

## DEMANDAS ATUAIS E FUTURAS SOB INCERTEZAS E ADAPTAÇÕES DE LONGO PRAZO EM BACIAS DO JAGUARIBE E PIRANHAS-AÇU

*E. M. Mendiondo<sup>1\*</sup> & I. M. C. Pimentel<sup>1</sup> & D. Bressiani<sup>1</sup> & D. B. Rodrigues<sup>1</sup>*

**Resumo** – Este trabalho tem como objetivo apresentar demandas atuais e futuras de duas bacias selecionadas do semi-árido brasileiro sob incertezas e adaptações no longo prazo. Toma-se como referência os cadastros de outorga e os setores usuários mais representativos: consumo doméstico, industrial, irrigação, pecuária, incluindo aspectos de irrigação difusa e demandas induzidas. Estas demandas atuais e futuras são analisadas nas bacias de Jaguaribe(CE) e Piranhas-Açu (PB/RN), e contrastadas com estudos anteriores. A prospecção de demandas de irrigação é analisada sob aspectos de mudanças do clima e avaliada junto com fontes de incertezas. Os resultados preliminares são integrados com outros estudos sobre hidrologia, alocação, análise econômico e estudos de caso. Os cenários de demandas são aprimorados e validados com uma sistemática de seminários junto a técnicos, representantes de usuários e de comitês de bacia hidrográfica, que auxiliam no aperfeiçoamento de instrumentos de gestão de demanda adaptativa para planejamento estratégico.

**Palavras-Chave** – gestão da demanda hídrica, incertezas, cenários de longo prazo

## DEMAND FORECASTING UNDER UNCERTAINTIES AND LONG-TERM ADAPTATIONS IN JAGUARIBE AND PIRANHAS-AÇU RIVER BASINS

**Abstract** – This paper aims to depict real and future water demands under uncertainties and long-term adaptations in two selected river basins of Brazilian Semi-Arid region. The database on water permits and main water users is analysed and prospected, i.e. household, industrial, irrigation, livestock, diffuse irrigation and even induced water demands. These water demand forecasts are not only estimated in the Jaguaribe(CE) and Piranhas-Açu(PB/RN) river basins, but also compared to previous regional studies. Irrigation water demand scenarios are outlined under constraints of climate change and their sensitivity to sources of uncertainty is assessed. Preliminary results are under integration with parallel studies of climate and hydrology, water allocation, economic analysis and case-studies. Water demand scenarios are being updated and validated systematically through policy workshops, where inputs from water practitioners, users, decision-makers and representatives of river basin committees help onto better defining strategic-and-adaptive water resources planning.

**Keywords** – water demand management, uncertainties, long-term scenarios

<sup>1</sup> Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

\* Autor correspondente – [emm@sc.usp.br](mailto:emm@sc.usp.br)

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Este artigo introduz os conceitos, critérios e resultados discutidos sobre diagnóstico de demanda hídrica setorial e seus cenários associados em bacias do semi-árido brasileiro. A revisão bibliográfica foi ampliada, a metodologia foi aprofundada na sua descrição, com base em estudos anteriores, especialmente documentos do PNRH(ANA, 2006) e PISF/ANA (2005), e adaptados conforme respostas da participação de setores usuários e técnicos, expertos nacionais e internacionais durante os seminários organizados pelo Non-Lending Technical Assistance/Banco Mundial em 2011 e 2012 (de Nys et al, 2011a, 2011b, 2011c, 2012). As demandas futuras foram validadas conforme os documentos oficiais, baseando as projeções em porcentagens de demanda atual, para facilitar o diálogo interdisciplinar e intersetorial. O artigo sintetiza as metodologias abordadas e uma discussão dos possíveis impactos de futuras mudanças sobre as demandas, especialmente as de irrigação. Discutem-se as incertezas nas demandas hídricas e os resultados comparados com projeções de estudos anteriores até o horizonte do ano 2050 e 2100.

## METODOLOGIA

A organização do artigo se apresenta, de forma sintética, as etapas procedimentos de cálculo de demandas setoriais, com base nas suposições básicas de cenários atuais e futuros (Tabela 1). O artigo mostra como integrar o cálculo de demandas futuras com estudos de clima para avaliar as possíveis incertezas decorrentes da fase de diagnóstico (Figura 1a e Figura 1b). Os vetores de crescimento, comparados com estudos anteriores, e taxas históricas de demandas regionais são apresentados na Figura 2-a e 2-b. Este artigo mostra como interpretar os resultados de demandas atuais e futuras (Tabela 5 e Tabela 6, Figura 4), incluindo incertezas no banco de dados disponíveis até o momento (p.ex. CNARH/ANA). Esta síntese metodológica contrasta as hipóteses de cenários futuros, associados com coeficientes de correção de outorgas entre os resultados de demandas atuais e futuras, por setor usuário. O artigo apresenta uma análise de resultados, discussões e conclusões preliminares que auxiliam discussões e oficinas regionais voltadas para consolidar Planos de Bacias, e para cooperar com a atuação dos Comitês de Bacias respectivos.

A metodologia de levantamentos de demandas foi aplicada para contabilizar em escalas municipal, por sub-bacia e por hidrossistemas. Os trechos de hidrossistemas foram compatibilizados com os utilizados no NLTA para clima e hidrologia, e para alocação de recursos hídricos. Cada uma das bacias em estudo, Jaguaribe (CE) e Piranhas-Açu (PB/RN), foram divididas de maneira de poder aproveitar os estudos anteriores. Cada hidrossistema foi dividido em sub-trechos e instituiu demandas hídricas para determinadas finalidades de uso em cada trecho a serem considerados na concessão da outorgas de direito de uso de recursos hídricos pelos órgãos estaduais e Agência Nacional de Águas.

O levantamento das demandas foi extraído dos documentos dos Planos de Recursos Hídricos Estaduais e de Bacias Hidrográficas, a saber: Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, de 2004; Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte, de 1998 e atualizações até 2012; Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, de 1999 e atualizações até 2012; Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas - Estado da Paraíba, de 1992 e atualizações até 2012; Plano Diretor dos Recursos Hídricos do Estado da Paraíba - Bacia Hidrográfica do Rio Piancó e Alto Piranhas, de 1999.

Para atender critérios de oferta e alocação de recursos hídricos, as demandas foram levantadas em diferentes escalas: por município (IBGE, 2010), por sub-bacias principais (PISF, ANA, 2005) e hidrossistemas (PISF, ANA, 2005). Estas topologias atendem os critérios do Plano de Integração do Rio São Francisco considerando açudes acima de 10 hm<sup>3</sup>, para a estimativa de oferta hídrica

superficial das bacias receptoras. Tais açudes localizam-se tanto nas calhas dos rios cujos vales são perenizados a partir da operação destes reservatórios.

O presente estudo utilizou as narrativas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2010) para adaptar variáveis explicativas de demandas hídricas dos setores usuários nas bacias hidrográficas do Jaguaribe-JAG (CE) e Piranhas Açu-PA (PB e RN). Com base em estudos anteriores sobre demanda hídrica (p.ex. Doell et al, 2005-b; Araújo et al, 2004; PISF/ANA, 2005; ADECE, 2009; Pactos das Águas, 2009; entre outros), esta adaptação foi realizada para horizontes temporais futuros. Estes horizontes foram escolhidos para que possam ser contrastados com cenários de clima e de hidrologia obtida a partir de modelos climáticos globais (MCGs) utilizados pelo Relatório de Avaliação No. 4 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Foram utilizados os cadastros de outorga disponibilizados pelo Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) da Agência Nacional de Águas (ANA), auxiliados por estudos e projetos dos Estados de Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (ADECE, 2009; Pacto das Águas, 2009; IBGE, 2010; COGERH, 2011,2012) assim como informações disponibilizadas durante as Oficinas Temáticas do NLTA/Banco Mundial entre 2011 e 2012. O diagnóstico de demandas compreendeu a análise do banco de outorgas para demandas de uso consuntivo para setores usuários de recursos hídricos superficiais, Estes levantamentos foram desenvolvidos, sistematizados, contrastados e armazenados no Banco de Dados do NLTA gerenciado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos ([www.funceme.br/nlta](http://www.funceme.br/nlta)). As demandas futuras foram desenvolvidas a partir da adaptação de dois cenários do PNRH (2006,2010), “Água para Todos” (C1) e “Água para Alguns” (C2) (Tabela 1). As demandas futuras foram avaliadas com cenários do IPCC, desagregados em cenários do clima B1 e A2 para o período de 2041-2070, adotado valores médios para o ano 2050. O diagnóstico de referência para cada bacia foi atualizado com coeficientes de correção em todas as escalas de análise.

**Tabela 1-** Síntese metodológica de cenários futuros de demandas setoriais para hidrossistemas superficiais, usos consuntivos e com base na outorga e discussão com atores durante de NLTA (de Nys et al, 2011b, 2011c, 2012)

<b>Cenário C1 (2050-2100)</b>	<b>Cenário C2 (2050-2100)</b>
<p><b>•Demanda Doméstica em C1:</b> controle da demanda com consumo e perdas decrescentes no tempo; depende do crescimento populacional, consumo per-cápita e eficiências; máxima tecnologia no controle de perdas <i>Observação:</i> Dem.DOMInduzida (t) = f [OutorgaDOM(0), PopFutura(t), ConsumoFuturo(t), EficiênciaDOMFutura(t)] <i>Fonte:</i> Doell et al, 2005-b; Araújo et al, 2004; PISF/ANA, 2005.</p>	<p><b>•Demanda Doméstica em C2:</b> consumo per capita crescente (até 2050) e decrescente (até 2100); combate às perdas com menor eficiência que em C1; não é utilizada tecnologia disponível; “reação tecnológica” ocorre entre 2050 e 2100</p>
<p><b>• Demanda Industrial em C1:</b> redução progressiva das perdas e aumento de reúso de águas; afetada pelo crescimento populacional, o consumo per capita e eficiências industriais melhores que C2 <i>Observação:</i> Dem.IND.Induzida(t) = f [OutorgaIND(0), PopFutura(t), ConsumoFuturo(t), EficiênciaINDFutura(t)], <i>Fonte:</i> IBGE, 2010; ADECE, 2009; Doell et al, 2005-b; Araújo et al, 2004; PISF/ANA, 2005</p>	<p><b>•Demanda Industrial em C2:</b> redução de perdas somente entre 2050 e 2100; os coeficientes de perdas são maiores que em C1 (eficiência de C2 é menor que em C1)</p>
<p><b>•Demanda por Pecuária em C1:</b> para atender mercado doméstico prioritariamente, há otimização progressiva do consumo e da matriz de criação animal em fazendas adaptadas, com matriz de criação otimizada e melhor manejo dos rebanhos. <i>Observação:</i> Pecuária: f [ RangeCoef(t) , BEDACoef(t)]. <i>Fonte:</i> IBGE (2010), PISF/ANA, 2005, ADECE, 2009</p>	<p><b>•Demanda por Pecuária em C2:</b> mantém os índices históricos de consumo hídrico e de BEDA, e para atender mercado exportador exclusivamente, porém sem diminuir índices de perdas ou melhoria de manejo de rebanho.</p>
<p><b>•Demanda por Irrigação-C1:</b> com estrito controle de perdas; há reúso e aumento de áreas irrigadas para produção de alimentos entre 2010-2050 e se estabiliza no período 2075-2100; coeficientes de perdas caem de forma significativa a partir de 2010; há uma reconversão para culturas com menor necessidade hídrica (<math>K_c \downarrow</math>), e sujeito a efeitos menos intensos do clima (cenário IPCC-B1), usando CROPWAT (FAO, 2009).</p>	<p><b>•Demanda por Irrigação-C2:</b> aumento de áreas irrigadas, porém menor que C1; estabiliza-se em 2075-2100; coeficientes de perdas diminuem pouco (em relação ao C1); aumento progressivo de culturas com maior necessidade hídrica (<math>K_c \uparrow</math>), para priorizar mercado exportador de alimentos e combustíveis, p.ex. banana, árvores frutais, cana de açúcar e pastagens; este cenário é afetado por mudanças climáticas mais significativas (IPCC-A2)</p>
<p><b>Irrigação:</b> Coeficientes de crescimento de áreas irrigadas (<math>AreaCoef(t)</math>), perdas entre captação e consumo (<math>LossCoef_{irr}(t)</math>), mudança de coeficiente de cultivo médio regional (<math>K_cCoef(t)</math>) e mudança de evapotranspiração de referência por mudanças climáticas (<math>ETRCoef(t)</math>) <i>Fonte:</i> IBGE (2010), Doell et al, 2005-b; PISF/ANA, 2005, e modelagem do clima e hidrologia presente e futura NLTA (de Nys et al 2011a, 2011b, 2011c, 2012).</p>	
<p><b>•Irrigação difusa em C1:</b> controlada e restrita a valores históricos de referência; é otimizada a partir de controle dos coeficientes de irrigação futura</p>	<p><b>•Irrigação difusa em C2:</b> sem controle, aumenta proporcional à demanda por irrigação em hidrossistemas; não é otimizada</p>
<p><b>•Demanda por Aquicultura em C1:</b> por restrições ambientais, aumenta porém com estrito controle e combate às perdas; é proporcional ao aumento de demandas de irrigação do cenário C1 <i>Observação:</i> Aquicultura se desenvolve com os mesmos coeficientes de demanda futura de irrigação, para C1 e C2.</p>	<p><b>•Demanda por Aquicultura em C2:</b> aumenta sem restrições, com combate às perdas menores do que em C1; não há mudança de espécies entre C1 e C2, nem de consumo hídrico por espécie.</p>
<p><b>•Demanda induzida de C1:</b> “loop” ou círculo crescente de menor controle das demandas do setor doméstico e do industrial. Obras de transposição e integração de sistemas aumentam a capacidade de oferta e provocam novas demandas, induzidas pela segurança hídrica. <i>Observação:</i> Demanda induzida (loop de demanda) = Demanda de Diagnóstico + Demanda Futura; incluem-se duas parcelas na demanda futura, com ampliação de demanda de novos serviços, comércio, indústrias, e turismo: (a) parcela igual à do diagnóstico, (b) e parcela que cresce conforme coeficientes de demanda futuros, com demandas induzidas devido a uma maior oferta hídrica pela transposição. <i>Fontes:</i> Howe &amp; Lineaweaver, 1967; Solley et al, 1993; Dziegielewski et al, 1996; Mays, 2001; Doell et al, 2005-a,b; Schoengold et al, 2006, e discussão com expertos e atores durante oficinas de NLTA (de Nys et al, 2011c, 2012).</p>	<p><b>•Demanda Induzida de C2:</b> idem a C1, porém com menos controle nas perdas ainda; as obras de transposição e integração de sistemas incluem os coeficientes de indução de demanda que seguem os coeficientes de crescimento de demanda de C2, acrescidos aos de diagnóstico</p>

## ANÁLISE DE RESULTADOS

Os cenários futuros de demandas, se comparados com o diagnóstico, cresceram entre 29% (C1) e 46%(C2) para a bacia do Rio Jaguaribe. Para o Rio Piranhas-Açu, as demandas totais futuras cresceram entre 67%(C1) e 76%(C2). Os cenários de demandas futuras foram comparados com estudos do Plano de Integração do Rio São Francisco (PISF/ANA), tendo uma variação percentual em torno de 6,7 a 6,2% (JAG) e 21,7% e 15,6% (P-A). Análise de sensibilidade de vazões outorgadas mostraram erros relativos entre -30% e +10% no cadastro de vazões outorgadas na bacia do Rio Piranhas-Açu. Estes erros incidiram em maior incerteza na estimativa de demandas atuais e futuras (ver Figuras 1-a e 1-b, e Figuras 2-a e 2-b, comparando com outros estudos).

As demandas foram concentradas nas sub-bacias dos principais reservatórios das duas bacias: Banabuiu, Castanhão e Orós da Bacia do Rio Jaguaribe, e Coremas-Mãe-D'Água e Armando Ribeiro Gonçalves na Bacia do Piranhas-Assu. Para o Rio Piranhas-Açu, os hidrossistemas tiveram crescimentos expressivos nas demandas futuras. Por exemplo, o trecho Coremas-Mãe-D'Água aumentaria entre 35 e 49%; no Rio Piranhas no trecho paraibano as demandas futuras cresceriam entre 50(C1) e 61%(C2) e no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves os crescimentos futuros estimados seriam entre 44%(C1) e 70%(C2). No Rio Jaguaribe, as demandas futuras cresceriam significativamente: entre 51%(C1) e 102%(C2) no Castanhão e entre 41% e 89% para o reservatório de Orós. Embora a estrutura de consumo por hidrossistemas tenha contextos regionais, os crescimentos futuros de demandas tiveram comportamentos esperados para os cenários de desenvolvimento regional, conforme o PNRH.

As estimativas de demandas futuras por irrigação incorporaram coeficientes de correção para fatores de: crescimento de área irrigada (+185%, C1; +88%, C2) e diminuição de perdas de água na lavoura irrigada (-35%, C1; -15%, C2). Por outro lado, a mudança do valor médio espacial do coeficientes de cultivos sob irrigação futura foram estimados com base em tecnologia no campo, por exemplo melhoramento genético, manejo mais eficiente de irrigação de precisão, produzindo uma diminuição de kC em -15% para C1. Porém, para C2 estimaram-se aumentos de monoculturas que consomem mais água e aumento do ciclo vegetativo, aumentando Kc em +5%. Os impactos da mudança climática avaliados para o setor de irrigação por hidrossistemas cresceriam, de 2010 a 2050, entre 57% (C1) e 68% (C2) sem influências da mudanças da temperatura e evapotranspiração de referência. Incorporando mudanças climáticas, acrescentariam-se aos valores de 2010 incrementos de +8% (C1, B1) e +13% (C2, A2), respectivamente.

As demandas de consumo doméstico tiveram cenários futuros estimados com base no crescimento populacional a taxa média de consumo per cápita e os coeficientes de perdas nas redes de captação, tratamento e distribuição de água. Estes coeficientes incorporaram valores médios esperados de eficiência global dos sistemas de abastecimento, incorporando tecnologias novas e regras de micro-medição mais precisas no cenário C1. As estimativas de demanda de consumo doméstico urbano tiveram maior crescimento médio setorial, variando entre +280%(JAG) e +410%(P-A). O consumo rural apresentou estimativas de crescimento de demanda futura próximas aos de consumos urbano. Por outro lado, a pecuária teve crescimentos estimados entre 192%(JAG) e 233%(P-A). Embora com valores absolutos menores em relação a outros setores, o consumo de água para piscicultura crescerá expressivamente em ambas bacias hidrográficas, entre 11 (P-A) e 28 (JAG) vezes as demandas atuais.

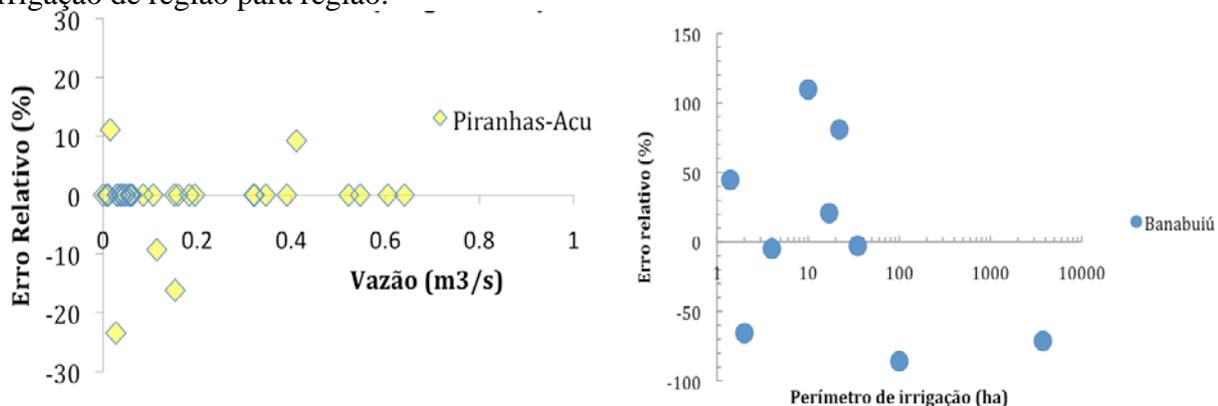
As demandas futuras da indústria tiveram melhorias nos coeficientes de perdas em relação aos do consumo presente no cenário C1. O Cenário C2 não teve melhorias significativas no coeficiente de perdas futuras. O setor industrial futuro teve crescimento entre 227%(P-A) e 790%(JAG) com incidências substanciais na distribuição percentual de setores usuários.

## DISCUSSÃO

Sem mudanças climáticas, no cenário C1 é previsto, em média, um acréscimo de 57% da demanda por irrigação daquela média especial existente em 2010, ou seja +185% (coeficiente 2,85) de aumento de áreas irrigadas, -35% (coeficiente 0,65) na redução de perdas e ganho de eficiência em sistemas de irrigação com maior eficiência, e -15% (coeficiente de 0,85) de diminuição de necessidades hídricas por opção de cultivos com menor tempo de ciclo vegetativo ou demandas fisiológicas para crescimento. Em síntese, o total de impactos na demanda equivalem a obter coeficientes de correção acoplados de:  $2,85 \times 0,65 \times 0,85 = 1,57$ . Para o Cenário C2, mantendo o clima presente, o acréscimo da demanda hídrica por irrigação será 67% maior que em 2010 ( $= 1,88 \times 0,85 \times 1,05 = 1,67$ ).

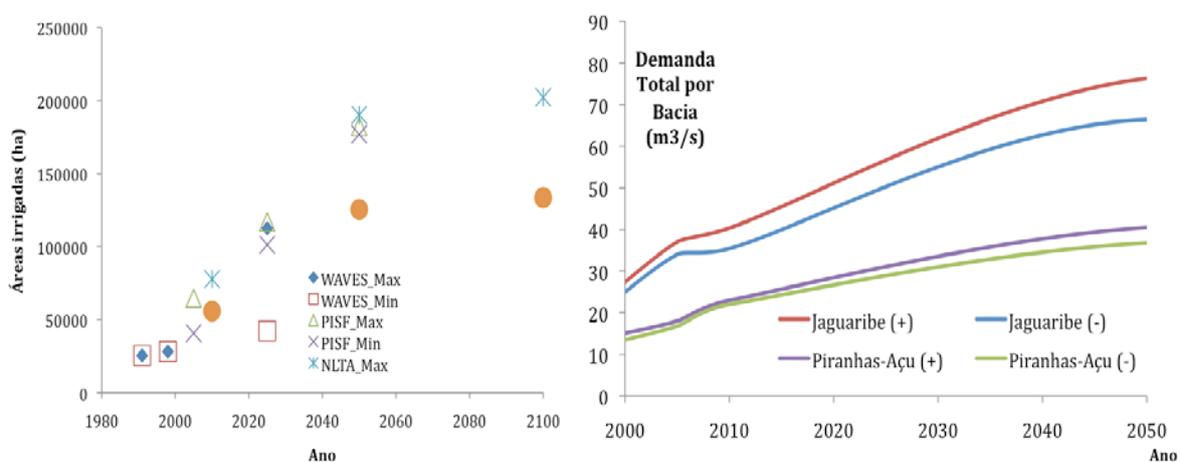
Havendo mudança do clima futuro, haverá mudanças da temperatura média ( $\Delta T$ ) e precipitação média ( $\Delta P$ ) das séries históricas correspondentes. Com mudanças climáticas, para cada cenário e para a evapotranspiração de referência, os fatores de correção da demanda, de 2010 até 2050, por irrigação futura serão de +65% (coeficiente 1,65) para o cenário C1 (a partir dos resultados dos modelos IPCC, cenário B1) e de +81% (coeficiente de 1,81) para o cenário C2 (a partir dos cenários (A2)). O peso relativo da mudança climática até 2050 no aumento de demanda por irrigação é de +8% ( $= 65\% - 57\%$ ) para C1 e de +13% ( $= 81\% - 68\%$ ) para C2. Estes valores são computados para os valores médios de mudanças de temperatura, e podem variar em cada município e sub-bacia de estudo.

Para este artigo, as incertezas das estimativas de demandas foram analisadas contrastando dados históricos (p.ex. PISF/ANA, 2005; Doell et al, 2005-a,-b; Araújo et al, 2004), e discutidos com base nos dados levantados a partir do banco de dados do CNARH. Neste artigo estudaram-se alguns casos de incertezas, que representam o comportamento geral do cadastro de demandas por vazão outorgada. Adotaram-se os exemplos de sub-bacias do Jaguaribe e do Piranhas-Açu. Na Figura 1 (esquerda) apresentam-se os erros das demandas setoriais (inclui abastecimento humano, industrial, pecuária e irrigação) em função da vazão outorgada para cada setor usuário do rio Piranhas-Açu. Por outro lado, na Figura 1 (direita) mostra-se o erro relativo da demanda de irrigação em função do tamanho do perímetro de irrigação na sub-bacia do Banabuiú (Jaguaribe). Em média, os erros relativos das demandas setoriais são de  $\pm 15\%$  para vazões até  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e de  $\pm 60$  a  $70\%$  de erro para perímetros irrigados de até 30 ha. Estes valores são oriundos de comparar os meses com maior consumo do valor médio anual, incluindo a sazonalidade natural e as práticas e turnos de irrigação de região para região.



**Figura 1- Esquerda:** Incertezas, na forma de erros relativos, em função da vazão outorgada até 1000 l/s, para todos os usos na bacia do Piranhas-Açu. Fonte: dados levantados, conforme CNARH/ANA. **Direita:** Exemplo de incertezas (coeficiente de variação, em %) das demandas de irrigação para o diagnóstico (ano 2010) em função do tamanho do perímetro de irrigação. Fonte: Bacia do Jaguaribe, CNARH e COGERH.

Neste artigo, comparando com os valores médios das taxas de irrigação utilizados em estudos anteriores, cujo valor médio é de  $0,40 \pm 0,15$  l/s/ha ( $0,14 \pm 0,05$  mm/h), o diagnóstico de demandas de irrigação, se supostas representativas em escala regional, podem indicar taxas de até  $0,40 \pm 0,28$  l/s/ha ( $0,14 \pm 0,10$  mm/h). Sob a suposição que as incertezas setoriais são representativas para ambas bacias do Jaguaribe e Piranhas-Açu, e adotando que existem usos múltiplos concorrentes pela oferta hídrica (isto é, a transferência de incertezas é relacionada com a transferência de variâncias setoriais e covariâncias entre setores usuários), há uma parte expressiva de incertezas que ocorrem de outros setores usuários, exceto o de irrigação. Em média, para os coeficientes de variação de demandas totais (erro relativo de 15%) e de irrigação (erro relativo de 70%), há uma componente expressiva de incertezas a serem exploradas nos outros setores usuários, incluindo as suas covariâncias (relações cruzadas de demanda inter-setorial).



**Figura 2. Esquerda:** Estimativas de áreas irrigadas na bacia do rio Jaguaribe para o período 1980-2100 conforme diferentes fontes. Legenda: WAVES (Doell et al, 2005-a), PISF (ANA, 2005); NLTA (este trabalho). **Direita:** Demandas totais, com estimativas de diagnóstico histórico (ano 2000 a 2010) e futuras (2025 a 2050). Intervalos de máximas (+) e mínimas (-) estimativas conforme banco de dados e cenários do NLTA/Banco Mundial. Os valores estimados para o ano 2025 incorporam os resultados anteriores de PISF/ANA (2005) e as estimativas NLTA/Banco Mundial para 2050 incorporam valor médio esperado entre estimativas de NLTA e as projeções de PISF/ANA até 2050.

A gestão da demanda hídrica, incorpora instrumentos para compensar sua vulnerabilidade frente às condições no semi-árido nordestino, evitando o avanço da desertificação. Por exemplo, as sub-bacias do medio Jaguaribe e parte do Banabuiú são afetadas por processos de desertificação (CEARA/INPEA, 2009) em aprox. 30% e 9% de suas áreas de drenagem respectivamente. Nestas sub-bacias, os hidrossistemas dos vales perenizados a partir da infraestrutura de reservatórios direcionam compensações parciais do avanço da desertificação. O Pacto das Águas (CEARA, 2005) incorpora ações para convivência com a seca e contra o avanço da desertificação com exemplos práticos como: (1) programas de adaptação frente às secas, (2) princípios de sustentabilidade hídrica (“*water stewardship*”), compartilhando visões e políticas inter-institucionais para a gestão compartilhada de recursos hídricos, 3) outorgas, pactos e responsabilidades compatilhadas com parcerias público-privadas (PPP’s), (4) comitês e colegiados representativos da sociedade, (5) planos de ação de curto-, médio- e longo prazo, e (6) incentivos para a gestão descentralizada de recursos hídricos.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os resultados indicaram a necessidade de novos instrumentos de adaptação de longo prazo, junto a investimentos e manutenção da estrutura hídrica até 2050, aliados ao estabelecimento de

critérios de alocação apropriados e estudos econômicos representativos para minimizar futuros conflitos perante mudanças de longo prazo. As estimativas de demandas de diagnóstico e nos cenários futuros podem ser aprimorados conforme introdução de variáveis sócio-econômicas. Por outro lado, a desagregação espacial da demanda setorial tem limitações conforme os bancos de dados e cadastros existentes. Os resultados apresentados das demandas para as bacias do Jaguaribe e Piranhas-Açu, em decorrência do aumento futuro, podem propor garantias para a Entidade Operadora Federal, que podem ser utilizadas em conjunto ou isoladamente (ver PISF, ANA, 2005) na forma de: seguros hídricos, repasses constitucionais, caução, etc. Embora existam incertezas e necessidades de maior fiscalização no banco de dados e cadastro de usuários, a securitização pode ser uma recomendação para a transferência de riscos de estiagens e secas prolongadas, p.ex. o evento severo do período 2012-2013.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe do NLTA-Banco Mundial, Erwin de Nys (coord., Banco Mundial), Marcos A. S. Freitas (ANA), Eduardo S. P. R. Martins (FUNCEME/UFCE), Assis Souza Filho (UFC), Guilherme Marques (CEFET/MG), Victor Vazquez (Banco Mundial), Paula Freitas (Banco Mundial), Cybelle Frazão, Márcia A. Moraes (UFPE), e os técnicos e representantes de setores usuários e de comitês de bacia que voluntariamente colaboraram durante os seminários do NLTA em 2011 e 2012. Este artigo tem apoio dos projetos: FAPESP 2011/10929-1, FAPESP 2012/05515-6, CNPq 142343/2010-2, CNPq 307637/2012-3 e CNPq 161693/2012-1. Atualizações do projeto podem ser acessadas em: WWW.FUNCEME.BR/NLTA.

## REFERÊNCIAS

- ANA (2004b). Estudo Técnico – Disponibilidade Hídrica do Sistema Formado pelos Reservatórios Três Marias e Sobradinho na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco para Fins de Alocação de Água. Brasília, DF. 2004. 62 p.
- ANA (2004a). Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Resumo Executivo e Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF no16. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília, DF. 2004. 174 p.
- ANA – Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) (2005) Nota Técnica 390/2005/SOC- Análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional.
- Araújo, J. C. de.;Doell, P.; Guentner, A.; Krol, M.; Abreu, C. B. R.; Hauschild, M.; Mendiondo, E. M. (2004) Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid northeastern Brazil. *Water International*, International Water Resources Association, 2004. v. 29, n. 2, p. 209-220
- De Nys, E., V. Vazquez, E. S. P.R Martins, E. M Mendiondo, C. Frazão, M. Moraes, A. Souza-Filho, G. Marques, P. Freitas (2011-a, 2011-b, 2011-c, 2012) Como adaptar o planejamento e a operação dos recursos hídricos à variabilidade e mudanças climáticas em bacias hidrográficas selecionadas no Nordeste do Brasil, In: NLTA/Banco Mundial, Rel. I, II, III e IV, Oficinas Regionais (Fortaleza-CE, Natal-RN, João Pessoa-PB).
- Döll, P, M Krol, D Fuhr, T Gaiser, J Herfort, S Hoeyneck, A-K Jaeger, E M Mendiondo, A Printz, S Vorkelius (2005-a) Integrated scenarios of regional development in Ceará, In: T Gaiser ET AL Global Change and Regional Impacts – Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Northeast Brazil, Berlin: Springer, 19-42
- Döll, P., M Hauschild, E M Mendiondo, J C Araújo (2005-b) Modelling of Present and Future Water Use in Ceará as a Basis for Water Resources Planning, In: T Gaiser ET AL Global Change and Regional Impacts – Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Northeast Brazil, Berlin: Springer, 239-252.
- Krol, S. M., Bronstert, A. (2007). Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software* 259-268.
- Marengo, J. (2008). Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias Estratégicas*. Brasília, DF, N 27
- Mendiondo, E M (2010) Dialogue on Water and Climate: Risk Adaptation of Water Resources Management under Brazilian Policy on Climate Change, Summary Report, Brazilian CapNet – MMA, Training Course Summary 27-29 July, 2010, Brasília, DF.
- ONS (2003). Estimativa das Vazões para Atividades de Usos Consuntivos da Água nas Principais Bacias do Sistema Interligado Nacional - SIN. Operador Nacional do Sistema. Contrato DPP no 068/2003. Brasília, DF
- ProGEA S.r.l. (2004) The WaterStrategyMan DSS A Comprehensive Decision Support System for the Development of Sustainable Water Management Strategies.