

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Estimativas hidrológicas para Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil

Anderson Ruhoff¹; Vinicius Alencar Siqueira²; Ayan Fleischmann³; João Paulo Lyra Fialho Brêda⁴; Rafael Barbedo Fontana⁵; Gabriel Matte Rios Fernandez⁶; Leonardo Laipelt⁷; Joao Pedro Ingrassia⁸; Aline Meyer Oliveira⁹; Mino Sorribas Viana¹⁰; Rodrigo Paiva¹¹; Adalberto Meller¹²; Alexandre Abdalla Araujo¹³; Alexandre de Amorim Teixeira¹⁴; Marcus Fuckner¹⁵,

RESUMO

O presente trabalho apresenta resultados preliminares para “Estimativas hidrológicas para Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) no Brasil”, em um projeto desenvolvido entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os resultados apresentam informações estratégicas que visam a subsidiar ações de planejamento e gestão setorial, econômica e de recursos hídricos, por meio de diagnósticos do uso da água pelos setores econômicos brasileiros a partir da sistematização de informações que evidenciam a interação entre a economia e o meio ambiente. Nesse contexto, o uso de modelos hidrológicos como o MGB-SA apoiados por múltiplas informações de sensoriamento remoto permite a obtenção de informação de fluxos e estoques hidrológicos de forma sistemática em grandes áreas, fomentando a consolidação de metodologias e bases de dados para CEAA no Brasil.

Palavras-Chave – CEAA, Modelagem hidrológica, Sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

A grande disponibilidade de recursos hídricos no território brasileiro confere vantagem econômica e competitivas ao país no cenário internacional. Além do crescimento continuado das atividades econômicas internacionais, também ocorre uma maior pressão sobre recursos naturais e sobre os recursos hídricos brasileiros. Nesse contexto, atividades econômicas relacionadas ao uso dos recursos hídricos podem ser fortemente afetadas por mudanças na disponibilidade hídrica do país. Assim, a necessidade de integração entre sistema econômico e recursos hídricos assume papel indispensável para a gestão sustentável dos recursos naturais de um território. A compreensão da

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, andersonruhoff@gmail.com;

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, vinisiquera@gmail.com;

³ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, ayan.fleischmann@gmail.com;

⁴ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, joaopaulofb@gmail.com;

⁵ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, rbarbedofontana@gmail.com;

⁶ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, gabriel.matterios@gmail.com;

⁷ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, leolaipelt@gmail.com;

⁸ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, joaoingrassia@gmail.com;

⁹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, alinemey@gmail.com;

¹⁰ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, mino.sorribas@gmail.com;

¹¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil, rodrigocdpaiva@gmail.com;

¹² Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília, Brasil, adalberto.meller@ana.gov.br;

¹³ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília, Brasil, alexandre.araujo@ana.gov.br;

¹⁴ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília, Brasil, alexandre.amorim@ana.gov.br;

¹⁵ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília, Brasil, marcus.fuckner@ana.gov.br.

disponibilidade hídrica e das interações do meio ambiente com o sistema econômico através da sistematização das bases de dados hidrológicos e relativas à economia do país de uma maneira consistente e sistemática, torna-se a base conceitual da metodologia *SEEA-Water* (*System of Environmental-Economic Accounting for Water*). Essa metodologia busca consolidar o desenvolvimento das contas d'água por diferentes países do mundo, tendo como objetivo o gerenciamento integrado de recursos hídricos, sendo constituída por um sistema de informações com suporte ao processo de tomada de decisão, o que permite a comparação de resultados entre países e organismos nacionais e internacionais ao longo do tempo. Os dados de contas econômicas da água, disponibilizados em formas de tabelas, expressam a disponibilidade, demandas e fluxos estabelecidos entre o meio ambiente e as atividades econômicas, com o intuito de compilar, sistematizar e disponibilizar as informações. Do ponto de vista dos dados hidrológicos, a metodologia baseada no *SEEA-Water* inclui a descrição dos recursos hídricos continentais em função de seus estoques e fluxos. As Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) no Brasil (ANA, 2020) consistem em um esforço de trabalho integrado entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tendo a 2ª edição sido publicada em 2020 para o período 2013-2017 (ANA, 2020).

O presente trabalho apresenta resultados preliminares para “Estimativas hidrológicas para Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil”, em um projeto desenvolvido entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O principal objetivo do projeto consiste em estimar os fluxos e estoques hidrológicos em escala nacional, considerando a tabela de ativos nas análises hidrológicas para determinação dos estoques iniciais, fluxos hidrológicos e estoques finais em intervalo de tempo anual por região geográfica brasileira. A tabela de ativos compila informações referentes aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo constituídos pela água disponível em rios, lagos, reservatórios artificiais, neve, gelo e glaciares (recursos superficiais) e águas subterrâneas e água no perfil do solo (recursos subterrâneos). A principal entrada de água no sistema ocorre via precipitação intra-territorial e volumes de água oriundos de outros territórios. Já os processos hidrológicos de evapotranspiração e descargas líquidas para outros territórios em bacias hidrográficas transfronteiriças acarretam no decréscimo dos estoques de recursos hídricos. Conceitualmente, as tabelas de ativos demonstram como os fluxos de entrada e saída de água de um território alteram os estoques existentes, seja em recursos superficiais ou subterrâneos, em um determinado intervalo de tempo.

CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS PARA CEAA

No contexto das CEAA, será utilizado o modelo MGB-SA (Siqueira et al., 2018) para dar suporte à obtenção de fluxos e estoques de água em diferentes regiões geográficas do território brasileiro. O MGB-SA, que abrange o continente da América do Sul, foi construído a partir do modelo MGB (Pontes et al., 2017), que é um modelo hidrológico conceitual, semi-distribuído e com propagação hidrodinâmica de vazões. Devido à escala espacial do modelo, como forçante de chuva é utilizada uma base global de precipitação denominada *Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation* (MSWEP, versão 1.1) (Beck et al., 2017), que possui 0,25° de resolução da grade. Considerando que o MGB-SA simula as diversas fases do ciclo hidrológico terrestre, o que inclui a dinâmica do armazenamento de água, evapotranspiração e quantidade de água nos rios e planícies, estes dados podem ser extraídos em diferentes unidades territoriais ou físicas, de acordo com o interesse para determinação das contas econômicas ambientais de água, respeitando as condições de consistência (fechamento) do balanço hídrico. Também podem ser extraídas do modelo vazões de entrada e saída das regiões geográficas a partir da identificação de trechos na interface (fronteira) entre a rede de drenagem e os limites políticos, conforme detalhado por Fernandez et al. (2021). Entretanto, algumas limitações de escala ou de processos não representados com o detalhamento

adequado podem gerar incertezas na obtenção dos dados, principalmente em níveis de agregação com grande variabilidade espacial. Além da utilização de modelagem hidrológica para obtenção dos estoques e fluxos hidrológicos, novas bases de dados do ciclo hidrológico terrestre e novas ferramentas metodológicas para extração de séries temporais permitem avanços consideráveis na metodologia das CEAA. Esses avanços incluem bases de dados derivadas de sensoriamento remoto, que estimam com grande detalhamento espacial e temporal os processos de precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, altimetria espacial, massas d'água e armazenamento total de água superficiais e subterrâneas. A disponibilidade de plataformas de computação em nuvem, como o *Google Earth Engine* (GEE) permite desenvolver ferramentas de análise de dados de forma rápida e consistente, para diferentes áreas de interesse. A **Figura 1** indica a representação conceitual dos estoques e fluxos hidrológicos para CEAA em uma área de referência, enquanto a **Figura 2** apresenta a concepção metodológica para obtenção de estoques e fluxos hidrológicos, considerando múltiplas fontes de dados baseadas em modelagem hidrológica e em sensoriamento remoto.

Figura 1 – Representação conceitual dos estoques e fluxos hidrológicos para contas econômicas ambientais da água em uma área de referência.

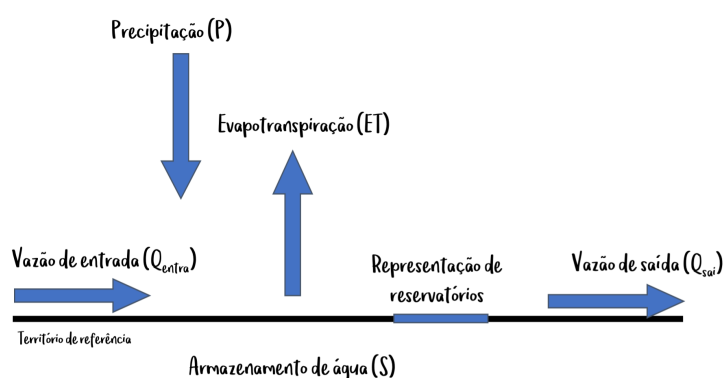
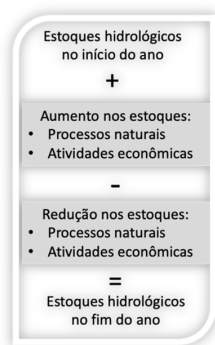


Figura 2 – Concepção metodológica da obtenção de estoques e fluxos hidrológicos para estimativas de contas econômicas ambientais da água em diferentes níveis de agregação.

Em função da grande necessidade de dados hidrológicos visando à gestão de recursos hídricos, e considerando também a relativa baixa densidade de estações de monitoramento hidrometeorológico em algumas áreas, as estimativas hidrológicas por sensoriamento remoto vêm assumindo grande importância. Mesmo com incertezas e erros nessas estimativas, os dados hidrológicos derivados de sensoriamento remoto permitem uma compreensão dos processos em distintas escalas espaciais e temporais, com possibilidades de monitoramento em grande escala. Nas últimas décadas, diversos satélites foram lançados e diversas técnicas foram desenvolvidas com foco no monitoramento de variáveis hidrológicas, como precipitação, umidade do solo, níveis d'água, armazenamento de água e evapotranspiração. A partir dessas novas informações, torna-se possível monitorar de forma contínua e sistemática novas áreas até então não monitoradas com dados *in situ*. Essa grande disponibilidade de informações espaciais sobre o ciclo hidrológico terrestre e que se apresentam como excelentes oportunidades também estão acompanhadas de grandes desafios, com necessidades de desenvolvimento de métodos apropriados de uso dos dados, incluindo processos de calibração e validação. A **Tabela 1** apresenta uma síntese dos produtos de sensoriamento remoto utilizados para análise do balanço hídrico no Brasil com vistas às CEAA e para comparação com o MGB-SA.



Estimativas de fluxos e estoques

Representação por modelagem hidrológica



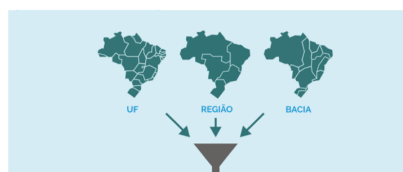
MGB-SA

Consistência por sensoriamento remoto



Multi-modelos
Múltiplas fontes

Níveis de agregação



Disponibilidade de dados



Tabela 1 – Produtos de sensoriamento remoto do ciclo hidrológico terrestre para análise do balanço hídrico no Brasil e comparação com estoques e fluxos hidrológicos obtidos pelo MGB-SA.

| Base de dados | Versão | Disponibilidade de dados | Resolução espacial | Resolução temporal | Referência |
|------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| Precipitação | | | | | |
| GPM IMERG | 6 | 2000 – presente | 0,1° | mensal | Huffman (2020) |
| TRMM 3B43 | 7 | 1998 – 2019 | 0,25° | mensal | Huffman et al. (2007) |
| CHIRPS | 1 | 1981 – presente | 0,05° | diário | Funk et al. (2015) |
| PERSIANN | 1 | 1983 – presente | 0,25° | diário | Nguyen et al. (2018) |
| Terra Climate | 1 | 1958 – 2019 | 2,5 arco-minuto | mensal | Abatzoglu et al. (2018) |
| ERA5 | -- | 1979 – presente | 0,25° | mensal | Hersbach et al. (2020) |
| Evapotranspiração | | | | | |
| MOD16 | 6 | 2000 – presente | 0,05° | diário | Mu et al. (2011) |
| GLEAM | 3,3b | 2003 – 2018 | 0,25° | mensal | Martens et al. (2017) |
| SSEBOP | 4 | 2003 – presente | 1km | mensal | Senay et al. (2013) |
| PML | | | | | Zhang et al. (2019) |
| GLDAS | 2,1 | 2000 - presente | 0,25° | horário | Rodell et al. (2004) |
| Terra Climate | 1 | 1958 - 2019 | 2,5 arco-minuto | mensal | Abatzoglu et al. (2018) |
| Umidade do solo | | | | | |
| GLDAS | 2,1 | 2000 – presente | 0,25° | horário | Rodell et al. (2004) |
| NASA USDA SMAP | -- | 2015 – presente | 0,25° | mensal | Entekhabi et al. (2010) |
| NASA USDA SMOS | -- | 2010 – presente | 0,25° | mensal | Entekhabi et al. (2010) |
| Armazenamento total de água | | | | | |
| GRACE SH JPL | 6 | 2002 – 2017 | 1° | mensal | Landerer e Swenson (2012) |
| GRACE SH GFZ | 6 | 2002 – 2017 | 1° | mensal | Landerer e Swenson (2012) |
| GRACE SH CSR | 6 | 2002 – 2017 | 1° | mensal | Landerer e Swenson (2012) |
| GRACE MASCONS JPL | -- | 2002 – 2017 | 0,5° | mensal | Watkins et al. (2015) |

RESULTADOS PRELIMINARES

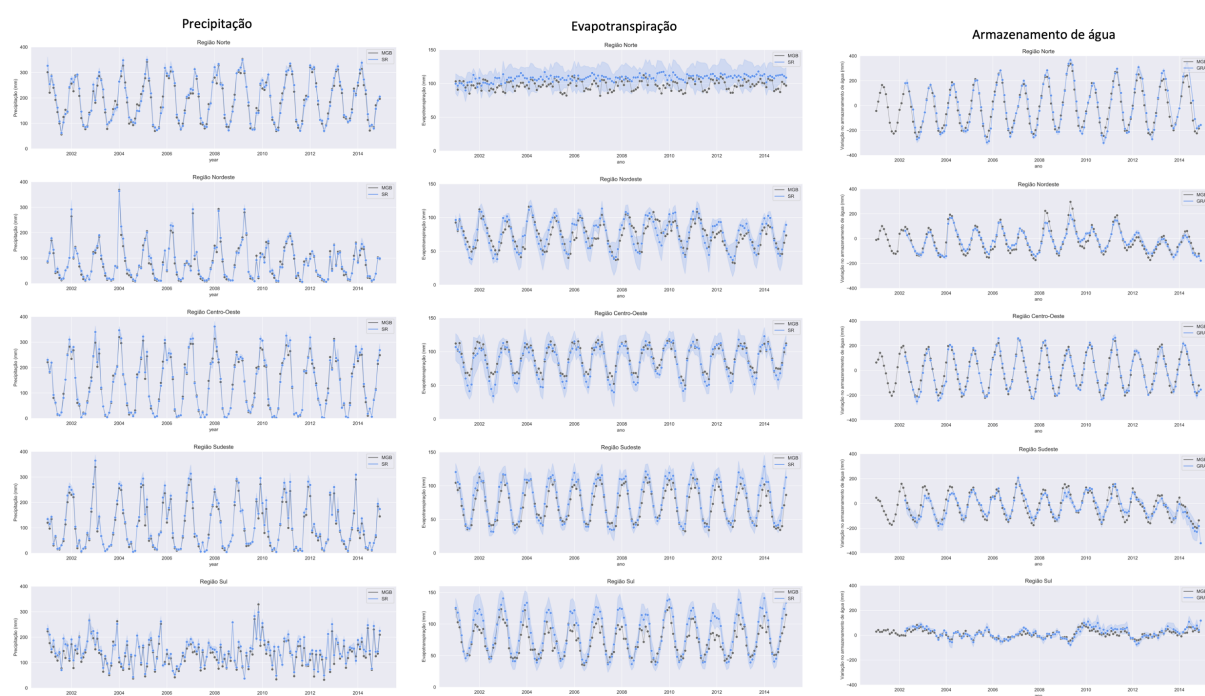
Comparação entre estimativas do MGB-SA e derivadas de sensoriamento remoto

A comparação entre variáveis hidrológicas obtidas a partir do MGB-SA (Siqueira et al., 2018) e derivadas de múltiplas fontes de modelos baseados em sensoriamento remoto (entre outros) para as diferentes regiões geográficas brasileiras tem como objetivo principal validar as estimativas do MGB-SA e verificar a consistência espacial e temporal para grandes áreas, com foco em estimativas de

fluxos e estoques para CEAA. Em função da disponibilidade de dados, as comparações foram realizadas para precipitação, evapotranspiração e armazenamento total de água, conforme apresentado na **Figura 3**. A definição das variáveis hidrológicas e dos dados utilizados foram realizados com base na disponibilidade global pública e acessível de bases de dados, disponibilidade de longas séries temporais e reconhecimento pela comunidade científica internacional, com disponibilidade de artigos científicos contendo descrição e validação dessas bases de dados.

A comparação entre estimativas mensais de precipitação obtidos a partir do MGB, que utiliza a base de dados do MSWEP, e de sensoriamento remoto indica grande consistência temporal para cada região geográfica brasileira, com RMSE variando entre 8,1 (região Norte) e 14,4 (região Sudeste) mm/mês, correlações superiores a 0,97 para todas as regiões e viés de 9% para as regiões Sul e Sudeste, chegando a valores inferiores a 4% nas outras regiões geográficas. Em intervalo de tempo anual, verificou-se correlações superiores a 0,92 para todas as regiões, com diferenças entre 26,9 (região Nordeste) e 146,9 (região Sul) mm/ano, o que representa variações entre 2 e 9%. De uma maneira geral, observou-se uma subestimativa da precipitação do MGB-SA (MSWEP) em comparação com a média multi-modelos, principalmente nas regiões Sudeste (6%) e Sul (9%), enquanto nas outras regiões geográficas essa subestimativa foi inferior a 3%.

Figura 3 – Comparação entre as séries temporais de precipitação, evapotranspiração e armazenamento total de água baseadas no MGB-SA e as médias de multi-modelos baseados em dados de sensoriamento remoto e outras fontes (conforme **Tabela 1**) para o período 2001-2014. A área sombreada azul representa o desvio-padrão dos dados.



Para a evapotranspiração os resultados indicam uma concordância entre as estimativas baseadas nos MGB-SA e as derivadas por sensoriamento remoto nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Nessas regiões, obteve-se correlação entre 0,84 e 0,95, RMSE entre 9,18 e 12,1 mm/mês (representando 10 a 16%), com viés entre -5% e 10% (para a região Centro-Oeste observou-se uma superestimativa, enquanto para as regiões Sudeste e Nordeste ocorreu uma subestimativa da evapotranspiração do MGB-SA). Na região Sul do Brasil, verificou-se alta correlação (0,93), entretanto obteve-se RMSE de 24% (17,6 mm/mês) e subestimativa de 16% do MGB-SA. Na região Norte, verificou-se o MGB-SA e os modelos apresentam grandes discordâncias, com baixa correlação (0,26) e alto desvio-padrão entre os modelos, uma vez que esses não conseguem representar

adequadamente a sazonalidade do processo de evapotranspiração na Amazônia (Maeda et al., 2017). Apesar da baixa representatividade na sazonalidade, o RMSE obtido foi de 13% (12,7 mm/mês) e uma subestimativa mensal de 10%. Em intervalo de tempo anual, o MGB apresentou moderada a alta correlação com as médias multi-modelos, com valores entre 0,52 e 0,88, e viés negativo, com subestimativa da evapotranspiração entre 27 a 145 mm/ano (3 e 17%) nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Norte. Na região Centro-Oeste, verificou-se uma superestimativa da evapotranspiração do MGB-SA de 6% (equivalente a 60 mm/ano).

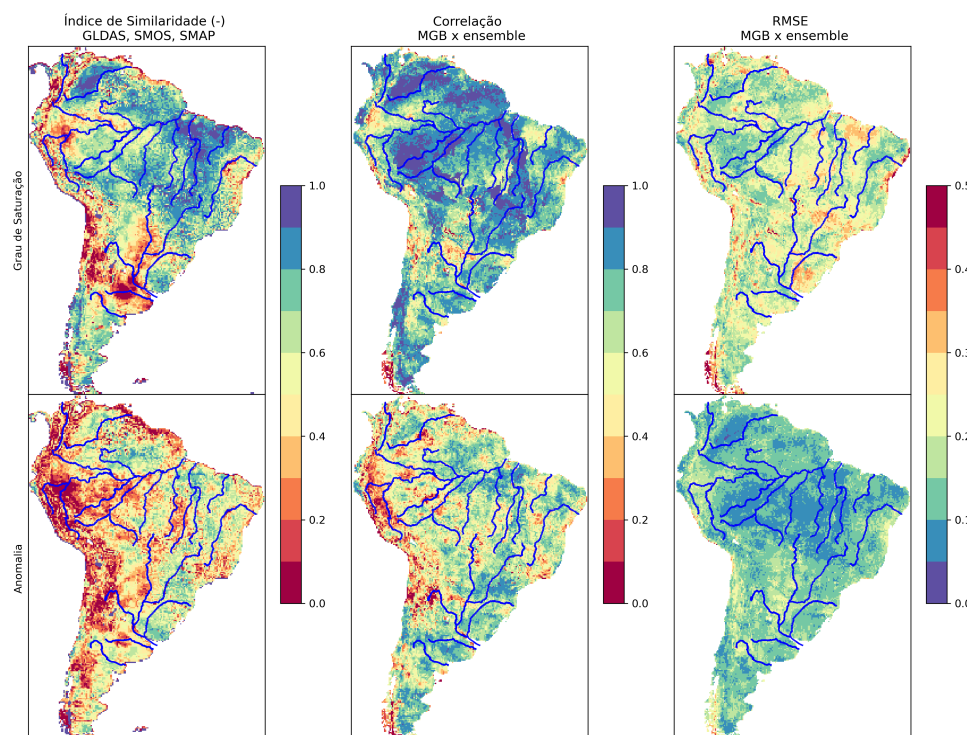
Os resultados de comparação entre o armazenamento total de água obtidos a partir do MGB-SA e das diferentes soluções GRACE (incluindo harmônicos esféricos e blocos de concentração de massa (MASCONS) para as regiões geográficas brasileiras são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Estatísticas comparativas mensais entre as séries temporais de variações no armazenamento total de água baseadas no MGB-SA e médias de diferentes soluções GRACE.

| | Sul | Sudeste | Centro-Oeste | Nordeste | Norte |
|----------------------|------|---------|--------------|----------|-------|
| RMSE (mm/mês) | 21,4 | 40,3 | 33,8 | 34,7 | 49,2 |
| Correlação | 0,88 | 0,91 | 0,97 | 0,94 | 0,96 |
| Diferença média (mm) | 6,7 | 3,8 | 10,4 | 0,2 | 5,0 |

Os resultados de umidade do solo do MGB-SA também foram comparados através de métricas estatísticas com cada um dos modelos de referência e com a média do conjunto dos três produtos. Também foi calculado o índice de similaridade entre os resultados de grau de saturação e anomalia dos modelos (Sorensson e Ruscica, 2018). A **Figura 4** apresenta os valores do índice de similaridade, da correlação de Pearson (R) e da raiz do erro médio quadrático (RMSE) das séries temporais de umidade do solo do MGB-SA em relação ao conjunto do resultado dos modelos na extensão da América do Sul. De uma maneira geral, observa-se uma forte concordância entre e MGB-SA e os modelos baseados em sensoriamento remoto para todo território brasileiro.

Figura 4 – Índice de similaridade entre os modelos de referência, correlação e RMSE dos dados do MGB-SA com s média (*ensemble*) dos modelos, em termos de grau de saturação (acima) e anomalias (abaixo) de umidade do solo.

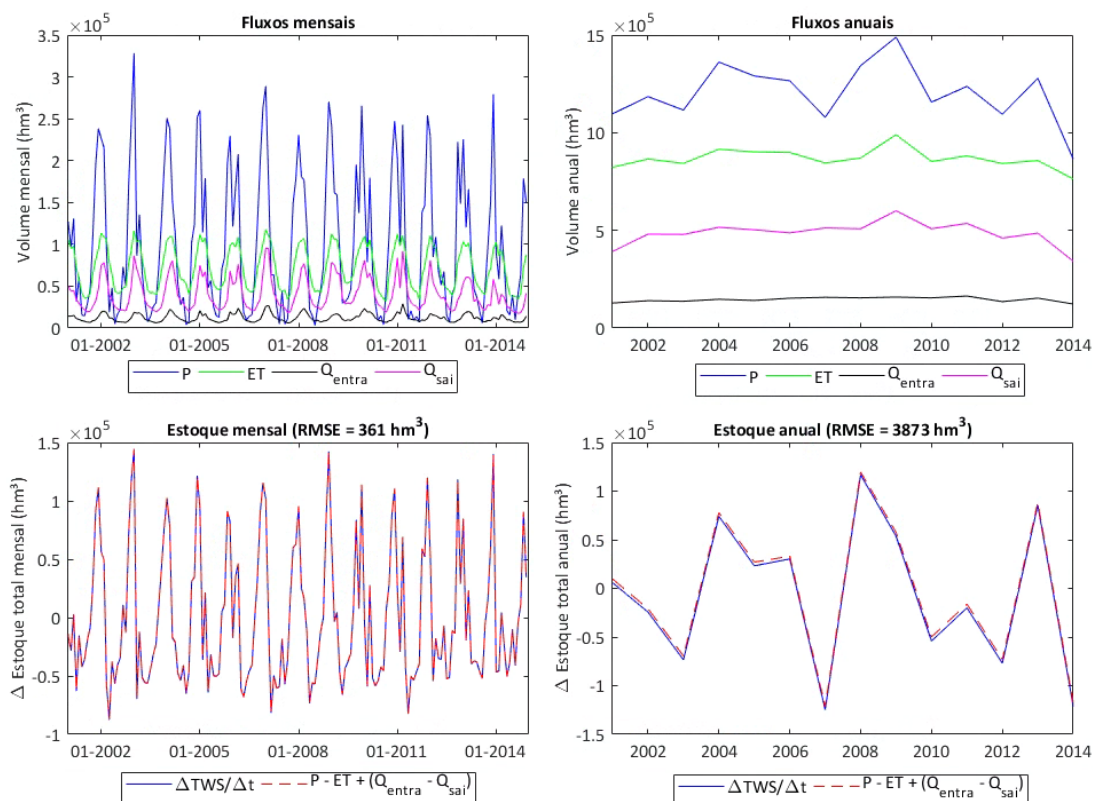


Estimativas de estoques e fluxos para CEAA: estudo de caso da Região Sudeste

Análise de fechamento de balanço hídrico do MGB-SA

A **Figura 5** apresenta séries temporais de fluxos e de fechamento de balanço hídrico para a região Sudeste, considerando os afluentes das regiões vizinhas como entradas de água na região e os defluentes às regiões vizinhas como saída de água da região, para o período 2001-2014. Os fluxos e a variação dos estoques totais em uma dada região geográfica foram aqui expressos tanto para intervalo de tempo mensal quanto anual, na unidade de volume hm^3 . Na região Sudeste obteve-se um fechamento do balanço hídrico consistente. No período analisado, o volume anual de precipitação sobre o Sudeste variou entre $8,5 \cdot 10^5$ e $1,5 \cdot 10^6$ hm^3 . A evapotranspiração ficou na faixa de $7,5 \cdot 10^5$ a 10^6 hm^3 . O volume de saída por escoamento teve concordância temporal com a evapotranspiração, com valores na faixa de $3,5 \cdot 10^5$ a $6 \cdot 10^5$ hm^3 . Já as vazões de entrada resultaram nos volumes mais baixos, próximos de $1,5 \cdot 10^5$ hm^3 . Os RMSEs calculado para a variação dos estoques mensal e anual no fechamento foram relativamente baixos, com valores de 361 hm^3 e 3.873 hm^3 respectivamente.

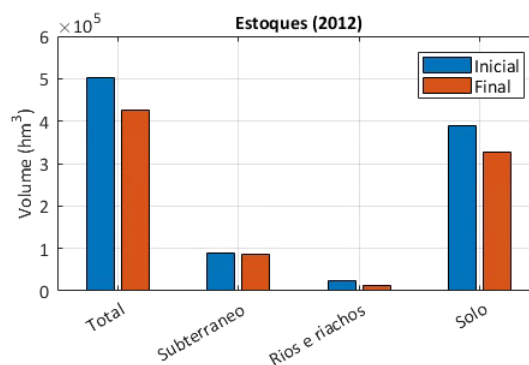
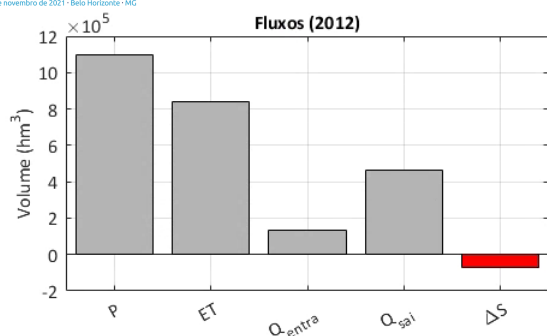
Figura 5 – Série temporal de fluxos e fechamento de balanço dos estoques para a região Sudeste entre 2001 e 2014.



Estimativas de estoques e fluxos para CEAA com base no MGB-SA

A **Figura 6** mostra um exemplo de aplicação da rotina desenvolvida para extração das informações do modelo MGB-SA. Os fluxos e estoques são discriminados em uma tabela base, para diferentes anos, definidos pelo usuário da rotina. Os estoques iniciais correspondem ao estado do modelo no dia 31/Dez do ano anterior ao da análise, ao passo que o estoque final é dado para o dia 31/Dez do ano atual.

Figura 6 – Exemplo de fluxos e estoques para a região Sudeste, gerado para o ano de 2012.



Resultados preliminares das tabelas CEAA para a região Sudeste

Nesta seção são apresentados resultados preliminares das tabelas-síntese no contexto das CEAA, contabilizando fluxos (entradas e saídas) e estoques de água para o período 2001-2014 para a região Sudeste do Brasil. Foram realizados testes contabilizando, de forma separada, cada elemento do balanço hídrico estimado pelo modelo MGB-SA. Distinguiram-se entradas e saídas das regiões e a variação de escoamento representadas pelas seguintes variáveis:

- Entradas: Vazão de entrada (transfronteiriça e fronteiriça à região), precipitação;
- Saídas: Vazão de saída (transfronteiriça e fronteiriça à região), evapotranspiração (solo+planta, água aberta, interceptação);
- Variação de armazenamento: armazenamento de águas superficiais (rios e planícies de inundação), de água no solo, e de água subterrânea.

Essas variáveis hidrológicas foram avaliadas levando-se em consideração o fechamento do balanço hídrico, sendo testados três cenários: (1) Precipitação original do modelo (MSWEP) e demais variáveis calculadas pelo MGB-SA com vazão natural; (2) Precipitação original do modelo (MSWEP) e demais variáveis calculadas pelo MGB-SA forçado com vazões defluentes substituídas de todos os reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN); (3) Média de Precipitação e Evapotranspiração oriundas de produtos de Sensoriamento Remoto e vazões naturais calculadas pelo modelo MGB-SA. A **Tabela 3** apresenta as estimativas de entradas, saídas e armazenamento para a região Sudeste para o período 2001-2014. É também fornecida a estimativa de fechamento do balanço hídrico. Os resultados são dados em km³.

CONSIDERACOES FINAIS

Este artigo apresentou metodologias e resultados preliminares para “Estimativas hidrológicas para Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) no Brasil”, fruto da cooperação técnica entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para análises hidrológicas em escala nacional. As metodologias desenvolvidas para extração de dados hidrológicos a partir do modelo hidrológico MGB-SA, auxiliadas por dados de sensoriamento remoto, permitem concluir que modelo MGB-SA apresenta coerência no fechamento do balanço hídrico, considerando todos estoques e fluxos hidrológicos, e apresentando concordância com outras bases de dados independentes de sensoriamento remoto na escala das regiões geográficas brasileiras, em intervalos mensal e anual. Para inovações metodológicas em CEAA foram desenvolvidas ferramentas para identificação de trechos de rios fronteiriços e transfronteiriços, tanto ao país como às regiões geográficas, para extração de variáveis hidrológicas do modelo MGB-SA em diferentes escalas e áreas. Além disso, também foi desenvolvida uma ferramenta para simulação do efeito de regularização pelos reservatórios do SIN com o MGB-SA, sendo demonstrada a importância desta metodologia para estimativa de vazões na escala nacional. Como resultado das metodologias desenvolvidas, os produtos gerados incluem tabelas de estoques e fluxos hidrológicos nas regiões geográficas brasileiras para o CEAA, permitindo a utilização de múltiplas fontes de dados. Apesar

dos resultados preliminares, pretende-se aprimorar ainda mais as estimativas de estoques e fluxos com o modelo MGB-SA e produtos de sensoriamento remoto para as diferentes regiões de interesse do Brasil no contexto das CEAA, incluindo estudos sobre a melhor combinação entre os diferentes dados e compreensão das incertezas associadas e, permitindo ainda a adoção de outros recortes territoriais, além das regiões geográficas, já adotadas pela ANA e IBGE. Esses avanços metodológicos permitem prover dados consistentes no contexto das CEAA do Brasil, assegurando a continuidade do seu cálculo e contínuas melhorias nas bases de dados e métodos empregados.

Tabela 3 – Estimativas de fluxos (precipitação, vazão de entrada e vazão de saída, e evapotranspiração) e estoques (somatório dos componentes de armazenamento de água superficial, do solo, e subterrânea) para os anos 2001-2014 para a região Sudeste (em km³), para três cenários: (a) vazão naturalizada do MGB-SA (isto é, sem reservatórios); (b) vazão regularizada por reservatórios, estimada pelo MGB-SA com substituição de defluências; e (c) vazão naturalizada e estoques estimados pelo MGB-SA, e precipitação e evapotranspiração estimadas por sensoriamento remoto. Nas duas últimas colunas apresentam-se as estimativas de entrada e saída total no ano.

| Vazão Naturalizada | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------|----------|---------|---------|----------|--------------------|----------|------------|----------|
| Ano | Precip | Qentra | Qsai | ETtotal | dS (Armazenamento) | saídaTOT | EntradaTOT | |
| 2001 | 1096,787 | 125,936 | 385,587 | 813,304 | | 23,832 | 1198,891 | 1222,723 |
| 2002 | 1184,932 | 139,521 | 480,465 | 863,419 | | -19,432 | 1343,884 | 1324,453 |
| 2003 | 1115,609 | 136,908 | 479,317 | 841,915 | | -68,716 | 1321,232 | 1252,517 |
| 2004 | 1361,546 | 147,150 | 517,255 | 914,376 | | 77,065 | 1431,631 | 1508,696 |
| 2005 | 1290,423 | 141,079 | 503,115 | 900,708 | | 27,679 | 1403,823 | 1431,502 |
| 2006 | 1265,953 | 152,753 | 488,016 | 897,626 | | 33,064 | 1385,642 | 1418,706 |
| 2007 | 1078,708 | 157,266 | 513,125 | 844,016 | | -121,168 | 1357,141 | 1235,974 |
| 2008 | 1343,408 | 154,715 | 509,708 | 869,602 | | 118,813 | 1379,310 | 1498,123 |
| 2009 | 1489,119 | 158,410 | 600,219 | 988,952 | | 58,358 | 1589,171 | 1647,529 |
| 2010 | 1156,550 | 154,532 | 509,036 | 851,669 | | -49,624 | 1360,705 | 1311,082 |
| 2011 | 1237,471 | 163,749 | 537,005 | 880,488 | | -16,272 | 1417,493 | 1401,220 |
| 2012 | 1094,354 | 135,045 | 460,224 | 841,406 | | -72,232 | 1301,630 | 1229,399 |
| 2013 | 1278,809 | 153,167 | 487,081 | 856,802 | | 88,093 | 1343,883 | 1431,976 |
| 2014 | 864,744 | 122,941 | 342,198 | 762,702 | | -117,215 | 1104,90 | 987,685 |
| Vazão Substituída | | | | | | | | |
| Ano | Precip | Qentra | Qsai | ETtotal | dS (Armazenamento) | saídaTOT | EntradaTOT | |
| 2001 | 1096,787 | 127,171 | 311,987 | 813,407 | | 98,564 | 1125,394 | 1223,958 |
| 2002 | 1184,932 | 140,012 | 406,023 | 863,454 | | 55,466 | 1269,477 | 1324,944 |
| 2003 | 1115,609 | 134,708 | 413,704 | 841,906 | | -5,292 | 1255,610 | 1250,317 |
| 2004 | 1361,546 | 147,065 | 446,845 | 914,394 | | 147,372 | 1361,239 | 1508,611 |
| 2005 | 1290,423 | 140,138 | 463,516 | 900,767 | | 66,279 | 1364,283 | 1430,561 |
| 2006 | 1265,953 | 153,134 | 459,270 | 897,697 | | 62,120 | 1356,967 | 1419,087 |
| 2007 | 1078,708 | 157,771 | 483,969 | 844,125 | | -91,614 | 1328,094 | 1236,479 |
| 2008 | 1343,408 | 150,863 | 439,488 | 869,603 | | 185,180 | 1309,091 | 1494,271 |
| 2009 | 1489,119 | 155,876 | 519,212 | 988,930 | | 136,853 | 1508,142 | 1644,995 |
| 2010 | 1156,550 | 151,850 | 487,419 | 851,672 | | -30,691 | 1339,091 | 1308,400 |
| 2011 | 1237,471 | 162,881 | 495,135 | 880,539 | | 24,678 | 1375,674 | 1400,352 |
| 2012 | 1094,354 | 135,922 | 450,623 | 841,510 | | -61,857 | 1292,133 | 1230,276 |
| 2013 | 1278,809 | 149,201 | 408,339 | 856,878 | | 162,793 | 1265,217 | 1428,010 |
| 2014 | 864,744 | 125,209 | 321,349 | 762,812 | | -94,208 | 1084,161 | 989,953 |
| Precipitação e Evapotranspiração por SR + Vazão Naturalizada | | | | | | | | |
| Ano | Precip | Qentra | Qsai | ETtotal | dS (Armazenamento) | saídaTOT | EntradaTOT | |
| 2001 | 1182,757 | 125,936 | 385,587 | 884,593 | | 38,513 | 1270,180 | 1308,693 |
| 2002 | 1239,159 | 139,521 | 480,465 | 851,039 | | 47,176 | 1331,504 | 1378,680 |
| 2003 | 1162,493 | 136,908 | 479,317 | 872,626 | | -52,542 | 1351,943 | 1299,401 |
| 2004 | 1433,173 | 147,150 | 517,255 | 910,315 | | 152,752 | 1427,570 | 1580,323 |
| 2005 | 1423,588 | 141,079 | 503,115 | 914,091 | | 147,461 | 1417,206 | 1564,667 |
| 2006 | 1371,867 | 152,753 | 488,016 | 931,132 | | 105,473 | 1419,148 | 1524,620 |
| 2007 | 1107,136 | 157,266 | 513,125 | 842,772 | | -91,497 | 1355,897 | 1264,402 |
| 2008 | 1401,579 | 154,715 | 509,708 | 892,545 | | 154,042 | 1402,253 | 1556,294 |
| 2009 | 1552,475 | 158,410 | 600,219 | 1005,438 | | 105,228 | 1605,657 | 1710,885 |
| 2010 | 1280,943 | 154,532 | 509,036 | 927,816 | | -1,377 | 1436,852 | 1435,475 |
| 2011 | 1378,178 | 163,749 | 537,005 | 912,622 | | 92,301 | 1449,627 | 1541,927 |
| 2012 | 1143,718 | 135,045 | 460,224 | 912,858 | | -94,319 | 1373,082 | 1278,763 |
| 2013 | 1347,630 | 153,167 | 487,081 | 920,575 | | 93,141 | 1407,656 | 1500,797 |
| 2014 | 935,139 | 122,941 | 342,198 | 900,590 | | -184,708 | 1242,788 | 1058,080 |

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pelo suporte financeiro através do projeto “Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABATZOGLOU, J., DOBROWSKI, S., PARKS, S. et al. (2018). *TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015*. *Sci Data*, (5), 170191.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2020). *Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil 2013-2017*. IBGE: Rio de Janeiro.
- BECK, H., VAN DIJK, A.I.J.M., LEVIZZANI, V., SCHELLEKENS, J., MIRALLES, D.G., MARTENS, B., DE ROO, A. (2017). *MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 589–615.
- ENTEKHABI, D., et al. (2010). *The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission*. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704-716.
- FERNANDEZ, G.M.R., SIQUEIRA, V.A., SORRIBAS, M.V., RUHOFF, A., PAIVA, R.C.D. (2021). *Algoritmo de classificação de fluxos fronteiraços e transfronteiraços*. XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS.
- FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M. et al. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. *Sci Data*, (2), 150066.
- HUFFMAN, G.J., BOLVIN, D.T., NELKIN, E.J., et al. (2007). *The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales*. *J. Hydrometeorol.*, 8, 38–55.
- HUFFMAN, G.J. (2020). *NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*. National Aeronautics and Space Administration.
- LANDERER, F.W., SWENSON, S.C. (2012). *Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates*. *Water Resources Research*, 48, 1–11.
- MARTENS, B., MIRALLES, D.G., et al. (2017). *GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture*. *Geosci. Model Dev.*, 10, 1903–1925.
- MU, Q., ZHAO, M., RUNNING, S.W. (2011). *Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm*. *Remote Sens. Environ.* 115, 1781–1800.
- NGUYEN, P., OMBADI, M., SOROOSHIAN, S., et al. (2018). *The PERSIANN family of global satellite precipitation data: a review and evaluation of products*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5801–5816.
- PONTES, P. R. M. et al. *MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS*. *Environ. Model. Softw.*, 94, 1–20 (2017).
- RODELL, M., FAMIGLIETTI, J.S., et al. (2004). *Basin scale estimates of evapotranspiration using GRACE and other observations*. *Geophys. Res. Lett.*, 31, 10–13.
- SENAY, G.B., S. BOHMS, R. SINGH, P.A. GOWDA, N.M. VELPURI, H. ALEMU, J.P. VERDIN. (2013). *Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach*. *Journal of American Water Resources Research*, 49(3), 577-591.
- SIQUEIRA, V. A. et al. (2018). *Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 4815–4842.
- SÖRENSON, A. A., RUSCICA, R. C. (2018). *Intercomparison and Uncertainty Assessment of Nine Evapotranspiration Estimates Over South America*. *Water Resources Research*, 54(4), 2891–2908.
- WATKINS, M.M., WIESE, D.N., YUAN, D.N., BOENING, C., LANDERER, F.W. (2015). *Improved methods for observing Earth's time variable mass distribution with GRACE using spherical cap mascons*. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 2648– 2671.
- ZHANG, Y., et al. (2019) *Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002–2017*. *Remote Sens. Environ.*, 222, 165-182.