

Abrangência do conceito de ciclo hidrológico e abordagens das relações humanas com a água na pesquisa científica

Raul Sampaio de LIMA¹; Frederico Yuri HANAI²

1 – Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – UFSCar – email:

raul@ufscar.br

2 – Professor Adjunto no Departamento de Ciências Ambientais – UFSCar – email:

fredyuri@ufscar.br

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo analisar a abrangência do conceito de “ciclo hidrológico” adotada em publicações científicas e a abordagem das relações humanas com a água utilizada em suas interpretações. Para isto, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática, aplicando-se termos de busca relacionados ao ciclo da água e ao ciclo hidrológico. Foram identificados conceitos com diferentes abrangências sobre o ciclo hidrológico e da água (sete abordados de forma holística e seis reducionistas). As publicações atuais têm focado nas relações de apropriação dos recursos hídricos (com abordagem essencialmente utilitarista), em detrimento da necessidade de abordagens holísticas, simbólicas e culturais.

Palavras-chave: ciclo da água; visão holística; visão reducionista; abordagem utilitarista; relações simbólicas; relações culturais.

Abstract

This study aimed to analyze the scope of the concept of “hydrological cycle” adopted in scientific publications and the approach of human-water relations used in their interpretations. For this, a Systematic Literature Review was conducted by applying search terms related to the hydrological and water cycles. There were identified concepts with different scopes about hydrological and water cycles (seven approached the holistic vision and six reductionist vision). The present publications have focused in appropriation relationships of water resources (an essentially utilitarian approach), rather than the need of holistic, symbolic and cultural approaches.

Keywords: water cycle; holistic vision; reductionist vision; utilitarian approach; symbolic relations; cultural relations.

INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico, também muitas vezes denominado como ciclo da água, consiste no transporte e na movimentação da água entre os compartimentos ambientais, principalmente entre a superfície terrestre e a atmosfera (Silveira, 2014). Contudo, as atividades humanas (e.g. produtivas, sociais, culturais), além de serem extremamente dependentes da água para seu pleno desenvolvimento, desempenham influências sobre a integridade e intensidade dos processos que o compõem (Falkenmark, 1997).

A complexidade das relações e componentes que abrangem o ciclo hidrológico torna a compreensão deste fenômeno um desafio para a gestão adequada de seus processos (Falkenmark, 1997). A dificuldade em compreender essas relações se deve à ampla difusão de uma visão compartimentada e voltada à simplicidade e estabilidade dos elementos presentes no mundo (Vasconcellos, 2003).

Nesse sentido, a visão cartesiana, ou reducionista, sugere que a compreensão de um determinado fenômeno demanda a fragmentação do mesmo em componentes menores que podem ser diretamente relacionados e computados da estrutura superior, pois se pressupõe que as características de um sistema são determinadas de maneira lógica pelos componentes do nível imediatamente abaixo (Neuman, 2008).

Em contrapartida, a visão holística, ou holismo, sugere que características de um fenômeno não podem ser explicadas exclusivamente pela soma de seus componentes, devendo considerar que as relações entre os componentes resultam em características emergentes e imprevisíveis, devido às complexas inter-relações que podem ser estabelecidas (Andersen, 2001).

Por outro lado, a evolução do paradigma sistêmico, que considera o dinamismo e as interações entre os componentes de um sistema irreduzível, permite visualizar as interligações dos fenômenos de maneira a inserir o ser humano como parte desse sistema, possuindo igual importância às demais formas de vida (Vasconcellos, 2003). Todavia, Falkenmark (1997) afirma que ainda há a necessidade de simplificação do modelo utilizado para representar o ciclo hidrológico, para que a comunicação entre os tomadores de decisão seja possível. Porém essa simplificação não pode ser reducionista a ponto de apenas considerar apenas a água como componente desse fenômeno.

Sob a ótica reducionista, é possível entender com considerável sucesso os componentes de um sistema e suas interações locais, permitindo um aprofundamento do conhecimento na área que se está estudando (Neuman, 2008). No entanto, o

reducionismo induz a generalizações, que podem não representar as características e os comportamentos efetivos dos sistemas (Andersen, 2001). Wiegert (1988) destaca que a visão aplicada deve ser selecionada de acordo com os objetivos do estudo ou atividade desenvolvida, possibilitando, assim, a tomada de decisões mais efetivas.

Ainda que o ciclo hidrológico seja de fundamental importância para o desenvolvimento de sociedades e para a manutenção de diversas atividades produtivas humanas, também se deve considerar a importância da água nas mais diversas culturas, crenças, manifestações artísticas e na própria ciência. A água, como fonte de vida, meio de purificação e centro de regeneração, permite que o ser humano desenvolva a percepção de pertencimento ao sistema natural, de forma a restabelecer vínculos entre eles (Bruni, 1993; Gratão, 2008).

Gratão (2008) enfatiza que a qualidade de vida não deve ser avaliada, exclusivamente, com base em índices socioeconômicos, mas abordar, de maneira complementar, parâmetros qualitativos da água, tendo em vista a importância fundamental que ela tem para o surgimento e manutenção da vida. Portanto, a compreensão aprofundada sobre essa temática possibilita um melhor entendimento e explicação do mesmo, promovendo a identificação de seus principais problemas e soluções (Levy & Ellis, 2006).

Por muito tempo, a água doce foi considerada como recurso hídrico inextinguível e apropriada predominantemente no sentido utilitarista, com a finalidade prioritária de satisfazer as necessidades humanas de sobrevivência e de desenvolvimento das sociedades, sem observar as diversas consequências socioambientais relacionadas à sua exploração. A atual forma de apropriação da água para atender a alta demanda dos diversos usos dos recursos hídricos pela sociedade tem configurado intensas transformações e sérias implicações nas relações humanas com a água.

No entanto, outras visões complementares às funções da água (além da evidente importância econômica e de qualidade de vida) devem ser contempladas em esferas ampliadas, ressaltando-se as de importância simbólicas e culturais.

As relações humanas com a água perpassam a relação de sentido utilitarista (apenas para fins econômicos e de sobrevivência), e devem considerar outras relações tais como: as simbólicas; as religiosas; as culturais; e as emocionais. Segundo Østigård (2009) a água não pode ser apenas considerada como uma substância física e um recurso escasso, pois ela também faz parte do conhecimento

popular das sociedades, da formação de identidades culturais, visões e percepções do mundo.

Tendo em vista a necessidade da visão sistêmica na interpretação do ciclo hidrológico, incorporando também as visões de suas complexas interações e de seus componentes, assim como a consideração das relações humanas com a água nas mais diversas culturas, crenças, manifestações religiosas, artísticas, ressalta-se a importância de identificar e analisar possíveis abordagens do ciclo da água também na própria ciência.

Neste âmbito, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a abrangência dos conceitos de “ciclo hidrológico” e “ciclo da água” adotadas em publicações científicas e analisar a abordagem das relações humanas com a água consideradas, a fim de discutir suas implicações para a gestão da água na atualidade.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada a partir de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), processo que tem como base a aplicação de critérios pré-definidos e sistematizados para o levantamento, apreciação e síntese da informação obtida (Levy & Ellis, 2006; Sampaio & Mancini, 2007).

A RBS deve ter como produto um trabalho que realce a compreensão sobre um determinado fenômeno, permitindo que seja possível identificar saturações, lacunas e potencialidades de pesquisa (Levy & Ellis, 2006). Portanto, quando realizada de maneira correta, pode se caracterizar como um importante recurso para a síntese do conhecimento disponível acerca de determinado tema (Sampaio & Mancini, 2007).

Para o desenvolvimento deste estudo, foram adotados procedimentos para a RBS, baseados nos trabalhos de Levy e Ellis (2006) e Sampaio e Mancini (2007), categorizando-os em 3 etapas metodológicas: entradas; processamento; e saída (Figura 1).

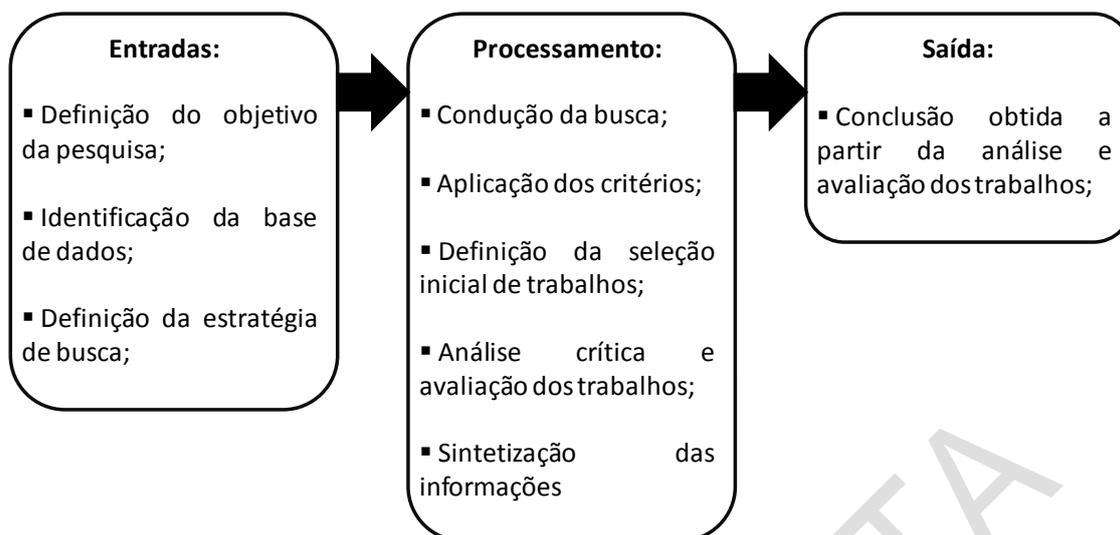


Figura 1: Representação esquemática das etapas realizadas para a revisão sistemática; Adaptado de Levy e Ellis (2006) e de Sampaio e Mancini (2007).

Como componente da etapa de entrada do método adotado, destaca-se a definição clara e objetiva da questão principal que o trabalho se propõe a responder, a identificação da base de dados que permita uma busca eficiente por trabalhos relevantes e a definição da estratégia de busca, a partir dos critérios e parâmetros de seleção de trabalhos.

Nesse sentido, o levantamento de trabalhos foi realizado para publicações científicas, que abordavam, direta ou indiretamente, o conceito de ciclo hidrológico, ciclo da água e os temas relacionados a esses conceitos. Para isto, utilizou-se a base de dados *Web of Knowledge* (<http://www.webofknowledge.com/>), ferramenta de busca amplamente aceita, utilizada e consolidada cientificamente no meio acadêmico.

Em seguida, foram utilizados os seguintes termos-chave para o direcionamento da busca: “*water cycle*”; e “*hydrologic* cycle*” (que engloba tanto o termo *hydrologic* como *hydrological* e suas derivações). A utilização de ambos os termos foi restringida aos títulos e tópicos das publicações. A busca foi delimitada para publicações datadas a partir de 2005.

Na etapa seguinte, foi desenvolvida etapa de processamento da revisão sistemática, incluindo: a busca na base de dados definida; a aplicação dos critérios de busca para a filtragem de trabalhos; a seleção dos trabalhos identificados; o desenvolvimento da análise quantitativa e qualitativa dos trabalhos selecionados; e a sintetização dos dados obtidos.

Com a aplicação dos termos de busca, obtiveram-se vários trabalhos, sendo considerados para análise aqueles que foram citados com maior frequência até o momento da pesquisa no ano de 2015.

A sistematização dos resultados quantitativos foi realizada por meio de quadros com contagens de trabalhos, baseada no refinamento de busca por área de pesquisa, disponíveis na base de dados. Desta forma, obteve-se a quantidade de trabalhos publicados por área de estudo, durante o período de busca, identificando-se as áreas com maior número de publicações sobre o tema.

Em relação à abrangência do conceito adotado nos trabalhos, esta foi avaliada com base no modelo conceitual desenvolvido por Falkenmark (1997), que considera como holístico a existência de influências diretas e indiretas de componentes e compartimentos (i.e. sistemas artificiais e os naturais) sobre o ciclo hidrológico e suas inter-relações, abordando de forma integrada seus efeitos. Em contrapartida, consideramos como reducionistas os estudos que consideram os sistemas ou dimensões que interagem com o ciclo da água como independentes ou isolados, desconsiderando as características emergentes originadas das relações de seus componentes.

Em relação à abordagem, baseou-se nos trabalhos de Bruni (1993) e Gratão (2008) para a definição dos simbolismos atribuídos à água nas publicações analisadas (e.g. simbólicas, religiosas, culturais, emocionais etc.).

Com base nos critérios de busca e termos-chave definidos, foram identificadas publicações que os atendem, sendo selecionadas as com maior número de citações para a análise qualitativa da abrangência e abordagem dos conceitos. Desta forma, foi realizada uma análise detalhada nesses trabalhos, de forma a identificar, categorizar e discutir o conteúdo com maior aprofundamento.

Para auxiliar a definição da abrangência dos conceitos e a discussão dos resultados, categorizaram-se os componentes e elementos com relações com ciclo da água (i.e. atividades humanas, atmosfera, biosfera, ciclos biogeoquímicos, subsolo, superfície marinha, superfície terrestre, uso do solo, temporal e radiação solar), conforme identificadas, realizando-se a contagem destas e a posterior descrição.

Por fim, como produto final desta revisão, elaborou-se uma discussão dos resultados, buscando estabelecer os vínculos entre as visões e abordagens do ciclo hidrológico na produção científica e suas implicações sobre os usos da água.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados quantitativos e discussões dos trabalhos identificados

A busca de trabalhos, a partir da combinação dos critérios definidos, resultou em 7.573 publicações entre os anos de 2005 e 2015, que foram categorizadas quantitativamente em relação às áreas de pesquisa e aos termos-chave da busca.

O quadro 1 apresenta a síntese quantitativa de trabalhos publicados pelas principais áreas de pesquisa identificadas (do total de 99), considerando-se as que possuem maior número de publicações (associadas aos termos-chave), assim como as áreas diretamente relacionadas com o objetivo da pesquisa.

Quadro 1: Resumo quantitativo dos trabalhos enquadrados nos critérios de busca adotados, de acordo com o termo-chave utilizado, área de pesquisa do trabalho e elemento textual

Área de Pesquisa	Título		Tópico		Total
	"water cycle"	"hydrologic* cycle"	"water cycle"	"hydrologic* cycle"	
Meteorologia e Ciências Atmosféricas	93	100	604	1395	1.903
Ciências Ambientais e Ecologia	95	41	713	875	1.541
Recursos Hídricos	90	31	555	645	1.154
Geologia	44	60	400	721	1.073
Engenharia	96	14	460	383	823
Biologia Matemática e Computacional	14	20	154	243	387
Limnologia e Biologia Marinha	9	15	100	293	384
Agricultura	12	7	159	205	354
Outros Tópicos de Tecnologia Científica ^a	31	10	154	199	342
Geoquímica e Geofísica	16	15	127	141	257
Ambiente Público e Saúde Ocupacional	33	4	153	95	245
Conservação da Biodiversidade	15	7	89	160	244
Sensoriamento Remoto	13	3	134	115	240
Ciências Vegetais	11	0	194	28	219
Geografia Física	2	10	58	138	191
Bioquímica e Biologia Molecular	14	3	118	53	171

Outros Tópicos de Ciências da Vida e Biomedicina ^a	0	7	27	99	126
Oceanografia	9	5	44	79	119
Ciências da Computação	14	3	66	55	118
Manejo Florestal	3	4	53	63	115
Química	3	0	65	24	87
Educação e Pesquisa Educacional	12	2	36	4	40
Geografia	1	1	16	20	36
Economia e Negócios	5	0	22	10	31
Zoologia	0	3	2	26	28
Antropologia	2	0	10	17	27
Governo e Direito	1	0	15	10	25
Instrumentação	1	0	11	14	25
Recursos Pesqueiros	1	0	3	15	18
Administração Pública	0	1	8	6	14
Estudos Urbanos	0	0	9	5	14
Doenças Infecciosas	3	0	7	3	10
Sociologia	0	0	2	5	7
Questões Sociais	0	1	0	3	3
Psicologia	0	0	2	0	2
Ciências e Serviços de Cuidados de Saúde	1	0	2	0	2
Filosofia	0	0	0	1	1
Parasitologia	0	0	0	1	1
Estudos Culturais	0	0	0	1	1
Comunicação	1	0	1	0	1
TOTAL^b	638	245	3.247	3.435	7.573

(a) Categoria de busca da base de dados; não inclui outros termos que pertencem a essa área do conhecimento e não foram adicionados ao quadro.

(b) Quantidade total de publicações identificadas na pesquisa aplicando todos os critérios simultaneamente e sem a aplicação de filtros de "Área de Pesquisa"; Observa-se que parte das áreas de pesquisa não foi incluída no quadro.

A partir dos resultados sintetizados, nota-se que o termo “ciclo hidrológico” é o mais utilizado como tópico de trabalhos, enquanto o termo “ciclo da água” é o mais utilizado como título dos trabalhos.

Em relação às áreas de pesquisa, pôde-se verificar que os termos são aplicados em 99 áreas diferentes, sendo abordados com maior frequência em estudos de Meteorologia, Ciências Atmosféricas, Ciências Ambientais, Ecologia, Recursos Hídricos e Geologia, principalmente (Quadro 1). Também se verifica que pesquisas relacionadas ao ciclo hidrológico são mais escassas em pesquisa das Ciências Humanas, apesar de sua importância social e territorial.

A predominância de estudos voltados aos sistemas climáticos e atmosféricos pode estar relacionada com o aumento da preocupação sobre efeitos que alterações de origem antrópica nesses sistemas podem causar, principalmente na disponibilidade, seja quantitativa ou qualitativa, de água para usos humanos (Marengo, 2008), ressaltando a abordagem utilitarista.

Em contrapartida, verifica-se que os termos não são tão contemplados em temáticas essenciais para o planejamento e gestão de recursos hídricos, conforme as elencadas por Lanna (2014), tais como economia, questões de saúde pública, administração pública, sociologia e estudos urbanos, quanto em outras áreas.

Lanna (2014) destaca que a interdisciplinaridade em grupos de trabalho para a gestão de recursos hídricos é fundamental para a implementação de um sistema de gestão eficaz, que possa atender tanto as demandas sociais, como as ambientais ou ecológicas.

Desta forma, são necessários mais estudos nessas áreas de pesquisa, a fim de garantir os usos múltiplos da água e a manutenção de sua qualidade para a garantia da qualidade de vida, tanto do ser humano, como de outras formas de vida.

Além disso, estudos que tratem do simbolismo das relações humanas com a água, referentes áreas como antropologia, sociologia, estudos culturais, entre outras, são pouco representativos do total de publicações.

A compreensão das inter-relações entre o sistema antrópico e o sistema natural, com foco na questão hídrica, neste caso, permite a identificação de atores sociais, suas influências sobre o ciclo e vice-versa, promovendo uma maior sustentabilidade na gestão de riscos relacionados ao ciclo hidrológico (Falkenmark, 1997).

Nesse sentido, apenas a produção de conhecimento científico não é suficiente para superar os desafios da promoção dos usos múltiplos dos recursos hídricos. É

necessário integrar essas informações no âmbito político-institucional, de forma a equacionar os conflitos existentes e explorar suas potencialidades, garantindo a promoção da qualidade de vida.

Resultados qualitativos e discussões dos trabalhos selecionados para análise

O Quadro 2 apresenta os treze trabalhos considerados na análise qualitativa, abordando temáticas variadas, como a descrição de modelos de previsão climática, influências das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico, relação da cobertura vegetal e processos hidrológicos e descrição de processos fotossintéticos.

Quadro 2: Descrição dos trabalhos selecionados para a revisão.

Autores	Título	Temática	Citações
Dee et al. (2011)	<i>"The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system"</i>	Descrição do modelo de previsão climática e discussão do desempenho do mesmo	2.982
Held & Soden (2006)	<i>"Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming"</i>	Influências do aquecimento global sobre o ciclo hidrológico	1.103
Mesinger et al. (2006)	<i>"North American regional reanalysis"</i>	Descrição do sistema de reanálise, dos dados de entrada e informações produzidas	1.083
Bonan (2008)	<i>"Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests"</i>	Relação entre áreas florestais e o aquecimento global	1.022
Lohmann & Feichter (2005)	<i>"Global indirect aerosol effects: a review"</i>	Discussão dos efeitos indiretos dos aerossóis sobre o clima e o ciclo hidrológico	957
Barnett, Adam & Lettenmaier (2005)	<i>"Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions"</i>	Relação entre o aquecimento global e a disponibilidade de água	950
Rienecker et al. (2011)	<i>"MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications"</i>	Descrição do modelo de previsão climática e discussão do desempenho do mesmo	927
Ramanathan & Carmichael (2008)	<i>"Global and regional climate changes due to black carbon"</i>	Discussão da influência do carbono negro sobre o clima global e regional	878
Asada (2006)	<i>"Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions"</i>	Descrição do processo fotossintético, com foco em espécies reativas de oxigênio	682
Milly, Dunne & Vecchia (2005)	<i>"Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate"</i>	Discussão dos padrões de drenagem e disponibilidade de água em relação às mudanças climáticas	657
Oki & Kanae (2006)	<i>"Global hydrological cycles and world water resources"</i>	Relação entre os processos do ciclo hidrológico e problemas relacionados à água	594

Wild et al. (2005)	<i>"From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface"</i>	Discussão sobre a alteração dos índices de radiação solar na superfície terrestre	586
Huntington (2006)	<i>"Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis"</i>	Revisão que discute a influência das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico	546

Grande parte dos trabalhos selecionados aborda os seguintes assuntos: a questão das mudanças climáticas; e seus efeitos sobre o ciclo hidrológico e as características superficiais e atmosféricas do planeta (Barnett, Adam & Lettenmaier, 2005; Lohmann & Feichter, 2005; Held & Soden, 2006; Mesinger et al., 2006; Bonan, 2008; Huntington, 2008; Ramanathan & Carmichael, 2008; Dee et al., 2011; Rienecker et al., 2011). Muitas das temáticas abordadas por esses estudos estão relacionadas às áreas de atuação dos grupos de trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que avaliam os aspectos científicos do sistema climático e mudanças climáticas, a influência socioambiental dessas mudanças e desenvolvimento de métodos adaptativos e mitigatórios para essas mudanças (Marengo, 2008).

Outros estudos discutem as interferências antrópicas, diretas e indiretas, sobre o ciclo hidrológico (Lohmann & Feichter, 2005; Milly, Dunne & Vecchia, 2005; Oki & Kanae, 2006; Bonan, 2008; Ramanathan & Carmichael, 2008), que incluem a conversão de áreas naturais em agropecuárias, uso de técnicas agressivas de manejo do solo (e.g. queimadas), emissão de gases e partículas que alteram o sistema climático e a superexploração e contaminação de reservas hídricas.

Uma análise mais aprofundada dos trabalhos possibilitou identificar os elementos e os componentes abordados e relacionados ao ciclo hidrológico, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Elementos e componentes abrangidos e relacionados com o ciclo hidrológico/da água.

Autores	Biosfera	Atmosfera	Uso do Solo	Atividades humanas	Ciclos Biogeoquímicos	Superfície Marinha	Subsolo	Temporal	Superfície Terrestre	Radiação Solar
Dee et al. (2011)	X	X	X		X	X		X	X	X
Held & Soden (2006)		X			X	X		X	X	X

Mesinger et al. (2006)	X	X	X			X	X	X	X	X
Bonan(2008)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lohmann & Feichter (2005)		X	X	X	X	X			X	X
Barnett, Adam & Lettenmaier (2005)	X	X		X	X	X		X	X	X
Rienecker et al. (2011)		X						X	X	X
Ramanathan & Carmichael (2008)		X		X	X			X	X	X
Asada (2006)	X				X					
Milly, Dunne & Vecchia (2005)	X	X		X		X		X		
Oki & Kanae (2006)	X	X		X		X	X	X	X	X
Wild et al. (2005)										X
Huntington (2006)		X	X	X	X	X	X	X	X	X

Com base nestes trabalhos, verificou-se que o ciclo hidrológico está relacionado, principalmente a componentes do meio físico, biótico e antrópico. No que se refere ao meio físico, a radiação solar é abordada, na maioria dos trabalhos, como a principal força condutora dos processos que compõem o ciclo hidrológico (Oki & Kanae, 2006), sendo é responsável pelo aquecimento direto da água (Lohmann & Feichter, 2005), transformando seu estado físico, e das superfícies pelas quais se movimenta (Wild et al., 2005; Bonan, 2008), induzindo indiretamente ao aquecimento da água. As variações de temperatura atmosférica promovem a movimentação de massas de ar e o transporte da umidade, apresentando estreita relação com o transporte e movimentação de aerossóis e outras partículas que alteram a composição atmosférica e, conseqüentemente, o funcionamento de processos hidrológicos (Lohmann & Feichter, 2005; Wild et al., 2005). Sobre o tipo de superfície, a principal relação é referente aos processos hidrológicos predominantes, havendo elevada taxa de evaporação sobre a superfície marinha, e de precipitação sobre a superfície

terrestre (Huntington, 2006). Além disso, há influência direta do relevo sobre o transporte das massas de ar, retenção da energia solar e escoamento superficial (Dee et al., 2011). Não obstante, a cobertura e o uso do solo definem a porção de água é armazenada ou escoada de uma localidade (i.e. exerce influência sobre o balanço hídrico; Vörösmarty & Sahagian, 2000, apud Huntington, 2006). Os diferentes tipos de ocupação do solo alteram a aspereza da superfície, influenciando a dinâmica atmosférica próxima à superfície (Dee et al., 2011).

Com relação às interações com o meio biótico, Bonan (2008) afirma que as áreas florestadas sustentam o ciclo hidrológico por meio da evapotranspiração, que, como efeito indireto, ameniza as condições climáticas, induzindo à formação de nuvens e à precipitação mais frequentes. O autor relaciona a presença de florestas com a geração de condições microclimáticas que favorecem a infiltração e reduzem as taxas de evapotranspiração, em comparação com áreas agrícolas.

Quanto ao meio antrópico, as atividades humanas, perante o acelerado crescimento populacional, potencializaram seus impactos sob as condições climáticas e integridade de processos hidrológicos, sendo responsáveis pela emissão de compostos, que alteram a composição atmosférica, interferindo na ciclagem natural de compostos e afetando a interação destes com o ciclo hidrológico (Lohmann & Feichter, 2005). Como resposta a essas alterações dos eventos hidrológicos, realizam-se intervenções físicas no ambiente urbano para reduzir picos de vazão de rios ou promover a retenção do escoamento superficial, que, além de afetar a dinâmica superficial do ciclo hidrológico, transferem os impactos espacialmente ou temporalmente (Huntington, 2006; Oki & Kanae, 2006). Além disso, Bonan (2008) destaca que alterações no uso do solo, como a conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e o abandono dessas áreas, também alteram as dinâmicas florestais (i.e. crescimento, competição, estabelecimento, distúrbios), afetando indiretamente os processos hidrológicos influenciados pela vegetação.

Tendo em vista a importância da relação destes meios com a ciclagem de nutrientes, a alteração dos ciclos biogeoquímicos influencia a geração, ciclagem e deposição de compostos sobre os compartimentos ambientais. A presença de materiais particulados na atmosfera pode induzir a um ganho excessivo de calor ou, também, a alterações no volume das gotículas de água, interferindo nas taxas de precipitação (Lohmann & Feichter, 2005). Quando depositada sobre a superfície terrestre, pode induzir ao aumento da absorção da radiação solar, modificando os fluxos de energia nos demais compartimentos (Barnett, Adam & Lettenmaier, 2005).

Em uma escala reduzida, a água pode agir tanto como meio para a ocorrência de reações químicas, quanto como reagente nesses processos (Asada, 2006). Além dessas relações, há a influência temporal sobre o ciclo hidrológico. Variações sazonais de processos como evaporação e precipitação (Bonan, 2008) são decorrentes da rotação e translação do planeta, que altera as taxas de radiação solar, podendo variar temporalmente na escala de horas (Mesinger et al., 2006; Rienecker et al., 2011) ou até décadas (Dee et al., 2011).

Deve-se destacar que os elementos e componentes abrangidos nas publicações analisadas não refletem a totalidade de inter-relações possíveis de serem estabelecidas com o ciclo hidrológico, tendo em vista a complexidade e variedade das mesmas. Como já discutido, os modelos que representam o ciclo hidrológico devem ser simplificados para permitir a compreensão da sociedade, porém, sem desconsiderar as principais inter-relações existentes, prejudicando a visão sistêmica do mesmo.

Em seguida, com base na análise dos elementos e componentes abordados nos trabalhos selecionados, avaliou-se: a abrangência do conceito; e a abordagem das relações em cada um deles. O Quadro 4 resume a classificação da abrangência e abordagem das publicações revisadas.

Quadro 4: Abrangência do conceito de ciclo hidrológico e abordagem das relações humanas com a água adotadas nos trabalhos selecionados.

Autores	Abrangência	Abordagem
Dee et al. (2011)	Reduccionista	Científica
Held & Soden (2006)	Reduccionista	Científica
Mesinger et al. (2006)	Reduccionista	Científica
Bonan (2008)	Holística	Utilitarista
Lohmann & Feichter (2005)	Holística	Utilitarista
Barnett, Adam & Lettenmaier (2005)	Holística	Utilitarista
Rienecker et al. (2011)	Reduccionista	Científica
Ramanathan & Carmichael (2008)	Holística	Científica
Asada (2006)	Reduccionista	Científica
Milly, Dunne & Vecchia (2005)	Holística	Utilitarista
Oki & Kanae (2006)	Holística	Utilitarista

Wild et al. (2005)	Reduccionista	Científica
Huntington (2006)	Holística	Utilitarista

Os trabalhos analisados utilizaram conceitos com aprofundamentos diferentes sobre o ciclo hidrológico, sendo sete com abrangência holística e seis mais reducionistas em relação ao tema. Aqueles classificados como reducionistas estão presentes em publicações voltadas ao estudo de alterações atmosféricas e mudanças climáticas (Wild et al., 2005; Held & Soden, 2006; Mesinger, 2006; Dee et al., 2011; Rienecker et al., 2011). Apenas o trabalho de Asada (2006) trabalha com um conceito mais específico, voltado para o estudo de processos fotossintéticos.

A simplificação do conceito nesses estudos, principalmente naqueles que trabalham com modelagem, está relacionada com a redução de erros nas estimativas, além de permitir um maior controle sobre as variáveis utilizadas (Dee et al., 2011; Rienecker et al., 2011).

O fracionamento em compartimentos de uma determinada temática permite uma compreensão facilitada e simplificada (Vasconcellos, 2003). Nesse sentido, é necessário reduzir as inter-relações existentes para que se possa aprofundar o conhecimento sobre o objeto de estudo em relação às influências físicas que os influenciam.

Em relação aos conceitos mais holísticos, percebe-se uma maior variedade de temáticas abordadas. Além de estudos climáticos (Barnett, Adam & Lettenmaier, 2005; Huntington, 2006), foram inclusos em estudos sobre a vegetação (Bonan, 2008), emissão de partículas (Lohmann & Feichter, 2005; Ramanathan & Carmichael, 2008) e disponibilidade de água (Milly, Dunne & Vecchia, 2005; Oki & Kanae, 2006).

Estes trabalhos discutem o contexto em que essas interações ocorrem e suas relações de causalidade, destacando, em sua maioria, a imprevisibilidade dos efeitos que são originados por essas interações. A aplicação da visão cartesiana sobre o fenômeno permite reduzir sua complexidade e as conseqüentes incertezas, porém, ao utilizar essa visão, perde-se o contexto em que as interações ocorrem, dificultando o reconhecimento de *feedbacks* e sinergias entre as relações (Vasconcellos, 2003).

A inclusão do fator humano sobre o ciclo hidrológico amplia a visão das interações dos meios artificiais e naturais, de forma a identificar as relações de causa e efeito originadas. De acordo com Falkenmark (1997), isso permite o estabelecimento de um modelo conceitual humano-ecológico, que propicia a definição de uma

situação desejada de futuro que atenda as necessidades das futuras gerações e mantenha a qualidade de vida das atuais.

Não obstante à questão de abrangência dos conceitos, verificou-se que as principais abordagens utilizadas em relação à água: a utilitarista; e a científica. A abordagem utilitarista é caracterizada pela consideração da água como um insumo para a realização das atividades humanas, caracterizando a apropriação dos bens naturais pelo ser humano (Bacci & Pataca, 2008). Já a científica relaciona-se a caracterização da água como apenas mais uma substância química, não incluindo seus significados para o bem estar humano e para a vida.

A proporção do uso dessas abordagens foi semelhante a da abrangência do conceito: seis utilitaristas; e sete científicas. Os trabalhos com abordagem científica são aqueles que utilizam conceitos reducionistas do ciclo hidrológico. Isso pode ser explicado pela não consideração das inter-relações entre a água e os sistemas humanos, de forma a não considerar as implicações culturais e abstratas que essas relações podem originar.

Por outro lado, a abordagem utilitarista da água foi verificada, com maior frequência, em estudos com visão holística do ciclo, indicando que a relação do ser humano com a água se manifesta na forma da apropriação deste bem para a satisfação de suas necessidades. Nesse sentido, não se considera a importância da água para a manutenção da vida e seus significados para diversas culturas e crenças.

Desta forma, torna-se necessário promover estudos que busquem compreender e propor meios para restabelecimento dos vínculos entre o ser humano e o meio natural, garantido a proteção tanto de aspectos hidrológico quanto psicológicos que ele possa promover.

A inclusão da percepção social em relação à água em estudos científicos e na tomada de decisão possibilita o resgate de outros simbolismos da água e uma gestão mais eficaz para a resolução de conflitos (Bacci & Pataca, 2008; Gratão, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um contexto geral, as publicações científicas têm apresentado um equilíbrio na utilização de conceitos com diferentes abrangências para representar o ciclo hidrológico. Essa situação propicia tanto o aprofundamento do funcionamento dos componentes do ciclo, como também permite relacioná-lo com outras dimensões da realidade. No que se refere à abordagem, tem-se focado em visões mais reducionistas

sobre a água, o que pode direcionar à intensificação do processo de degradação da mesma.

Conforme discutido, verificou-se que as publicações científicas revisadas neste trabalho utilizam, em proporções semelhantes, conceitos reducionistas e holísticos do ciclo hidrológico, contribuindo tanto para a compreensão das relações mútuas inerentes a este fenômeno quanto para simplificar seu modelo conceitual, facilitando a comunicação entre especialistas e tomadores de decisão.

Além disso, as abordagens das relações humanas com a água adotadas não englobam a variedade de visões que consideram o simbolismo da água como fonte de vida, meio de purificação e centro de regeneração. Nesse contexto, percebe-se que as publicações atuais focam nas relações de apropriação dos recursos hídricos, em detrimento da discussão das inter-relações que promovem a sensação de pertencimento do ser humano no meio natural.

Visões complementares às funções utilitaristas da água devem ser contempladas em abordagens ampliadas, ressaltando-se as de importância holísticas, simbólicas e culturais.

Desta forma, indica-se o desenvolvimento de pesquisas que aprofundem o conhecimento nas interações existentes entre os diversos componentes e dimensões em relação ao ciclo hidrológico, para que o conceito aplicado em futuras publicações seja integrador e proporcione uma efetiva tomada de decisão para a resolução de problemas socioambientais.

REFERÊNCIAS

- Andersen, H. (2001). The history of reductionism versus holistic approaches to scientific research. *Endeavour*, 25(4), 153-156.
- Asada, K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiology*, 141(2), 391-396.
- Bacci, D. D. L. C., & Pataca, E. M. (2008). Educação para a água. *Estudos Avançados*, 22(63), 211-226.
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Bruni, J. C. (1993). A água e a vida. *Tempo social*, 5(1/2), 53-65.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Bechtold, P. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597.
- Falkenmark, M. (1997). Society's interaction with the water cycle: a conceptual framework for a more holistic approach. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 451-466.

- Gratao, L. H. B. (2008). O "olhar" a cidade pelos "olhos" das águas. *Geografia*, 33(2), 199-216.
- Held, I. M., & Soden, B. J. (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, 19(21), 5686-5699.
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1), 83-95.
- Lanna, A. E. (2014). Gestão dos Recursos Hídricos. En C. E. M. Tucci (Ed.). *Hidrologia – Ciência e Aplicação* (pp. 727-768). Porto Alegre: ABRH/EDUSP.
- Levy, Y., & Ellis, T. J. (2006). A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9(1), 181-212.
- Lohmann, U., & Feichter, J. (2005). Global indirect aerosol effects: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 5, 715-737.
- Marengo, J. A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, 22(63), 83-96.
- Mesinger, F., DiMego, G., Kalnay, E., & Mitchell, K. (2006). North American regional reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(3), 343.
- Milly, P. C., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347-350.
- Neuman, Y. (2008). *Reviving the living: Meaning making in living systems* (Vol. 6). Elsevier.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072.
- Østigård, T. (2009). Water, Culture and Identity: Comparing Past and Present Traditions in the Nile Basin Region. BRIC.
- Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, 1(4), 221-227.
- Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., ... & Bloom, S. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, 24(14), 3624-3648.
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Braz. J. Phys. Ther. (Impr.)*, 11(1), 83-89.
- Silveira, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. En C. E. M. Tucci (Ed.). *Hidrologia – Ciência e Aplicação* (pp. 727-768). Porto Alegre: ABRH/EDUSP.
- Vasconcellos, M. J. E. (2003). *Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência*. Papirus Editora.
- Wiegert, R. G. (1988). Holism and reductionism in ecology: hypotheses, scale and systems models. *Oikos*, 267-269.
- Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C. N., Dutton, E. G., ... & Tsvetkov, A. (2005). From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface. *Science*, 308(5723), 847-850.