

GESTÃO ADAPTATIVA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA UM MUNDO EM MUDANÇA

GESTIÓN ADAPTATIVA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PARA UN MUNDO CAMBIANTE

ADAPTIVE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES FOR A CHANGING WORLD

Renato de Oliveira Fernandes ¹; Ticiania M. de Carvalho Studart ²

1. Universidade Regional do Cariri – URCA. E-mail: renato.fernandes@urca.br

2. Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: ticiania@ufc.br

PALAVRAS-CHAVE

Mudança climática; recursos hídricos; incertezas; modelos de gestão.

PALABRAS CLAVE

Cambio climático; recursos hídricos; incertidumbres; modelos de gestión.

KEY WORDS

Climate change; water resources; uncertainties; management models.

RESUMO

Este trabalho discute os desafios e as condições para aplicação da gestão adaptativa como metodologia para lidar com a complexidade e as incertezas das mudanças climáticas nos recursos hídricos. Argumentamos que a gestão adaptativa é uma das principais estratégias para fortalecer a resiliência do sistema de recursos hídricos e que poderá facilitar à adaptação as condições de mudanças globais, especialmente as mudanças climáticas. No entanto, são necessárias condições básicas, como financiamento das ações de monitoramento, atualizações jurídicas, estrutura de governança e arranjos institucionais adequados para criar as condições necessárias para implementação efetiva desse modelo de gestão. Para evitar falhas na implementação da gestão adaptativa apresentamos os elementos ideais para o seu funcionamento e um quadro conceitual para avaliação de cada etapa do ciclo de gestão. O modelo de gestão adaptativa é apresentado como requisito para manter ou fortalecer a resiliência dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos.

RESUMEN

Este documento discute los desafíos y condiciones para la aplicación de la gestión adaptativa como metodología para hacer frente a la complejidad y las incertidumbres del cambio climático en los recursos hídricos. Argumentamos que la gestión adaptativa es una de las principales estrategias para fortalecer la resiliencia del sistema de recursos hídricos y que puede facilitar la adaptación a las condiciones del cambio global, especialmente el cambio climático. Sin embargo, se necesitan condiciones básicas, como la financiación de acciones de monitoreo, actualizaciones legales, estructura de gobernanza y arreglos institucionales apropiados para crear las condiciones necesarias para la implementación efectiva de este modelo de gestión. Para evitar fallos en la implementación de la gestión adaptativa presentamos los elementos idóneos para su funcionamiento y un marco conceptual para la evaluación de cada etapa del ciclo de gestión. El modelo de gestión adaptativa se presenta como un requisito para mantener o fortalecer la resiliencia de los recursos naturales, especialmente los recursos hídricos.

ABSTRACT

This paper discusses the challenges and conditions in the implementation of adaptive management as a methodology to deal with the complexity and uncertainty of the impacts of climate change on water resources. We argue that adaptive management is a key strategy to enhance the resilience of the water management system and may facilitate the adaptation to conditions of global changes. However, basic conditions are required, such as financing of monitoring actions, legal updates, governance structure and institutional arrangements which are appropriate to create the necessary conditions for effective implementation of this management model. The adaptive management model is presented as a requirement to enable the maintenance or strengthening the resilience of natural resources, especially water resources.

1 INTRODUÇÃO

As alterações ocorridas no mundo nas diferentes escalas e setores (STEFFEN et al., 2004; ELLIS, 2011), causadas principalmente pelo crescimento populacional, globalização (GIDDENS, 2010; BECK, 2010) e mudanças climáticas (IPCC, 2013) evidenciou que estamos em um período de rápidas mudanças globais. Como consequência, os recursos naturais têm sofrido grande pressão da ação humana (ROCKSTRÖM et al., 2009a; 2009b MEA, 2005).

No contexto atual, o bom gerenciamento dos recursos naturais se tornou um grande desafio. Especialmente os recursos hídricos, o seu gerenciamento com base apenas em informações históricas e modelos convencionais, como os de comando e controle (HOLLING; MEFFE, 1996), se mostram insuficiente (PAHL-WOSTL, 2010; GLEICK, 2003). Além disso, o suprimento de informações com o uso de modelos de impacto para projeção de diferentes variáveis em longas escalas de tempo, como décadas, ainda gera resultados incertos (STAKHIV, 2011).

Com as mudanças climáticas, por exemplo, a água sofrerá grandes alterações nas diferentes etapas do seu ciclo (IPCC, 2013). As vazões efluentes aos reservatórios e rios deverão se alterar. Assim, são previstos muitos impactos decorrentes das alterações do clima. O tratamento de água, por exemplo, precisará ser revisto e as abordagens de avaliação e conservação dos ecossistemas aquáticos necessitarão de reavaliação por causa das mudanças quantitativas e dos processos químicos, físicos e biológicos (TUNDISI; TUNDISI, 2012). Além disso, devido ao aumento da demanda por água, os conflitos pelo seu uso poderão ser amplificados.

Nesse novo contexto, a água apresenta uma nova dinâmica e abordagens de gestão dos recursos hídricos que pressupõe a estacionaridade estatística das séries hidrológicas (MILLY et al., 2008; LINS, COHN, 2011; MILLY et al. 2015) e rejeita a complexidade da interação entre o sistema social, ecológico e econômico parecem não indicar o melhor caminho. Apesar dos dados históricos terem um papel fundamental na compreensão dos processos hidrológicos e na avaliação de modelos, extrapolar os dados do passado para o futuro pode trazer poucos benefícios no contexto de um mundo com rápidas mudanças globais.

Para lidar com a complexidade do mundo atual e futuro, muitos autores (ex. WAGENER, et al., 2010; UN-WATER, 2010; GLEICK, 2000; PAHL-WOSTL, 2007 e 2008; HUNTJENS et al., 2012) recomendam o aperfeiçoamento do sistema de governança e gestão voltado para os desafios das mudanças globais, especialmente para as mudanças climáticas. Os ajustes no sistema de gestão de recursos hídricos visa aumentar a resiliência e prover flexibilidades e robustez na tomada de decisão (ENGLE, 2011). Esta nova agenda de intervenções propõe (ROCKSTRÖM et al, 2014); (a) novas abordagens para a governança e gestão adaptativa da água (b) novas perspectiva no papel da água no desenvolvimento humano, onde novas perturbações exigem um foco forte na água, na gestão dos ecossistemas e na resiliência socioecológica, (c) promoção de inovações e melhorias na gestão integrada da água e do solo que proporcione o aumento na produtividade agrícola e na resiliência socioecológica.

Para o sucesso dessas intervenções no sistema de gestão dos recursos hídricos, grupos de especialistas (ex. Rockström et al. 2014) destacam a necessidade de reconhecer os recursos hídricos como fonte da resiliência de outros sistemas, compreendendo a influência que a água exerce sobre outras variáveis de mudança, na estabilidade e capacidade de adaptação das sociedades e biomas do planeta.

2 O FUTURO INCERTO DOS RECURSOS HÍDRICOS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

Os impactos da ação humana não ocorrem separadamente, podem interagir entre si e causar efeitos diversos nos sistemas ambientais, sociais e econômicos (HOLLING, 2001; FOLKE et al. 2011). Em recursos hídricos, por exemplo, as mudanças previstas na temperatura devem alterar os padrões de evaporação e precipitação com possibilidades de mudar o regime de vazões e o volume armazenado nos reservatórios. Assim, as alterações nos processos hidrológicos influenciarão as atividades econômicas como a irrigação e a indústria. Além disso, os impactos serão sentidos em outras áreas como nos serviços ambientais, no tratamento de esgoto, no abastecimento de água, na biodiversidade e em áreas não previstas.

As implicações socioeconômicas e ambientais das mudanças climáticas são várias. Além disso, existe uma cascata de incertezas que se propaga e se acumula nos estudos impactos (WILBY; DESSAI, 2010) e que não podem ser evitadas ou eliminadas (CHEN; BRISSETTE; LECONTE, 2011), como, por exemplo, as incertezas dos cenários de precipitação apresentadas pelos modelos atmosféricos (HAWKINS; SUTTON, 2011).

Alguns autores destacam o potencial de estratégias de adaptação que sejam robustas as diferentes condições do clima futuro (ex. LEMPERT, SCHLESINGER, 2000; HALLEGATTE, 2009; WILBY, DESSAI, 2010; DESSAI, HULME, 2007; GARCÍA et al., 2014). Estratégias robustas são insensíveis as incertezas e classificadas como (HALLEGATTE, 2009; WILBY, DESSAI, 2010; CARLSON, DOYLE, 2002): (i) de baixo arrependimento, uma vez que funcionam em uma ampla gama de climas futuros; (ii) reversíveis, pois mantêm um custo mínimo quando se está errado quanto à decisão; (iii) com margens de segurança, permitindo modificações nos projetos de infraestrutura atual ou de fácil adaptação; (iv) estratégias *Soft*, uma vez que evitam intervenções de engenharia de alto custo e institucionaliza o planejamento de longo prazo; (v) redução dos horizontes de tempo da decisão de investimentos com estratégias flexíveis e (vi) conscientes das ações a serem tomadas pelas partes envolvidas.

A maioria dos estudos compartilha a ideia que a gestão ambiental para um mundo com rápidas mudanças, deve ter; colaboração entre os diferentes atores, instituições flexíveis e organizadas em diferentes escalas (policêntricas), promoção do aprendizado e respostas adaptativas através de um

processo contínuo de reavaliação e retroalimentação do modelo de governança e gestão (DIETZ, OSTROM; STERN, 2003; FOLKE et al. 2005).

As recomendações com os mecanismos e as condições para navegar na mudança são apresentadas por diferentes autores (ex. BERKES et al. 2003; OLSSON et al. 2006; GALAZ et al. 2008 e FOLKE et al. 2005). Tais mecanismos reconhecem os sistemas sociais e ecológicos como sistemas complexos adaptativos (LEVIN, 1999) que interagem em ciclos nas diferentes escalas espaciais e temporais (GUNDERSON; HOLLING, 2002).

Em um contexto de rápidas mudanças globais requer a tomada de decisão com informações incompletas e incertas (POLASKY et al. 2011). As decisões geralmente dependem do uso de diferentes métodos, ferramentas e da disponibilidade de novas informações (LEMOS, 2015). Em mudanças climáticas, as informações para o futuro são apresentadas por cenários que implicam na probabilidade de sua ocorrência (IPCC, 2013), além das possíveis surpresas que podem surgir fora desses cenários (ex. furacões, tempestades, crises políticas e econômicas).

Modelos de gestão baseadas na teoria da resiliência (HOLLING, 1973; 1978) consideram os limiares críticos dos ecossistemas (FOLKE et al. 2004; SCHEFFER, 2009; SCHEFFER et al. 2009), se adaptam as novas condições ou se transformam em um novo estado ou regime quando as condições são insustentáveis (GUNDERSON, HOLLING, 2002; WALKER et al., 2004) podendo reduzir a vulnerabilidade das populações em um futuro incerto.

2.1 Resiliência de sistema de recursos hídricos

A água exerce um papel fundamental na resiliência dos sistemas socioecológicos por interligar vários processos essenciais para a manutenção da vida no planeta. Dessa forma, a água é responsável por oferecer vários serviços ecossistêmicos e regular o sistema climático (ROCKSTRÖM et al. 2014).

Considerando a importância da água na construção ou manutenção da resiliência dos sistemas socioecológicos, Rockström et al. (2014) destacam três aspectos: (1) persistência – como a habilidade de um sistema de persistir em um dado estado, ou seja, quanto de perturbação ou estresses o sistema é capaz de suportar sem mudar suas funções e estrutura; (2) adaptabilidade (ou capacidade adaptativa) – como a capacidade de se adaptar, em um determinado estado, aos estresses e perturbações; e (3) transformabilidade – como a capacidade de se transformar em um novo estado após crises.

A definição anterior facilita a concepção de estratégias ou modelos de adaptação para enfrentar crises hídricas porque avança no conceito tradicional de resiliência da engenharia (HASHIMOTO,

1982) e concorda com a resiliência ecológica (HOLLING, 1973) por considerar a transformação do sistema mesmo após a perda da estabilidade.

Um sistema socioecológico resiliente deve ser capaz de navegar na mudança, se auto-organizar e se adaptar as novas condições e estados. A resiliência de sistemas socioecológicos também é descrita como a capacidade de um sistema absorver perturbações ou choques e ainda manter suas funções fundamentais, estruturas, identidade e *feedbacks* (WALKER et al. 2004). Essas características tornam o sistema mais robusto (ou estável) e flexível (ou com capacidade de adaptar e se transformar).

Ao ocorrer mudança no sistema de recursos hídricos para um estado indesejado, ou seja, para uma condição que resulte em crise de recursos, os gestores possuem três classes gerais de resposta à crise (GUNDERSON, 2000). A primeira é não fazer nada e esperar para ver se o sistema retorna para um estado aceitável. A segunda opção é gerenciar ativamente o sistema para tentar levar para um domínio de estabilidade desejável. A terceira e última opção é admitir que o estado alterado do sistema é irreversível e se adaptar.

A mudança de estado ou regime ocorre devido à perda ou redução da resiliência. Quando a mudança é de estado dizemos que houve perda da resiliência específica e quando a mudança é de regime dizemos que houve perda da resiliência geral. Assim um sistema com grande resiliência geral poderá mudar de estado constantemente, mas isso pode ocorrer dentro de um mesmo regime.

Gerenciar a resiliência de um sistema de recursos hídricos significa tentar evitar que este sistema mude ou permaneça em um estado ou regime indesejável. Para evitar as armadilhas da gestão (GUNDERSON; HOLLING, 2002), que podem “prender” o sistema em um estado ou regime indesejável (ou até irreversível) e que dificulta sua adaptação, é necessário conhecer as principais variáveis ou fatores que podem gerar a perda da resiliência.

A erosão lenta dos principais processos que controlam um sistema pode provocar mudanças para um regime, muitas das vezes irreversível. Em ecossistemas e na economia, por exemplo, isso pode ocorrer com a redução da diversidade, pela diminuição de espécies ou grandes dependências econômicas, respectivamente (GUNDERSON; HOLLING, 2002).

Na gestão da qualidade da água, por exemplo, as variáveis que mudam lentamente com o tempo, como os fertilizantes provenientes da poluição difusa da irrigação, podem ser responsáveis por reduzir a resiliência do sistema aquático. Apesar da mudança de estado ser muitas das vezes “disparados” por fatores específicos (ou gatilhos) como, por exemplo, uma mudança brusca de temperatura ou redução

da vazão de diluição em um rio, a causa principal do “salto” para um novo estado ou regime indesejado (por exemplo, um corpo de água que muda do estado oligotrófico para eutrófico) pode ter sido determinada por variáveis que mudaram lentamente ao longo do tempo, nesse caso o aporte de nutrientes no corpo de água.

Uma sequência de perturbações e *feedbacks* negativos, mesmo que de baixa intensidade, também pode levar um sistema, que está aparentemente em um estado ou regime estável e desejável, mudar para outro indesejável. Dessa forma, o sistema que apresentava certa estabilidade relativa não teve a resiliência suficiente para evitar a mudança. Em recursos hídricos um sistema em condição desejável poderá ser exemplificado como um sistema de reservatórios com alta disponibilidade hídrica ou um rio com água limpa.

Ao manter ou aumentar a resiliência de um sistema estaremos ao mesmo tempo se preparando para as surpresas e mudanças futuras. No caso especial dos recursos hídricos, manter estoques de água em reservatórios, reduzir desperdícios de água e proteger os mananciais da poluição (pontual ou difusa) é um exemplo de preparação para mudança do clima futuro.

Neste sentido, Rockström et al. (2014) colocam a água no centro da discussão da sustentabilidade global pontuando as múltiplas funções e serviços que a água exerce no funcionamento da biosfera. Destacam ainda, que para conseguir a sustentabilidade global e, portanto, a resiliência, é necessário um modelo de governança e de gestão da água adequada para uma nova era de rápidas mudanças globais influenciada pela ação humana, definida como Antropoceno, que explora os recursos naturais de forma insustentável.

Embora existam incertezas do que pode ocorrer com os recursos hídricos no futuro, esperar para ver a possível resposta do sistema não é uma decisão apropriada, uma vez que os impactos podem ser desastrosos. A atitude recomendada inclui; avaliar o estado atual do sistema (através de monitoramento e modelagem por exemplo), criar cenários para os estados futuros e gerenciar sua resiliência com mecanismos para levar para um estado ou regime desejado ou se adaptar as novas condições.

A gestão da resiliência dos sistemas de recursos hídricos depende também da capacidade institucional para responder aos *feedbacks* ambientais, aprender e armazenar conhecimento e estar preparado para lidar com a mudança. Os desafios nessas condições incluem, reconhecer as mudanças e se adaptar de tal maneira que não elimine opções futuras (FOLKE et al. 2002; BARNETT; O'NEILL, 2010).

2.2 Princípios básicos para construção da resiliência

A abordagem sobre “resiliência de sistemas socioecológicos” enfatiza a necessidade de entender e gerenciar a mudança, particularmente a mudança inesperada ou as surpresas (BIGGS et al, 2015). Um entendimento fundamental do conceito de resiliência é que a humanidade é parte da biosfera e que as ações humanas determinam a dinâmica dos ecossistemas em diferentes escalas (Folke et al. 2004). Por outro lado, os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas são essenciais para a sobrevivência da humanidade.

Os sistemas socioecológicos, como os de recursos hídricos, são caracterizados como sistemas não-lineares, que mudam constantemente e podem se adaptar as mudanças (BERKES et al. 2003). A capacidade de se auto-organizar e se adaptar, ou seja, construir a resiliente para lidar com a mudança depende de alguns princípios básicos.

Folke et al. (2003) apresentaram os princípios essenciais para construção da resiliência de sistemas socioecológicos que foram atualizadas por Biggs et al. (2012 e 2015). Tais princípios incluem: manter a diversidade e redundância (P1), gerenciar a conectividade (P2), gerenciar variáveis lentas e feedbacks (P3), fomentar o pensamento baseado em sistema complexo adaptativo (P4), encorajar o aprendizado (P5), aumentar a participação (P6) e promover a governança policêntrica (P7).

Os três primeiros princípios (P1 a P3) são propriedades chaves dos sistemas socioecológicos, enquanto que os outros (P4 a P7) são atributos do sistema de governança. Uma breve descrição desses princípios é apresentada a seguir, tendo como base Biggs et al. (2012 e 2015).

O primeiro princípio (manter a diversidade e redundância – P1) considera que sistemas com diferentes componentes, ou diversos, (ex. espécies diferentes e várias fontes de conhecimento) geralmente são mais resilientes que sistemas com poucos componentes (STIRLING, 2007). A diversidade ecológica e social prover diferentes opções para responder a mudança e lidar com as incertezas e surpresas. A redundância (ROSENFELD, 2002), ou as formas diferentes de realizar uma mesma função, oferece um tipo de “seguro” permitindo que alguns componentes possam compensar as perdas ou falhas de outros.

A gestão da conectividade (P2) é necessária, pois os sistemas altamente conectados ganham proteção contra alguns tipos de perturbações devido a sua eficiência no uso de recursos e na execução de alguns processos, mas por outro lado, tais sistemas podem facilmente entrar em colapso uma vez que, perturbações para a qual o sistema não está preparado, pode se propagar rapidamente em todo o

sistema. O gerenciamento da conectividade busca identificar a melhor configuração que garanta o funcionamento do sistema, apesar de muitas vezes ser redundante ou ineficiente.

Gerenciar variáveis lentas e *feedbacks* são importantes porque em sistemas socioecológicos existem diferentes maneiras das variáveis se conectarem e interagirem uma com as outras (GUNDERSON; HOLLING, 2002). As diferentes configurações de variáveis determinam os diversos serviços ambientais. Entender como as variáveis lentas e os retornos (*feedbacks*) afetam a estabilidade do sistema é um ponto chave, pois a alteração de regime pode representar também a perda de algumas funções do sistema.

Pensar nos sistemas socioecológicos como um sistema complexo adaptativo - P4 (HOLLING, 2001) não melhora diretamente a resiliência, mas reconhecer estes sistemas como uma rede conectada, interdependente e imprevisível é o primeiro passo para ações de gestão que pode fomentar a resiliência.

Encorajar a aprendizagem (P5) é um princípio básico pelo fato de que o conhecimento dos sistemas socioecológicos é incompleto e que incertezas, surpresas e mudanças são partes da gestão. A aprendizagem contínua valoriza os diferentes tipos e fontes de conhecimento e encoraja a implantação de experimentos. Assim, deve-se focar em metodologias que usam a aprendizagem como parte da tomada de decisão. É necessário reconhecer que a aprendizagem depende da confiança, instituições e relacionamentos entre os atores (REED et al, 2010).

Ampliar a participação (P6) através do engajamento ativo das partes interessadas ajuda a construir confiança e o relacionamento necessário para legitimar o conhecimento e as autoridades durante o processo de tomada de decisão (STRINGER et al. 2006).

A promoção da governança policêntrica – P7 (OSTROM, 2005; MCGINNIS, 2000) contribui para resiliência uma vez que a estrutura policêntrica facilita a implementação de outros princípios, principalmente a redundância, conectividade, aprendizagem e participação. A policentricidade refere-se a um sistema de governança com múltiplas autoridades de governo em diferentes escalas. Estes sistemas apresentam independência de cada unidade de governança em relação a uma área geográfica específica ou domínio de autoridade e podem se ligar horizontalmente em questões comum, além de ser aninhado verticalmente em unidades de governança mais amplas.

Os setes princípios apresentados nos parágrafos anteriores foram elaborados por um grupo de especialistas que exploram a dinâmica dos sistemas socioecológicos (BIGGS et al., 2012) e é uma

revisão de conceitos já desenvolvidos na literatura e avança em outros conceitos emergentes. A determinação desses princípios foi obtida através de consulta a uma rede de pesquisadores com o uso da metodologia Delphi (LANDETA, 2006).

Os autores reconhecem a necessidade de avanços em pesquisas para definir melhor como cada princípio deve ser aplicado e qual a melhor combinação entre eles. No entanto, é possível estimar que, por exemplo, a construção da resiliência dependa da interação de mais de um dos princípios citados. Dessa forma, a governança policêntrica (P7) e aprendizagem (P5), por exemplo, dependem do capital social e confiança desenvolvido com a participação (P6). Além disso, a conectividade (P2) pode não fortalecer a resiliência na ausência da diversidade (P1). De modo geral, a participação é um pré-requisito para aprendizagem e para a governança policêntrica. Enquanto que a diversidade e a redundância precisam agir em combinação com a conectividade para aumentar a resiliência (BIGGS et al., 2012).

3 GESTÃO ADAPTATIVA (GA): UM MODELO PARA GESTÃO DA RESILIÊNCIA

A Gestão Adaptativa - GA (HOLLING, 1978; WALTERS, 1986) surgiu como proposta para gerenciar a resiliência ecológica (HOLLING, 1973) e parte do pressuposto que a nossa capacidade de prever o futuro dos recursos naturais é limitada ou incompleta.

Na GA ao invés de gerenciar para apenas um estado, considerado como ideal e único, é possível fazer experimentos de gestão com um conjunto de estados (ou cenários aceitáveis e possíveis) reduzindo a possibilidade de colapso ou falha do sistema quando surpreendido por perturbações ou crises. Os resultados dos experimentos alimentam ciclos de aprendizagem (TIPPETT et al., 2005; BLACKMORE; ISON; JIGGINS, 2007) e possibilitam mudanças e avanços sempre que novas informações (formais ou informais) estiverem disponíveis. Nesse modelo de gestão é possível aprender a gerenciar melhor sistemas complexos e incertos (MELIS; WALTERS; KORMAN, 2015) durante o processo de gestão.

A gestão adaptativa aplicada aos recursos hídricos (GARH) aparece na literatura na década de noventa (KOSHIDA, 1996), mas se tornou popular a partir dos anos dois mil (PAHL-WOSTL, 2007; MYSIAK et al, 2010). Esse paradigma de gestão é apresentado na maioria das vezes como uma proposta para melhorar o atual modelo de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos – GIRH (GWP, 2007).

A GARH visualiza as políticas de recursos hídricos como suposição ou hipóteses e as ações de gestão testam as hipóteses através experimentos (WALTERS, 1986; RESILIENCE ALLIANCE, 2010). Essa abordagem busca continuamente preencher as lacunas existente entre o conhecimento científico e as ações (RESILIENCE ALLIANCE, 2010) com o objetivo de obter um sistema de gestão de recursos hídricos resiliente as perturbações que o futuro poderá apresentar, por exemplo, com o desdobramento da mudança climática.

A GARH é um processo de melhoria da política e das práticas de gestão através do aprendizado sistemático (PAHL-WOSTL et al., 2010). Assim, essa metodologia é um processo pelo o qual as políticas de recursos hídricos mudam em resposta aos novos conhecimentos obtidos do sistema gerenciado (LOUCKS et al., 2005). Um pressuposto da GARH é que o sistema de recursos hídricos apresenta limiares ou inflexão, certo grau de incertezas e elevados níveis de imprevisibilidade.

3.1 Uma perspectiva operacional da gestão adaptativa

A tomada de decisão em recursos naturais caracteriza-se por múltiplos objetivos, sistema dinâmico e incertezas sobre as ações de gestão. Assim, a gestão envolve não só prever como o sistema deverá responder as ações, mas também as opções disponíveis, os resultados desejados, os riscos a ser tolerado e a melhor forma de escolher entre um conjunto de alternativas (WILLIAMS et al. 2009). Diante da complexidade que envolve a tomada de decisão e a necessidade de se adaptar as condições do clima futuro, é importante identificar estratégias que apresentem um bom desempenho, não necessariamente o ótimo, sobre uma gama de condições sociais, ambientais e climáticas ao invés de definir apenas um conjunto de metas.

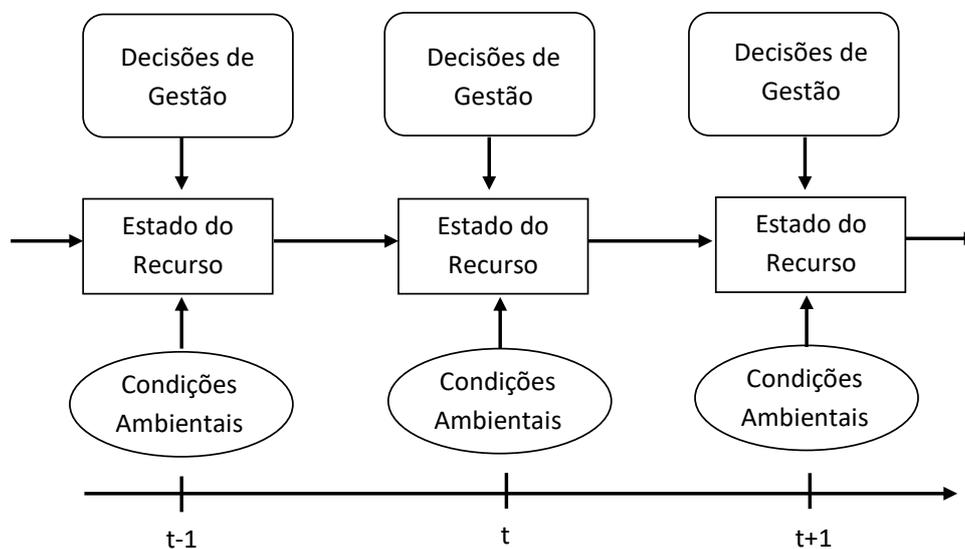
A GA está moldada dentro do contexto da tomada de decisão estruturada. Nesse contexto as principais características são (WILLIAMS et al. 2009): (a) envolvimento das partes interessadas na tomada de decisão, (b) identificar o problema a ser resolvido, (c) especificar os objetivos e compromissos que capturam os valores das partes interessadas, (d) identificar as várias alternativas de decisão, (e) especificar suposições sobre estruturas de recursos e funções, (f) projetar as consequências de ações, (g) identificar as principais incertezas, (h) tolerância a riscos e (i) contabilizar as diretrizes legais e restrições, além dos impactos futuros das decisões do presente.

A GA usa as principais características da tomada de decisão estruturada para superar a inércia da gestão e mediar vários interesses das partes envolvidas. A principal diferença entre a tomada de decisão estruturada e a GA é que na segunda existe um fluxo de informações entre os participantes

que possibilita a aprendizagem sobre a dinâmica do sistema através das ações de gestão. Como o estado dos recursos naturais depende das decisões de gestão e das condições ambientais ao longo do tempo (Figura 1), esta condição gera oportunidade para melhorar o sistema de gestão através do processo de aprendizagem (WILLIAMS, 2011).

A GA é um processo contínuo que combina avaliação com ações de gestão com o objetivo de aprender sobre a complexidade e a dinâmica do sistema, bem como alcançar objetivos sociais. Geralmente as ações de gestão são avaliadas através de indicadores em um processo que promove o aprendizado. Assim a GA se desenvolve como um processo iterativo entre a compreensão, avaliação e funcionamento do sistema e as metas de gestão (GUNDERSON, 2015).

Figura 1 - Dinâmica do sistema de recursos naturais com mudanças influenciadas pelas condições ambientais e ações de gestão.



Fonte: WILLIAMS (2011)

O diagrama circular apresentado na figura 2 (WILLIAMS; SZARO; SHAPIRO, 2009) é um resumo do diagrama original de Holling (1978) e representa o processo contínuo da GA. A fase inicial é a avaliação e definição do problema, seguido pelo projeto, implementação, monitoramento, avaliação dos resultados e ajustes (WILLIAMS, 2011). O enquadramento do problema com o envolvimento dos participantes, objetivos, alternativas de gestão, modelos e planos de monitoramento antecede a fase de avaliação do problema.

Figura 2 - Ciclo da gestão adaptativa.



Fonte: adaptado de WILLIAMS; SZARO; SHAPIRO, 2009.

Um resumo de cada componente é apresentado a seguir (Williams, 2011b):

- **Envolvimento das partes interessadas:** um grande esforço deve ser feito para identificar e engajar apropriadamente os participantes de forma que todas as fases do processo de GA sejam acessíveis e transparentes a eles; os participantes devem se esforçar para decidir o escopo, objetivos e alternativas de gestão para aplicação da GA; as partes interessadas devem se comprometer com o processo de ajustes de estratégia de gestão ao longo do tempo com base no estado dos recursos e a aprendizagem; as organizações participantes devem ser incentivadas a dedicar tempo e energia para GA de recursos em longo prazo; as partes interessadas devem comprometer recursos para o monitoramento, avaliação e tomada de decisão.
- **Objetivos:** os objetivos desempenham um papel crucial na avaliação do desempenho e precisam ser claros, mensurável e acordado no início; os objetivos precisam incorporar os valores sociais, econômico e ecológico dos participantes e refletir o valor da aprendizagem ao longo do tempo; para ser útil como guia para tomada de decisão e avaliação os objetivos devem ser específicos, sem ambiguidades, mensuráveis com dados de campo, orientado aos resultados e aplicável sobre o cronograma.
- **Alternativas de gestão (hipóteses):** ações alternativas geralmente focam em alterar a condição que se encontra os recursos ou nos processos; um conjunto de ações disponíveis deve ser projetado para promover a aprendizagem; as alternativas devem ser explícitas e documentadas e as partes envolvidas devem participar na identificação de alternativas.

- **Modelos:** modelos em GA devem caracterizar o comportamento do sistema e as respostas das ações de gestão; os modelos devem incorporar diferentes hipóteses sobre como o sistema funciona e como ele responde a gestão; os modelos devem capturar as incertezas chaves (ou divergências) sobre os processos dos recursos naturais e efeitos de gestão.
- **Planos de monitoramento:** o plano de monitoramento deve ser projetado para estimar o estado do sistema e outros atributos necessários para a tomada de decisão e avaliação; o plano deve promover aprendizado através da comparação das medições em relação às previsões dos modelos; o plano deve ser eficiente e ter custos mínimos.
- **Tomada de decisão/implementação:** a seleção das ações de gestão é feita a partir de um conjunto de alternativas possíveis; a seleção de uma ação de gestão é guiada por objetivos, que são usados para avaliar as alternativas e identificar a ação que melhor contribui para atingir os objetivos; a ação mais apropriada depende do estado dos recursos e o nível de compreensão da dinâmica dos recursos. O processo de gestão é ajustado ao longo do tempo de acordo com as mudanças nas condições dos recursos e na evolução do conhecimento.
- **Monitoramento:** o monitoramento tipicamente ocorre após ações de intervenções de gestão; o estado dos recursos e outros indicadores chave de impactos são estimados com dados de monitoramento; as estimativas baseadas em dados do monitoramento são usadas para avaliar o impacto da gestão e informar ao tomador de decisão sobre aspectos das decisões futuras; como a quantidade de dados proveniente do monitoramento aumenta ao longo de determinada aplicação, as informações sobre os processos do sistema também aumenta.
- **Avaliação:** avaliação inclui estimativa de parâmetros, comparação e priorização de alternativas de gestão; comparação de respostas previstas com as respostas reais que serão usadas para atualizar a compreensão dos impactos de gestão; comparação e ranking de resultados previstos para alternativas de gestão que será utilizado na seleção de ações de gestão; comparação dos resultados desejados e reais que será usada para avaliar a eficácia da gestão.

Associado a cada passo da GA (figura 2) existem elementos ideais para o seu funcionamento que estão apresentados na tabela 1 (MURRAY; SMITH; MARMOREK, 2011).

Embora cada componente da GA ser descrito de forma sequencial, eles fazem parte de um ciclo iterativo que ao final de cada avaliação pode retornar a qualquer componente anterior. Especialmente,

a fase de tomada de decisão/implementação, monitoramento e avaliação está contida em um laço (*loop*) de verificações. Assim, após decidir sobre as ações de gestão (tomada de decisão) os dados provenientes do monitoramento são usados para avaliar impactos e atualizar a compreensão da dinâmica do sistema (Figura 3).

Figura 3 - Fase interativa da gestão adaptativa entre o monitoramento, avaliação e as ações de gestão.



Fonte: Williams, 2011

Este processo ocorre em círculos de aprendizagem que amplia o conhecimento sobre o sistema que temos (pois reconhece o estado atual dos recursos através da avaliação), o sistema que queremos ter (pois compartilha os objetivos entre as partes interessadas) e o sistema que podemos ter (pois reconhece o potencial e as limitações inerentes ao processo de gestão).

Tabela 1 - Condições ideais da GA por fase.

Fases do ciclo da GA	Elementos ideais
Avaliação do problema	Reconhecer claramente o estado da gestão, objetivos e metas
	Rever a existência de informação para identificar incertezas crítica e questões de gestão
	Construir modelos conceituais
	Articular hipóteses a ser testadas
	Explorar ações alternativas de gestão
	Identificar indicadores mensuráveis
	Identificar limites espaciais e temporais
	Explicitar as premissas de estado
	Definir antecipadamente como o que será aprendido poderá ser usado
Envolver as partes interessadas, como os cientistas e gestores.	
Projeto	Uso da gestão adaptativa ativa
	Quando e onde possível, incluir contrastes, replicações e controles
	Obter consultoria estatística com base na análise de dados existentes
	Prever os resultados esperados e o nível de riscos envolvidos
	Considerar os próximos passos sob resultados alternativos
	Desenvolver um plano de gestão de dados
Desenvolver um plano de monitoramento	

	Desenvolver um plano formal de gestão adaptativa para todos os passos seguintes
	Revisão por pares do projeto
	Obter financiamento seguro
	Envolver as partes interessadas
Implementação	Implementar diferentes intervenções de gestão
	Implementar como projetado (ou documentar as mudanças inevitáveis)
	Monitorar a implementação
Monitoramento	Implementar o plano de monitoramento como foi concebido
	Garantir um cenário base (<i>baseline</i>) antes do monitoramento
	Garantir a eficácia da validação do monitoramento
Avaliação	Comparar os resultados do monitoramento com os resultados previstos
	Comparar os resultados do monitoramento com premissas, incertezas críticas e hipóteses
	Comparar os resultados atuais com as previsões de modelos
	Receber consultoria estatística ou análises
	Fazer análise de dados e manter-se na produção de dados de monitoramento
Ajuste	O aprendizado obtido deve ser documentado
	Comunicar o que foi aprendido para os tomadores de decisão e os outros participantes
	Ações ou instrumentos de gestão devem mudar em função do que foi aprendido

Fonte: MURRAY; SMITH; MARMOREK, 2011

Ocorrência de falhas em alguma das fases do ciclo de GA (Figura 2) pode comprometer as fases seguintes e, portanto, os objetivos do projeto de gestão. Para facilitar a avaliação do processo de GA e identificar as fases críticas do projeto, Chaffi e Gosnell (2015) propuseram um quadro conceitual (Tabela 2) que revisa cada fase do ciclo de gestão.

Tabela 2 - Quadro conceitual para avaliação do ciclo de gestão adaptativa.

Fases do ciclo de GA	Revisão qualitativa	Revisão quantitativa	Revisão externa por pares (<i>peer-review</i>)
Avaliação do problema	Todos os participantes relevantes estão envolvidos ou engajados? Existe um cenário base (<i>baseline</i>) com informações claras e abrangentes?	Mapeamento das partes interessadas; mapa de cenário de gestão para determinar os indivíduos e grupos que possam ser afetados por uma decisão de gestão; informar mapa através de entrevistas e/ou análise espacial.	Revisar os dados básicos dos cenários de gestão.
Projeto	Os objetivos foram explícitos, priorizados, compartilhados e mensuráveis? As alternativas de gestão são hipóteses testáveis?	Visão pública e das partes envolvidas dos objetivos; modelo alternativo de gestão para determinar os resultados potenciais; desenvolver indicadores mensuráveis	Revisar os modelos usados.

		para medir o progresso em direção as metas.	
Implementação	O programa se transformou em ação? Os experimentos foram realizados com o rigor do método científico?	Contabilizar a quantidade e duração dos experimentos finalizados. Qual é a quantidade de financiamento comprometido com políticas experimentais?	Rever os procedimentos para implementação das políticas como experimentos. Existiu um controle, eles foram replicados?
Monitoramento	Quem é responsável pelo monitoramento? Existem benefícios ou perigos na responsabilidade conjunta do monitoramento? Existe financiamento garantido para todo o cronograma de monitoramento?	Determinar a consistência do programa de monitoramento incluindo a supervisão da agência, financiamento e qualquer interrupção durante o acompanhamento.	Revisão dos procedimentos de monitoramento. Eram as melhores práticas possíveis para a duração de tempo?
Avaliação	Alguma nova informação foi aprendida? Os resultados correspondem ao previsto?	Quantificar as novas informações aprendidas. Integrar em modelos. Quantitativamente compare dados observados com dados previstos.	Rever os dados coletados para garantir interpretações precisas.
Ajustes	Os ajustes feitos nos experimentos (políticas de gestão) foram à luz de novas informações aprendidas? Os objetivos propostos ainda fazem sentido considerando os novos conhecimentos ou devem ser ajustados?	Mensurar o número e tamanho dos ajustes feitos nas políticas de gestão.	Rever os ajustes das políticas de gestão como interpretações precisas do monitoramento, bem como as iterações do ciclo de GA.

Fonte: Chaffi e Gosnell (2015)

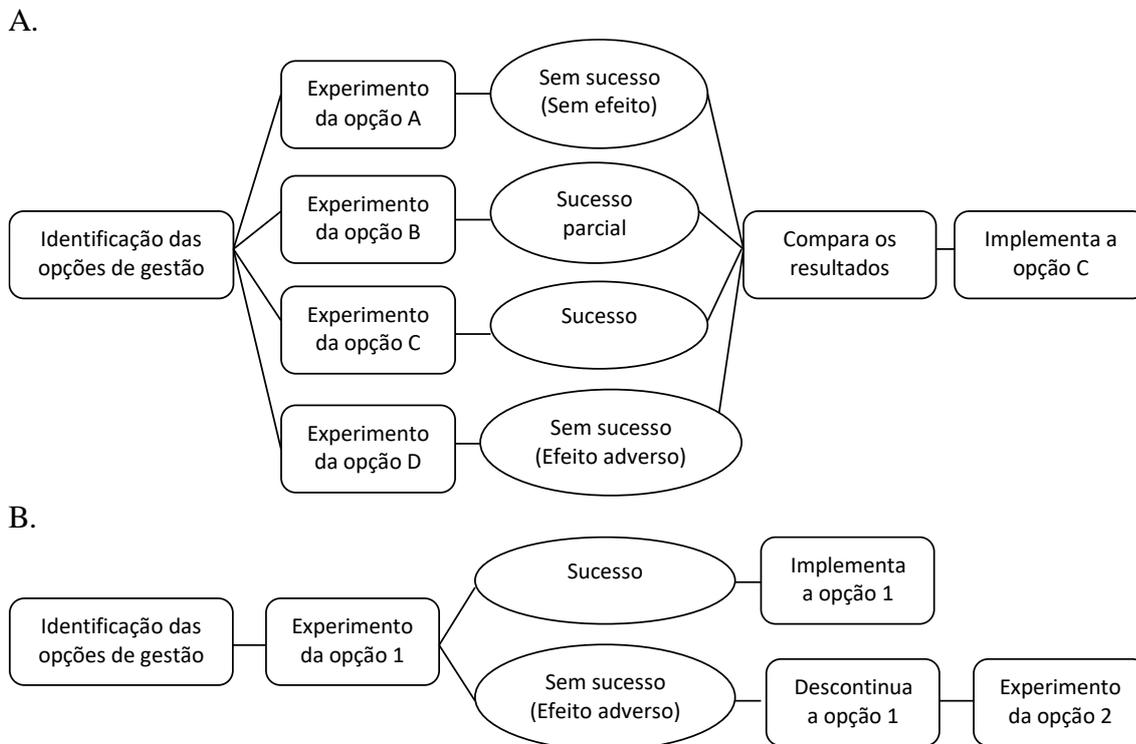
O quadro conceitual da tabela 2 sugere três tipos de revisão: (a) revisão qualitativa, que inclui perguntas para descrever e comparar detalhes do projeto; (b) revisão quantitativa, que inclui métricas para medir o grau relativo da fase de conclusão e (c) revisão de como e o que deve ser revisto com ajuda de especialistas externos (revisão externa por pares, "peer-review").

Johnson (1999) resume que o processo de GA nas agências de gestão, tipicamente começa com a reunião das partes interessadas em oficinas (*workshops*) para discutir o problema de gestão e os dados disponíveis e em seguida o desenvolvimento de modelos conceituais que expressem o entendimento coletivo de como o sistema funciona. Os modelos são usados para avaliar a significância da ausência de dados, incertezas e prever os efeitos das ações de gestão.

Os participantes desenvolvem um projeto de gestão que é constantemente atualizado com os dados obtidos do monitoramento. Na gestão adaptativa ativa (Figura 4A) diversos experimentos de gestão

são realizados e comparados simultaneamente, enquanto que na gestão adaptativa passiva (Figura 4B) uma única opção de gestão é testada e avaliada por vez (Allen et al., 2011).

Figura 4 - Processo de identificação e implementação das opções de gestão no modelo de gestão adaptativa ativa (A) e passiva (B).



Fonte: adaptado de Allen et al., 2011.

Alguns autores (ex. PAHL-WOSTL et al. 2012; GARMESTANI; BENSON, 2013) advertem que a GA não é uma solução adequada para todos os problemas ambientais. Por outro lado, em problemas ambientais complexos, de grande escala e incertezas consideráveis os modelos de gestão que se baseiam em um único estado de equilíbrio (CADDY, 1996) devem não funcionar adequadamente.

Assim, definir o uso apropriado da GA como ferramenta de gestão e de tomada de decisão é um ponto importante. Allen e Gunderson (2011) afirmam que em situações em que as informações disponíveis apresentam grandes incertezas e quando os recursos são suficientes para a realização e avaliação de experimentos, a GA poderá ser útil.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças e as crises ambientais das últimas décadas, como as mudanças climáticas (IPCC, 2014), redução da biodiversidade (MEA, 2005) e a exploração excessiva dos recursos naturais (ROCKSTRÖM et al. 2009a), ampliaram os desafios da gestão ambiental. O pressuposto tradicional de um futuro previsível e estável foi substituído por futuros incertos, surpresas e instabilidades.

Nesse contexto, é necessário que os sistemas socioecológicos, a exemplo dos recursos hídricos, tenham a capacidade de suportar perturbações ou estresses e se adaptar as novas condições. Em outras palavras, o mundo atual e futuro requerem sistemas resilientes em detrimento da eficiência. Sistemas resilientes deve apresentar alta capacidade adaptativa e baixa vulnerabilidade. Tais configurações dos sistemas naturais é uma maneira de estar preparado para as mudanças e surpresas com possibilidades de persistir, se adaptar e se transformar.

A manutenção ou construção da resiliência exige modelos de gestão flexíveis e abertos para aprendizagem. Tais modelos fazem oposição a rigidez de modelos tradicionais de gestão que geralmente utilizam mecanismos de comando e controle, apresentam decisões irreversíveis e estratégias fixas.

A gestão adaptativa se apresenta como uma metodologia promissora para gestão da resiliência sob condições de incertezas e com foco no processo de aprendizagem. Essa metodologia investiga a dinâmica dos sistemas de recursos naturais através de experimentos de gestão que possibilitam ampliar o aprendizado com a incorporação de novos conhecimentos.

Embora a gestão adaptativa apresente diversas aplicações (McFadden et al. 2011) com alguns casos de sucessos (ex. GCDAMP, 2010; Chaffi; Gosnell, 2015; RECOVER, 2011) existem barreiras ou desafios que incluem; ambiente institucional, social e político desfavorável, necessidade de adaptações no arcabouço jurídico (GARMESTANI; BENSON, 2013), necessidade de monitoramento, avaliação e financiamento das ações de longo prazo, falta de colaboração entre agências de gestão e dos atores envolvidos, necessidade de inclusão do conhecimento de múltiplas fontes e o uso de diversos modelos, entre outros.

Para evitar falhas na implementação da gestão adaptativa, este trabalho apresentou os elementos ideais para o seu funcionamento e um quadro conceitual para avaliação de cada etapa do ciclo de gestão. Também foi apresentada a fundamentação teórica e os princípios básicos para

manutenção ou fortalecimento da resiliência ecológica. O modelo de gestão adaptativa foi descrito como requisito para gestão da resiliência dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro concedido através de bolsa durante o desenvolvimento da pesquisa e a Universidade Regional do Cariri (URCA).

Contribuições dos autores

- a) Conceituação, supervisão e revisão: Ticiania M. de Carvalho Studart e Renato de Oliveira Fernandes.
- b) Redação da minuta, redação, edição e validação de resultados: Renato de Oliveira Fernandes

REFERÊNCIAS

- ALLEN, C. R.; FONTAINE, J. J.; POPE, K. L.; GARMESTANI, A. S. Adaptive management for a turbulent future. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 5, p. 1339–1345, 2011.
- ALLEN, C. R.; GUNDERSON, L. H. Pathology and failure in the design and implementation of adaptive management. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 5, p. 1379–1384, 2011.
- BARNETT, J.; S. O'NEILL. Maladaptation. *Global Environmental Change*, v. 20, n. 2, p. 211-213, 2010.
- BECK, U. *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. São Paulo: Ed. 34, 2010.
- BERKES, F.; COLDING J.; C. FOLKE (eds.). *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, MA., 2003.
- BIGGS, R, M SCHLÜTER, D BIGGS, EL BOHENSKY, S BURNSILVER, G CUNDILL, V DAKOS, T DAW, L EVANS, K KOTSCHY, A LEITCH, C MEEK, A QUINLAN, C RAUDSEPP-HEARNE, M ROBARDS, ML SCHOON, L SCHULTZ, PC WEST. Towards principles for enhancing the resilience of ecosystem services. *Annual Review of Environment and Resources*, v.37, p.421-448. 2012.
- BIGGS, R. M.; SCHLÜTER, M.L. SCHOON (eds). *Principles for Building Resilience - Sustaining Ecosystem Services*. In: *Social-Ecological Systems*. Cambridge University Press. 2015.

- BLACKMORE, C.; ISON, R.; JIGGINS, J. Social learning: an alternative policy instrument for managing in the context of Europe's water. *Environmental Science and Policy*, v. 10, n. 6, p. 493–498, 2007.
- CADDY, J. F. Regime shifts and paradigm changes: is there still a place for equilibrium thinking? *Fisheries Research*, v.25, 1996, p.219–230.
- CARLSON, J. M.; J. DOYLE. Complexity and robustness. *Proceedings of the National Academy of Science*. v. 99, n. suppl 1, p. 2538-2545, 2002.
- CHAFFIN, B. C.; GOSNELL, H. Measuring Success of Adaptive Management Projects. In: *Adaptive Management of Social-Ecological Systems*. Springer Netherlands, 2015. p. 85-105.
- CHEN, J.; BRISSETTE, F. P.; LECONTE, R. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*, 401(3-4), 190-202. 2011.
- DESSAI, S.; HULME, M. Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England. *Global Environmental Change*, 17(1), 59-72. 2007.
- DIETZ, T.; OSTROM, E.; STERN, P. C. The Struggle to Govern the Commons. *Science*, v. 302, n. 5652, p. 1907–1912, 2003.
- ELLIS, E. C. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Phil. Trans. R. Soc.* v.369, 2011.
- ENGLE, N. L.; JOHNS, O. R.; LEMOS, M.; NELSON, D. R. Integrated and adaptive management of water resources: tensions, legacies, and the next best thing. *Ecology and Society*, v.16, n.1, p.19. 2011.
- FOLKE, C.; CARPENTER, S.; ELMQVIST, T., GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S.; WALKER, B. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A journal of the human environment*, v. 31, n. 5, p. 437-440, 2002.
- FOLKE, C.; CARPENTER, S.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S. Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35, pp. 557-581. 2004.
- FOLKE C, COLDING J, BERKES F. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. In: *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 352–87
- FOLKE, C.; HAHN, T.; OLSSON, P.; NORBERG, J. Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 30, n. 1, p. 441–473, 2005.

- FOLKE, C.; JANSSON, Å.; ROCKSTRÖM, J. et al. Reconnecting to the biosphere. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 40, p.719–738. 2011.
- GALAZ, V.; OLSSON, P.; HAHN, T.; FOLKE, C.; SVEDIN, U. The Problem of Fit between Ecosystems and Governance Systems – Insights and Emerging Challenges. *Institutions and Environmental Change: Principal Findings, Applications, and Research Frontiers*, n. October 2015, p. 147–186, 2008.
- GARCÍA, L.E.; J.H. MATTHEWS; D.J. RODRIGUEZ, M. WIJNEN, K.N. DIFRANCESCO, P. RAY. Beyond Downscaling: A Bottom-Up Approach to Climate Adaptation for Water Resources Management. AGWA Report 01. Washington, DC: World Bank Group. 2014.
- GARMESTANI, A. S.; BENSON, M. H. A Framework for Resilience-based Governance of Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, v. 18, n. 1, p. art9, 2013.
- GCDAMP (Glen Canyon Dam Adaptive Management Program). Adaptive management program purpose and goals. Glen Canyon Dam Adaptive Management Program: http://www.gcdamp.gov/fs/amp_pg.pdf. 2010. Acessado em setembro de 2015.
- GIDDENS, A. A política da mudança climática. Zahar, 2010.
- GLEICK, P. H. A look at twenty-first century water resources development. *Water International*, v.25, n. 1, p.127-138, 2000.
- GLEICK, P.H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*, v.302, p.1524–1528. 2003.
- GUNDERSON L. H; HOLLING, C. S, (eds). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Washington, DC: Island Press. 2002.
- GUNDERSON, L. H. Ecological Resilience - in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.31, p.425-439, 2000.
- GWP - Global Water Partnership. Climate Change Adaptation and Integrated Water Resources Management – An Overview. Technical Committee Policy Brief 5. 2007.
- HALLEGATTE, S., Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, v. 19, n. 2, p. 240-247, 2009.
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water resources research*, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982.
- HAWKINS, E.; SUTTON, R. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate Dynamics*, v.37, n.1-2, p.407-418, 2011.

- HOLLING, C. S. Adaptive environmental assessment and management. [s.l.] John Wiley & Sons, 1978.
- HOLLING, C. S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, v. 4, n. 5, p.390-405, 2001.
- HOLLING, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, p.1-23, 1973.
- HOLLING, C. S.; MEFFE, G. K. Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation biology*, v. 10, n. 2, p. 328-337, 1996.
- HUNTJENS, P.; LEBEL, L.; PAHL-WOSTL, C.; CAMKIN, J.; SCHULZE, R.; KRANZ, N. Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environmental Change*, v. 22, n. 1, p. 67–81, 2012.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp, 2013. doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. 2014.
- JOHNSON, B. L. The role of adaptive management as an operational approach for resource management agencies. *Conservation Ecology*, v. 3, n. 2, p. 8, 1999.
- KOSHIDA, G. Climate change: Practising adaptive management for sustainability of Canadian water resources. *Rational and Sustainable Development of Water Resources*, vol. I e II. Cambridge: Canadian Water Resources Assoc., p.103-111. 1996.
- LANDETA, J. Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*. v. 73, n. 5, p. 467-482, 2006.
- LEMOS, M. C. Usable climate knowledge for adaptive and co-managed water governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.12, p.48–52. 2015.
- LEMPERT, R. J.; SCHLESINGER, M. E. Robust strategies for abating climate change. *Climatic Change*, v. 45, n. 3, p. 387-401, 2000.

- LEVIN, S. *Fragile dominion: Complexity and the commons*. Reading: Perseus Books. 1999.
- LINS, H. F.; COHN, T. A. Stationarity: wanted dead or alive? *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. v.47, n.3. p.475-480. 2011.
- LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E.; STEDINGER, J. R.; DIJKMAN, J. P. M.; VILLARS, M. T. *Water resources systems planning and management and applications: an introduction to methods, models and applications*. [s.l.] UNESCO PUBLISHING, 2005. v. 51
- MCFADDEN, J. E.; HILLER, T. L.; TYRE, A. J. Evaluating the efficacy of adaptive management approaches: Is there a formula for success? *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 5, p. 1354–1359, 2011.
- MCGINNIS, M. *Polycentric Governance and Development*. Ann Arbor, MI: Univ. Michigan Press. 2000.
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press. 2005.
- MELIS, T. S.; WALTERS, C. J.; KORMAN, J. Surprise and Opportunity for Learning in Grand Canyon: the Glen Canyon Dam Adaptive Management Program. *Ecology and Society*, v. 20, n. 3, 2015.
- MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICZ, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. J. Stationarity is Dead: Whither Water Management. *Science*, v.319, p.573-574. 2008.
- MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICZ, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. J.; DETTINGER, M. D.; KRYSANOVA, V. On Critiques of “Stationarity is Dead: Whither Water Management?”. *Water Resources Research*, v. 51, n. 9, p. 7785-7789, 2015.
- MURRAY, C.; SMITH, C.; MARMOREK, D. Middle Rio Grande endangered species Collaborative Program Adaptive Management plan Version 1. Prepared by ESSA Technologies Ltd. (Vancouver, BC) and Headwaters Corporation (Kearney, NE) for the Middle Rio Grande Endangered Species Collaborative Program, Albuquerque. 108 p. 2011.
- MYSIAK, J; HENRIKSON, H. J.; SULLIVAN, C.; BROMLY, J.; PAHL-WOSTL, C. (eds). *The adaptive water resource management handbook*. Earthscan, London/Sterling. 2010.
- OLSSON, P.; GUNDERSON, L. H.; CARPENTER, S. R.; RYAN, P.; LEBEL, L.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S. Shooting the Rapids: Navigating Transitions to Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, v. 11, n. 1, p. 18, 2006.
- OSTROM, E. *Understanding institutional diversity*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 2005.

- PAHL-WOSTL, C. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, v. 19, n. 3, p. 354–365, 2009. PAHL-WOSTL, C. Requirements for Adaptive Water Management. *Water*, n. Lid, p. 1–22, 2007.
- PAHL-WOSTL, C. Requirements for Adaptive Water Management. In: *Adaptive and integrated water management*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 1-22. n. Lid, p. 1–22.
- PAHL-WOSTL, C.; HOLTZ, G.; KASTENS, B.; KNIEPER, C. Analyzing complex water governance regimes: the Management and Transition Framework. *Environmental Science & Policy*, v. 13, n. 7, p. 571–581, 2010.
- PAHL-WOSTL, C.; LEBEL, L.; KNIEPER, C.; NIKITINA, E. From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in river basins. *Environment alsience & policy*, v.23, p.24–34. 2012.
- POLASKY, S.; CARPENTER, S. R.; FOLKE, C.; KEELER, B. Decision-making under great uncertainty: environmental management in an era of global change. *Trends in ecology & evolution*, v. 26, n. 8, p. 398-404, 2011.
- RECOVER. Adaptive management integration guide: the Comprehensive Everglades Restoration Plan. Restoration Coordination and Verification, c/o U.S. Army Corps of Engineers, Jacksonville, Florida, USA, and South Florida Water Management District, West Palm Beach, Florida, USA. 2011.
- REED, M. S.; A. C. EVELY, G. CUNDILL, I. FAZEY, J. GLASS, A. LAING, J. NEWIG, B. PARRISH, C. PRELL, C. RAYMOND, L. C. STRINGER. 2010. What is social learning? *Ecology and Society*, v.15, n.4, 2010.
- RESILIENCE ALLIANCE. Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0. 2010.
- ROCKSTRÖM, J., W. STEFFEN, K. NOONE, Å. PERSSON, F. S. CHAPIN, III, E. LAMBIN, T. M. LENTON, M. SCHEFFER, C. FOLKE, H. SCHELLNHUBER, B. NYKVIST, C. A. DE WIT, T. HUGHES, S. VAN DER LEEUW, H. RODHE, S. SÖRLIN, P. K. SNYDER, R. COSTANZA, U. SVEDIN, M. FALKENMARK, L. KARLBERG, R. W. CORELL, V. J. FABRY, J. HANSEN, B. WALKER, D. LIVERMAN, K. RICHARDSON, P. CRUTZEN, J. FOLEY. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, v.14, n.2, p.32. 2009a.
- ROCKSTRÖM, J.; FALKENMARK, M.; FOLKE, C.; LANNERSTAD, M.; BARRON, J.; ENFORS, E.; GORDON, L.; HEINKE, J.; HOFF, H.; PAHL-WOSTL, C. Water resilience for human prosperity. Cambridge University. Press, New York. 292 pp. 2014.

- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C. et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009b.
- ROSENFELD, J. S. Functional redundancy in ecology and conservation. *Oikos*, v.98, p.156-62. 2002.
- SCHEFFER, M. *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, 2009.
- SCHEFFER, M.; BASCOMPTE, J.; BROCK, W. a; BROVKIN, V.; CARPENTER, S. R.; DAKOS, V.; HELD, H.; VAN NES, E. H.; RIETKERK, M.; SUGIHARA, G. Early-warning signals for critical transitions. *Nature*, v. 461, n. 7260, p. 53-59, 2009.
- STAKHIV, E. Z. *Pragmatic Approaches for Water Management Under Climate Change Uncertainty*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, v.47, n.6, p.83-96. 2011.
- STEFFEN, W., SANDERSON, R.A., TYSON, P.D., JÄGER, J., MATSON, P.A., MOORE III, B., OLDFIELD, F., RICHARDSON, K., SCHELLNHUBER, H.J., TURNER, B.L., WASSON, R.J. *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*, Springer, Berlin. 2004.
- STIRLING, A. A general framework for analysing diversity in science, technology and society. *Journal of the Royal Society Interface*, v. 4, n. 15, p. 707-719, 2007.
- STRINGER, L. C., DOUGILL AJ, FRASER E, HUBACEK K, PRELL C, REED MS. Unpacking “participation” in the adaptive management of social-ecological systems: a critical review. *Ecology and Society*, v. 11, n. 2, p. 39, 2006.
- TIPPETT, J.; SEARLE, B.; PAHL-WOSTL, C.; REES, Y. Social learning in public participation in river basin management—early findings from HarmoniCOP European case studies. *Environmental Science & Policy*, v. 8, n. 3, p. 287-299, 2005.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T.. *Limnology*. 1ª. ed. Londres: CRC, Taylor&Frances, v. 01. 863 p. 2012.
- UN-WATER. policy brief *Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water*. 2010. Executive Summary. Disponível em: <http://www.unwater.org/downloads/>
- WAGENER, T.; SIVAPALAN, M.; TROCH, P. A.; MCGLYNN, B. L.; HARMAN, C. J.; GUPTA, H. V.; KUMAR, P.; RAO, P. S. C.; BASU, N. B.; WILSON, J. S. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resources Research*, v. 46, n. 5, 2010.
- WALKER, B., HOLLING, C. S., CARPENTER, S. R., E KINZIG, A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, v.9, n. 2, p. 5, 2004.

WALTERS, C. J. Adaptive management of renewable resources. New York: Collier Macmillan, 1986.

WILBY, R. L.; DESSAI, S. Robust adaptation to climate change. *Weather*, v. 65, n. 7, p. 180-185, 2010.

WILLIAMS, B. K. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 5, p. 1346–1353, 2011.

WILLIAMS, B. K., SZARO, R. C., & SHAPIRO, C. D. Adaptive management: The U.S. Department of the Interior technical guide. Adaptive Management Working Group, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C. 2009.