não comprometendo seu acesso pelas gerações futuras.

Outros autores consideram que a GIRH é precursora da definição de serviços ecossistêmicos e deve incluir as dimensões da natureza, a humana e as relações com os

recursos hídricos (Savenije, Van Der Zaag, 2008). Por sua vez, Banuri (2009) destacou o conflito existente entre as decisões de se manter a integridade do meio ambiente e atender as demandas sociais. Essas considerações sobre a gestão integrada de recursos hídricos e os serviços ecossistêmicos têm sua importância pois convergem na reflexão dos desafios para a sustentabilidade existentes na integração entre sociedade e ambiente, demonstrando que a água é central tanto para o social, o econômico, como para a sustentabilidade ambiental (COOK, SPRAY, 2012).

Os críticos da gestão integrada de recursos hídricos afirmam que este conceito tem um caráter privatizante, de defesa das políticas neoliberais, afastando o Estado do processo de gestão dos recursos hídricos. Para estes, as questões relacionadas à gestão de recursos hídricos não se restringem às questões técnicas e institucionais; elas estão na arena política e devem ser abertamente consideradas de forma a permitir resolver as disputas entre gestores e os diferentes interesses em jogo (COOK, SPRAY, 2012).

A MEA (2005) aportou uma base relativa e estável para a pesquisa. Entretanto, quando empregadas para a valoração econômica dos serviços ela reforça uma posição que encara o mundo natural enquanto mercadoria. Alguns adeptos dos serviços ecossistêmicos consideram que se deve tomar cuidado ao aplicar este conceito (assim como a sua valoração) nas esferas governamental e social. Estes autores afirmam que assumir que os mecanismos de mercado garantirão a sustentabilidade ambiental ou a equidade social é no mínimo uma hipótese (COOK, SPRAY, 2012).

Cook & Spray (2012) afirmam que existe muita proximidade em termo de aplicação dos conceitos de gestão integrada de recursos hídricos e serviços ecossistêmicos, como também de riscos dos usos que são feitos destes conceitos. Historicamente, quando confrontados com a realidade da sua implementação, os conceitos são alterados ou rejeitados, e novos ciclos se repetem. Estes conceitos devem ser aplicados e testados como uma caixa de ferramentas para descobrir suas falhas e potencialidades para a resolução de problemas e para a gestão.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Na gestão de recursos hídricos persiste uma visão economicista e tecnocrática que confere à água subterrânea pouca importância, produto da comparação negativa em termos de

vazão, pois no caso dos rios a vazão é medida em m<sup>3</sup>/s, e no caso dos poços a vazão é medida em l/s. Isso revela a prevalência de uma visão utilitarista sobre os recursos.

A urbanização, o crescimento da população, a produção industrial e agropecuária alteram as formas de uso e ocupação do solo e são as principais causas associadas às mudanças climáticas globais que e à perda das funções e serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas, que tem impactos locais, regionais ou mesmo globais, de curto e longo prazo (DeFRIES *et al.*, 2004).

As águas subterrâneas ocupam uma área muito maior que as águas superficiais, o que facilita e democratiza o acesso ao recurso. Entretanto, é mais difícil de controlar suas fontes de poluição e de recuperação da sua qualidade. Uma vez poluídas, as águas subterrâneas, as consequências se fazem sentir durante um longo período. Ademais, a descontaminação normalmente é um processo impraticável ou excessivamente caro, em função da sua localização em poros e porque fluem lentamente.

No presente trabalho buscou-se trabalhar com os conceitos e ideias relacionados as funções ecológicas, os serviços ecossistêmicos e a gestão integrada de recursos hídricos. Também, buscou-se destacar a contribuição de Aldo Rebouças um brasileiro pioneiro no estudo das águas subterrâneas e na defesa da gestão integrada de recursos hídricos. Também, buscou-se evidenciar a importância dos estudos de gestão integrada de recursos hídricos e dos serviços ecossistêmicos prestados águas subterrâneas. Considera-se que a análise territorial pode ser a melhor unidade de análise uma vez que integra o estudo das águas superficiais com as subterrâneas, a natureza envolvida e as formas de uso e ocupação do (sub)solo. Esta análise permite abordar os desafios do desenvolvimento sustentável produto da integração entre sociedade e natureza.

## **REFERENCIAS**

Aly Junior, O, 2019. **Segurança hídrica no semiárido, recursos hídricos na agropecuária e adaptação às mudanças climáticas: serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos no Brasil.** São Paulo: IGc-USP (tese de doutorado).

Aly Junior, O. et al, 2015. **Princípios da valoração dos recursos hídricos subterrâneos impactados por atividades contaminantes**. In Lutti, J. E. I, et al (org). Temas de direito Ambiental: discussões sobre a Lei 12.651/2012, a proteção dos recursos hídricos, as multifaces da tutela ambiental, do meio ambiente e transversalidades. SP: Imprensa Oficial.

Agência Nacional de Águas (ANA), 2005. **Conjuntura de recursos hídricos**. DF: Brasília: ANA.

Andrade, D. C. & Romeiro, A. R, 2009. **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. SP: Campinas: IE/UNICAMP, TD n.155, [www.eco.unicamp.br](http://www.eco.unicamp.br), acesso outubro de 2013.

Banuri, T., 2009. **Integrated water resources management: seeking sustainable solutions to water management**. NRF: 07 April 2009, <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01202.x>.

Cleary, R. W. **Águas Subterrâneas**. 1989, <http://www.clean.com.br/cleary.pdf>.

Comisión Nacional Del Agua, 1994. **Manual para evaluar recursos hidráulicos subterrâneos**. Mexico: DF: Hidrolegro.

Comunidade Européia, 2012. **Directiva quadro água**. CE:Serviço de Publicações, <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/pt.pdf>, acesso outubro de 2013.

Comunidade Européia, 2003. **Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição**. Bruxelas: COM 550, <http://eur-lex.europa.eu/pt/>, acesso outubro de 2013.

Cook, B.R., Spray, C. J, 2012. **Ecosystem Services and integrated water resources management: different path to same end?** Journal of Environmental Management, vol 109, pg. 93-100, [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman), acesso abril de 2014.

Daly, H., Farley, J, 2008. **Economia Ecológica: princípios e aplicações**. Portugal: Instituto Piaget.

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

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

Hirata, R., et al, 2019. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. SP: Instituto Trata Brasil.

Hirata, R., Conicelli, B. (2012). **Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change**. Rio de Janeiro: Anais ABC, v. 84(2), [doi:10.1590/S0001-37652012005000037](https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000037), acesso em maio de 2019.

Ministério Público Estadual, 2011. **Relatório do grupo de trabalho – Ato PGJ no 36**. SP:MPE.

Rebouças, A., 2004. **O uso inteligente da água**. SP: Escrituras Editora.

Rebouças, A, 2006. **Águas Subterrâneas**. In Rebouças, A., Braga, B., Tundisi, J. G., (org.).  
Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação, SP: Escrituras Editora, 3ª  
ed.

Van Der Zaag, P., Sasvenile, H. H. G., 2008. **Integrated water resources management:  
concepts and issues**. Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C 33(5):290-297,  
Pieter van der Zaag, DOI: [10.1016/j.pce.2008.02.003](https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.003).

## **ENTREVISTA**

Hirata, R. **Entrevista expositiva sobre água subterrâneas: funções ecológicas e serviços  
ambientais**, SP:IGC-USP, jun,2014;