



UM MAPA DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA APLICAÇÃO EM MODELAGEM HIDROLÓGICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

*Mino Viana Sorribas¹, Murilo Brazzali Rodrigues², Diogo Costa Buarque³, Fernando Mainardi
Fan⁴, Neyval Costa Reis Jr.⁵*

Resumo: A redução da complexidade e representação sintetizada da heterogeneidade espacial de características das bacias hidrográficas é um dos desafios da modelagem hidrológica e de sedimentos. A abordagem principal desse problema é por meio de Unidades de Resposta Hidrológica (URHs). A depender do modelo, a combinação de mapas de tipo de solo e cobertura da terra pode ser suficiente, sendo possível considerar outros aspectos como a topografia. Este trabalho apresenta a elaboração da base de URHs para a região das bacias hidrográficas que drenam para (e no) estado do Espírito Santo. O resultado em formato de base de dados espaciais permite a aplicação direta na modelagem hidrológica das bacias hidrográficas, reduzindo o esforço no pré-processamento. Esse trabalho representa um aperfeiçoamento regional das Unidades de Resposta Hidrológicas utilizadas no modelo hidrológico MGB e aborda a questão de sistematização desse processo em bacias hidrográficas com cursos de água que percorrem diferentes estados.

Abstract: The reduction of complexity and synthesized representation of spatial heterogeneity of watershed characteristics is one of the challenges in hydrological and sediment modeling. This problem is primarily approached by using Hydrological Response Units (HRUs). Depending on the model, combining soil type and land cover maps may suffice, but other aspects such as topography can also be considered. This paper presents the development of a HRU database for the catchments draining into and within the state of Espírito Santo, Brazil. The resulting spatial database facilitates direct application in hydrological modeling of these watersheds, thereby reducing preprocessing efforts. This work represents a regional refinement of HRUs used in the MGB hydrological model and addresses the systematization of this process for catchments spanning multiple domains.

Palavras-Chave: Uso do Solo, Cobertura da Terra, Hidrologia, Sedimentos

Keywords: Land-use, Land Coverage, Hydrology, Sediments

INTRODUÇÃO

A quantificação da precipitação, a evapotranspiração, o regime de vazões e a umidade no solo são de fundamental importância para a avaliar aspectos da hidrologia terrestre regional como a disponibilidade hídrica. A modelagem hidrológica distribuída permite considerar a heterogeneidade espacial de características físicas do relevo, da cobertura do solo, mas também de forçantes meteorológicos (i.e., precipitação, temperatura) fazendo uso de mapeamentos cartográficos (i.e. solos, geologia) ou derivados de sensoriamento remoto (Kumar et al. 2013).

1) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES; Núcleo de Análises Ambientais, Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento, Caracica-ES (mino.sorribas@gmail.com)

2) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (murilo.b.rodrigues@ufes.br)

3) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES; Núcleo de Análises Ambientais, Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento (diogo.buarque@ufes.br)

4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS (fernando.fan@ufrgr.br)

5) Núcleo de Pesquisa em Qualidade do Ar, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES; Núcleo de Análises Ambientais, Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento (neyval.reis@ufes.br)



Na modelagem hidrológica distribuída, a parametrização do modelo costuma ser baseada em “Unidades de Resposta Hidrológica” (URH), uma simplificação que reduz a complexidade do sistema pelo agrupamento de regiões com características similares, tais como a altitude, declividade, textura ou capacidade de armazenamento do solo, vegetação, dentre outras. Esse conceito foi apresentado já no modelo PRMS (Precipitation-Runoff Model System, Leavesley et al. 1983; Flügel, 1995), onde cada unidade é considerada homogênea para computar o balanço de água e energia. O balanço hidrológico é integrado na bacia hidrográfica fazendo a soma ponderada das contribuições individuais de cada URH. Essa abordagem tem sido utilizada e pode ser encontrada em modelos como SWAT (Arnold et al., 1998) e MGB-IPH (Collischonn & Tucci, 2001).

O modelo MGB-IPH tem sido muito utilizado para a simulação hidrológica no contexto brasileiro (Fan & Collischonn, 2014) e, tipicamente, as aplicações recentes do modelo hidrológico utilizam o mapa de URHs produzido para a América do Sul (Fan et al. 2015). Esse mapa foi gerado a partir da combinação de diferentes bases de dados de solos do Brasil (<http://mapas.mma.gov.br/geonetwork>, escala de 1:1.000.000), da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, escala 1:5.000.000, FAO 2003), bem como de mapeamentos regionais (escala 1:500.000) dos estados de Minas Gerais, Paraná e Goiás, disponibilizados respectivamente nos portais do IDE-GeoMINAS9 Infraestrutura de Dados Espaciais, Geominas da Universidade Federal de Viçosa), do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG), e portal Sistema Estadual de Informações de Goiás (SIEG). Para o mapa de URH da América do Sul, utilizou-se a cobertura do solo do produto GlobCover produzido pela Agência Espacial Europeia, a partir de imagens obtidas no ano de 2009 com o sensor espectral do satélite ENVISAT (ESA Environmental Satellite). O mapa de URHs da América do Sul está disponível em grade de aproximadamente 450 metros e, pensado inicialmente para aplicação do MGB continental (Siqueira et al. 2018), cumpre também o papel de facilitar o pré-processamento do modelo hidrológico para aplicação em diferentes locais e escalas. A mesma base tem como objetivo servir como base para o desenvolvimento de outros mapas mais detalhados (Fan et al. 2015).

O GeoBases (Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo, <https://geobases.es.gov.br>) disponibiliza uma vasta quantidade de informações detalhadas, tais como ortomosaicos e mapa do uso e cobertura do solo de 2019-2020 construído a partir da fotointerpretação, obtidos de sensores 3/3A dos satélites Kompsat. A base estadual de solos (escala 1:400.000, Incra-Incaper de 2016) foi produzida a partir da atualização do mapeamento do RADAM para o novo Sistema de Classificação de Solos, sendo coerente com outros mapas pedológicos (e.g. IBGE, ANA). Entretanto, parte das bacias hidrográficas apresentam nascentes, afluentes, áreas de drenagem e cursos de rio fora do estado. Na figura 1 é possível observar que isso ocorre no rio Doce (7761 a 7769), em partes das bacias dos rios Itaúnas (7757), São Mateus (7758), Itapemirim (7776) e Itabapoana (7778) e que, portanto, existem lacunas para a sistematização de uma base que englobe a totalidade das bacias hidrográficas. Uma alternativa para uso e cobertura da terra, são as séries anuais de mapas do Projeto MapBiomass, com resolução de 30 metros, com aplicação sugerida para escalas de 1:100.000. Assim, é possível obter representação mais acurada da variabilidade espacial de URHs.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma camada geoespacial de Unidades de Resposta Hidrológica aprimorada para a região que envolve as bacias hidrográficas que drenam no (e para o) estado do Espírito Santo. Tal informação é importante para subsidiar a aplicação estudos hidrológicas e a modelagem hidrológica regional do estado. A partir da base desenvolvida, apresenta-se também uma comparação da cobertura (em área) das URHs entre os períodos de 2000 e 2010 nas bacias hidrográficas no ES.

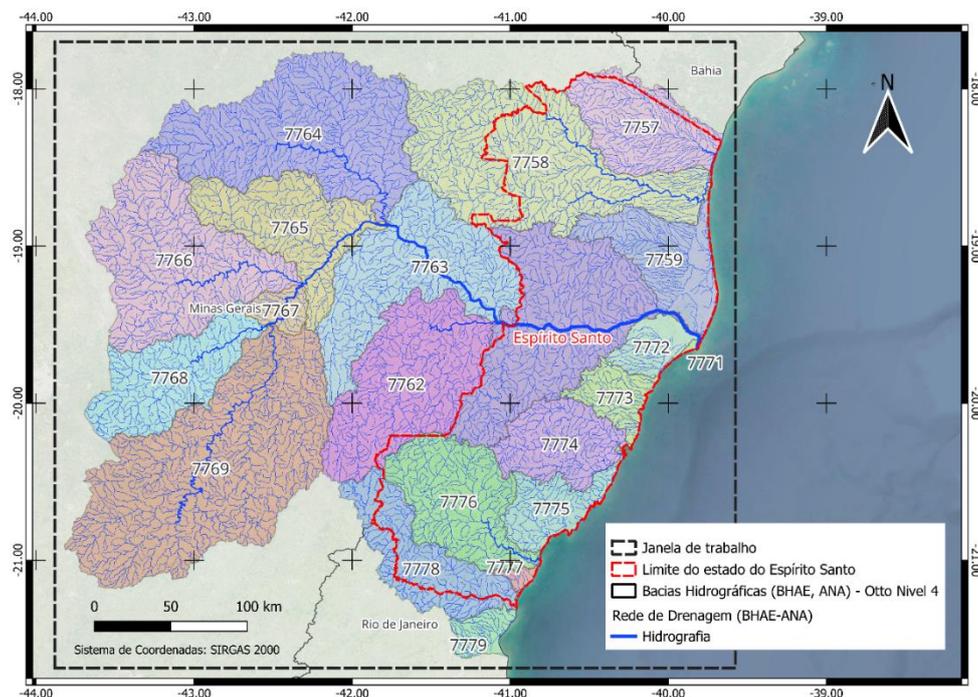


Figura 1 – Limites da janela de trabalho, bacias hidrográficas (nível 4) e Espírito Santo

MÉTODOS

O mapeamento das Unidades de Resposta Hidrológica foi realizado considerando a perspectiva de aplicação do modelo hidrológico distribuído MGB (Collischonn & Tucci, 2001; Fan & Collischonn, 2014; Fan et al. 2015). Os critérios adotados foram obtidos de Fan et al. (2015), considerado o cruzamento de duas informações principais: tipo de solo e o uso/cobertura do solo.

Para tanto, foram consideradas as seguintes fontes de dados:

- Mapa de Pedologia do Brasil de 2001, na escala 1:500.000 e disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8581b812-c744-4391-bb56-d0337c244b23>
- Mapas dos anos 2000, 2010 e 2020, com resolução de 30m do “Projeto MapBiomias – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em 4 de setembro de 2023 através do link: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_8/lcu/coverage/brasil_coverage_<ano>.tif”
- Base Hidrográfica Atlas e Estudos (BHAe), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/8ad07d33-1677-481d-bc61-ed5ca204926f>

Com base nas suas características (Lepsch, 2002), as classes de tipos de solo do mapa unificado foram agrupadas em termos do potencial de geração de escoamento superficial, definindo-se, então, cinco classes: 1) baixo potencial, ou solos profundos; 2) alto potencial, ou solos rasos; 3) solos saturados e de várzea, com elevado teor de umidade e saturação; 4) áreas semi-impermeáveis, como afloramentos de rochas; e 5) água.

A primeira classe, de solos com baixo e médio potencial de geração de escoamento e alto potencial de armazenamento de água, foi composta das classes latossolos, nitossolos, areias quartzarenicas, chernossolos, plintossolos, vertissolos, organossolos e argissolos. A segunda classe,



de solos com mais capacidade de geração de escoamentos e menos capacidade de armazenamento de água, agrupou as classes neossolos, litossolos, luvisolos e cambissolos. Na terceira classe, composta por solos de várzea e de elevada saturação, foram colocados os solos do tipo gleissolo, fluvisolo, planossolo e espodossolos. A classe de áreas semi impermeáveis agrupa os afloramentos rochoso. As classes de uso do solo do MapBiomas foram simplificadas em floresta, campos e pastagem, agricultura, áreas semi-permeáveis, água e áreas inundáveis.

Por fim, a partir da combinação e reclassificação dos solos com a cobertura do MapBiomas, as URHs foram definidas em 9 categorias, conforme Tabela 1. Assim, as URHs de 1 a 6 representam a combinação da cobertura e uso do solo (floresta, agricultura, pastagem/campos) com a característica de potencial de armazenamento e geração de escoamento do solo. As URHs 7, 8 e 9 apresentam casos em que os modelos hidrológicos, tais como o MGB, utilizam tratamento e soluções particulares no balanço hídrico.

Tabela 1 – Categorias de URH

URH	Descrição
1	Floresta em Solo Raso
2	Floresta em Solo Profundo
3	Agricultura em Solo Raso
4	Agricultura em Solo Profundo
5	Pastagem e Campo em Solo Raso
6	Pastagem e Campo em Solo Profundo
7	Várzeas e Áreas Inundáveis
8	Áreas Semi-Impermeáveis
9	Água

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software QGIS 3.34-Prizen serviu para a visualização, produção de mapas e realização das operações espaciais mais simples. A janela de trabalho foi definida a partir das bacias hidrográficas da BHAIE (nível 4), considerando a seleção e filtragem manual, seguido da aplicação de um buffer e limite (“bounding box”). Essa janela de trabalho foi utilizada como referência no processamento matricial, por exemplo, no recorte do MapBiomas e rasterização do mapa de solos. De forma a utilizar a melhor informação disponível, a resolução original de 30 metros do MapBiomas foi mantida para os demais processamentos e produção da camada de HRUs. As demais operações para combinação e classificação foram realizadas em linguagem Python, utilizando as bibliotecas Numpy e Rasterio.

A Figura 1 apresenta os limites das bacias hidrográficas, o estado do Espírito Santo e a janela de trabalho definida.

O mapa de Unidades de Resposta Hidrológicas produzido é ilustrado na Figura 2, sendo nesse o uso e cobertura da terra do ano de 2020. Mapas similares também foram processados para os anos de 2000 e 2010. A visualização do mapa permite identificar a grande cobertura de pastagens, mas também de áreas de agricultura e florestas. Um aspecto importante a se destacar nessa aplicação regional é que o “Mapa de URHs da América do Sul” desenvolvido por Fan et al. (2015) confunde essas grandes áreas de pastagem com agricultura, mas que fornece uma interpretação integrada da agropecuária. No mapa desenvolvido no presente trabalho, as áreas de agricultura e pastagens foram classificadas separadamente. Os cobertura de campos foi relativamente baixo e, portanto, agrupados com as pastagens, mantendo a quantidade (nove) de URHs.

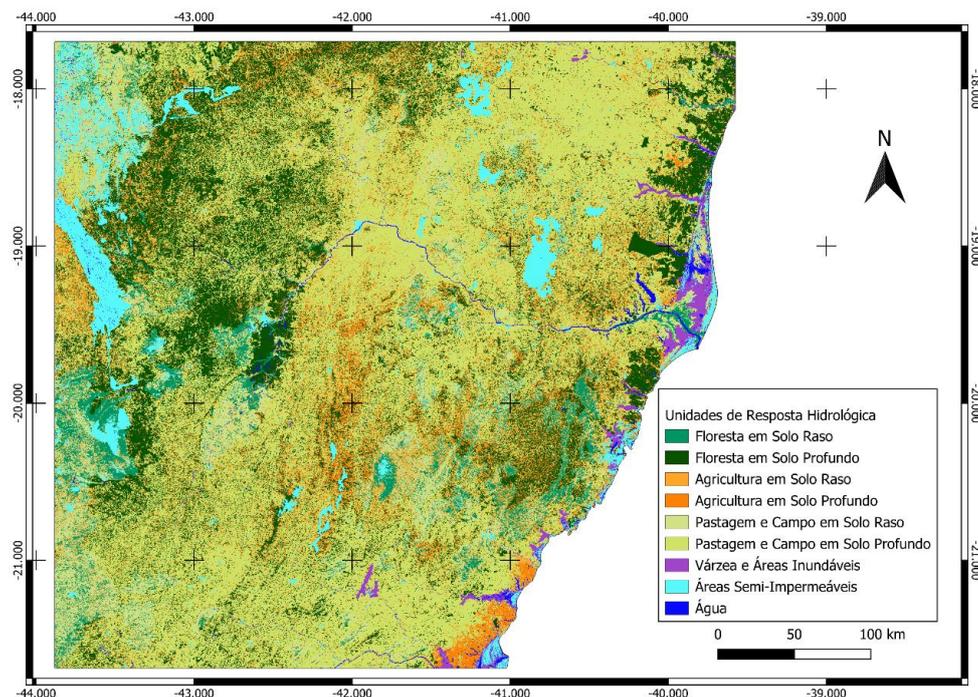


Figura 2 – Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) para o ano de 2020

A Tabela 1 apresenta a quantificação da cobertura em percentual da área das HRUs (%), sendo um exemplo de uso para avaliação regional. Cada linha totaliza 100% (da área da sub-bacia) e apresenta destaques para as duas URHs de maior percentual. A distribuição espacial desses dados pode ser visualizada na Figura 3. Em geral, fica evidente a predominância da URH de pastagens em solo profundo, seguido por agricultura e florestas. Além disso, a cobertura de florestas se destaca em bacias dos rios Piracicaba (7768) e rio Santo Antônio (7766), localizadas no trecho alto do rio Doce.

Conforme mencionado, foram gerados mapas de URHs considerando as coberturas de terra do MapBiomas de três anos diferentes, 2000, 2010 e 2020. Dessa forma, foi possível avaliar a evolução e o efeito das alterações de uso do solo. Esse aspecto é importante, pois em estudos hidrológicos e sedimentológicos é comum que se utilize séries longas de dados (30 anos ou mais) na análise de dados, calibração e validação de modelos e prognóstico. Portanto, nem sempre o mapa de cobertura mais recente é o mais representativo. A tabela 2 compara a alteração nos percentuais de cada URH (em cada bacia) entre o ano de 2020 e 2000. Na maior parte dos casos, os valores das alterações foram menores do que 1%. Observa-se que as principais alterações de área ocorreram na URH de pastagens em solo profundo, indicando redução de 18% na bacia do rio Itaúnas, e redução de 5 a 10% em outros locais. Por outro lado, aumentos de 6 a 9% foram observados em algumas bacias para URHs de agricultura e floresta em solo profundo.

Por fim, convém destacar que essa análise é suficiente para a realização da modelagem hidrológica e de sedimentos em escala regional. Porém, a depender da aplicação e/ou perspectiva, a agregação de classes como silvicultura, reflorestamento, mosaicos de usos, dentre outras do MapBiomas, podem ser debatidas e/ou revisitadas.



Tabela 1 – Cobertura de Área (%) de URH em cada bacia hidrográfica para o ano de 2020.

Regiões	Otto N4	URH 1	URH 2	URH 3	URH 4	URH 5	URH 6	URH 7	URH 8	URH 9
Rio Itaúnas	7757	0.2%	22.4%	0.0%	16.3%	0.0%	58.2%	0.9%	0.6%	1.3%
Rio São Mateus	7758	0.5%	14.6%	0.5%	12.1%	3.4%	60.6%	1.0%	6.7%	0.6%
Rio Barra Seca	7759	2.5%	21.6%	2.2%	17.7%	7.4%	21.6%	12.2%	7.1%	6.5%
Rio Doce (ES)	7761	3.5%	16.9%	3.3%	24.0%	4.2%	37.4%	0.0%	8.4%	2.4%
Rio Doce (MG)	7762	4.0%	18.1%	4.4%	24.0%	6.2%	40.2%	0.0%	2.9%	0.3%
	7763	1.5%	8.4%	2.0%	15.1%	5.8%	64.1%	0.0%	2.1%	0.8%
	7764	1.1%	34.0%	1.0%	13.9%	3.4%	45.2%	0.0%	1.0%	0.4%
	7765	0.3%	37.2%	0.3%	10.4%	1.5%	48.0%	0.0%	1.2%	1.0%
	7766	3.4%	46.1%	0.9%	9.6%	3.1%	30.5%	0.0%	6.0%	0.4%
	7767	5.7%	46.6%	2.2%	9.9%	4.0%	23.6%	0.0%	5.9%	2.1%
	7768	14.5%	39.6%	1.5%	7.1%	4.8%	22.4%	0.0%	9.7%	0.3%
7769	5.2%	26.1%	1.8%	13.3%	8.3%	43.3%	0.0%	1.4%	0.6%	
Rio Riacho e Rio Três Magos	7771	8.3%	0.0%	7.3%	0.1%	1.1%	0.0%	3.4%	63.5%	11.2%
	7772	5.5%	22.2%	3.4%	15.3%	9.3%	25.0%	10.8%	4.7%	3.7%
	7773	10.3%	26.5%	4.7%	19.5%	2.8%	21.8%	3.7%	8.4%	1.7%
Rio Santa Maria e Rio Jucu	7774	14.9%	32.4%	7.1%	19.7%	4.5%	14.2%	2.1%	4.3%	0.9%
Rio Benevente e Rio Novo	7775	16.6%	15.7%	11.4%	14.7%	9.6%	17.7%	4.4%	7.3%	1.9%
Rio Itapemirim	7776	15.3%	11.3%	16.0%	11.4%	20.0%	22.2%	0.1%	3.1%	0.6%
Rio Itabapoana	7777	0.0%	2.3%	0.1%	46.2%	0.0%	33.0%	1.9%	7.1%	7.9%
	7778	6.6%	12.6%	5.1%	14.8%	5.5%	49.5%	2.1%	1.9%	1.8%

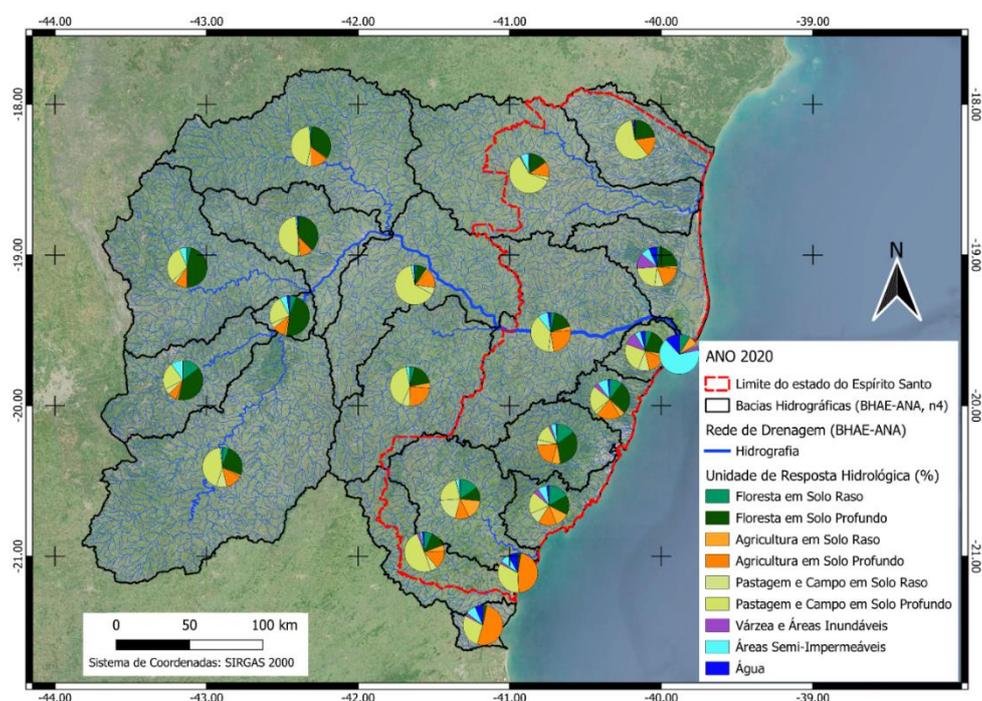


Figura 3 – Composição de URH por bacia hidrográfica para o ano de 2020



Tabela 2 – Alteração de URH por bacia entre 2020-2000 (destaque de valores acima/abaixo de $\pm 5\%$)

Regiões	Otto N4	URH 1	URH 2	URH 3	URH 4	URH 5	URH 6	URH 7	URH 8	URH 9
Rio Itaúnas	7757	0.0%	▲ 8.7%	0.0%	▲ 8.4%	0.0%	▼ -17.6%	0.0%	0.1%	0.4%
Rio São Mateus	7758	0.1%	1.5%	0.1%	3.7%	-0.2%	▼ -5.6%	0.0%	0.3%	0.1%
Rio Barra Seca	7759	-0.2%	1.2%	0.1%	▲ 7.8%	0.4%	▼ -9.5%	-0.6%	0.0%	0.9%
Rio Doce (ES)	7761	-0.1%	1.6%	0.8%	▲ 7.6%	-0.7%	▼ -9.5%	0.0%	0.3%	0.1%
Rio Doce (MG)	7762	0.4%	2.1%	1.1%	▲ 6.4%	-1.5%	▼ -8.6%	0.0%	0.2%	0.0%
	7763	0.5%	2.2%	0.4%	2.1%	-0.8%	-4.7%	0.0%	0.2%	0.1%
	7764	0.4%	▲ 6.1%	0.1%	1.5%	-0.5%	▼ -7.7%	0.0%	0.1%	0.0%
	7765	-0.1%	1.9%	-0.1%	-0.9%	0.0%	-1.4%	0.0%	0.3%	0.2%
	7766	0.0%	0.3%	0.1%	-0.7%	-0.1%	0.1%	0.0%	0.3%	0.0%
	7767	0.7%	3.6%	0.2%	-1.6%	-1.2%	-2.4%	0.0%	1.0%	-0.2%
	7768	-0.5%	2.9%	0.3%	2.1%	-0.4%	▼ -5.4%	0.0%	1.1%	-0.1%
Rio Riacho e Rio Três Magos	7769	0.1%	3.4%	0.2%	3.7%	-0.4%	▼ -7.3%	0.0%	0.3%	0.0%
	7771	0.3%	0.0%	-1.2%	0.0%	-0.6%	0.0%	0.2%	0.4%	0.9%
	7772	-0.2%	0.3%	1.1%	4.6%	-1.4%	▼ -5.7%	-1.3%	0.7%	1.9%
Rio Santa Maria e Rio Jucu	7773	0.2%	-3.9%	0.4%	1.7%	-0.6%	0.5%	-0.1%	1.6%	0.2%
	7774	0.1%	0.2%	0.4%	1.8%	-0.9%	-2.3%	-0.2%	0.8%	0.1%
Rio Benevente e Rio Novo	7775	-0.6%	0.2%	1.9%	2.7%	-1.5%	-4.0%	-0.3%	0.9%	0.6%
Rio Itapemirim	7776	0.7%	0.3%	3.1%	2.9%	-4.0%	-3.7%	0.0%	0.4%	0.2%
Rio Itabapoana	7777	0.0%	0.2%	-0.4%	2.6%	0.0%	-4.4%	-0.4%	2.0%	0.5%
	7778	0.3%	1.1%	0.7%	4.4%	-1.0%	▼ -5.9%	-0.1%	0.2%	0.3%

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento de uma base de “Unidades de Resposta Hidrológica” com perspectiva de aplicação na modelagem hidrológica e de sedimentos para bacias hidrográficas na região do estado do Espírito Santo. A base de dados produzida tem um grande potencial de aplicação na avaliação de recursos hídricos no estado do Espírito Santo, pois aborda de maneira sistematizada uma dificuldade que existe ao trabalhar com bacias hidrográficas que drenam e compartilham áreas de drenagem para além dos limites estaduais. Os arquivos raster das HRUs de 2000, 2010 e 2020 produzidos aqui estão disponíveis em Sorribas et al. (2024).

Em especial, ao mesmo tempo que a base de dados desenvolvida traz um aprimoramento na representação de características regionais, se comparado ao “Mapa de URHs da América do Sul”, simplifica-se a aplicação de modelos hidrológicos como o MGB (Fan & Collischonn, 2014) e o módulo de sedimentos MGB-SED (Buarque 2015, Fagundes et al. 2021, Föeger et al. 2022). Esse avanço aumenta o potencial de melhoria na qualidade das simulações com dados hidrológicos históricos, mas também de projeções de cenários futuros.

Por fim, a metodologia e fontes de dados utilizadas permitem que o trabalho seja replicado para quaisquer áreas do território nacional, fomentando o desenvolvimento de bases de dados URHs regionais e melhoria dos estudos baseados em modelagem hidrológica. A ampliação de produtos de cobertura da terra, com séries temporais, reforça a possibilidade de considerar a aplicação de URHs dinâmicas na modelagem hidrológica.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Núcleo de Análises Ambientais do Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento, a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), o grupo de pesquisa LabHig (Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo) pelo apoio, recursos e laboratório para elaboração dos estudos.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J.G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R.S., WILLIAMS, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* (34), p. 73–89.
- BUARQUE DC (2015) “*Simulação da geração de transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira*”, 182f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- COLLISCHONN W, ALLASIA DG, SILVA BC, TUCCI CEM (2007) “*The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling*”. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 878-895, doi: 10.1623/hysj.52.5.878
- COLLISCHONN, W, TUCCI, C.E.M. Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n.2, 2001.
- FAGUNDES H.O., FAN FM, PAIVA R.C.D, et al. (2021). “*Sediment flows in South America supported by daily hydrologic-hydrodynamic modeling*”. *Water Resources Research*, 57, e2020WR027884. doi:10.1029/2020WR027884
- FAN, F.M., BUARQUE, D.C., PONTES, P.R., COLLISCHONN, W. (2015) “*Um Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul*”. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22 a 27 de Novembro de 2015, Brasília-DF. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- FAN, F.M., COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 243-254, 2014.
- FAO (2003) ‘The Digitized Soil Map of the World and Derived Soil Properties’ (version 3.5). *FAO Land and Water Digital Media Series 1*. (FAO: Rome).
- FLÜGEL, W. A. (1995) “*Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the river*” Bröl, Germany, *Hydrol. Processes*, 9, 423–436
- FÖEGER L., BUARQUE D.C., PONTES P.R.M., et al. (2022) “*Large-scale sediment modeling with inertial flow routing: Assessment of Madeira river basin*”. *Environmental Modelling & Software*, 149, doi: 10.1016/j.envsoft.2022.105332.
- KUMAR, R., SAMANIEGO, L., ATTINGER S. (2013), “*Implications of distributed hydrologic model parameterization on water fluxes at multiple scales and locations*” *Water Resour. Res.*, 49, doi:10.1029/2012WR012195.
- LEAVESLEY, G.H., LICHTY, B.M., TROUTMAN, L.G., SAINDON, L.G. (1983). “*Precipitation-runoff modeling system: user’s manual, USGS Water-Resources Investigations Rep. 83-4238, USGS, Denver*”. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/wri834238>
- LEPSCH, I.F. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 2002. 178p.
- SIQUEIRA V.A., PAIVA R.C.D., FLEISHCHMANN A.S., et al. (2018) “*Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America*”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 4815–4842. doi: 10.5194/hess-22-4815-2018
- SORRIBAS, M.V., RODRIGUES, M.B., BUARQUE, D.C. (2024) “*Arquivos Raster de Unidades de Resposta Hidrológica (HRU) para aplicação em Modelagem Hidrológica (MGB) no Estado do Espírito Santo, Brasil*” Disponível em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.12774392>