

## **SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO DOIS RIOS, RIO DE JANEIRO**

Victor Buznello de Vasconcellos Maluf <sup>1</sup>  
Beatriz Ambrósio Garcia de Oliveira <sup>2</sup>  
Gabriel Freitas de Aguiar Lardosa <sup>3</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Segundo MEA (2005), o termo “Serviços Ecosistêmicos” (SE) surge para descrever *os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas*, e podem ser classificados como de provisão, regulação, suporte e culturais (FERRAZ, *et al.* 2019). No cenário atual de mudanças climáticas, o fornecimento desses serviços pode ser comprometido, uma vez que o próprio funcionamento dos ecossistemas pode ser negativamente afetado. O mapeamento das áreas que mais oferecem SE, bem como as mais deficitárias, utilizando os dados públicos existentes hoje, é de suma importância para a melhor gestão dos recursos naturais e priorização de áreas para restauração e preservação.

Com isso, o objetivo deste trabalho é realizar um mapeamento dos serviços ecosistêmicos relacionados a estoque de carbono, erosão evitada do solo, e contribuição para o escoamento de base na Região Hidrográfica do Rio Dois Rios (RH VII), no estado do Rio de Janeiro, utilizando o software InVEST e dados públicos. Esta região foi escolhida como área piloto para um futuro mapeamento de serviços ecosistêmicos a nível estadual devido a sua simplicidade quanto às classes de uso e cobertura do solo, fitofisionomias e tipos de solos.

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

A Região Hidrográfica Rio Dois Rios, ou Região Hidrográfica VII (RH VII), é uma das nove RHs instituídas no estado do Rio de Janeiro para fins de gestão dos recursos hídricos. Abrange integral ou parcialmente doze municípios em parte das regiões serrana e norte do território fluminense com área de 446.214,45 hectares, compreendendo as bacias dos rios Grande, Negro, Córrego do Tanque e Dois Rios, além de rios da margem direita do rio Paraíba do Sul.

---

<sup>1</sup> Chefe do Serviço de Gestão Ecosistêmica na Gerência de Gestão do Território e Informações Geoespaciais - Instituto Estadual do Ambiente – INEA, [victormaluf.inea@gmail.com](mailto:victormaluf.inea@gmail.com)

<sup>2</sup> Analista ambiental do Serviço de Gestão Ecosistêmica na Gerência de Gestão do Território e Informações Geoespaciais - Instituto Estadual do Ambiente – INEA, [beatrizago.inea@gmail.com](mailto:beatrizago.inea@gmail.com)

<sup>3</sup> Gerente de Gerência de Gestão do Território e Informações Geoespaciais - Instituto Estadual do Ambiente – INEA, [gabriel.lardosa@gmail.com](mailto:gabriel.lardosa@gmail.com)

Essa região hidrográfica é classificada nos climas Aw (Clima tropical, com inverno seco), Cfa (Clima subtropical, com verão quente), Cfb (Clima temperado, com verão ameno), Cwa (Clima subtropical de inverno seco) e Cwb (Clima subtropical de altitude), segundo o sistema de Köppen (ALVARES, *et al.* 2013). Em relação ao uso e cobertura do solo, conforme a Coleção 8 do mapeamento anual do MapBiomas para o ano de 2022 predominam pastagem (63,1%), vegetação em estágio médio-avançado (31%) e agricultura (2,3%). Com relação às formações florestais, as fitofisionomias predominantes são Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa, de acordo com o mapeamento de vegetação potencial para o estado do Rio de Janeiro (INEA, 2010).

Com relação ao relevo, a RH VII apresenta grande amplitude altimétrica, de maneira que são encontradas elevações acima de 2.300 metros nos pontos mais elevados da Serra do Mar, a sudoeste, e altitudes abaixo dos 10 metros na planície do rio Paraíba do Sul, a nordeste. O relevo é predominantemente forte ondulado, porém torna-se montanhoso e escarpado no reverso da Serra do Mar. Por fim, os tipos de solo correspondem, em ordem de abundância, aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos (CARVALHO FILHO *et al.* 2000).

A Figura 1 representa a localização RH VII no estado do Rio de Janeiro e informações ambientais de entrada para a modelagem de serviços ecossistêmicos.

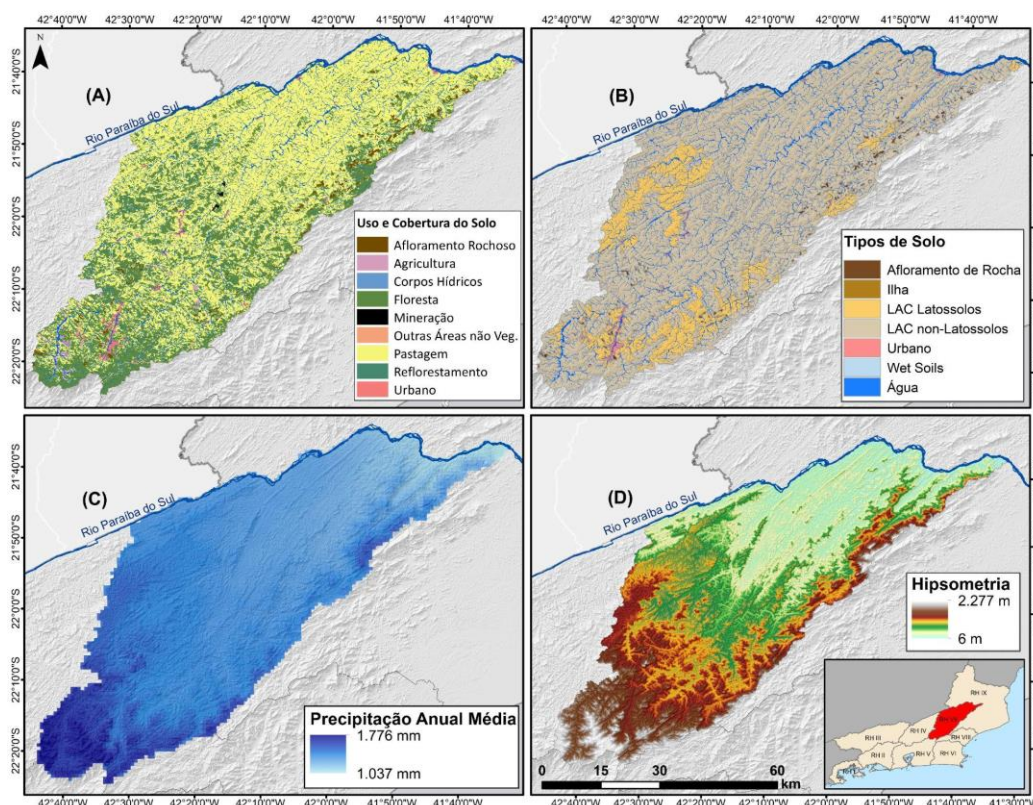


Figura 1 - Localização da RH VII, e alguns dados utilizados, como: (A) Uso e Cobertura do Solo (MapBiomass, coleção 8); (B) Tipos de Solos (EMBRAPA Solos) agrupados segundo metodologia Bernoux, *et al.* 2002; (C) Precipitação Anual Média (WorldClim); e (D) Modelo Digital de Elevação (ALOS)

Para a avaliação dos serviços ecossistêmicos de sequestro e armazenamento de carbono, erosão do solo evitada e potencial de contribuição para o escoamento de base foram utilizados os modelos *Carbon Storage and Sequestration* (CSS), *Sediment Delivery Ratio* (SDR) e *Seasonal Water Yield* (SWY), respectivamente. Estes compõem a plataforma Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST<sup>4</sup>), onde os dados de entrada e saída são espacialmente explícitos.

O modelo CSS estima a quantidade atual de carbono armazenado na paisagem considerando quatro reservatórios principais: biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, solo e matéria morta (NCP, 2024). Já o modelo SDR utiliza como base informações sobre geomorfologia, clima, cobertura vegetal e práticas conservacionistas para mapear e quantificar a erosão, exportação e deposição de sedimentos em escala de tempo anual. Para tanto, é aplicada a versão revisada da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) (RENARD *et al.* 1997), atrelada a um índice de conectividade que descreve a ligação hidrológica entre fontes e sumidouros de sedimentos na paisagem (NCP, 2024).

Por fim, o SWY consiste em um modelo hidrológico espacialmente distribuído simplificado que estima o montante líquido de água produzido em cada pixel e a água de cada pixel que efetivamente se transforma em fluxo hídrico (NCP, 2024). Para cada pixel são calculados a evapotranspiração real, o escoamento superficial, recarga local e o escoamento de base. Este está relacionado ao serviço ecossistêmico de disponibilidade quantitativa de água ao longo do ano, uma vez que é o responsável pela manutenção do fluxo hídrico na época de estiagem, garantido abastecimento para a população (HAMEL, *et al.* 2020).

Os processos metodológicos deste trabalho foram resumidos na Figura 2, juntamente aos dados de entrada de cada modelo apresentado.

---

<sup>4</sup> Para mais informações, visite o site <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

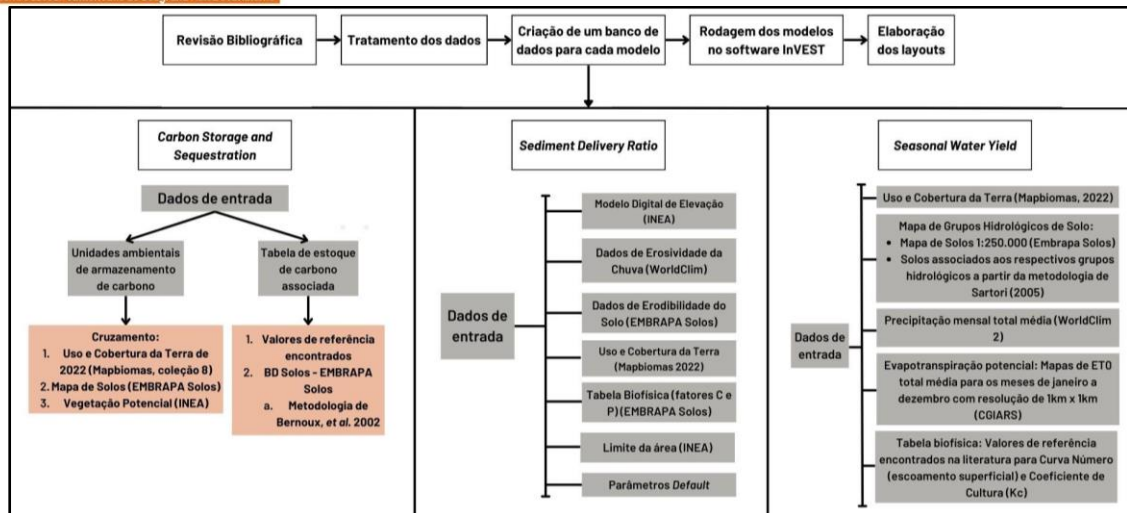


Figura 2 - Fluxograma Metodológico

Os parâmetros biofísicos de entrada relativos a cada modelo foram levantados por meio de revisão da literatura disponível para o estado do Rio de Janeiro e bases de dados públicas. No caso do modelo CSS, os valores de estoque de carbono para os tipos de solos na RH VII foram estimados separadamente através do processamento de perfis representativos disponíveis na plataforma BD Solos da Embrapa Solos, conforme as metodologias adotadas por BERNOUX *et al.* (2002) e FIDALGO *et al.* (2007), considerando a profundidade de até 30 cm. Os valores de estoque dos reservatórios de biomassa acima e abaixo do solo e matéria morta foram obtidos de fontes diversas, como o terceiro e quarto Inventários Nacionais de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa.

Para o modelo SDR, os fatores de erodibilidade (K), erosividade (R) da chuva, cobertura e manejo (C) e práticas conservacionistas (P) foram obtidos em COSTA *et al.* (2005). Considerando o modelo SWY, os valores de coeficiente de cultura (Kc) para pastagens, florestas e agricultura foram calculados seguindo a metodologia de ALLEN *et al.* (1998), enquanto os valores para as demais classes de uso do solo foram retirados das recomendações do manual do InVEST (NCP, 2024). A classificação dos grupos hidrológicos dos solos da RH VII foi feita considerando o trabalho de SARTORI *et al.* (2005), ao passo que os valores de Curva-Número (CN) para cada uso do solo foram extraídos de TUCCI (2004).

Apesar de os modelos terem sido montados utilizando dados de entrada confiáveis, não foi realizada a etapa de calibração em função da ausência de dados de campo, especialmente em relação à produção de sedimentos. Os resultados dos mapeamentos finais de estoque de carbono, erosão evitada e contribuição ao fluxo de base foram normalizados na forma de indicadores que variam de 0 (fornecimento nulo do SE) a 5 (fornecimento muito alto do SE) e



analisados de maneira relativa à sua distribuição na RH VII. O índice final de provisão de serviços ecossistêmicos nesse território foi calculado através da média aritmética dos três indicadores de SE acima citados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 representa os resultados finais dos modelos, e o índice final de serviços ecossistêmicos.

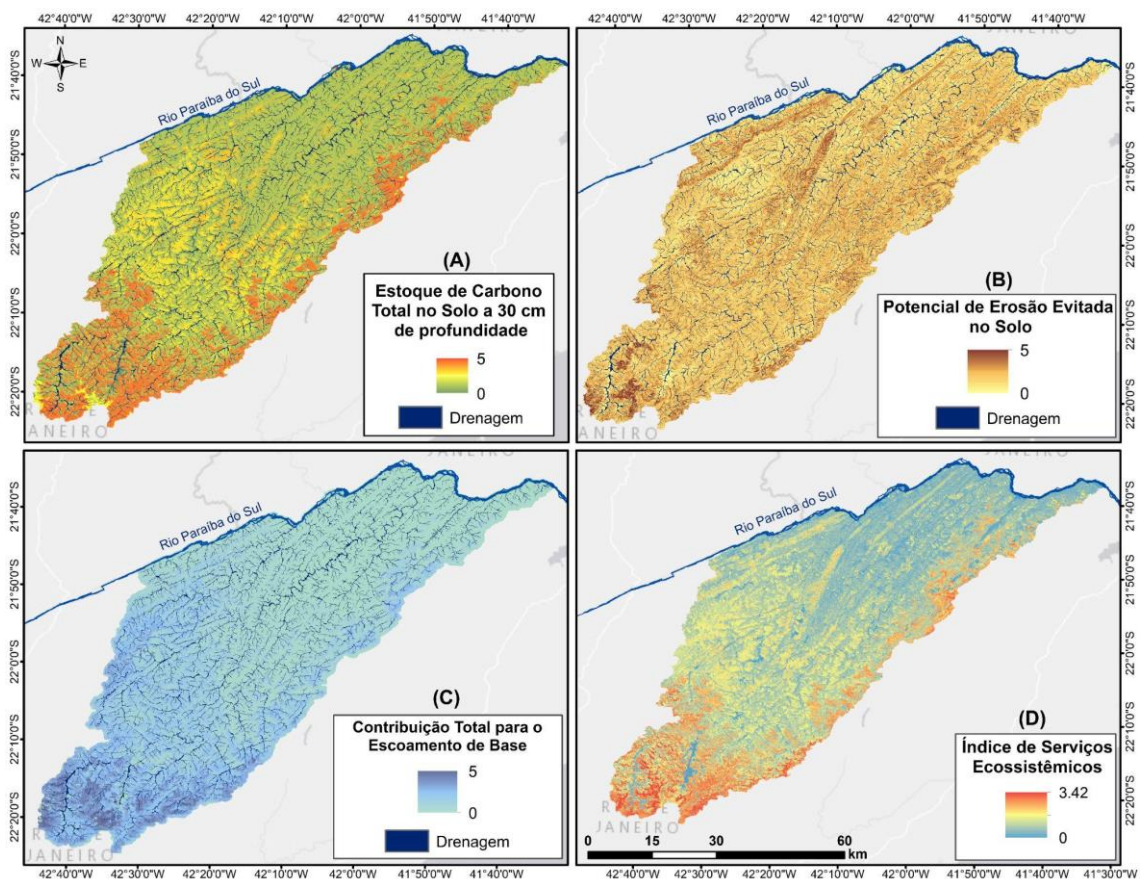


Figura 3 - (A) Indicador de estoque de carbono total no solo a 30 cm de profundidade; (B) indicador de potencial de erosão evitada no solo; (C) indicador de contribuição total para o escoamento de base; (D) índice final de serviços ecossistêmicos.

Conforme a Figura 3(A), nota-se que a maior provisão do SE de estoque de carbono ocorre na porção sudoeste da RH VII e ao longo de seu limite leste. Isto se deve à predominância de floresta ombrófila densa nas áreas mais elevadas do reverso da Serra do Mar. Já os valores intermediários ocorrem em áreas de floresta estacional semidecidual, independentemente do tipo de solo predominante. Com relação às pastagens, este tipo de cobertura apresentou os valores mais baixos do SE de armazenamento de carbono em relação às formações florestais, mas com alguma variação em relação ao tipo de solo ao qual estão associados. Por fim, a agricultura é o tipo de uso que menos presta o SE em questão

Já na Figura 3(B), observa-se que a prevenção da erosão ocorre de maneira quase uniforme na RH VII, com valores mais elevados deste indicador ao longo de áreas florestadas em relevo forte ondulado e montanhoso onde são encontrados argissolos de maior erodibilidade. Nessas áreas, que são mais suscetíveis à erosividade da chuva, a vegetação exerce papel crucial na contenção da erosão laminar.

Contudo, são observadas algumas áreas de maior provisão desse SE concentradas na porção sudoeste da RH VII. Essas são coincidentes com florestas associadas a neossolos litólicos de alta erodibilidade em relevo montanhoso e escarpado, onde são encontrados os maiores índices de precipitação anual média, o que aumenta significativamente a erosividade das chuvas e o papel da vegetação na contenção da erosão.

No que tange à contribuição para o escoamento de base anual, foi constatado que este SE é fornecido na porção sudoeste da RH VII, onde o índice elevado de precipitação anual média é capaz de superar consideravelmente as perdas por escoamento superficial, ocorrida em solos de grupo hidrológico C (cambissolos háplicos) e D (neossolos litólicos), e evapotranspiração da vegetação, mesmo associados a florestas em estágio avançado. Ademais são observadas zonas de maior provisão desse SE na área centro-oeste da RH VII, presumivelmente em função da presença de Latossolos e Argissolos pertencentes aos grupos hidrológicos A e B, respectivamente, que contribuem para a maior infiltração da água (SARTORI *et al.*, 2005).

No que diz respeito ao índice final ilustrado na Figura 3(D), o valor máximo alcançado na paisagem foi de 3,42, indicando que não houve área na RH VII onde a provisão dos três SE previamente descritos ocorre plenamente. Entretanto, foi identificada uma maior concentração dos mesmos na porção sudoeste do território da RH VII. Isto possivelmente se deve tanto à cobertura florestal, que possui maior potencial de estoque de carbono do que os demais usos e protege o solo da alta erosividade da chuva dessa região, quanto ao próprio excesso de precipitação anual e menor evapotranspiração potencial anual, que exercem influência significativa na porção da água precipitada que efetivamente se torna fluxo de base. Neste enquadramento, considerando a lógica de partição de fluxos hídricos do SWY, mesmo que florestas amortecem a precipitação, gerando menos escoamento superficial e mais infiltração, também possuem maior demanda por água durante todo o ano (determinada pelo coeficiente de cultura) e, conseqüentemente, geram mais perdas por evapotranspiração do que coberturas como pastagens ou agricultura.

Por fim, foi constatado um claro gradiente negativo de provisão de SE em direção a nordeste, de forma que há menor intensidade na provisão de SE nas partes mais baixas da RH VII. Nessas áreas a cobertura vegetal é predominantemente composta de pastagens associadas

ao relevo forte ondulado e a solos de maior erodibilidade e baixos teores de carbono orgânico em função do histórico de ocupação e uso do vale do rio Paraíba do Sul. Além disso, é nessa porção da RH VII em que ocorrem os menores índices de precipitação, ao mesmo tempo em que a evapotranspiração potencial é maior em função das maiores temperaturas, de modo que há menos água disponível para recarga hídrica.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O exercício de quantificação, mapeamento e cruzamento de serviços ecossistêmicos na RH VII gerou informações consistentes com a realidade do território e se mostrou adequado enquanto técnica simplificada de diagnóstico ambiental. Os modelos CSS, SDR e SWY são de montagem relativamente fácil tendo em conta a pouca quantidade de dados de entrada necessários para executá-los e sua flexibilidade escalar. Além disso, possibilitam a visualização dos resultados de forma distribuída no espaço, permitindo a realização de cruzamentos com dados socioeconômicos e de análises e diagnósticos de maneira célere. Dessa forma, a plataforma InVEST pode ser considerada uma ferramenta apropriada para subsidiar a gestão ambiental a nível estadual de território.

Contudo, é importante ressaltar que tais modelos são por vezes simplificados demais, especialmente os de natureza hidrológica, omitindo processos fundamentais do balanço hídrico superficial e subterrâneo. Dessa maneira, recomenda-se a utilização dos resultados de maneira relativa à sua distribuição espacial na área de estudo, considerando com cautela os resultados quantitativos gerados.

**Palavras-chave:** Serviços Ecossistêmicos; USLE, Rio de Janeiro, Serviços Ambientais.

## **REFERÊNCIAS**

ALLEN, R. G. et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998.

ÁLVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22(6), p. 711-728, 2013.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. **Brazil's Soil Carbon Stocks**. Soil Science Society of America Journal. v. 66, p. 888-896, 2002.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. **Os Solos do Estado do Rio de Janeiro**. Embrapa Solos, 2000.

COSTA, T. C. C. et al. **Estimativas de Perdas de Solo para Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 78, 2005

FERRAZ, R. et al. **Marco Referencial em Serviços Ecológicos**. Embrapa Solos, 2019.

FIDALGO, E. C. et al. **Estoque de Carbono nos Solos do Brasil**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Rio de Janeiro. v. 127, p. 1-27, dezembro de 2007.

HAMEL, P.; et al. **Modeling seasonal water yield for landscape management: Applications in Peru and Myanmar**. Journal of Environmental Management, v. 270, setembro de 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **O Estado do Ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2010.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005.

NATURAL CAPITAL PROJECT (NCP). **InVEST 3.14.2**. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences. 2024. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/index.html#invest-user-guide>

RENARD, K. G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington, DC: USDA, 1997.

SARTORI, A; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 5-18, dezembro de 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2004. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Porto Alegre.