

**ESTUDOS RELATIVOS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E  
RECURSOS HÍDRICOS PARA EMBASAR O PLANO  
NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS**

**Papel da Ciência, Tecnologia e Inovação na Adaptação a  
Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos**

Brasília DF  
Outubro de 2014

---

## © Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, tecnologia e inovação (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

### Presidente

*Mariano Francisco Laplane*

### Diretor Executivo

*Marcio de Miranda Santos*

### Diretores

*Antonio Carlos Filgueira Galvão*

*Gerson Gomes*

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate  
70308-200, Brasília, DF.  
Telefone: (61) 34249600  
<http://www.cgee.org.br>

Este estudo é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato Administrativo celebrado entre o CGEE e a Agência Nacional de Águas – ANA: Contrato Nº.110/ANA/2013

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

# **Papel da Ciência, Tecnologia e Inovação na Adaptação a Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos**

## **Supervisão**

*Antonio Carlos Filgueira Galvão*

## **Líder do CGEE**

*Antonio Rocha Magalhães*

*Dirceu Silveira Reis Junior (consultor)*  
*Conceição de Maria Albuquerque Alves (consultor)*  
*Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins (consultor)*

## **1 - INTRODUÇÃO**

## **2 - GERAÇÃO DE CONHECIMENTO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS**

2.1 - Projeções climáticas nas escalas espaciais adequadas ao processo de adaptação

2.2 - Ciências hidrológicas no processo de adaptação

2.3 - Identificação e avaliação de estratégias de adaptação

## **3 - SISTEMAS OBSERVACIONAIS**

## **4 - TECNOLOGIAS DE BAIXO ARREPENDIMENTO PARA ADAPTAÇÃO**

4.1 - Previsão nas escalas curto prazo, sazonal e decenal

4.2 - Mecanismos de transferência de risco

4.3 - Racionalização do uso e reúso da água

## **5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## **6 - BIBLIOGRAFIA**

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de adaptação às mudanças do clima pode ser dividido em quatro etapas (Klein *et al.*, 2005), quais sejam, (a) o conhecimento sobre a severidade do problema, o que inclui a estimativa dos diversos riscos envolvidos assim como o grau de vulnerabilidades das comunidades em questão, (b) o planejamento e a definição de estratégias de adaptação, (c) a implementação de tais estratégias, e (d) o monitoramento e a avaliação do desempenho das mesmas ao longo do tempo. Estudos (Base, 2013; NRC, 2010ab) realizados na Europa e Estados Unidos mostram as dificuldades para que o processo de adaptação se torne uma realidade. Essas dificuldades estão relacionadas com as incertezas e a falta de conhecimento dos padrões espaciais e temporais dos impactos, as incertezas em relação às tendências e mudanças socioeconômicas, o desconhecimento sobre custos e benefícios de estratégias de adaptação, assim como a comunicação ineficaz entre cientistas e gestores, gerando lentidão na elaboração de políticas públicas. A ciência, tecnologia e inovação possuem um papel central na superação dessas dificuldades.

De uma forma geral, as tecnologias desenvolvidas pelo setor de recursos hídricos para lidar com a variabilidade natural do clima podem ser empregadas ou aprimoradas no processo de adaptação às mudanças do clima, podendo incluir aquelas ligadas à ampliação da infraestrutura física (barragens, diques, estruturas de transposição de bacias, sistemas de irrigação, obras de drenagem urbana, entre outras) assim como aquelas de caráter gerencial (sistema de alerta de cheias e secas, implementação de instrumentos de gestão como outorga e cobrança pelo uso da água, pagamento por serviços ambientais, e esquemas de transferência de risco climático como contratos de seguro).

Este capítulo descreve, o papel da ciência, tecnologia e inovação no processo de adaptação às mudanças do clima no setor de recursos hídricos, o que inclui não apenas o entendimento dos processos naturais envolvidos no problema, mas também o desenvolvimento de ferramentas e maneiras de pensar sobre o problema e a viabilização de sua prática através da implementação de políticas públicas baseadas nesse conhecimento.

## 2 GERAÇÃO DE CONHECIMENTO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS

Um dos papéis da ciência na adaptação às mudanças do clima está na geração de conhecimento. As complexas tarefas de quantificar os riscos dos possíveis impactos das mudanças climáticas no setor de recursos hídricos e setores afins, entender as vulnerabilidades das comunidades afetadas, assim como de elaborar, avaliar e definir estratégias de adaptação vão depender do entendimento que se tem dos sistemas ambientais, incluindo aí os físicos, químicos, biológicos, e do sistema humano.

Este item procura identificar os esforços científicos que vêm sendo realizados e os desafios envolvidos nas áreas de clima e hidrologia para que seja possível subsidiar de forma mais efetiva o processo de adaptação às mudanças do clima.

Em relação às ciências do clima, o texto foca nas projeções do clima futuro, que são empregadas para avaliar os impactos e os riscos no setor de recursos hídricos. Na questão hidrológica, o texto reflete sobre a necessidade de desenvolver técnicas de análise de dados para que se possa identificar a importância relativa dos diversos fatores que influem na variabilidade ou mudanças dos sistemas hídricos, o papel da modelagem matemática dos sistemas, que precisa incorporar explicitamente o papel do homem no processo (Wagener *et al.*, 2010; Montanari *et al.*, 2013), e a necessidade de aproximação com outras áreas do conhecimento e com as comunidades interessadas no processo de adaptação para que os esforços sejam feitos para responder perguntas específicas daqueles responsáveis pelo processo de adaptação.

Por fim, para que o processo de adaptação no setor de recursos hídricos seja desenvolvido de forma adequada, é importante que a comunidade científica seja capaz de fornecer informações e orientações claras nas várias etapas do processo, incluindo não apenas o entendimento sobre a exposição, vulnerabilidade e riscos envolvidos, mas também em como identificar um conjunto de alternativas de adaptação apropriadas ao caso em questão, incluindo a quantificação das respectivas consequências. Isso facilita a tarefa dos governantes e tomadores de decisão em caracterizar, priorizar, ou até mesmo

escalonar a implementação das medidas de adaptação ao longo do horizonte de planejamento.

## **2.1 Projeções climáticas nas escalas espaciais adequadas ao processo de adaptação**

Projeções do clima futuro, informação essencial para analisar os riscos a que uma determinada comunidade ou região estará exposta no futuro, são feitas com base em simulações de modelos matemáticos. Alguns desses modelos têm incorporado mais e mais processos que são sabidamente importantes para representar os diversos sistemas naturais do planeta, permitindo, por exemplo, que se possa avaliar mudanças na cobertura vegetal do planeta devido ao aumento da concentração dos gases de efeito-estufa, levando em consideração, de forma acoplada, como essa mudança na vegetação afeta os outros componentes do sistema climático (NRC, 2010c).

É necessário que as projeções climáticas baseadas nesses modelos possuam uma resolução espacial compatível com a escala das bacias hidrográficas ou das regiões de interesse. Devido a limitações de processamento computacional, esses modelos não possuem uma resolução espacial muito refinada, limitando o nível de representação de vários processos físicos importantes, tais como, o de formação das nuvens, o da ascensão das massas de ar por processos orográficos e frontais, assim como os fluxos de massa de água e energia entre o solo e a atmosfera (NRC, 2010c). Essas limitações prejudicam o desempenho de tais modelos em representar adequadamente o padrão de chuva nas escalas espaciais usualmente necessárias para estudos de impacto e adaptação em sistemas de recursos hídricos, o que é uma limitação para avaliação de frequência e magnitude das secas, variabilidade das chuvas e disponibilidade hídrica, além de ser um limitador para estudos relacionados à frequência e magnitude das cheias.

Outro elemento importante desses modelos, que também está relacionado com a questão da escala espacial, consiste na representação dos processos que ocorrem na superfície, e que afetam também o que ocorre na atmosfera, como

por exemplo, a propagação da água nos rios, o fluxo de calor latente, o processo de infiltração da água no solo, o armazenamento de umidade nas camadas superficiais do solo, assim como o fluxo de águas subterrâneas. Para que esses processos possam ser bem representados, precisam ser modelados numa escala espacial compatível (~ 1 km). Embora existam modelos de superfície capazes de representar esses processos na escala necessária, o acoplamento com os modelos climáticos globais ainda é realizado obrigatoriamente numa escala menos refinada.

À medida que os modelos climáticos avançam em termos de resolução espacial e complexidade na representação dos processos físicos envolvidos, espera-se que seus prognósticos sejam cada vez mais úteis nos estudos de adaptação às mudanças do clima. Além de permitir simular de forma mais adequada o comportamento da temperatura de superfície e os padrões de chuva de uma dada região, outros processos de troca entre a superfície e a atmosfera poderão ser melhor representados, permitindo que os mesmos venham a ser empregados para avaliar, por exemplo, como as mudanças causadas pelo podem influenciar as características do clima, o que também pode auxiliar na identificação e avaliação de estratégias de adaptação.

Atualmente, para que seja possível obter informações sobre o clima futuro nas escalas espaciais necessárias para subsidiar o processo de adaptação, faz-se uso das chamadas técnicas de *downscaling*, baseadas em modelos dinâmicos regionais ou modelos estatísticos. Em tese, essas técnicas permitem que os prognósticos climáticos regionais ou locais sejam condizentes com a topografia local, com efeitos de brisa em regiões próximas à costa, e com os padrões sinóticos locais (Wilby e Dessai, 2010). Entretanto, a qualidade dos prognósticos obtidos com técnicas de *downscaling* fica limitada à qualidade das projeções dos modelos globais. Além disso, o emprego dessas técnicas requer a análise de dados meteorológicos locais, nem sempre disponíveis na extensão e resolução necessárias, o que limita sua qualidade, embora venha sendo empregado amplamente em estudos de impactos em recursos hídricos.



## 2.2 Ciências hidrológicas no processo de adaptação

Na ciência, o conhecimento adquirido sobre os processos hidrológicos é geralmente sintetizado na construção de modelos matemáticos que procuram representar o sistema hídrico. Esses modelos permitem realizar diversos tipos de avaliações ligadas ao setor de recursos hídricos, com por exemplo, a determinação do risco de cheias, a ocorrência de eventos de seca, a avaliação da disponibilidade hídrica numa dada região, definição de regras operativas de reservatórios para atender a demanda de água, e a avaliação da qualidade da água em rios e reservatórios.

Entretanto, esses modelos têm dificuldades em simular adequadamente sistemas hídricos em processo de mudanças (Montanari *et al.*, 2013), o que limita seu uso em estudos de adaptação por não serem capazes de reproduzir adequadamente a interação que existe entre os sistemas natural e humano. Além disso, por muito tempo, as ciências hidrológicas se desenvolveram com base em algumas premissas que não são mais válidas, ou fazendo uso de algumas abordagens que não são mais apropriadas.

A premissa de estacionariedade, por exemplo, antes empregada em todo tipo de análise, agora precisa ser avaliada e justificada caso a caso para ser utilizada. Embora conhecer o comportamento de um sistema hídrico no passado seja imprescindível para entender os processos envolvidos numa bacia hidrográfica, não é mais suficiente para entender ou prever como será o comportamento desse mesmo sistema no futuro (Wagener *et al.*, 2010). Por exemplo, a variabilidade futura das vazões na seção transversal de um dado rio pode ser muito maior do que a variabilidade observada no passado, e essa mudança pode estar associada com alterações naturais ou antrópicas do sistema climático, ou com alterações nas características da bacia causadas pelo homem.

As atividades exercidas pelo homem costumam ser deixadas de lado quando se tenta compreender o comportamento de um sistema hídrico, enquanto na verdade, o que se necessita hoje é entender o comportamento do sistema admitindo que o homem faz parte do mesmo, seja como causador de alterações no comportamento, ou como usuário da água. Para que isto seja possível, o processo de modelagem matemática dos processos climáticos e hidrológicos não

pode mais adotar a estratégia anterior de considerar as atividades humanas apenas como condição de contorno nessas análises. Para que seja possível subsidiar o processo de decisão de forma mais efetiva, é necessário incorporar as ações humanas dentro dos modelos de modo seja possível entender e prever como os sistemas acoplados, natural e humano, se desenvolvem conjuntamente ao longo do tempo. Essa nova abordagem tornaria possível uma avaliação mais fidedigna das reais consequências quantitativas e qualitativas no sistema hídrico oriundas, por exemplo, de mudanças no processo de gestão realizado pelo homem, seja no uso da terra, da água, ou por meio de alterações nas práticas agrícolas. Mas para que isso possa ser feito, é necessário que se desenvolvam modelos de forma conjunta, diferentemente do que observa hoje, quando são construídos de forma completamente independente.

### **2.3 Identificação e avaliação de estratégias de adaptação**

Muitos dos esforços realizados pela comunidade científica na questão das mudanças climáticas nas últimas décadas, na área de recursos hídricos, foram dirigidos na identificação de tendências em variáveis hidrometeorológicas e na estimativa de alterações na disponibilidade hídrica, variabilidade do regime de chuvas e vazões, e no padrão de ocorrência de eventos extremos como cheias e secas. Esses tipos de análises continuarão sendo necessários no futuro, pois permitem manter governantes e tomadores de decisão atualizados sobre os possíveis cenários futuros para os quais as comunidades precisarão estar preparadas.

Entretanto, os esforços recentes em elaborar e implementar um processo de adaptação mostram que esses produtos fornecidos pela comunidade científica, embora necessários, não são suficientes, pois é muito difícil, com base nessas informações, identificar as opções viáveis para se adaptar a uma nova realidade, assim como entender as repercussões de tais medidas.

Wilby e Wood (2012) apresentam uma discussão a esse respeito, sugerindo duas estratégias de ação que são complementares, e que já são naturalmente

utilizadas no meio científico, os estudos intensivos de campo e a modelagem matemática.

Alguns exemplos recentes ilustram a maneira pela qual essas duas abordagens podem ser úteis para subsidiar o processo de adaptação. Por exemplo, medidas locais de redução de escoamento superficial e de poluição difusa em bacias agrícolas são fortes candidatas a fazer parte de um programa de adaptação, pois além de ser de baixo custo, podem ser classificadas com de baixo arrependimento, tendo em vista que podem ser úteis independentemente do cenário futuro. O papel da ciência está em entender os reais benefícios de tais medidas e em quais situações elas são apropriadas, e isso vem sendo feito em alguns locais empregando estudos de monitoramento intensivo em bacias experimentais, como relatado em Barber e Quinn (2012) e Nicholson *et al.*, (2012). Na mesma linha, Owen *et al.* (2012) apresentam um programa, baseado em monitoramento intensivo, que possui o objetivo de verificar cientificamente como diferentes medidas ou alterações em práticas agrícolas podem reduzir a poluição difusa e melhorar os ecossistemas aquáticos.

Análises baseadas em simulação com modelos matemáticos que representam diversos processos numa bacia hidrográfica também podem ser muito úteis para subsidiar o processo de adaptação. Modelos dessa natureza permitem, por exemplo, avaliar as consequências de medidas de adaptação, como mostrado em Hughes *et al.* (2012), que discutem a importância de entender como a redução das poluições pontual e difusa e o aumento da vegetação ripária podem reduzir o escoamento superficial que chega aos reservatórios da bacia do Rio Douro, assim como reverter o processo de eutrofização que se observa nos mesmos. Gosh *et al.* (2010) realizaram um estudo na Índia, onde além de fornecer os tradicionais resultados de impactos na hidrologia, baseados em cenários de modelos climáticos globais e modelagem hidrológica, eles analisaram como diferentes medidas adaptativas (combinações de redução de uso de água na agricultura e alteração nas curvas-guia dos reservatórios referentes aos volumes de espera para laminação de cheias) alteravam não só a produção de energia mas também outros índices de desempenho do sistema hídrico como vulnerabilidade e resiliência. Brekke *et al.* (2009) também empregam modelos

climáticos, hidrológicos e de operação de reservatórios para identificar como possíveis mudanças nas regras de operação do sistema de reservatórios pode afetar diferentes métricas de desempenho do sistema sob diferentes cenários de clima. Lopez *et al.* (2009) relatam estudo realizado no sudeste da Inglaterra que emprega a mesma linha de raciocínio, procurando avaliar diferentes estratégias de adaptação que incluem diferentes combinações de redução de demanda e aumento da capacidade de reservação na bacia.

Esses tipos de informação quantitativa sobre o desempenho de diferentes medidas adaptativas é essencial para subsidiar o processo de adaptação, e como os exemplos acima mostram, a comunidade científica vem aos poucos trabalhando com esse objetivo.

### 3 SISTEMAS OBSERVACIONAIS

O monitoramento sistemático do clima, dos recursos hídricos e dos padrões de alteração do uso do solo de uma dada região possui um papel fundamental na compreensão das mudanças climáticas e dos processos de adaptação dos sistemas de recursos hídricos (Loucks, 2012). Esse monitoramento é essencial não apenas para identificar impactos na área de recursos hídricos ou para subsidiar o desenvolvimento e verificação de modelos climáticos e hidrológicos, mas também para ajudar no planejamento e implantação de estratégias de adaptação.

O benefício do monitoramento extrapola o avanço do conhecimento científico sobre os processos climático e hidrológicos, pois está também intimamente ligado ao sucesso da gestão do risco climático. Para que seja possível estabelecer de maneira adequada um processo de gestão do risco climático na área de recursos hídricos é necessário que se desenvolva um esquema de monitoramento de variáveis chaves que permita caracterizar os riscos e as incertezas envolvidas no processos.

Miller (2012) apresenta uma lista de 49 variáveis e indicadores que engloba de forma bastante abrangente várias facetas dos recursos hídricos e seus respectivos usos. Essa lista possui o objetivo de apontar variáveis e indicadores importantes para monitorar o desempenho de sistemas de recursos hídricos e de identificar possíveis mudanças nos aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, assim como outros aspectos ligados à gestão do uso da água, tais como, cobrança e outorga. Um sistema de monitoramento que inclua essas variáveis permitirá que se execute, ao longo do tempo, uma avaliação permanente do sistema de gestão da água, permitindo que se visualizem de forma clara os acertos e os erros de cada alternativa de adaptação. Relata-se, a seguir, de forma breve, como os avanços em sistemas observacionais que são a base de sistemas de monitoramento podem contribuir para a identificar e selecionar alternativas de adaptação de baixo arrependimento.

O monitoramento preciso e contínuo da precipitação, nas diversas escalas espacial e temporal (minutos até anos) é fundamental para a gestão, planejamento e operação de sistemas hídricos. A informação mais confiável sobre precipitação ainda é aquela proveniente de estações tradicionais localizadas na superfície. Entretanto, devido ao elevado custo de operação e manutenção, a densidade de estações convencionais é inadequada ou até mesmo inexistente em muitas regiões, sendo importante ter acesso à informação sobre a precipitação proveniente de outras fontes.

Nos últimos anos, observou-se um avanço significativo na tecnologia de estimativa de chuva por meio de sensoriamento remoto, especialmente daquela proveniente de satélites (Kidd e Levizzani, 2011). Atualmente, vários produtos de precipitação, com alta resolução espacial e temporal, baseados na combinação de diversos sensores embarcados tanto em satélites de órbita baixa, quanto em satélites meteorológicos geoestacionários, e, em alguns casos, também em medidas obtidas em estações convencionais, estão disponíveis de forma gratuita ao público em geral. Três desses produtos são bastante populares em análises hidrológicas e de recursos hídricos, com diferentes resoluções espacial e temporal e atualização da informação, são eles: o CMORPH (Joyce *et al.*, 2004), o TMPA do TRMM (Huffman *et al.*, 2007), e o PERSIANN (Hsu *et al.*, 1997).

Além disso, informações provenientes de satélites são empregadas para construir longas séries de precipitação para todo o globo terrestre, como aquela recentemente atualizada pelo GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*), que emprega uma combinação de informações obtidas de estações convencionais, satelitais e de reanálise (Huffman *et al.*, 2009). Essas séries são importantes para a comunidade pois permite, ampliar o conhecimento científico nas áreas hidrológica e meteorológicas.

A adequabilidade de produtos de sensoriamento remoto na área de recursos hídricos depende do tipo de aplicação, que vai definir quais são as resoluções temporal e espacial necessárias, bem como o tempo requerido de atualização das informações. Por exemplo, sistema de alerta de cheias requer informação com alta resolução temporal e espacial, e com rápida atualização das informações. Por outro lado, estudos de disponibilidade hídrica em grandes bacias, simulação da

operação de sistemas de reservatórios, estudos de identificação e atribuição de tendências, ou desenvolvimento de índices para monitoramento de secas, não carecem de uma resolução espacial muito alta, mas é necessita de séries históricas longas.

Tecnologias não tradicionais passaram a ser empregadas, ainda em caráter experimental, na estimativa da intensidade da precipitação sobre uma região, sendo a mais promissora aquela que relaciona a intensidade da chuva com a atenuação que se observa nos sinais de micro-ondas empregados em redes de comunicação de telefonia celular (Messer *et al.*, 2006; Leijnse *et al.*, 2007ab). Essa tecnologia se torna ainda mais atraente em áreas urbanas, onde a densidade de torres de telefonias é bastante elevada (Rayitsfeld *et al.*, 2012). Vários estudos relatam o potencial dessa tecnologia para área de recursos hídricos (Overeen *et al.*, 2013; Overeen *et al.*, 2011; Doumounia *et al.*, 2014; David *et al.*, 2013; Fenicia *et al.*, 2012; Hoedjes *et al.*, 2014).

Outra tecnologia recente para estimativa de precipitação, e que merece ser mencionada, é aquela analisada em Hamberlandt e Sester (2010) e descrita em Rabiei *et al.* (2013), que consiste em fazer uso de sensores já existentes, utilizados pela indústria automobilística, para o acionamento do limpador de para-brisa. A ideia é transformar veículos em estações pluviométricas móveis nas cidades. A estratégia ainda é muito recente, mas parece ter um bom potencial para adquirir informação com uma alta resolução temporal e espacial.

Por último, vale mencionar o projeto mPING (*Precipitation Identification Near the Ground*), uma iniciativa conjunta entre a Universidade de Oklahoma e a NOAA (Elmore *et al.*, 2013), cujo objetivo é obter informações sobre o tipo de precipitação que chega à superfície, para que seja possível aprimorar os algoritmos utilizados para estimativa de chuva por radar Doppler com tecnologia de dupla polarização. Conhecer a natureza da precipitação que chega ao solo é extremamente importante para melhorar a qualidade das estimativas. Num país como o Brasil, esse uso específico talvez não seja tão importante, já que na grande maioria das situações, a precipitação consiste de chuva líquida. Entretanto, a estratégia de utilizar pessoas comuns para cooperar na tarefa de observação de eventos meteorológicos ou hidrológicos empregando aplicativos

de *smartphone* deve ser avaliada, pois parece ser bastante útil em aplicações como sistemas de alerta de cheias, avaliação de modelos meteorológicos de previsão de tempo e de estimativas de chuva por radar.

O armazenamento de água na camada superficial do solo possui um papel fundamental no ciclo hidrológico. A quantidade de água disponível no solo próximo à superfície, além de controlar a partição da energia líquida incidente em fluxo de calor latente (evaporação) e fluxo de calor sensível, exerce influência também no processo de infiltração da água no solo, que por sua vez repercute no processo de geração de escoamento superficial (Lakshimi, 2013; Kerr *et al.*, 2010; Brutsaert, 2006) e ainda nas cargas de poluentes que alcançam os corpos hídricos em eventos de chuva.

O monitoramento adequado da umidade do solo possui diversas utilidades, dentre elas, a compreensão dos processos físicos envolvidos no ciclo hidrológico, promovendo o avanço científico e o aprimoramento das modelagens meteorológica e hidrológica (Brocca *et al.*, 2013; Sabater *et al.*, 2008; Drusch, 2007; Koster *et al.*, 2004). Esses modelos são ferramentas fundamentais no desenvolvimento e implantação de sistemas de alerta de cheias e sistemas de previsão climática de vazões (Douveille e Chauvin, 2000), ambas consideradas medidas fundamentais de adaptação de baixo arrependimento às mudanças do clima no setor de recursos hídricos (Brocca *et al.*, 2011; Drusch, 2007; Sabater *et al.*, 2008).

O monitoramento da umidade do solo possui relevância também na questão do uso dos recursos hídricos na produção de alimentos, pois permite que o agricultor aumente a eficiência do uso da água na irrigação, podendo reduzir de forma substancial a demanda de água, tendo em vista que o setor agrícola é o maior usuário de água em grande parte das bacias, ilustrando mais uma vez a importância da informação em estratégias de adaptação em recursos hídricos.

Apesar da importância de se conhecer a umidade do solo ao longo do tempo numa dada região, o monitoramento *in situ* da umidade do solo no Brasil, e em outros países com o mesmo perfil econômico, é praticamente inexistente, com exceção de alguns experimentos científicos intensivos, geralmente realizados num curto período de tempo e numa pequena extensão territorial.



Devido a essa dificuldade de se obter informação sobre a umidade do solo medida diretamente no campo, diversas tentativas foram realizadas para estimar a umidade do solo por meio de sensoriamento remoto (Lakishimi, 2013), como por exemplo, por meio do radiômetro de micro-ondas AMSR-E, que fica a bordo do satélite Acqua da NASA (Sahoo *et al.*, 2008) ou com base no imageador de micro ondas da missão TRMM (Bindish *et al.*, 2003). Entretanto, apenas em 2009, foi lançada a SMOS (Kerr *et al.*, 2001, 2010), a primeira missão com o objetivo específico de monitorar a umidade do solo, liderada pela Agência Espacial Europeia. Por ter sido desenvolvido especialmente para esse propósito, a comunidade científica espera que os resultados a serem alcançados com o SMOS superem todas as tentativas anteriores realizadas com outros instrumentos em outras missões espaciais, embora atualmente ainda não exista um produtor operacional disponível ao público.

Em março de 2002, foi lançado ao espaço o conjunto de satélites denominado GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), o primeiro com o objetivo específico de monitorar o campo de gravidade do planeta Terra. O monitoramento do campo de gravidade do planeta permite determinar a variação temporal da massa total de água acumulada em todo o globo terrestre, que inclui a umidade armazenada nas camadas superficiais do solo, a água armazenada em reservatórios superficiais, e o armazenamento em camadas mais profundas do solo.

Apesar das baixas resoluções temporal (>10 dias) e espacial (> 150.000 km<sup>2</sup>) da missão GRACE, diversos estudos mostram, ainda em caráter experimental, que as informações obtidas pelo GRACE possuem um enorme potencial para ser empregadas, de forma complementar, no monitoramento dos recursos hídricos, em especial no monitoramento das reservas subterrâneas, embora também possam ter valor no desenvolvimento, calibração e avaliação de modelos hidrológicos.

A qualidade das estimativas da variação do armazenamento obtidas pelo GRACE estão sendo avaliadas para verificar sua utilidade em estimativas de variabilidade interanual na Amazônia (Becker *et al.*, 2011; Xavier *et al.*, 2010), estimar a vazão mensal em grandes bacias sem monitoramento (Syed *et al.*,

2005, 2008), avaliar a importância relativa dos diversos termos do balanço hídrico (Frappart, 2013), e para identificar e caracterizar a intensidade de secas na bacia do Rio Amazonas e Mississippi (Chen *et al.*, 2009, 2010). Além disso, alguns pesquisadores têm procurado incluir as observações do GRACE para obter avanços na modelagem de processos hidrológicos (Houborg *et al.*, 2012; Vergnes e Decharme, 2012; Longueverge *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2012; Famiglietti *et al.*, 2011; Tiwari *et al.*, 2009; Rodell *et al.*, 2009).

## **4 TECNOLOGIAS DE BAIXO ARREPENDIMENTO PARA ADAPTAÇÃO**

### **4.1 Previsão nas escalas curto prazo, sazonal e decenal**

#### **Previsão de curto prazo**

Os sistemas de previsão de Tempo no mundo baseiam-se em rodadas de múltiplos modelos de Tempo e diferentes possibilidades de parametrização de esquemas de nuvens. A partir dos resultados destes modelos, previsões de precipitação para horizontes de três a cinco dias podem ser fornecidas. Na última década, uma tendência tem sido utilizar as informações deste conjunto de modelos para fornecer informações relativas à precipitação acumulada prevista, às probabilidades de precipitações acima de um limiar específico, assim como ao espalhamento das previsões do conjunto de modelos, para os mesmos horizontes. Mais recentemente, centros operacionais começaram a produzir previsões para horizontes maiores, em geral entre 10 e 15 dias, sendo aqui o alvo de maior interesse o total pluviométrico que ocorre no período, e não o momento que as precipitações ocorrem. Estas informações vêm sendo disponibilizadas em diferentes escalas espaciais (cidades, regiões e bacias hidrográficas) na internet e através de dispositivos móveis, mas pouco esforço vem sendo realizado em verificar operacionalmente estas previsões. Poucos centros meteorológicos oferecem produtos de verificação em caráter operacional, sendo estes baseados em métricas estatísticas (p.ex., Índice de Heidke, Índice de Acerto, Taxa de Alarme Falso e Probabilidade de Detecção). Como exemplo, pode-se citar o produto de previsão para bacias/regiões hidrográficas disponibilizado pela FUNCEME em seu sítio web.

Embora extremamente necessário, o uso da previsão de Tempo, combinado com dados de redes de monitoramento, como entrada de modelos hidrológicos, previamente calibrados, para a previsão de eventos hidrológicos na escala de Tempo vem sendo pouco praticado no Brasil em caráter operacional. A incorporação da previsão de Tempo para previsão de aflúências possui o intuito de aumentar o horizonte de previsão, o que, dependendo da qualidade da

previsão de Tempo, pode trazer vantagens importantes para a operação dos reservatórios, em especial, no controle de cheias.

De uma maneira geral, as previsões de tempo costumam ser de boa qualidade nas primeiras 24 ou 48 horas, deteriorando-se rapidamente a partir desta janela inicial de dois dias. Desta forma, a incorporação da previsão de tempo proporcionaria um aumento no horizonte de previsão de pelo menos dois dias, o que pode trazer um enorme benefício aos operadores dos reservatórios. Em termos proporcionais, bacias com tempo de concentração menor se beneficiariam mais com o uso da previsão de tempo, embora, a princípio, todas possam ser beneficiadas.

### **Previsão sazonal e interanual**

A alta variabilidade espaço-temporal da disponibilidade hídrica numa dada região é um das fontes de incertezas que gestores dos recursos hídricos precisam enfrentar no dia-a-dia. Como o futuro é incerto, decisões tomadas no presente relativas ao uso da água terão repercussões na disponibilidade hídrica futura.

Previsões confiáveis da disponibilidade hídrica futura representa certamente uma vantagem para a gestão dos recursos hídricos. Previsões de variáveis meteorológicas (precipitação e temperatura) e de vazão com horizonte de um mês a até dois anos de antecedência permite que gestores da área de recursos hídricos, assim como tomadores de decisão de setores usuários de água, como agricultura, abastecimento humano e geração de energia, possam se preparar para tomar as medidas necessárias.

Desde 2002, centros meteorológicos nacionais, regionais e internacionais reúnem-se ao longo do ano para emitir as previsões climáticas sazonais. A previsão climática sazonal no Brasil e no mundo adota um formato baseado na definição de probabilidades a um certo número de faixas de precipitação, hoje sendo utilizadas três faixas: chuvas abaixo da média, em torno da média e acima da média. Assim, o prognóstico climático tem natureza, o que está de acordo com a natureza do problema. Em alguns centros internacionais, informações além das probabilidades dos tercis são fornecidas.

O desafio na previsão é como definir as probabilidades destas três categorias de maneira consistente cientificamente, o que está longe da prática operacional. A definição das probabilidades dos três tercis baseia-se, operacionalmente, na opinião de consenso de um grupo de especialistas. Nestas reuniões de discussão são apresentados o monitoramento de campos atmosféricos e oceânicos e resultados de vários modelos matemáticos que simulam a dinâmica da atmosfera e de modelos que fazem uso de dados do clima do passado. Nestas reuniões, o que domina é a opinião pessoal dos especialistas, sendo o consenso alcançado muitas vezes pela influência de um senso comum muito motivado pelo desejo de se proteger do que é visto como "erro" na previsão, ou por uma memória muito subjetiva, e não lastreada no que foi previsto/observado em anos passados, ou ainda, por conceitos equivocados de probabilidade e estatística básicas e da percepção equivocada da natureza do problema que se quer resolver. Alguns estudos no Brasil e no mundo apontam que previsões climáticas sazonais baseadas no consenso de especialistas tendem a favorecer a categoria central (Hansen *et al.*, 2011; Martins, 2013). A alternativa a este modelo de previsão é o uso direto dos modelos climáticos, ou conjunto de modelos climáticos, para identificar de forma objetiva as probabilidades das três categorias, assim como toda a função densidade de probabilidade. Esta alternativa garante a consistência entre a previsão climática e as previsões de impactos a elas associados, como por exemplo, as previsões sazonais de vazão.

Apesar dos esforços realizados no desenvolvimento em produtos específicos para o setor de recursos hídricos, como aqueles desenvolvidos pela FUNCEME (Reis *et al.*, 2006) para os reservatórios localizados no estado do Ceará, as previsões sazonais de afluências na ainda não são plenamente incorporadas no processo de decisão de órgãos do setor no Brasil.

### **Previsão decenal**

A previsão decenal se propõe a estimar o estado do clima numa faixa aproximada entre 10 e 30 anos (Meehl *et al.*, 2009). Nessa escala de tempo, a variabilidade natural do clima e as ações antrópicas como a emissão de gases de

efeito estufa possuem papel relevante no processo dinâmico de evolução do clima (Cane, 2010; Murphy *et al.*, 2010; Vera *et al.*, 2010; Soares e Dessai, 2014).

Existe uma percepção de que a previsão na escala decenal é mais adequada às ferramentas e aos processos de tomada de decisão hoje existentes na área de recursos hídricos do que os prognósticos climáticos na escala centenária (Cane, 2010; Vera *et al.*, 2010). Isso explica o interesse de gestores e tomadores de decisão nesse tipo de previsão, conforme relatado em Cane (2010).

Entretanto, apesar dos esforços realizados por diversos grupos de pesquisa nos últimos anos (Meehl *et al.*, 2009), tal tecnologia encontra-se em sua infância, e ainda não é possível afirmar quando a previsão climática decenal irá fornecer informações de qualidade aos gestores na área de recursos hídricos.

Vários desafios foram identificados (Meehl *et al.*, 2009), sendo importante mencionar o desconhecimento dos processos físicos que causam as diversas variações climáticas decenais observadas ao longo das últimas décadas (e.g. Oscilação Decenal do Pacífico e a Oscilação Decenal do Atlântico), a influência dessas oscilações em anomalias climáticas observadas na América do Sul e em outros continentes, e na severidade e ocorrência do fenômeno ENSO (Vera *et al.*, 2010, Murphy *et al.*, 2010; Cane (2010).

Apesar dessa falta de entendimento dos processos físicos envolvidos, tentativas de prever a temperatura na escala decenal obtiveram algum tipo de sucesso (Smith *et al.*, 2007; Keenlyside *et al.*, 2008). Porém, tratando-se de precipitação, a previsão decenal ainda não possui a qualidade necessária (MacLeod *et al.*, 2012). Resultados apresentados por Mehta *et al.* (2014) indicam um caminho que pode trazer bons resultados num futuro próximo, tendo obtido resultados promissores em várias regiões da África do Sul.

## **4.2 Mecanismos de Transferência de Risco**

A variabilidade natural do clima e a ocorrência de eventos extremos, como secas e enchentes, afetam fortemente as comunidades mais vulneráveis, que possuem dificuldade para voltar ao estado de normalidade, não sendo capazes de lidar com esses riscos.

Investimentos em infraestrutura física podem, em alguns casos, reduzir a severidade e frequência dos danos causados. Entretanto, estratégias baseadas em mecanismos financeiros, geralmente mais baratas, como esquemas de seguro e contratos de opção (Dischel, 2002), podem contribuir na redução do risco, e têm sido estudados em diferentes aplicações na área de recursos hídricos (Ramos e Garrido, 2004; Characklis *et al.*, 2006; Brown e Carriquiry, 2007; Kalil *et al.*, 2007; Sankarasubramanian *et al.*, 2009; Cheng *et al.*, 2011; Steinschneider e Brown, 2012). Embora esses mecanismos não sejam capazes aumentar o volume de água armazenado, e tampouco transferir água no tempo, como no caso de reservatórios, eles permitem o compartilhamento dos prejuízos entre os diversos usuários em momentos de escassez (Brown e Carriquiry, 2007), e podem ser vistos como instrumento fundamental numa gestão adaptativa da água em que tanto as regras de operação de reservatórios quanto os próprios contratos de longo prazo de alocação possam ser alterados ou substituídos durante momentos de escassez (Sunkararasubramanian *et al.*, 2007; Steinschneider e Brown, 2012).

Em tese, contratos de opção e esquemas de seguro podem ser empregados de forma conjunta para reduzir os impactos da variabilidade climática natural na gestão dos recursos hídricos. Contratos de opção são celebrados entre dois usuários, ou entre setores de usuários de água. Há aquele que está interessado em reduzir o risco de não ter água suficiente no futuro, e que paga inicialmente pelo direito de exercer a opção de compra de um determinado volume de água no futuro, caso seja necessário, e há aquele usuário que está disposto a abrir mão do seu direito de utilizar um dado volume de água, desde que seja devidamente compensado por isso. Tanto o preço da água quanto o volume a ser transferido são previamente estabelecidos no contrato de opção. Mecanismos como esse têm sido utilizados como alternativa de gestão de demanda por recursos hídricos e podem apresentar-se como alternativa de adaptação de baixo arrependimento em situações específicos de contexto legal, institucional, socioeconômico e hidrológico de uma dada região.

Embora já existam exemplos de aplicação exitosa dessa estratégia de adaptação (Brown e Carriquiry, 2007), no Brasil ela ainda encontra-se incipiente. No estado do Ceará, uma outra estratégia inovadora, mais adequada ao sistema

legal brasileiro, foi estudada e aplicada ao atual processo de alocação negociada de água. Essa experiência de alocação faz uso conjunto da previsão sazonal probabilística de vazões, que reflete as incertezas da oferta de água num futuro próximo (alguns meses), e de um mecanismo de contrato de curto prazo, que permite que ocorra a transferência temporária de direito de uso da água entre usuários, mediante pagamento para compensar aqueles que abrem mão de utilizar o recurso naquele ano ou estação (Sankarabrumanian *et al.*, 2009). Essa é uma maneira interessante de acomodar a oferta e a demanda de água em momentos de escassez no processo de gestão da água.

### **4.3 Racionalização do Uso e Reúso da Água**

A quantidade de água utilizada para a produção de alimentos representa uma parcela considerável de toda água retirada de rios, lagos e reservas subterrâneas. Essa situação obviamente provoca uma pressão no setor agrícola para que ocorra um aumento na eficiência do uso da água.

O setor agrícola é na verdade bastante heterogêneo, com características físicas, biológicas, econômicas e sociais bastante distintas, o que inviabiliza um único tipo de solução para o aumento da eficiência. Certamente ciência, tecnologia e inovação podem ajudar na busca pela eficiência do uso da água na agricultura, mas para que tal tarefa seja exitosa, instrumentos econômicos e mudanças institucionais são também necessárias.

Hsiao *et al.* (2007) apresenta uma abordagem para analisar a eficiência no uso da água na agricultura que consiste em quantificar a eficiência total do uso da água considerando que a mesma depende da eficiência de oito etapas necessárias no processo de produção do alimento. Essas etapas percorrem todo o caminho da água desde sua retirada do ambiente, passando pelo transporte e armazenamento, até a aplicação na planta, onde ainda precisa-se considerar a relação entre o crescimento adequada da planta e processos de transpiração e fotossíntese que regem a contabilização da biomassa gerada. Hsiao *et al.* (2007) mostra que pode haver grande variação nos valores de eficiência na produção de grãos e frutas a partir do uso de diferentes técnicas e práticas agrícola.



Considerando que a redução de disponibilidade hídrica para desenvolvimento de atividades econômicas e para abastecimento público figura como um dos possíveis impactos de severidade significativa das mudanças no clima, as tecnologias de racionalização do uso da água e de reuso apresentam-se como alternativas interessantes para o processo de adaptação. Mas para que essas tecnologias sejam aplicadas acertadamente é preciso avançar em pesquisas que ratifiquem suas viabilidades com garantia de segurança sanitária e que promovam a superação de resistências da sociedade à sua disseminação.

O reuso pode ser definido como o uso da mesma água mais de uma vez antes que ela retorne ao ciclo hidrológico e sofra recirculação natural. No Brasil, o reuso da água foi definido de maneira abrangente pela Resolução Conama 54 de 28/11/2005 simplesmente como o uso de águas residuárias. Qualificações desse uso e das águas residuárias em questão determinam a viabilidade econômica dessa tecnologia delimitada pelo tratamento necessário, pelas especificidades da aplicação dada ao reuso e pelas exigências relacionadas à segurança sanitária e ao controle ambiental. Em grande quantidade de bacias hidrográficas no país, o reuso indireto já vem sendo aplicado mesmo que não seja convencionalmente rotulado como tal, já que o reuso indireto é definido como o uso de água residuária tratada e retornada ao ambiente onde passa por processos de diluição e de autodepuração antes de ser captada e utilizada a jusante.

O reuso direto diferencia-se por promover o uso de água residuária tratada mesmo antes de seu retorno ao ambiente. Esses sistemas coletam as águas residuárias, submetem-nas a um tratamento especificado e as direcionam para outros usos geralmente menos exigentes em termos de qualidade, tais como lavagem de pisos e veículos, usos em vasos sanitários, jardinagem, paisagismo, irrigação, indústria, recarga de aquífero etc.

Estudos no Brasil têm avaliado a rentabilidade da aplicação do reuso de esgotos domésticos na agricultura e na piscicultura (Pereira, 2004; Santos et al. 2011; Mota et al. 1997; Sousa et al. 2006). Para a agricultura, os resultados variam amplamente de acordo com a cultura, a forma de aplicação, e o tratamento aplicado ao esgoto doméstico. Da mesma forma, a utilização na piscicultura apresenta resultados variados para diferentes espécies e formas de

aplicação. No entanto, é frequente a ratificação em pesquisas do potencial dessa tecnologia como alternativa de adaptação, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

O reuso de esgotos domésticos tratados oriundos de Estações de Tratamento de Efluentes de companhias de saneamento no Brasil tem sido apontado com frequência como uma alternativa viável para o atendimento da demanda crescente por água para irrigação nas proximidades de grandes centros urbanos. A viabilidade dessa alternativa de adaptação aos efeitos de redução da disponibilidade hídrica depende da proximidade das áreas irrigadas e das ETEs, da evolução de pesquisas que identifiquem as características de efluentes que apresentam maior rendimento em diferentes culturas irrigadas, da elaboração de normas que regulem essa prática com garantia de segurança sanitária para trabalhadores e para os diversos plantios, da avaliação das alterações das propriedades do solo e das características das águas subterrâneas devido à aplicação de águas de reuso (Mota et al., 1997). Nessa categoria de reuso, soma-se ao benefício de atendimento de uma demanda crescente por oferta hídrica, a possibilidade de recirculação de nutrientes essenciais ao crescimento das culturas irrigadas.

Dentre as várias modalidades de reuso, aquela oriunda de águas residuárias domésticas e sua recirculação (após tratamento) para destino em usos não potáveis domiciliares (lavagem de pisos, jardinagem, paisagismo, lavagem de veículos e usos em vasos sanitários) ainda encontra-se em estágio inicial de evolução no Brasil, embora apresente-se como uma alternativa cada vez mais atraente e viável para a solução de atendimento a demanda crescente por água em áreas de grande adensamento populacional. Alguns fatores listados por Nascimento & Heller (2005) contribuem para a ausência de políticas públicas para disseminação do reuso e a superação desses obstáculos ancora-se no desenvolvimento técnico e científico através da: i) realização de estudos para avaliação prospectiva do alcance e da viabilidade econômica do reuso como tecnologia de adaptação; ii) seleção de tecnologia de tratamento de águas residuárias para cada tipo de efluente e de destino do reuso; iii) avaliação de

riscos ambientais e à saúde: iv) regulamentação e do desenvolvimento institucional para fiscalização dessas atividades com garantia sanitária.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos clássicos papéis da ciência na sociedade contemporânea é fornecer informação relevante para o processo de tomada de decisão e o desenvolvimento de políticas públicas permitindo que se conheça a priori, mesmo que de forma incompleta, as possíveis consequências das diversas alternativas levantadas. Esse papel é claro na questão de elaboração de estratégias de adaptação no setor de recursos hídricos às mudanças do clima.

Este capítulo apresentou algumas contribuições relevantes, na opinião dos autores, que a ciência, tecnologia e inovação é capaz de fornecer para o processo de adaptação às mudanças do clima no setor de recursos hídricos. Foram ressaltados alguns pontos diretamente associados ao setor de recursos hídricos, como a disponibilização de novas tecnologias para sistemas observacionais de variáveis climáticas e hidrológicas, possibilidades em curso de avanço na fronteira do conhecimento da modelagem hidrológica e climática, além da identificação de tecnologias de adaptação de baixo arrependimento, tais como racionalização e reuso da água, uso de previsões de variáveis hidrometeorológicas em diversas escalas temporais, que permitem a redução de impactos causados pela ocorrência de eventos extremos e uma melhor gestão dos recursos hídricos, e mecanismos econômicos de transferência de risco, consoantes com a ideia de gestão participativa.

Um dos possíveis entraves no processo de adaptação é a comunicação deficiente entre cientistas e planejadores. É urgente a necessidade de construir canais de comunicação entre esses atores de forma que as informações geradas pela ciência sejam de fato relevantes ao processo de adaptação e que sejam transmitidas de forma clara e no tempo adequado para a tomada de decisão.

## 6 - BIBLIOGRAFIA

- Barber, Nicholas John, and Paul Francis Quinn. 2012. "Mitigating Diffuse Water Pollution from Agriculture Using Soft-Engineered Runoff Attenuation Features." *Area 44* (4): 454–62. doi:10.1111/j.1475-4762.2012.01118.x.
- Base (2013), Challenges to planning climate adaptation strategies in Europe. Policy Brief, No. 1, April,
- Becker, M, B Meyssignac, L Xavier, A Cazenave, R Alkama, and B Decharme. 2011. "Past Terrestrial Water Storage (1980–2008) in the Amazon Basin Reconstructed From GRACE and in Situ River Gauging Data." *Hydrology and Earth System Sciences* 15 (2): 533–46. doi:10.5194/hess-15-533-2011.
- Bindlish, Rajat, Thomas J Jackson, Eric Wood, Huilin Gao, Patrick Starks, David Bosch, and Venkat Lakshmi. 2003. "Soil Moisture Estimates From TRMM Microwave Imager Observations Over the Southern United States." *Remote Sensing of Environment* 85 (4): 507–15. doi:10.1016/S0034-4257(03)00052-X.
- Brekke, Levi D, Edwin P Maurer, Jamie D Anderson, Michael D Dettinger, Edwin S Townsley, Alan Harrison, and Tom Pruitt. 2009. "Assessing Reservoir Operations Risk Under Climate Change." *Water Resources Research* 45 (4): 1–16. doi:10.1029/2008WR006941.
- Brocca, L, F Melone, T Moramarco, D Penna, M Borga, P Matgen, A Gumuzzio, J Martinez-Fernández, and W Wagner. 2013. "Detecting Threshold Hydrological Response Through Satellite Soil Moisture Data." *Die Bodenkultur* 7 (64): 3–4.
- Brocca, Luca, Florisa Melone, Tommaso Moramarco, and Wolfgang Wagner. 2011. "What Perspective in Remote Sensing of Soil Moisture for Hydrological Applications by Coarse-Resolution Sensors." In, edited by Christopher M U Neale and Antonino Maltese, 8174:81740A–81740A–12. SPIE. doi:10.1117/12.898034.

- Brown, Casey, and Miguel Carriquiry. 2007. "Managing Hydroclimatological Risk to Water Supply with Option Contracts and Reservoir Index Insurance." *Water Resources Research* 43 (11). doi:10.1029/2007WR006093.
- Brutsaert, W. (2006), *Hydrology: An Introduction*. Cambridge University Press.
- Cane, Mark A. 2010. "Decadal Predictions in Demand." *Nature Publishing Group* 3 (4). *Nature Publishing Group*: 231–32. doi:10.1038/ngeo823.
- Characklis, Gregory W, Brian R Kirsch, Jocelyn Ramsey, Karen E M Dillard, and C T Kelley. 2006. "Developing Portfolios of Water Supply Transfers." *Water Resources Research* 42 (5). doi:10.1029/2005WR004424.
- Chen, J L, C R Wilson, and B D Tapley. 2010. "The 2009 Exceptional Amazon Flood and Interannual Terrestrial Water Storage Change Observed by GRACE." *Water Resources Research* 46 (12): n/a–n/a. doi:10.1029/2010WR009383.
- Chen, J L, C R Wilson, B D Tapley, L Longuevergne, Z L Yang, and B R Scanlon. 2010. "Recent La Plata Basin Drought Conditions Observed by Satellite Gravimetry." *arXiv.org*. doi:10.1029/2010JD014689.
- Chen, J L, C R Wilson, B D Tapley, Z L Yang, and G Y Niu. 2009. "2005 Drought Event in the Amazon River Basin as Measured by GRACE and Estimated by Climate Models." *Journal of Geophysical Research* 114 (B5): B05404. doi:10.1029/2008JB006056.
- Cheng, Wei-Chen, Nien-Sheng Hsu Wen-Ming Cheng William W G Yeh. 2011. "Optimization of European Call Options Considering Physical Delivery Network and Reservoir Operation Rules," September, 1–11. doi:10.1029/2011WR010423.
- David, N, P Alpert, and H Messer. 2013. "The Potential of Cellular Network Infrastructures for Sudden Rainfall Monitoring in Dry Climate Regions." *Atmospheric Research* 131 (C). Elsevier B.V.: 13–21. doi:10.1016/j.atmosres.2013.01.004.
- Dischel, R. S. (2002). *Climate Risk and the Weather Market: Financial Risk Management with Weather Hedges*. Risk Books. 325pp.

- Doumounia, Ali, Marielle Gosset, Frederic Cazenave, Modeste Kacou, and François Zougmore. 2014. "Rainfall Monitoring Based on Microwave Links From Cellular Telecommunication Networks: First Results From a West African Test Bed." *Geophysical Research Letters*, July, n/a–n/a. doi:10.1002/2014GL060724.
- Douville, Herve, and Fabrice Chauvin. 2000. "Relevance of Soil Moisture for Seasonal Climate Predictions: a Preliminary Study." *Climate Dynamics* 16 (10-11). Springer: 719–36.
- Drusch, M. 2007. "Initializing Numerical Weather Prediction Models with Satellite-Derived Surface Soil Moisture: Data Assimilation Experiments with ECMWF's Integrated Forecast System and the TMI Soil Moisture Data Set." *Journal of Geophysical Research* 112 (D3): D03102. doi:10.1029/2006JD007478.
- Elliot, M., Armstrong, A., Lobuglio, J., Bartram, J. (2011), *Technologies for Climate Change Adaptation – The Water Sector* -, UNEP Riso Centre on Energy, Climate and Sustainable Development, Roskilde/Denmark.
- Elmore, Kimberly L, Z L Flamig, V Lakshmanan, B T Kaney, V Farmer, Heather D Reeves, and Lans P Rothfusz. 2014. "mPING: Crowd-Sourcing Weather Reports for Research." *Bulletin of the American Meteorological Society*, January, 140102052556009. doi:10.1175/BAMS-D-13-00014.1.
- Famiglietti, J S, M Lo, S L Ho, J Bethune, K J Anderson, T H Syed, S C Swenson, C R de Linage, and M Rodell. 2011. "Satellites Measure Recent Rates of Groundwater Depletion in California's Central Valley." *Geophysical Research Letters* 38 (3): n/a–n/a. doi:10.1029/2010GL046442.
- Fenicia, Fabrizio, Laurent Pfister, Dmitri Kavetski, Patrick Matgen, Jean-François Iffly, Lucien Hoffmann, and Remko Uijlenhoet. 2012. "Microwave Links for Rainfall Estimation in an Urban Environment: Insights From an Experimental Setup in Luxembourg-City." *Journal of Hydrology* 464-465 (C). Elsevier B.V.: 69–78. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.06.047.
- Frappart, Frédéric, Guillaume Ramillien, and Josyane Ronchail. 2013. "Changes in Terrestrial Water Storage Versus rainfall and Discharges in the Amazon

Basin.” *International Journal of Climatology* 33 (14): 3029–46.  
doi:10.1002/joc.3647.

Ghosh, Subimal, Deepashree Raje, and P P Mujumdar. 2010a. “Mahanadi Streamflow: Climate Change Impact Assessment and Adaptive Strategies.” *Current Science (Bangalore)* 98 (8). <http://www.ias.ac.in/currsci/25apr2010/contents.htm>: 1084–91.

Ghosh, Subimal, Deepashree Raje, and P P Mujumdar. 2010b. “Mahanadi Streamflow: Climate Change Impact Assessment and Adaptive Strategies.” *Current Science (Bangalore)* 98 (8). <http://www.ias.ac.in/currsci/25apr2010/contents.htm>: 1084–91.

Haberlandt, U, and M Sester. 2010. “Areal Rainfall Estimation Using Moving Cars as Rain Gauges – a Modelling Study.” *Hydrology and Earth System Sciences* 14 (7): 1139–51. doi:10.5194/hess-14-1139-2010.

Hansen, James W, SIMON J MASON, Liqiang Sun, and ARAME TALL. 2011. “Review of Seasonal Climate Forecasting for Agriculture in Sub-Saharan Africa.” *Experimental Agriculture* 47 (02): 205–40. doi:10.1017/S0014479710000876.

Hespanhol, I. (2002) Potencial de Reuso de Água no Brasil - Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 8, n.4, p:75-95.

Hoedjes, Joost, André Kooiman, Ben Maathuis, Mohammed Said, Robert Becht, Agnes Limo, Mark Mumo, Joseph Nduhiu-Mathenge, Ayub Shaka, and Bob Su. 2014. “A Conceptual Flash Flood Early Warning System for Africa, Based on Terrestrial Microwave Links and Flash Flood Guidance.” *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3 (2): 584–98. doi:10.3390/ijgi3020584.

Hong, Yang, Robert F Adler, Faisal Hossain, Scott Curtis, and George J Huffman. 2007. “A First Approach to Global Runoff Simulation Using Satellite Rainfall Estimation.” *Water Resources Research* 43 (8). Wiley Online Library. doi:10.1029/2006WR005739.



- Hong, Yang, Robert F. Adler, George J. Huffman and Harold Pierce. 2010. "Applications of TRMM-Based Multi-Satellite Precipitation Estimation for Global Runoff Prediction: Prototyping a Global Flood Modeling System". In: Gebremichael, M, F. Hossain (Eds.), *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*. Springer.
- Hou, Arthur Y, Gail Skofronick-Jackson, Christian D Kummerow, and James Marshall Shepherd. 2008. "Global Precipitation Measurement." Springer, 131–69.
- Hou, Arthur. 2013. "Global Precipitation Measurement (GPM) Science Implementation Plan."
- Houborg, Rasmus, Matthew Rodell, Bailing Li, Rolf Reichle, and Benjamin F Zaitchik. 2012. "Drought Indicators Based on Model-Assimilated Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Terrestrial Water Storage Observations." *Water Resources Research* 48 (7). Wiley Online Library. doi:10.1029/2011WR011291.
- Hsu, Kou-lin, Xiaogang Gao, Soroosh Sorooshian, and Hoshin V Gupta. 1997. "Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks." *Journal of Applied Meteorology* 36 (9): 1176–90.
- Huang, J, J Halpenny, W Wal, C Klatt, T S James, and A Rivera. 2012. "Detectability of Groundwater Storage Change Within the Great Lakes Water Basin Using GRACE." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 117 (B8). Wiley Online Library. doi:10.1029/2011JB008876.
- Huffman, George J, Robert F Adler, David T Bolvin, and Guojun Gu. 2009. "Improving the Global Precipitation Record: GPCP Version 2.1." *Geophysical Research Letters* 36 (17): L17808. doi:10.1029/2009GL040000.
- Huffman, George J, Robert F Adler, Philip Arkin, Alfred Chang, Ralph Ferraro, Arnold Gruber, John Janowiak, Alan McNab, Bruno Rudolf, and Udo Schneider. 1997. "The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset." *Bulletin of the American Meteorological Society* 78 (1): 5–20.

- Hughes, Samantha Jane, Edna Cabecinha, João Carlos Andrade dos Santos, Cristina Maria Mendes Andrade, Domingos Manuel Mendes Lopes, Henrique Manuel da Fonseca Trindade, João Alexandre Ferreira Abel dos Santos Cabral, et al. 2012. "A Predictive Modelling Tool for Assessing Climate, Land Use and Hydrological Change on Reservoir Physicochemical and Biological Properties." *Area* 44 (4): 432–42. doi:10.1111/j.1475-4762.2012.01114.x.
- Joyce, Robert J, John E Janowiak, Phillip A Arkin, and Pingping Xie. 2004. "CMORPH: a Method That Produces Global Precipitation Estimates From Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution." *Journal of Hydrometeorology* 5 (3): 487–503.
- Keenlyside, N S, M Latif, J Jungclaus, L Kornblueh, and E Roeckner. 2008. "Advancing Decadal-Scale Climate Prediction in the North Atlantic Sector." *Nature* 453 (7191): 84–88. doi:10.1038/nature06921.
- Kerr, Yann H, Philippe Waldteufel, J-P Wigneron, J Martinuzzi, Jordi Font, and Michael Berger. 2001. "Soil Moisture Retrieval From Space: the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Mission." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 39 (8). IEEE: 1729–35.
- Kerr, Yann H, Philippe Waldteufel, Jean-Pierre Wigneron, Steven Delwart, François Cabot, Jacqueline Boutin, Maria-José Escorihuela, et al. 2010. "The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements Of the Global Water Cycle." *Proceedings of the IEEE* 98 (5): 666–87. doi:10.1109/JPROC.2010.2043032.
- Kerr, Yann H. 2006. "Soil Moisture From Space: Where Are We?" *Hydrogeology Journal* 15 (1): 117–20. doi:10.1007/s10040-006-0095-3.
- Khalil, Abedalrazq F, Hyun-Han Kwon, Upmanu Lall, Mario J Miranda, and Jerry Skees. 2007. "El Niño-Southern Oscillation-Based Index Insurance for Floods: Statistical Risk Analyses and Application to Peru." *Water Resources Research* 43 (10). doi:10.1029/2006WR005281.
- Kidd, C, and V Levizzani. 2011. "Status of Satellite Precipitation Retrievals." *Hydrology and Earth System Sciences* 15 (4): 1109–16. doi:10.5194/hess-15-1109-2011.

- Klein, R., Dougherty, W., Alam, M., Rahman, A. (2005), Technology to Understand and Manage Climate Risks, Background Paper for the UNFCCC Seminar on the Development and Transfer of Environmentally Sound Technologies for Adaptation to Climate Change, Tobago, 14-16 June.
- Koster, Randal D, Paul A Dirmeyer, Zhichang Guo, Gordon Bonan, Edmond Chan, Peter Cox, C T Gordon, Shinjiro Kanae, Eva Kowalczyk, and David Lawrence. 2004. "Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation." *Science* 305 (5687). American Association for the Advancement of Science: 1138–40. doi:10.1126/science.1100217.
- Lakshmi, Venkat. 2013. "Remote Sensing of Soil Moisture." *ISRN Soil Science* 2013 (4539): 1–33. doi:10.1109/36.823905.
- Leijnse, H, R Uijlenhoet, and J N M Stricker. 2007a. "Rainfall Measurement Using Radio Links From Cellular Communication Networks." *Water Resources Research* 43 (3): n/a–n/a. doi:10.1029/2006WR005631.
- Leijnse, H, R Uijlenhoet, and J N M Stricker. 2007b. "Hydrometeorological Application of a Microwave Link: 2. Precipitation." *Water Resources Research* 43 (4): n/a–n/a. doi:10.1029/2006WR004989.
- Longuevergne, Laurent, Bridget R Scanlon, and Clark R Wilson. 2010. "GRACE Hydrological Estimates for Small Basins: Evaluating Processing Approaches on the High Plains Aquifer, USA." *Water Resources Research* 46 (11). Wiley Online Library. doi:10.1029/2009WR008564.
- Lopez, Ana, Fai Fung, Mark New, Glenn Watts, Alan Weston, and Robert L Wilby. 2009. "From Climate Model Ensembles to Climate Change Impacts and Adaptation: a Case Study of Water Resource Management in the Southwest of England." *Water Resources Research* 45 (8): n/a–n/a. doi:10.1029/2008WR007499.
- Loucks, D.P. (2012), Introduction. In: *The United Nations World Water Report No. 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*, Vol. 1.
- MacLeod, D A, C Caminade, and A P Morse. 2012. "Useful Decadal Climate Prediction at Regional Scales? A Look at the ENSEMBLES Stream 2

Decadal Hindcasts.” *Environmental Research Letters* 7 (4): 044012.  
doi:10.1088/1748-9326/7/4/044012.

Meehl, Gerald A, Lisa Goddard, George Boer, Robert Burgman, Grant Branstator, Christophe Cassou, Susanna Corti, et al. 2014. “Decadal Climate Prediction: an Update From the Trenches.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 95 (2): 243–67. doi:10.1175/BAMS-D-12-00241.1.

Meehl, Gerald A, Lisa Goddard, James Murphy, Ronald J Stouffer, George Boer, Gokhan Danabasoglu, Keith Dixon, et al. 2009. “Decadal Prediction.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 90 (10): 1467–85. doi:10.1175/2009BAMS2778.1.

Mehta, Vikram M, Hui Wang, Katherin Mendoza, and Norman J Rosenberg. 2014. “Predictability and Prediction of Decadal Hydrologic Cycles: a Case Study in Southern Africa.” *Weather and Climate Extremes*. Elsevier. doi:10.1016/j.wace.2014.04.002.

Merlin, O, A Chehbouni, Y H Kerr, and D C Goodrich. 2006. “A Downscaling Method for Distributing Surface Soil Moisture Within a Microwave Pixel: Application to the Monsoon '90 Data.” *Remote Sensing of Environment* 101 (3): 379–89. doi:10.1016/j.rse.2006.01.004.

Merlin, O, J WALKER, A Chehbouni, and Y Kerr. 2008. “Towards Deterministic Downscaling of SMOS Soil Moisture Using MODIS Derived Soil Evaporative Efficiency.” *Remote Sensing of Environment* 112 (10): 3935–46. doi:10.1016/j.rse.2008.06.012.

Merlin, Olivier, Christoph Rudiger, Ahmad Al Bitar, Philippe Richaume, Jeffrey P Walker, and Yann H Kerr. 2012. “Disaggregation of SMOS Soil Moisture in Southeastern Australia.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50 (5): 1556–71. doi:10.1109/TGRS.2011.2175000.

Messer, H, Artem Zinevich, and Pinhas Alpert. 2006. “Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks.” *Science* 312 (5774): 713–13. doi:10.1126/science.1120034.

- Miller, M. (2012). From raw data to informed decisions. In: The United Nations World Water Report No. 4: Managing Water under Uncertainty and Risk, Vol. 1.
- Montanari, A, G Young, H H G Savenije, D Hughes, T Wagener, L L Ren, D Koutsoyiannis, et al. 2013. “Panta Rhei—Everything Flows’: Change in Hydrology and Society—the IAHS Scientific Decade 2013–2022.” *Hydrological Sciences Journal*. 58 (6): 1256–75. doi:10.1080/02626667.2013.809088.
- Mota, S; Bezerra, F. C. & Tomé, L. M. (1997) Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto doméstico. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES.
- Murphy, J, V Kattsov, N Keenlyside, M Kimoto, G Meehl, V Mehta, H Pohlmann, A Scaife, D Smith. 2010. “Towards Prediction of Decadal Climate Variability and Change.” *Procedia Environmental Sciences* 1 (January): 287–304. doi:10.1016/j.proenv.2010.09.018.
- Nascimento, N. O. & Heller, L. (2005) Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. *Engenharia sanitária e ambiental*, vol. 10, n.1, Jan-Mar, Rio de Janeiro-RJ.
- National Research Council (2010a), *Adapting to the Impacts of Climate Change, America’s Climate Choices: Panel on Adapting to the Impacts of Climate Change*, 292p.
- National Research Council (2010b), *Advancing the Science of Climate Change, America’s Climate Choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change*, 528p.
- National Research Council (2010c). *Informing an Effective Response to Climate Change, America’s Climate Choices: Panel on Informing Effective Decisions and Actions Related to Climate Change*, 348p.
- Nicholson, A R, M E Wilkinson, G M O’Donnell, and P F Quinn. 2012. “Runoff Attenuation Features: a Sustainable Flood Mitigation Strategy in the Belford

Catchment, UK.” *Area* 44 (4): 463–69. doi:10.1111/j.1475-4762.2012.01099.x.

Overeem, A, H Leijnse, and R Uijlenhoet. 2011. “Measuring Urban Rainfall Using Microwave Links From Commercial Cellular Communication Networks.” *Water Resources Research* 47 (12): n/a–n/a. doi:10.1029/2010WR010350.

Overeem, Aart, Hidde Leijnse, and Remko Uijlenhoet. 2013. “Country-Wide Rainfall Maps From Cellular Communication Networks.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (8). National Acad. Sciences: 2741–45. doi:10.1073/pnas.1217961110/-/DCSupplemental.

Pereira, C.M. (2004) Avaliação do potencial do efluente de lagoas de estabilização para utilização na piscicultura. Florianópolis: UFSC, 173f. Tese.

Ramos, Almudena Gómez, Alberto Garrido. 2004. “Formal Risk-Transfer Mechanisms for Allocating Uncertain Water Resources: the Case of Option Contracts.” *Water Resources Research* 40 (12): n/a–n/a. doi:10.1029/2004WR003340.

Rabiei, E, U Haberlandt, M Sester, and D Fitzner. 2013. “Rainfall Estimation Using Moving Cars as Rain Gauges & Ndash; Laboratory Experiments.” *Hydrology and Earth System Sciences* 17 (11): 4701–12. doi:10.5194/hess-17-4701-2013.

Rayitsfeld, Asaf, Rana Samuels, Artem Zinevich, Uri Hadar, and Pinhas Alpert. 2012. “Comparison of Two Methodologies for Long Term Rainfall Monitoring Using a Commercial Microwave Communication System.” *Atmospheric Research* 104-105 (C). Elsevier B.V.: 119–27. doi:10.1016/j.atmosres.2011.08.011.

Rodell, Matthew, Isabella Velicogna, and James S Famiglietti. 2009. “Satellite-Based Estimates of Groundwater Depletion in India.” *Nature* 460 (7258): 999–1002. doi:10.1038/nature08238.

Sabater, Joaquín Muñoz, Christoph Rudiger, Jean-Christophe Calvet, Nouredine Fritz, Lionel Jarlan, and Yann Kerr. 2008. “Joint Assimilation of Surface Soil

Moisture and LAI Observations Into a Land Surface Model.” *Agricultural and Forest Meteorology* 148 (8-9): 1362–73. doi:10.1016/j.agrformet.2008.04.003.

Sahoo, Alok K, Paul R Houser, Craig Ferguson, Eric F Wood, Paul A Dirmeyer, and Menas Kafatos. 2008. “Evaluation of AMSR-E Soil Moisture Results Using the in-Situ Data over the Little River Experimental Watershed, Georgia.” *Remote Sensing of Environment* 112 (6): 3142–52. doi:10.1016/j.rse.2008.03.007.

SANKARASUBRAMANIAN, A, Upmanu Lall, Francisco Assis Souza Filho, and Ashish Sharma. 2009. “Improved Water Allocation Utilizing Probabilistic Climate Forecasts: Short-Term Water Contracts in a Risk Management Framework.” *Water Resources Research* 45 (11). doi:10.1029/2009WR007821.

Santos, E. S.; Mota, S.; Santos, A. B.; Monteiro, C. A. B.; Fontenele, R. M. M. (2011) Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol 16, n1, p:45-54.

Smith, D M, S Cusack, A W Colman, C K Folland, G R Harris, J M Murphy. 2007. “Improved Surface Temperature Prediction for the Coming Decade from a Global Climate Model.” *Science* 317 (5839): 796–99. doi:10.1126/science.1139540.

Steinschneider, Scott, Casey Brown. 2012. “Dynamic Reservoir Management with Real-Option Risk Hedging as a Robust Adaptation to Nonstationary Climate,” *May*, 1–16. doi:10.1029/2011WR011540.

Syed, T H, J S Famiglietti, J Chen, M Rodell, S I Seneviratne, P Viterbo, and C R Wilson. 2005. “Total Basin Discharge for the Amazon and Mississippi River Basins from GRACE and a Land-Atmosphere Water Balance.” *Geophysical Research Letters* 32 (24): L24404. doi:10.1029/2005GL024851.

Syed, Tajdarul H, James S Famiglietti, Matthew Rodell, Jianli Chen, and Clark R Wilson. 2008. “Analysis of Terrestrial Water Storage Changes from GRACE

and GLDAS.” *Water Resources Research* 44 (2): n/a–n/a. doi: 10.1029/2006WR005779.

Tiwari, V M, J Wahr, and S Swenson. 2009. “Dwindling Groundwater Resources in Northern India, From Satellite Gravity Observations.” *Geophysical Research Letters* 36 (18): L18401. doi:10.1029/2009GL039401.

Vera, C, M Barange, O P Dube, L Goddard, D Griggs, N Kobysheva, E Odada, et al. 2010. “Needs Assessment for Climate Information on Decadal Timescales and Longer.” *Procedia Environmental Sciences* 1 (January): 275–86. doi:10.1016/j.proenv.2010.09.017.

Vergnes, J P, and B Decharme. 2012. “A Simple Groundwater Scheme in the TRIP River Routing Model: Global Off-Line Evaluation Against GRACE Terrestrial Water Storage Estimates and Observed River Discharges.” *Hydrology and Earth System Sciences* 16 (10): 3889–3908. doi:10.5194/hess-16-3889-2012.

Wagner, Thorsten, Murugesu Sivapalan, Peter A Troch, Brian L Mcdonnell, Ciaran J Harman, Hoshin V Gupta, Praveen Kumar, P Suresh C Rao, Nandita B Basu, and Jennifer S Wilson. 2010. “The Future of Hydrology: an Evolving Science for a Changing World.” *Water Resources Research* 46 (5): 1–10. doi:10.1029/2009WR008906.

Wilby, R L, and P J Wood. 2012. “Introduction to Adapting Water Management to Climate Change: Putting Our Science Into Practice.” *Area* 44 (4): 394–99. doi:10.1111/j.1475-4762.2012.01133.x.

Wilby, R.L., Dessai, S. (2010), Robust Adaptation to Climate Change, *Weather*, July, Vol. 65, No. 7, 180-185.

Xavier, Luciano, M Becker, A Cazenave, L Longuevergne, W Llovel, O C Rotunno Filho. 2010. “Remote Sensing of Environment.” *Remote Sensing of Environment* 114 (8). Elsevier Inc.: 1629–37. doi:10.1016/j.rse.2010.02.005.