

## O VALOR ECONÔMICO DOS USOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MARCOS

*Pedro Henrique Bof<sup>1</sup>\*, Guilherme Fernandes Marques<sup>2</sup>*

**Resumo** - Com a escassez da água se tornando uma crescente limitação ao desenvolvimento humano, a integração da economia com a disponibilidade hídrica vem dando às ferramentas de análise melhores condições de avaliar o valor econômico da água enquanto recurso escasso. Tal preceito é importante para identificar *trade offs*, alternativas de alocação e mesmo orientar a proposta de instrumentos econômicos de gestão. O valor econômico da água quando utilizada como insumo de produção, seja de produtos agrícolas ou geração de energia, é um indicativo da sua escassez relativa. Nesse artigo é determinado o valor marginal da água em uma bacia com usos competitivos de agricultura irrigada e geração de energia elétrica, a Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, de modo a avaliar o benefício econômico associado ao uso água.

**Palavras chave;** valoração econômica da água, irrigação, geração hidrelétrica.

### ECONOMIC VALUE OF WATER USES IN THE SÃO MARCOS RIVER BASIN

**Abstract** - As water scarcity becomes a growing limitation to human development, the integration between economy and water resources availability has given analysis tools better conditions to assess the economic value of water as a scarce resource. Such a precept is important to identify *trade offs*, allocation alternatives and even guide proposals of economic management instruments. Water economic value, when used as a production input, whether of agricultural products or generation of energy, is indicative of their relative scarcity. In this paper, marginal value of water is determined in a basin with competitive uses of irrigated agriculture and hydropower generation, the São Marcos River Basin, in order to evaluate the economic benefit associated with the use of water.

**Keywords** - economic valuation of water resources, irrigation, hydropower generation

---

<sup>1</sup> Eng. Ambiental pela UFRGS, Mestrando do PPGRHSa pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas; pedrohbof@gmail.com

<sup>2</sup> Eng. Civil pela UFMG, Mestre em Hidráulica e Saneamento pela USP e doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos pela University of California at Davis; guilherme.marques@ufrgs.br

## INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma ameaça crescente e cada vez mais presente ao desenvolvimento, saúde e bem-estar humano, cujas consequências envolvem diretamente setores como bem estar social, segurança alimentar, desenvolvimento econômico e industrial, saúde e ecossistemas ecológicos (ICWE, 1992). A escassez afeta todos os setores econômicos e sociais e ameaça a continuidade de recuperação dos recursos naturais, e deve ser combatida através de uma ação intersetorial e multidisciplinar para gerenciar os recursos hídricos de forma a maximizar a eficiência econômica e o bem-estar social de maneira equitativa. Isso deve ser feito de uma forma que leve em consideração o desenvolvimento econômico e social, a oferta, o uso e a demanda de água, bem como a qualidade de vida das pessoas e o ecossistema que as sustenta (UN WATER, 2007).

Uma análise das tendências dos casos de escassez de água nos últimos 2000 anos concluiu que a solução para os problemas de escassez deve ser buscada através de medidas não estruturais que passam por reformas na estrutura econômica dos países ou regiões, aumentando a eficiência do uso da água, diminuindo a intensidade de uso em regiões de baixa disponibilidade, e otimização do uso da água para regiões com escassez de regiões com abundância, e que as pesquisas devem seguir no sentido de buscar a incluir conceitos de governança de água, gestão dos recursos hídricos e políticas direcionadas para essa gestão (MATTI et al., 2010).

O Fórum Mundial da Água declarou que a crise da água é essencialmente uma crise de gestão, e conseqüentemente a governança da água é uma das grandes prioridades de ação para superar a crise hídrica (GWP, 2000). Entre as diversas medidas que buscam o desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos e seus instrumentos de gestão, destaca-se a de “estabelecer mecanismos econômicos, como precificar a água, ou torna-la uma *commodity* negociável no mercado” (RIJSBERMAN, 2004). Seguindo a tendência internacional, a Política Nacional de Recursos Hídricos, definida pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) estabelece como instrumento de gestão a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Seguindo a tendência de utilizar instrumentos econômicos na gestão dos recursos hídricos, um dos desafios que surge para estabelecer a cobrança como um instrumento que reflita o valor econômico da água e dê uma indicação ao usuário desse valor, é justamente estabelecer esse valor. Visto que a água é um bem essencial para o ser humano sob diversos aspectos, o emprego do seu valor em instrumentos econômicos de gestão é uma questão complexa que envolve aspectos além da esfera econômica, como distribuição de renda, impactos ambientais e equidade social, de modo que estabelecer um valor econômico para seu uso nem sempre é trivial. A água em menores quantidades é essencial para a sobrevivência, quando utilizada para a dessedentação e preparo de alimentos, mas em maiores quantidades se torna um insumo de produção, necessário para a agricultura, processos industriais e geração de energia. É como um instrumento de alocação entre esses últimos, que utilizam a água como um insumo, e conseqüentemente como uma *commodity*, que a valoração é necessária.

Nesse artigo será apresentada uma análise da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, uma bacia localizada na porção central do Brasil, na divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais, analisando o conflito entre agricultura irrigada e geração de energia elétrica existente na região, visando identificar como se dá o valor econômico da água entre esses dois usos. O PRH-Paranaíba (COBRAPE; ANA, 2011) recomenda a bacia do São Marcos como um local frutífero para a aplicação de instrumentos econômicos de gestão, devido à situação de conflito, decorrente da ocupação e crescimento desordenado e desregrado da agricultura irrigada e das altas demandas de água decorrentes dessa ocupação que se contrapõe ao panorama de planejamento ordenado que marca a expansão do setor elétrico brasileiro, que desde meados da década de 60 estuda a bacia do São Marcos com objetivo de aproveitá-la hidreletricamente (ANA, 2014).

Será utilizado um modelo de programação dinâmica estocástica dual (SDDP) para determinar a alocação ótima da água na bacia e extrair informações a respeito do valor econômico da água como insumo de produção para a geração de energia elétrica e agricultura irrigada.

O objetivo desse artigo é determinar como se dá a geração de benefícios econômicos através da água quando utilizada como insumo de produção para agricultura irrigada e para geração de energia elétrica na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos

Como mencionado, a área de estudo analisada nesse artigo será a Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos. A bacia faz parte da Região Hidrográfica do Paraná, que é a região com maior capacidade hidrelétrica instalada do país, responsável por 60% da geração de energia hidrelétrica brasileira (MMA, 2006). A bacia do São Marcos localiza-se na divisa entre os Estados de Minas Gerais e Goiás, e em parte do Distrito Federal, somando um total de 12.089,12 km<sup>2</sup>, dos quais 49,93 km<sup>2</sup> estão no Distrito Federal, 8.725,11 km<sup>2</sup> em Goiás e 3.314,08 km<sup>2</sup> em Minas Gerais. Faz parte da região o rio que dá nome à bacia, o Rio São Marcos, de dominialidade federal, e diversos rios estaduais, dos quais se destacam o Rio São Bento, o Rio Samambaia e o Rio Batalha.

A região possui uso intensivo de agricultura irrigada por pivô central, estando localizada no Vale da Pamplona, onde se encontram as áreas com maior concentração de pivôs centrais do Brasil, segundo levantamento realizado pela EMBRAPA (LANDAU et al., 2013). A bacia possui 96.873,79 ha irrigados, distribuídos em 1.132 pivôs centrais, segundo levantamento realizado em parceria entre a ANA e a EMBRAPA (ANA; EMBRAPA, 2014).

Em relação à energia hidrelétrica, a bacia possui duas hidrelétricas de grande porte, a Usina Hidrelétrica de Batalha (UHE Batalha), e a Usina Hidrelétrica de Serra do Facão (UHE Serra do Facão), além da UHE Mundo Novo, em fase de inventário. As duas usinas em operação somam uma potência instalada de 270 MW, sendo 60 MW da UHE Batalha e 210 MW da UHE Serra do Facão. A localização da bacia, das UHE's e a distribuição dos pivôs centrais de irrigação pode ser observado na Figura 1.

O conflito se dá entre os irrigantes concentrados na cabeceira da bacia e as duas usinas hidrelétricas, que estão encontrando dificuldades em gerar sua energia assegurada (ANA, 2010). Essa situação incentivou a ANA a intervir através da criação de um marco regulatório (ANA, 2010b), que limita a vazão consumida pelos irrigantes a montante da UHE Batalha.

### Modelo de Programação Dinâmica Dual Estocástica

O método de Programação Dinâmica Dual Estocástica (SDDP) foi descrito pela primeira vez por Pereira (1989) como um “algoritmo para calcular estratégias ótimas de operação em um sistema

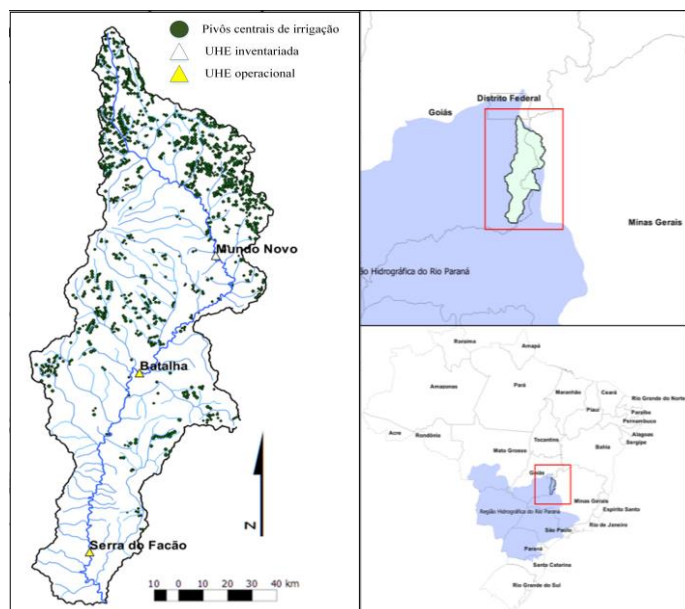


Figura 1 - Localização da bacia

hidroelétrico multi-reservatório que leve em consideração a estocasticidade das vazões afluentes e não exija discretização do estado de espaço” (tradução livre). O SDDP é um algoritmo de otimização que visa maximizar o benefício econômico gerado pela água em um sistema, respeitando determinadas restrições físicas e/ou econômicas. É uma adaptação da Programação Dinâmica Estocástica (SDP) (Bellman, 1954) que reduziu a necessidade e tempo de processamento. O algoritmo SDDP é descrito com detalhes em Pereira & Pinto (1985).

Aplicando o algoritmo SDDP a um sistema de arcos e nós contendo demandas e benefícios de irrigação e geração de energia elétrica, e reservatórios de água, é possível otimizar a alocação de água disponível na bacia de forma a maximizar e avaliar o benefício econômico. A aplicação do SDDP a um sistema de irrigação e geração de energia elétrica é descrito com detalhes em Tilmant; Pinte; Goor, (2008), Tilmant, Goor & Pinte (2009) e Goor et al. (2010).

### Aplicação na bacia do São Marcos

Utilizando o modelo de implantação do SDDP a um sistema de irrigação e geração de energia hidrelétrica, a área de estudo foi discretizada em um sistema a ser representado no modelo, seguindo a topologia apresentada no diagrama unifilar da Figura 2.

As vazões de entrada no sistema foram obtidas através das vazões naturalizadas da ONS (ONS, 2016) para as aflúências aos dois reservatórios, regionalizadas com base nas áreas de drenagem para cada nó, e são as entradas de água no sistema. As retiradas são as vazões consumidas na agricultura irrigada e a evaporação nos reservatórios das usinas hidrelétricas, além da saída do sistema pelo nó final.

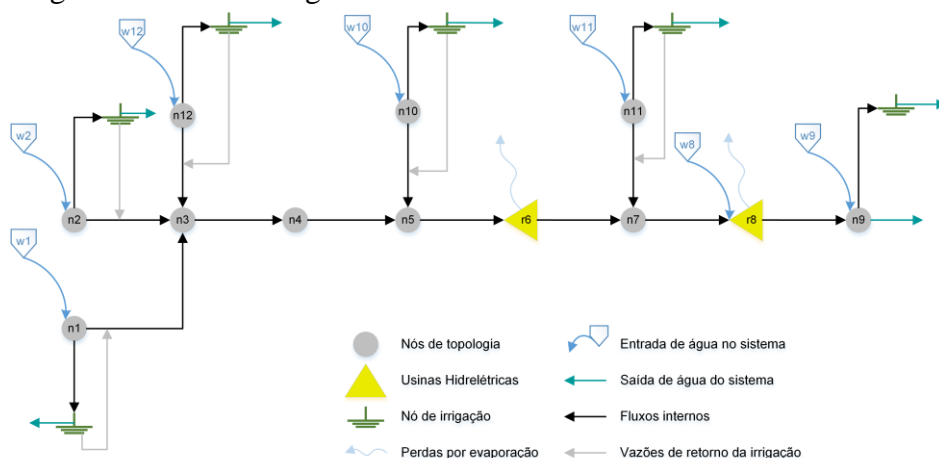


Figura 2 - Representação do sistema da bacia do São Marcos no modelo SDDP

Os dados de agricultura irrigada foram obtidos do mapeamento da ANA e EMBRAPA de pivôs centrais no Brasil (ANA; EMBRAPA, 2014), relacionados com informações do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006) e da pesquisa anual Produção Agrícola Municipal de 2015 (IBGE, 2015), sendo a demanda hídrica de irrigação calculada pela metodologia descrita no relatório Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2005), utilizando o software Cropwat 8.0 (FAO, 2006) para calcular a evapotranspiração de referência. As informações a respeito dos reservatórios foram retiradas do Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT), e os preços da energia gerada das médias mensais dos Preços de Liquidação das Diferenças - PLD para os anos de 2012 a 2017 (CCEE, 2017).

Na Tabela 1 são apresentadas as demandas hídricas por mês e o total anual, em hm<sup>3</sup>. Na Figura 3 são apresentadas as demandas totais de forma gráfica.

Tabela 1 - Demanda hídricas ao longo do ano

| Período                              | Jan   | Fev   | Mar  | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez  | Anual |
|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Demandas hídricas (hm <sup>3</sup> ) | 14,95 | 17,42 | 0,00 | 37,90 | 86,80 | 95,93 | 37,34 | 35,86 | 13,94 | 69,61 | 14,04 | 0,00 | 423,8 |

Na Tabela 2 são apresentados os preços comerciais dos produtos agrícolas.

Tabela 2 - Valores comerciais para as culturas irrigadas

| Cultura | Produtividade (t/ha) | Preço (R\$/t) | Custo operacional (R\$/ha) |
|---------|----------------------|---------------|----------------------------|
| Soja    | 4,2                  | 1.408         | 2.300                      |
| Milho   | 7,2                  | 460           | 1.776                      |
| Alho    | 13                   | 9.724         | 43.637                     |
| Feijao  | 3,3                  | 2.827         | 3.900                      |
| Café    | 3,3                  | 5.720         | 11.650                     |
| Batata  | 26,6                 | 1791          | 7.200                      |

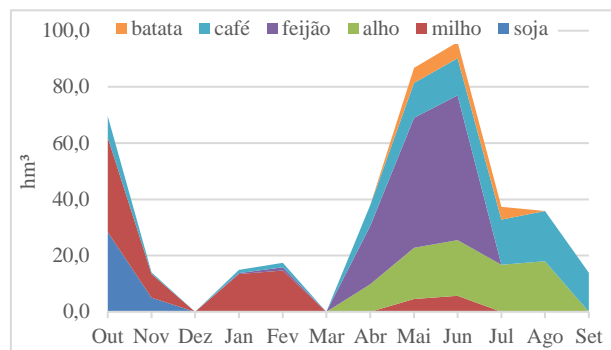


Figura 3 - Demandas hídricas ao longo do ano

As UHE presentes na Bacia, integradas ao SIN, são Batalha (60 MW de potência instalada e reservatório com 2.438 hm<sup>3</sup> de volume útil) e Serra do Facão (210 MW de potência instalada e reservatório com 5.652 hm<sup>3</sup> de volume útil). O preço da energia é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores comerciais para a energia gerada

| Mês                        | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Preço da energia (R\$/MWh) | 233,3 | 261,8 | 318,6 | 328,2 | 383,1 | 247,1 | 227,9 | 251,1 | 312,3 | 351,9 | 382,3 | 283,7 |

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo SDDP aloca a água no sistema considerando a maximização dos benefícios marginais respeitando as restrições físicas de espaço, topologia do sistema, disponibilidade hídrica, armazenamento dos reservatórios e vazão turbinada. O modelo é estocástico, e através das séries históricas de vazões dadas como entrada, gera 30 séries sintéticas de vazões que correspondem à variabilidade hidrológica esperada no futuro. Por isso, os resultados são gerados para 30 cenários simulados diferentes, e são analisados sob a forma de resultados dados em probabilidade de não superação, valores médios, máximos ou mínimos. A simulação roda para um intervalo de cinco anos de operação do sistema, a partir de condições iniciais definidas nos dados de entrada.

Através da alocação da água otimizada no sistema, é possível auferir os benefícios econômicos gerados pelos diferentes usos, nos diferentes locais do sistema. Conforme observado na Figura 2, o sistema é dividido em 12 nós, dos quais seis deles (1, 2, 12, 10, 11, 9) possuem demandas de irrigação e dois (6, 8) demandas para geração de energia hidrelétrica. Os benefícios gerados pelos nós de irrigação e pela geração de energia com 10% e 90% de probabilidade de não excedência estão apresentados na Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7. As estatísticas foram geradas considerando os 5 anos de simulações, isto é, foram considerados os 30 cenários anuais para os cinco anos simulados, totalizando 150 cenários mensais, de onde foram considerados os valores com 10% e 90% de probabilidade de não excedência. Na Tabela 4 estão apresentados os resultados agregados em totais anuais com diferentes probabilidades de não excedência.



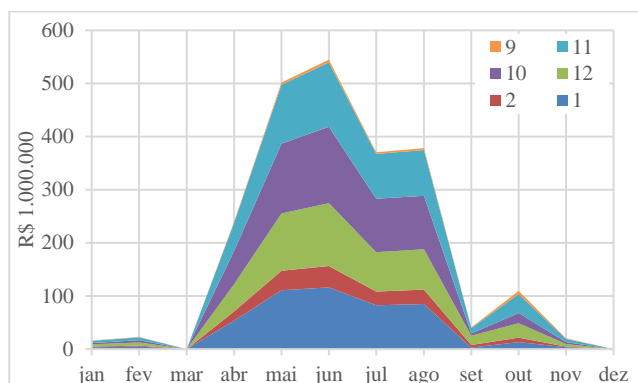


Figura 4 - Benefícios gerados pela agricultura irrigada nos nós de irrigação para os 12 meses do ano com 90% de probabilidade de não excedência

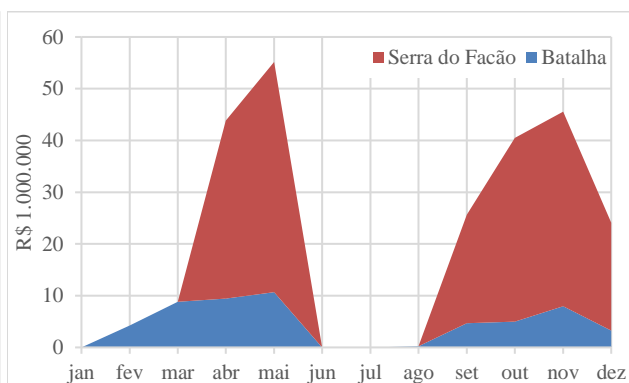


Figura 5 - Benefícios gerados pela geração de energia hidrelétrica para os 12 meses do ano com 90% de probabilidade de não excedência

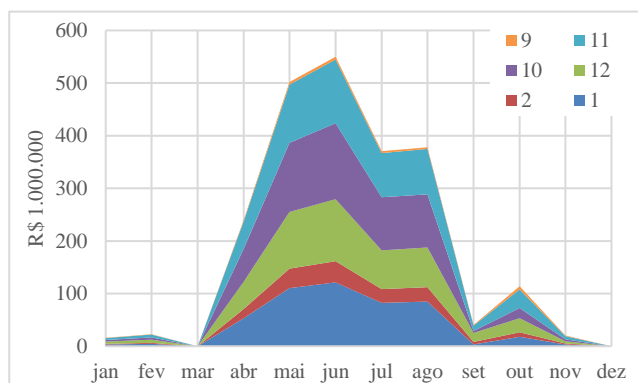


Figura 6 - Benefícios gerados pela agricultura irrigada nos nós de irrigação para os 12 meses do ano com 10% de probabilidade de não excedência

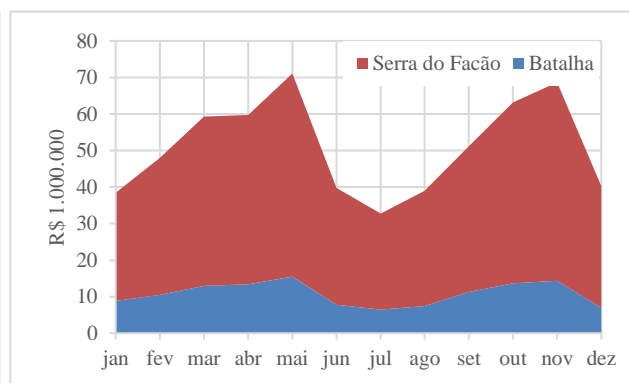


Figura 7 - Benefícios gerados pela geração de energia hidrelétrica para os 12 meses do ano com 10% de probabilidade de não excedência

Tabela 4 - Benefícios totais anuais com 90% e 10% de probabilidade de não excedência, e valores médios

| Atividade            | 90% permanência   |            | 10% permanência   |            | Média             |            |
|----------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|                      | Absoluto          | Percentual | Absoluto          | Percentual | Absoluto          | Percentual |
| Energia hidrelétrica | R\$ 248.233.480   | 9,96%      | R\$ 611.429.934   | 21,34%     | R\$ 434.128.472   | 16,17%     |
| Agricultura irrigada | R\$ 2.244.391.534 | 90,04%     | R\$ 2.254.330.432 | 78,66%     | R\$ 2.250.724.492 | 83,83%     |
| Total                | R\$ 2.492.625.014 | 100%       | R\$ 2.865.760.366 | 100%       | R\$ 2.684.852.965 | 100%       |

Conforme demonstram os resultados apresentados na Tabela 4, a energia hidrelétrica representa cerca de 9,96% dos benefícios totais do sistema, para 90% de probabilidade de não excedência. Para um cenário mais raro (e por consequência mais abundante, em termos de disponibilidade hídrica), com 10% de probabilidade de não excedência, a contribuição dos benefícios econômicos gerados pela energia hidrelétrica sobem para 21,34% do total do sistema.

Um resultado interessante é a constatação de que para cenários mais e menos abundantes de disponibilidade hídrica, a geração de benefícios oriundas da agricultura irrigada possui pouca variação, passando de R\$ 2,244 bilhões a R\$ 2,254 bilhões, um aumento de menos de 1%. Isso é coerente com a distribuição das demandas no sistema, pois se observada novamente a Figura 1, constata-se que a maior parte dos pivôs centrais de irrigação se concentram na cabeceira da bacia, isto é, são os que tem acesso prioritário à água, devido à localização geográfica. Adicionando a isso o fato de que são usos consuntivos, torna-se claro o motivo pelo qual a disponibilidade hídrica afeta tanto a

geração de energia hidrelétrica, sendo responsável por um aumento de 246% nos benefícios gerados pela geração de energia, em contraste com menos de 1% de aumento para a agricultura irrigada.

Conclui-se que a agricultura irrigada contribui com maiores benefícios econômicos para o sistema São Marcos, sendo responsável por percentuais que variam de 78% a 90% do benefício total, dependendo do cenário hidrológico. Ainda, a atividade possui impacto na geração de energia elétrica, visto que consome água a montante das turbinas, que caso fosse consumida a jusante, contribuiria para a geração de energia nas duas usinas hidrelétricas em série que se encontram no Rio São Marcos.

Estudos desse tipo fornecem importantes subsídios para a implantação de ferramentas econômicas de gestão, e podem vir a servir futuramente para estabelecer mecanismos de alocação negociada da água baseada em critérios econômicos como a precificação, com pagamento pela alocação com variações de preço baseadas na localidade geográfica, sazonalidade e/ou posição na bacia. Esse mecanismo tendem a otimizar a alocação de água na bacia ao mesmo tempo que beneficia individualmente os usuários dispostos a ceder parte das suas demandas hídricas em troca de algum tipo de compensação financeira, gerando aumentos de benefícios de rede nas bacias como um todo.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu o apoio financeiro parcial da CAPES – Brasil e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2010a). Nota Técnica nº 104 /2010/GEREG/SOF-ANA - Subsídios à elaboração de Marco Regulatório na bacia do rio São Marcos. Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2010b). Resolução no 562, de 25 de Outubro de 2010. Estabelece o Marco Regulatório do Uso da Água na bacia do São Marcos, pactuado entre os órgãos gestores de recursos hídricos (OGRHs) dos Estados de Goiás, Minas Gerais e a ANA. Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2014). Subsídios para a discussão da compatibilização da geração de energia hidrelétrica com expansão da agricultura irrigada na bacia do rio São Marcos. Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2014). Levantamento Da Agricultura Irrigada Por Pivôs Centrais No Brasil - 2014. Brasília, DF.

BELLMAN, R. E. (1954). The Theory of Dynamic Programming. Bulletin of the American Mathematical Society.

BRASIL. (1997). Lei no 9.433, de 8 de Janeiro de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos). 14p.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Preços Semanais para o Preço de Liquidação das Diferenças. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/precos/precos\\_semanais?\\_afzLoop=94051789270298#%40%3F\\_afzLoop%3D94051789270298%26\\_adf.ctrl-state%3D608ntp80n\\_4](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_semanais?_afzLoop=94051789270298#%40%3F_afzLoop%3D94051789270298%26_adf.ctrl-state%3D608ntp80n_4)>. Acesso em: 27 mai. 2017.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS - COBRAPE; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2011). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH-Paranaíba)RP-03 - Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (Parte A). Brasília, DF.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Cropwat 8.0 Rome, Italy Joss Swennenhuis for the Water Resources Development and Management Service of FAO, 2006. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>. Acesso em: 20 mai. 2017

GLOBAL WATER PARTNERSHIP - GWP. (2000). Towards water security: Framework for Action Global Water Partnership. Stockholm,

GOOR, Q. et al. (2010). Optimal operation of a multipurpose multireservoir system in the Eastern Nile River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 14, n. 10, p. 1895–1908.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2006). Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>. Acesso em: 12 mai. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2015). Produção Agrícola Municipal 2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 12 mai. 2017.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT - ICWE. (1992). The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. Dublin, Ireland: The Dublin Statement and Report of the Conference.

LANDAU, E. C. et al. (2013). Concentração Geográfica de Pivôs Centrais no Brasil. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo.

MATTI, K. et al. (2010). Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 3.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. (2006). Caderno da Região Hidrográfica do Paraná. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS (2005). Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional - SIN. Carta ONS 013/340/2004 / Contrato GPD-CT-017/05-1-2.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. Séries Históricas de Vazões. Disponível em: [http://www.ons.org.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx). Acesso em: 10 mai. 2017.

PEREIRA, M. V. F. (1989). Optimal stochastic operations scheduling of large hydroelectric systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, v. 11, n. 3, p. 161–169.

PEREIRA, M. V. F.; PINTO, L. M. V. G. (1985). Stochastic optimization of a multireservoir hydroelectric system: A decomposition approach. *Water Resources Research*, v. 21, n. 6, p. 779–792,

RIJSBERMAN, F. R. (2004). Water Scarcity: Fact or Fiction? “New directions for a diverse planet”. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, p. 1–14.

TILMANT, A.; GOOR, Q.; PINTE, D. (2009). Agricultural-to-hydropower water transfers: sharing water and benefits in hydropower-irrigation systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 13, n. 7, p. 1091–1101,

TILMANT, A.; PINTE, D.; GOOR, Q. (2008). Assessing marginal water values in multipurpose multireservoir systems via stochastic programming. *Water Resources Research*, v. 44, n. 12, p. 1–17,

UN WATER. (2007) Coping with water scarcity: Challenge of the twenty-first century. New York: United Nations. Disponível em: <http://developmentbookshelf.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3362/0262-8104.2005.038>. Acesso em: 12 mai. 2017.