

(DES)CONECTIVIDADE HIDROLÓGICA AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO DUAS BOCAS (ES)

Fernando Henrique Lemos

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, ES, Brasil
fernandolemosgeo@gmail.com

Alanderson Gomes de Souza

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, ES, Brasil
alandersonsouza18@gmail.com

Gilberto Fonseca Barroso

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, ES, Brasil
gfbarroso@gmail.com

Eberval Marchioro

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, ES, Brasil
ebervalm@gmail.com

RESUMO

A conectividade hidrológica é uma abordagem teórica que investiga os fluxos de energia e matéria nas bacias hidrográficas. Este estudo tem por objetivo analisar a (des)conectividade hidrológica em relação aos diferentes usos e coberturas terra, bem como o efeito da barragem de Duas Bocas ao longo do perfil longitudinal do Rio Duas Bocas (Grande Vitória, ES). Entre agosto de 2016 e 2017, foram coletadas amostras de água fluvial para análise de nitrogênio total, fósforo total e concentrações de sedimentos em suspensão (C_{ss}), além de medições de fluxo, em quatro estações de amostrais ao longo da bacia (82,8 km²). O uso e cobertura da terra das áreas de contribuição efetiva foram obtidos do ortofotomosaico de 2012/2015. Os resultados mostram que a cobertura florestal é essencial para reduzir a concentração de nutrientes e C_{ss} na estação DB01 a montante do reservatório. A barragem de Duas Bocas fragmenta a hidrologia longitudinal, afetando principalmente a estação DB02 localizada a jusante da represa. As maiores concentrações de nutrientes e sedimentos suspensos indicam a conectividade hidrológica longitudinal do rio com o uso da pastagem e da terra agrícola. A conectividade hidrológica evidencia a importância da análise dos fluxos de energia e matéria em bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Conectividade. Sedimentos. Nutrientes. Uso e cobertura da terra.

HYDROLOGICAL (DIS)CONNECTIVITY ALONG THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE DUAS BOCAS RIVER (ES)

ABSTRACT

Hydrological connectivity is a theoretical approach to investigating energy and matter flows in river basins. This study aims to analyze the hydrological (dis)connectivity concerning the different land uses and land covers, as well as the effect of the Duas Bocas dam and its water supply reservoir along the longitudinal profile of the Duas Bocas River (Great Vitória, ES, Brazil). Between august 2016 and 2017, monthly fluvial water samples for the analysis of total nitrogen, phosphorus, and suspended solids (SS), in addition to flow measurements, were taken at four sampling sites along the fluvial network (82,8 km²). The land use and land cover of the effective drainage areas were obtained from the orthophoto mosaic of 2012/2015 (1:10,000). The results show that forest cover is essential to reducing the contents of nutrients and SS in the DB01 site upstream of the reservoir. The Duas Bocas dam fragments the longitudinal hydrology, mainly affecting the DB02 sampling site located downstream. The highest contents of suspended sediments and nutrients indicate longitudinal hydrological connectivity of the river with the land use of pasture and agricultural land. Hydrological connectivity highlights the importance of analyzing energy and matter flows in catchments.

Keywords: Catchment. Connectivity. Sediment. Nutrient. Uses and land cover.

INTRODUÇÃO

A conectividade hidrológica tem sido uma abordagem teórica utilizada para demonstrar a relação dos fluxos de energia e matéria entre as paisagens de uma bacia hidrográfica, constituindo-se na principal forma de conexão envolvendo o transporte de água, sedimentos e nutrientes nos sistemas fluviais (BRACKEN et al., 2013; NYBERG; GAWTHORPE; HELLAND-HANSEN, 2018).

Para Pringle (2003) a conectividade hidrológica é útil para compreender e descrever o processo de transferência de água, sedimentos e solutos entre paisagens e de suas interações intra-paisagem na bacia hidrográfica, corroborando para romper com a visão tradicional de que o escoamento é gerado somente pelo excesso de infiltração hortoniana ou pela área de contribuição variável, sem considerar sua conectividade ao longo da bacia hidrográfica.

É importante salientar que a conectividade hidrológica, na realidade, não expressa uma única direção dos fluxos, mas normalmente abrangem várias dimensões, sendo a água o meio que facilita (em grande parte) o movimento de energia, solutos e partículas através da terra na bacia hidrográfica (COVINO, 2017).

O estabelecimento dos gradientes de concentração de sedimentos e da vazão ao longo da extensão longitudinal de um rio é uma abordagem que permite verificar a (des) conectividade hidrológica intra e entre-paisagens de uma bacia hidrográfica, sendo etapa relevante para ponderar o grau de fluxos de água, sedimentos e nutrientes (BRIERLEY e FRYIRS, 2004; HECKMANN et al., 2018; RODRIGUES et al., 2018; WOHL et al., 2019).

Em uma bacia hidrográfica, a conectividade hidrológica é controlada pelos aspectos naturais (intensidade, frequência e quantidade da chuva, vazão do rio, geologia, classes de solo, topografia, cobertura vegetal) e antropogênicos (urbanização, barragem, efluentes industriais, agricultura, desmatamento e esgoto) variando em diferentes escalas temporais e espaciais, que expressam as conectividades entre encosta e canal e/ou ao longo dos segmentos do perfil longitudinal de um rio (COVINO, 2017; FRYIRS, 2013).

O uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica estão fortemente conectados com os parâmetros físicos e químicos da água dos cursos fluviais, especialmente a concentração de sedimentos em suspensão e de nutrientes (BRACKEN et al., 2015). As mudanças induzidas pelo homem no uso da terra na paisagem, como o desmatamento e a ausência de práticas agrícolas de manejo e conservação adequadas, alteram qualitativamente e quantitativamente o ambiente de pequenos córregos, e a variabilidade temporal dos materiais lixiviados dos sistemas ambientais terrestres adjacentes (BRIERLEY, 2016; GUZHA et al., 2018; MALMQVIST e RUNDLE, 2002; NEILL et al., 2001). Em relação aos nutrientes, alterações no uso e cobertura da terra interferem na ciclagem de nutrientes e de sua conectividade com as encostas (NEILL et al., 2001; WOHL et al., 2017; 2019; WOHL; MAGILLIGAN; RATHBURN, 2017).

Questões referentes ao incremento e a exportação de nutrientes e de sedimentos (i.e., N e P) de fontes naturais e antropogênicas através da rede fluvial e, em diferentes contextos, têm sido exploradas de forma incipiente no contexto da conectividade hidrológica, tal como a alteração da qualidade de água (FONSECA et al., 2014), a eutrofização dos corpos d'água à jusante das fontes naturais e antropogênicas (AGUILERA; MERCÉ; SABATER, 2012; POEPPL; KEESSTRA; MAROULIS, 2017; RODRÍGUEZ-BLANCO; TABOADA-CASTRO; TABOADA-CASTRO, 2013).

No Brasil, os estudos sobre a conectividade envolvem predominantemente trabalhos de caráter hidrossedimentológicos, tais como de Duarte e Marçal (2017), Goerl et al., (2012), Lopes e Pinheiro (2013), Santos et al. (2017), Souza e Marçal (2015), Zanandrea, Kobiyama e Michel (2017) entre outros; aqueles que relacionam a conectividade entre as paisagens e os sistemas fluviais por Rocha (2010), Souza e Correa (2012, 2020), que buscaram compreender os cenários evolutivos da conectividade da paisagem em ambiente semiárido; Franco e Souza (2019) e Zanandrea et al. (2019) trabalharam com Índice de conectividade de sedimentos; e por fim, Zanandrea et al. (2020) realizaram uma revisão conceitual da temática conectividade em território brasileiro.

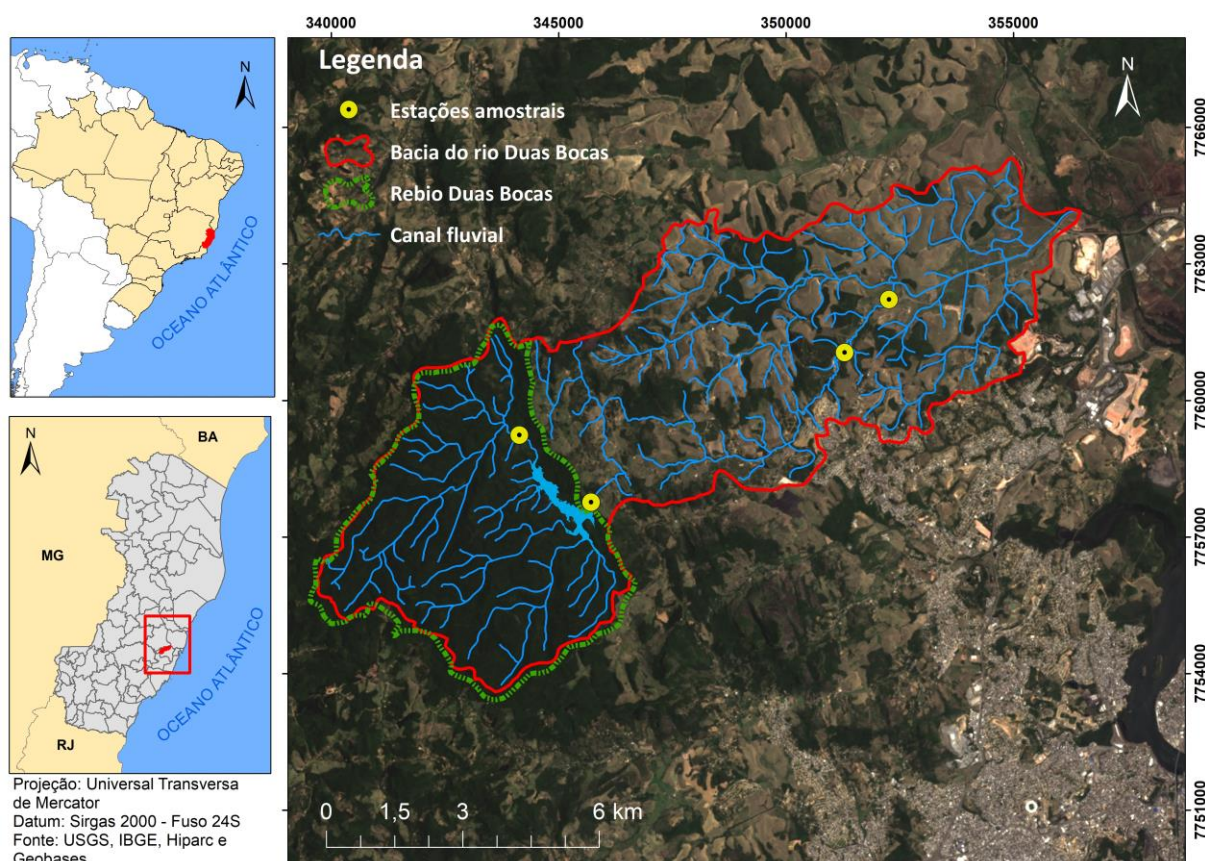
Embora nas últimas décadas a abordagem teórica envolvendo a conectividade hidrológica em bacias hidrográficas esteja se consolidando em diferentes partes do planeta, ainda é necessária a intensificação de pesquisas envolvendo a conectividade hidrológica ao longo do perfil longitudinal do rio e a partir de dados empíricos. Assim, levando-se em consideração a relevância do tema e a lacuna envolvendo a análise integrada entre parâmetros de vazão, concentração de sedimentos e de nutrientes ao longo do perfil longitudinal do rio, associados a características singulares de uma bacia hidrográfica que apresenta paisagens com características rurais, cobertura vegetal de Mata Atlântica e Barragem, este trabalho tem por objetivo analisar a (des) conectividade hidrológica em relação aos diferentes usos e coberturas da terra das paisagens e do efeito do barramento presente no perfil longitudinal do rio Duas Bocas, na Região Metropolitana de Vitória (ES).

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas (BHRDB) onde foi desenvolvido esse estudo, situa-se entre às coordenadas 20°12'01.28" S/40°23'06.35" W (7764921N 355302E) e 20°17'24.90"/40°32'07.88" W (7755681N 339683E) e abrange área dos municípios Cariacica (70,54 km²), Santa Leopoldina (12,24 km²) e Viana (0,05 km²) no estado do Espírito Santo (Figura 1).

A BHRDB possui uma área de 82,83 km², sendo uma das sub-bacias do Rio Santa Maria da Vitória, o qual serve como manancial para o abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

Figura 1 – Localização da Bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (ES) com as estações amostrais, 2022



Elaboração – Os autores.

De acordo com Bastos et al. (2015) baseado na normal climatológica de 1983-2013, a precipitação na BHRDB varia entre 1.307 mm no exutório e 1.656 mm no restante da bacia. A temperatura média da BHRDB é de 24°C, apresentando no verão temperaturas superiores a 33° e, tendo o clima caracterizado segundo Köppen como Tropical chuvoso. Os ventos predominantes onde está situada a BHRDB são do quadrante nordeste, sendo dinamizado pela incidência de massas de ar e pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (MARCHIORO; SILVA; CORREA, 2016; MATTIUZZI e MARCHIORO, 2012).

A geologia da BHRDB é composta pelas unidades Complexo Novo Venécia, Maciço Granítico Vitória, Grupo Barreiras e Depósitos Flúvio-lagunares (CPRM, 2014). Geomorfologicamente, encontram-se presentes na BHRDB os Patamares Escalonados do Sul Capixaba, Colinas e Maciços Costeiros, Tabuleiros Costeiros e Planícies Flúvio-lagunares (IJSN, 2012).

Baseado no levantamento pedológico de 1979, reclassificado pela Embrapa (2013) na escala 1:400.000, ocorrem na BHRDB as classes de solos Cambissolo Háplico, Gleissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo em associação com os Argissolos e Neossolos Litólicos.

Em termos hidrológicos, as principais cabeceiras de drenagem estão no interior da Reserva Biológica (ReBio) de Duas Bocas (ES), sendo formadas pelas sub-bacias dos córregos Pau Amarelo, Naiá-Assú, Panelas e Sertão Velho. Hierarquicamente, na escala de 1:25.000, a BHRDB é classificada como de 5ª ordem fluvial, com densidade de drenagem de 0,11 km/km², comprimento do rio principal de 23,03 km e, declividade predominante de 8 à 20%, caracterizado como relevo ondulado, com 49,94% da área e, declividade de 3 à 8%, denominado de suave ondulado, com 24,83% da área (AMORIM, 2014). Desde 1954, na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas está presente a barragem de Duas Bocas, com um reservatório de água de 50 ha e que atualmente, abastece com água potável 25% da população total do município de Cariacica/ES (NOVELLI, 2010).

Os usos e cobertura da terra de 2012/2015 predominantes na BHRDB são Florestas Nativas com 48,27%, pastagem com 31,51%, cultivo agrícola 6,78% e Edificações (residências) 2,33% (SANTOS e MARCHIORO, 2018; 2020). A classe Florestas Nativas ocorre principalmente na porção superior da BHRDB, nos limites da ReBio de Duas Bocas, sendo classificada como Mata Atlântica. As demais classes estão presentes do terço médio e baixo da BHRDB, com predomínio de pastagem, sendo que, as edificações vêm ocupando cada vez mais áreas próximas aos cursos fluviais e, na maioria das vezes, não obedecem aos limites de preservação ambiental estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro.

METODOLOGIA

Plano de amostragem

Para verificar a conectividade hidrológica ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas foi realizado o monitoramento de vazão, concentração de sedimentos em suspensão e de nutrientes, envolvendo nitrogênio e fósforo, durante o período de agosto de 2016 a agosto de 2017.

A escolha da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas para o desenvolvimento desse trabalho deve-se ao fato de que, desde 1996, estão sendo desenvolvidos trabalhos de hidrologia e hidrossedimentologia, tal como apresentado por Amorim (2014), Marchioro e Coutinho (2021), Cupertino (2018), Cupertino, Santos e Marchioro (2015), Lopez e Marchioro (2018), Marchioro e Barroso (1996), Perrone (1995), Santos e Marchioro (2018, 2020), sem, contudo, abordarem a temática conectividade hidrológica.

Outro aspecto que corroborou para a escolha da BHRDB é que apresenta características singulares, como a presença de Mata Atlântica primária, barragem (próximo ao terço superior) e, características rurais predominantes na maior parte da BHRDB, mesmo estando inserida na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

Na Tabela 1, pode-se verificar as coordenadas das estações amostrais onde foram realizadas ao menos uma campanha de monitoramento por mês (18 ago.; 22 set.; 18 out.; 28 nov.; 22 dez.; 12 jan.; 26 jan.; 22 fev.; 8 mar.; 21 mar.; 18 abr.; 16 mai.; 22 jun.; 10 jul.; 27 jul.; 10 ago.), orientadas longitudinalmente de montante a jusante, onde se objetivou retratar os diferentes usos e coberturas da terra presentes na paisagem.

Tabela 1 – Coordenadas das estações amostrais distribuídas ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas (ES)

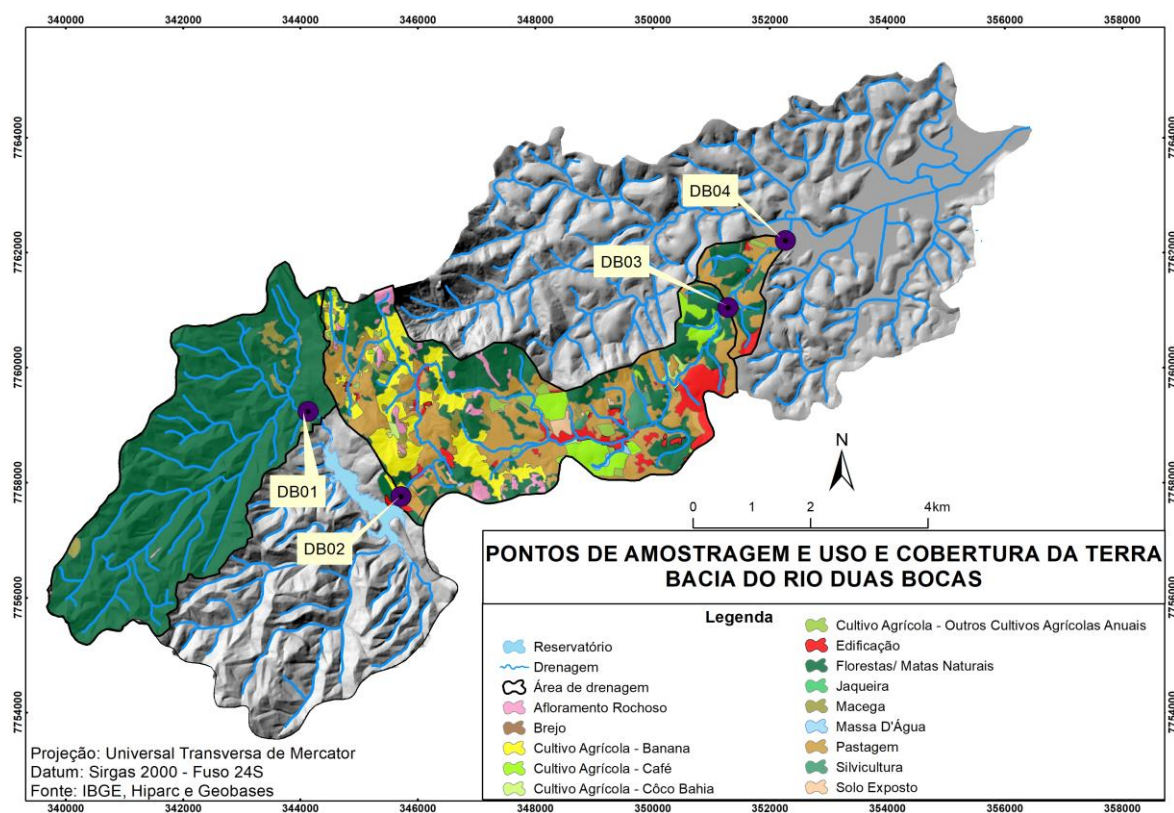
ESTAÇÕES AMOSTRAIS	COORDENADAS			
	LATITUDE	NORTHING	LONGITUDE	EASTING
DB01	20°15'30.6"S	344.137,12	40°29'31.4"W	7.759.237,50
DB02	20°16'32.1"S	345.714	40°28'14.0"W	7.757.763,00
DB03	20°14'42.5"S	351.289,99	40°25'12.2"W	7.761.050,59
DB04	20°14'2"S	352.264,74	40°24'36.2"W	7.762.215,81

Obs: a estação DB02 está situada a 300m da represa de Duas Bocas.

Fonte – Os autores.

A partir das quatro estações amostrais distribuídas ao longo do canal principal do rio Duas Bocas foram estabelecidas as áreas de contribuição efetiva, orientadas de montante para jusante e, cada área de contribuição corresponde a toda área a montante da estação amostral analisada, considerando a presença da Barragem de Duas Bocas (ES) (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Área de contribuição e localização das estações amostrais ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas (ES)



Elaboração – Os autores.

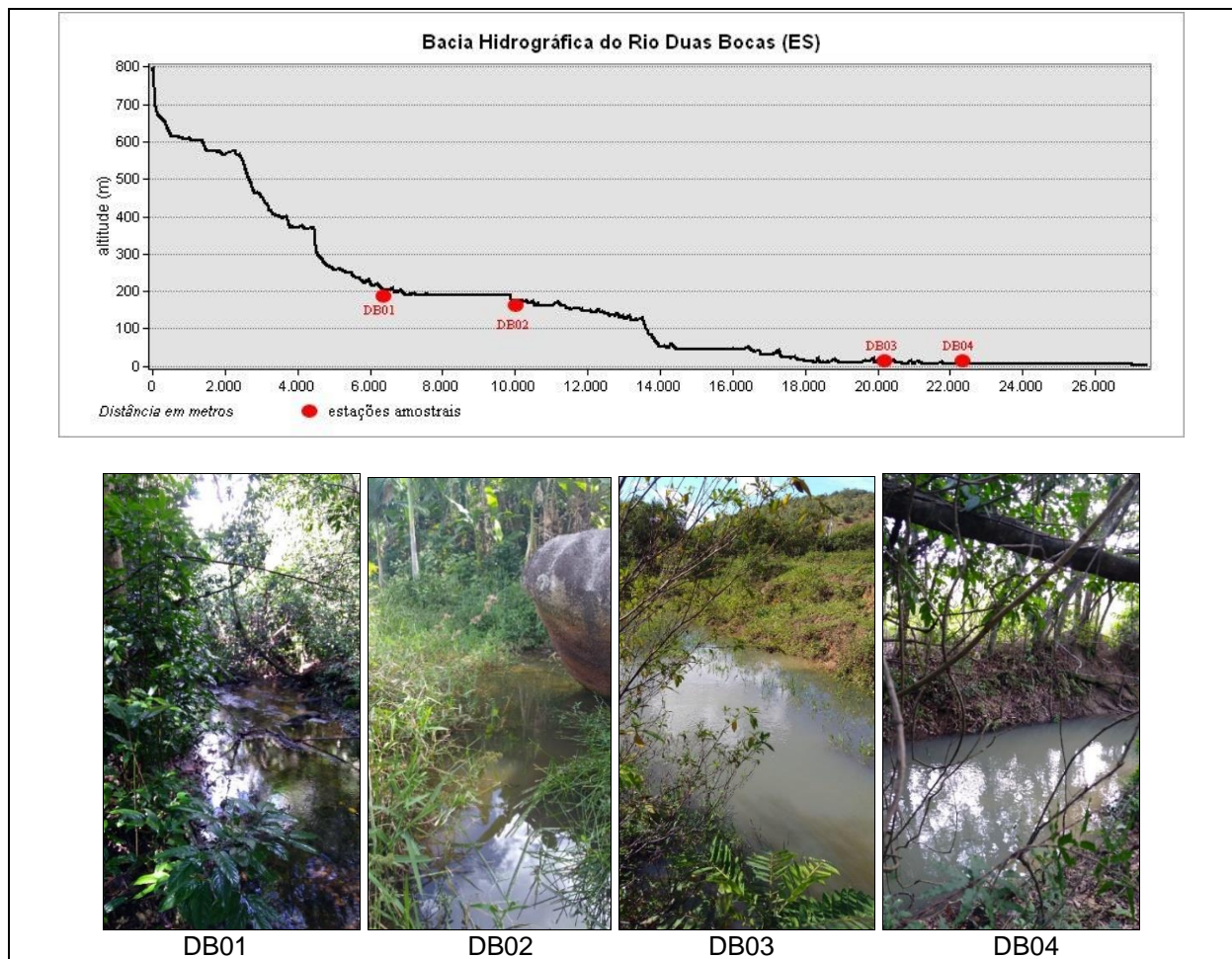
Assim, a área de contribuição da estação DB01 equivaleu à área da sub-bacia do córrego Pau Amarelo (anterior a barragem), e a área a jusante da barragem abrangeu as estações amostrais DB02, DB03 e DB04, sendo que, a área de contribuição da estação DB03 engloba a área da DB02, e a DB04, toda área a jusante do reservatório. A área anterior a barragem, não foi considerada para as demais estações a jusante, uma vez que a barragem dificulta e/ou inviabiliza a passagem de fluxos hidrossedimentológicos e nutrientes. Também, é importante salientar que a escolha do local de amostragem da estação 02 que está situada a 300 m da barragem de Duas Bocas, visou verificar o efeito da barragem sobre a conectividade hidrológica.

O uso e cobertura da terra das áreas de contribuição das estações amostrais foram baseadas no ortofotomosaico de 2012/2015 disponibilizados pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) em 2015, com resolução espacial de 25 cm¹. A classificação do uso e cobertura da terra das estações amostrais foi baseada na proposta do Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA, 2012) e no trabalho desenvolvido por Santos e Marchioro (2020).

As amostras de água do rio foram coletadas ao longo de seu perfil longitudinal, ocorrendo a amostragem da vertical no meio do canal, que são as áreas com as maiores velocidades, utilizando frascos de polipropileno de 1L, que foram previamente descontaminados e, posteriormente, acondicionadas em caixa térmica contendo gelo para transporte do campo até o laboratório.

Figura 3 – Perspectivas das estações amostrais ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas (ES)

¹ No Espírito Santo existem dois períodos de imagens com resolução espacial de 25 cm, sendo um de 2012/2015 e outro de 2019, portanto, foi utilizado o primeiro por contemplar um período mais próximo do nosso monitoramento. Também, não foram utilizadas outras imagens por conta da escala espacial do trabalho.



Elaboração – os autores.

Em laboratório, as análises da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) seguiu a metodologia proposta por APHA (2005), onde anteriormente, e, posteriormente, ao processo de filtragem e realizado a secagem de membrana de éster de celulose com 47mm de diâmetro e de 0,45 μ m de poro em uma estufa com temperatura de 60° C por 24h, seguidamente acondicionadas em um dessecador com sílica gel por 2h para resfriamento e retirada de umidade, e por fim, são pesadas em uma balança analítica Scaltec SBC-31. Posteriormente ao processo de preparação dos filtros, foi realizada a filtração da água coletada, utilizando uma bomba de vácuo à óleo e sistema de filtração, ficando assim, o sedimento retido na membrana.

Diante do sedimento em suspensão retido na membrana foi obtido a concentração de sedimentos em suspensão, conforme a Equação:

$$C_{ss}(mg.l^{-1}) = \frac{(P2 - P1) . 1000}{V}$$

Onde: C_{ss} é a concentração de sedimentos em suspensão ($mg.L^{-1}$); P1 é o peso seco (mg) da membrana antes da filtração da amostra; P2 é o peso seco (mg) da membrana após da filtração da amostra (peso da membrana + resíduo); V é o volume filtrado em mililitros (ml).

Para determinação das vazões ao longo do perfil longitudinal do rio, utilizou-se o método *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV), do equipamento Flowtracker, marca SonTek/YSI, que realiza o cálculo automático de vazão levando em consideração a profundidade, velocidade e largura do canal, utilizando-se da equação da meia seção, com os seus resultados expressos em $m^3.s^{-1}$.

Análise Hidroquímica

Uma vez coletada a água ao longo do perfil longitudinal do rio, as análises hidroquímicas foram realizadas no Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental – LimnoLab, UFES.

A determinação das concentrações de fósforo total e nitrogênio total nas amostras de água seguiram os métodos descritos em APHA, (2005) e Carmouze (1994). As amostras foram digeridas simultaneamente com persulfato de potássio sob alta pressão e temperatura, convertendo as espécies orgânicas em inorgânicas.

O fósforo total foi determinado sob a forma de ortofosfato, após digestão do material orgânico. Para análise deste íon utilizou-se o método de ortofosfato em espectrofotometria a 885 nm com reação do ácido ascórbico (Espectrofotômetro, Micronal AJX – 6100 PC), com os resultados expressos em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (CARMOUZE, 1994).

No procedimento do nitrogênio se reduziu o nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) a partir da passagem da amostra numa coluna, com cádmio (i.e., uma amálgama cádmio-cobre que aumenta a eficiência de redução do NO_3^- a NO_2^-). A solução reduzida é tratada seguindo os procedimentos para determinação de nitrito. Após a reação da sulfanilamida e meio ácido com N^- (1-Naftil) forma-se um complexo de diazotização. Após 10 minutos a leitura é feita a 540 nm, no espectrofotômetro.

Análise Estatística

Para realização do teste de normalidade das variáveis vazão, concentração de sedimentos em suspensão e nutrientes e, da correlação precipitação-vazão, utilizou-se o teste de Kolmogorov–Smirnov e o de sperman (CORDER e FOREMAN, 2009). Para estimar a correlação precipitação e vazão foram realizados testes envolvendo dados mensais, quinzenais, de cinco dias, três dias e 1 dia, sendo que as correlações de cinco dias foram as que expressaram os melhores índices. O teste de correlação avalia com que intensidade a relação entre duas variáveis contínuas ou ordinais, descrita pelo uso de uma função monótona (CORDER e FOREMAN, 2009). O programa Statistic_10, foi utilizado para obter valores de estatística descritiva como a média e mediana, bem com a elaboração de gráfico *boxplot*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e cobertura da terra na área contribuição efetiva

Como os parâmetros analisados neste trabalho possuem uma forte relação com as formas de apropriação do espaço geográfico, refletindo-se sobre as concentrações de sedimentos, nutrientes e vazão, é factível ocorrer uma breve discussão sobre o uso e cobertura da terra, para posteriormente, associa-lo a forma de conectividade hidrológica das paisagens.

Na Tabela 2 é apresentado o uso e cobertura da terra das paisagens, levando-se em consideração as áreas de contribuição efetiva das estações amostrais.

Na área de contribuição da estação amostral 01, ocorre o predomínio absoluto da classe Florestas/Mata Naturais com 97,86% do total da área de 14,67 km^2 . Essa presença dominante da classe floresta está associado ao fragmento de Mata Atlântica no interior dos limites da ReBio de Duas Bocas, que foi criada como Reserva Florestal em 1965 e transformada em Reserva Biológica no ano de 1995, vetando quaisquer atividades para fins econômicos e, conseqüentemente, preservando sua floresta.

A área de contribuição efetiva da estação 02 é a que apresenta a menor porção territorial, com apenas 0,10 km^2 , devido ao fato de situar-se a 300 m da barragem de Duas Bocas, possuindo o predomínio da classe Floresta/Mata Nativa com 65,55% (diminuição de 32,60% em relação à área de contribuição 01), ainda reflexo das bordas da ReBio de Duas Bocas. Contudo, já possível verificar a presença da classe edificações como 20,21%, cultivo agrícola de banana e coco, ocupando respectivamente, 10,06% e 4,20% da área. A classe edificações presente nessa área de contribuição está associada à presença de estação de tratamento de água (ETA) e algumas residências que despejam seu sistema de água/esgoto no curso fluvial próximo ao local de coleta de água (Figura 3).

Tabela 2 – Uso e cobertura da terra considerando as áreas de drenagem das estações amostrais ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas (ES).

ESTAÇÕES AMOSTRAIS				
VARIÁVEL	DB01	DB02	DB03	DB04

Área de drenagem (km ²)	14,67	0,10	15,98	18,02
USO E COBERTURA DA TERRA (%)				
Afloramento Rochoso	0,04	0,00	3,23	2,88
Cultivo Agrícola - Banana	0,12	10,06	14,29	12,76
Cultivo Agrícola - Café	0,00	0,00	5,82	5,20
Cultivo Agrícola - Coco Bahia	0,00	4,19	0,85	0,76
Cultivo Agrícola - Outros Cultivos Agrícolas Anuais	0,01	0,00	2,20	2,23
Edificação	0,00	20,21	7,57	7,57
Florestas/ Matas Naturais	97,86	65,55	28,69	29,35
Macega	1,91	0,00	2,12	2,14
Massa d'água	0,00	0,00	0,41	2,14
Pastagem	0,05	0,00	32,47	32,87
Silvicultura	0,00	0,00	1,52	1,36
Solo Exposto	0,00	0,00	0,83	0,74

Fonte – os autores.

A estação DB03 é a que apresenta a maior área de contribuição com 15,98 km² tendo como uso dominante a classe pastagem que contempla 32,47% da área, seguida pela classe floresta/Mata Naturais com 28,69%. As classes cultivos agrícolas soma ao todo nessa área 23,16%, sendo que o cultivo de banana responde por 14,30% e café por 5,90%. A estação DB04 é a mais próxima do exutório e abrange uma área de 18,02 km² possuindo como uso e cobertura dominante a classe pastagem com 32,87%, seguido pela classe floresta/mata nativa como 29,35%. As classes edificação e cultivo agrícola anual aparecem novamente na estação DB04 com, respectivamente, 7,57% e 2,23% da área de contribuição (Figura 3).

A presença da classe floresta nas áreas de contribuição das estações DB03 e DB04 estão associadas a regeneração natural ou preservação de fragmento de floresta em topos de morro e em algumas matas ciliares que estão fora dos limites da ReBio (SANTOS; MARCHIORO, 2018).

De maneira geral, as áreas agrícolas presentes nas estações amostrais DB02, DB03 e DB04 são cultivadas sem práticas de manejo e conservação do solo adequada, fato que corrobora para a produção de sedimentos pela erosão areolar dos solos. Nestas áreas temos a presença das classes de solos Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo em associação com os Argissolos e Neossolos Litólicos. Outro aspecto a ser verificado é que entre a estação amostral DB02 até a DB04 ocorre o um pequeno aumento da classe pastagem, dispostas nas encostas e planícies de inundação.

Com relação a classe edificações presente na área de contribuição da estação DB03 e 04, está ocorrendo um processo de expansão imobiliária com exposição dos solos (Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo em associação com os Argissolos) e abertura de estradas com diferentes temporalidades, fato que corrobora para a produção de sedimentos e ocorrência de feições erosivas. Assim, segundo Russell, Vietz e Fletcher (2017) na fase de construção de edificações ocorre a exposição de solo e a abertura de cortes de taludes, propiciando o aumento da erosão dos solos e a produção de sedimentos. Por outro lado, Antoneli e Thomaz (2016), Blanton e Marcus (2009), Cunha, Thomaz e Vestena (2013), Marinheski (2017), Morgan (2005) entre outros, destacam também que, a abertura de estradas e a ausência de práticas de manejo em áreas agrícolas são fatores que potencializam a produção de sedimentos que atingem os cursos fluviais.

Conectividade da vazão ao longo do perfil longitudinal

Na estação DB01 a vazão média foi 0,05 m³.s⁻¹, mínima de 0,0017 m³.s⁻¹, e máxima de 0,204 m³.s⁻¹. Tal fato deve-se a importante contribuição da cobertura vegetal de Mata Atlântica, que potencializa a

infiltração e retenção de água no solo, e, diminui o efeito *splash* e do escoamento superficial nas encostas, fato que potencializa as vazões médias e mínimas, minimizando a máxima.

A estação DB02 apresentou os menores valores de vazão, com mínima de $0,003 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Tais características da vazão da estação DB02 estão associadas ao efeito da barragem de Duas Bocas a montante da mesma, que represa água proveniente dos córregos Pau amarelo, Naiá-assú, Pannels e Sertão Velho para abastecimento urbano de água do município de Cariacica, ocasionando a desconectividade hidrológica para jusante do perfil longitudinal do rio. Outro aspecto interessante em relação a estação DB02 apresentado na figura 4, é que o *boxplot* dessa estação amostral possui caixa pequena e, hastes inferiores e superiores pequenas em relação as demais estações, indicando uma baixa variação em sua vazão.

A intervenção da barragem no curso do rio causa modificações nas características naturais e na conectividade hidrológica longitudinal, promovendo mudança significativa no seu regime hidrológico, especialmente, em seu seguimento a jusante próximo, ocasionando o rompimento do equilíbrio dinâmico natural (COELHO, 2008; MARTINS et al., 2011; POEPPL; KEESSTRA; MAROULIS, 2017).

Na estação DB03 a vazão foi máxima de $0,213 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, mínima de $0,0003 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, média de $0,040 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão $0,059$. Na estação DB04, a vazão máxima de $0,164 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, mínima de $0,006 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, média de $0,038 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão $0,047$. Ressalta-se que a estação DB04 teve o menor n amostral dentre as estações amostrais, o que pode ter corroborado para uma menor vazão média em relação a estação DB03. Salienta-se ainda que a diferença entre as áreas de contribuição da DB03 e DB04 são de apenas $2,04 \text{ km}^2$, fato que não acresce nos valores médios, máximos e mínimos da estação DB04. Da mesma forma, também ocorre uma concentração de áreas agrícolas, nessas áreas, com retirada de água para irrigação.

Com relação ao *boxplot* das estações amostrais, observa-se que os maiores valores extremos estão presentes entre a estação amostral 03 e 04, possuindo variações menores em seu *boxplot* quando comparado a estação DB01 (Figura 4).

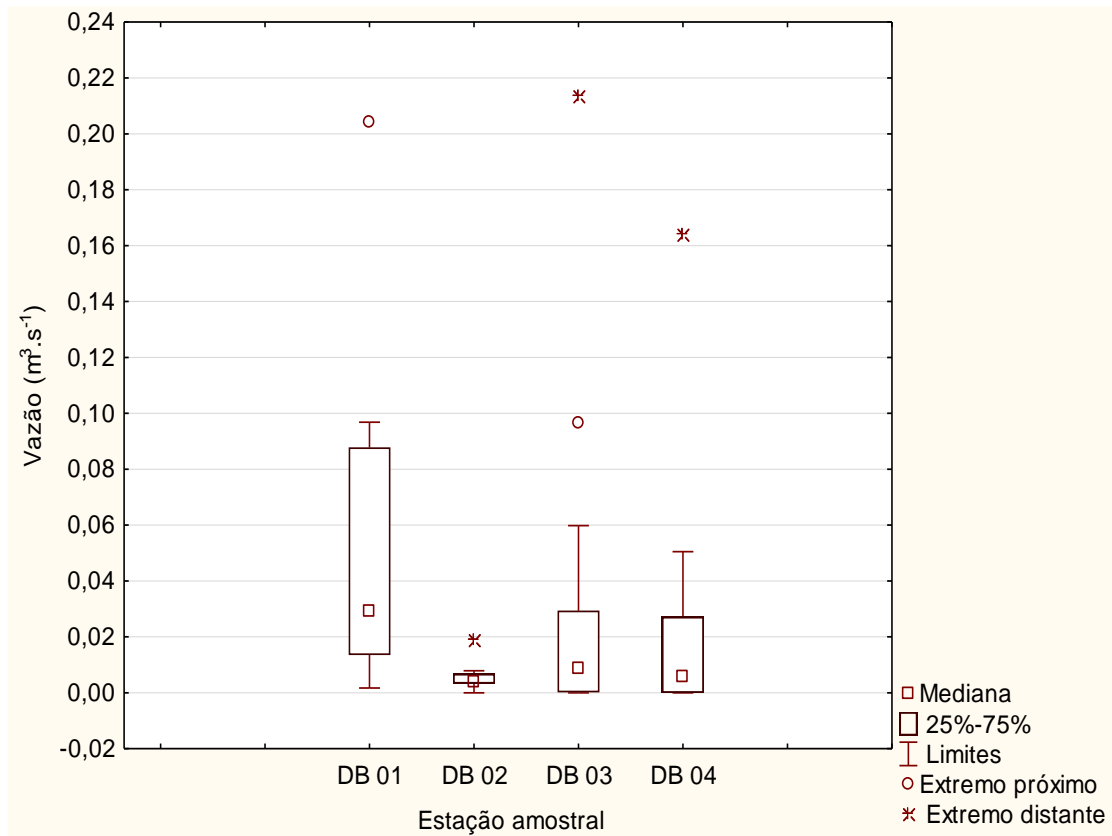
Quando se comparam os *boxplot* das estações DB02, 03 e 04 com a DB01, também pode-se verificar a importância da floresta de Mata Atlântica para a infiltração de água no solo e na manutenção do regime hidrológico com valores médios superiores as demais estações (representado pela caixa entre o primeiro e terceiro quartil), mesmo em período de escassez hídrica promovido pelo déficit de precipitação pluvial no período estudado.

A correlação de Spearman entre as variáveis precipitação-vazão por estações amostrais foi para a DB01 de $0,60851$; DB02 de $0,27301$; DB03 de $0,61912$; DB04 de $0,53750$ e, por fim, com todos os dados juntos de $0,42356$. Os valores de correlação obtidos para a estação amostral DB01 e DB03 são considerados como fortes e da estação DB04, como moderada e, da estação DB02 baixa (Figura 4).

O menor valor de correlação entre precipitação-vazão obtido na estação DB02 indica que a variabilidade da vazão é controlada pelo reservatório de Duas Bocas, que interfere na vazão do curso fluvial, ocasionando a desconectividade hidrológica. Tal relação é destacada em trabalhos de Annandale (2016); Carvalho (2008); Martins et al. (2011); Morris e Fan (2009); Souza, Souza e Cardoso (2017). Outro fato que corrobora para minimização dessa relação é a pequena área de contribuição efetiva (Figura 2).

Com relação aos valores de correlação das estações DB01, 03 e 04, mostrou-se que o aumento ou diminuição da precipitação pluvial tem efeitos significativos na variação da vazão do rio, evidenciando uma conectividade hidrológica que pode sofrer alterações significativas em sua magnitude e frequência devido a ação antrópica (Figura 5), fato esse destacado em trabalhos de Beven (2001), Christofolletti (1980; 1981), Groppo et al. (2005), Maroneze et al. (2014), Tucci (2005). Contudo, no caso das estações DB03 e 04, as atividades agropastoris realizadas sem às devidas práticas de manejo e conservação contribuem para a variação da magnitude da vazão, podendo em alguns casos, como verificado na Figura 5, levar a seca do curso fluvial.

Figura 4 – *BoxPlot* do perfil longitudinal da vazão no rio Duas Bocas (ES)



Fonte – os autores.

Figura 5 – Estação amostral DB04 na campanha amostral do dia (a) 26/01/2017 em comparação com a (b) do dia 10/07/2017 e (c) 24/05/2019 no rio Duas Bocas (ES)



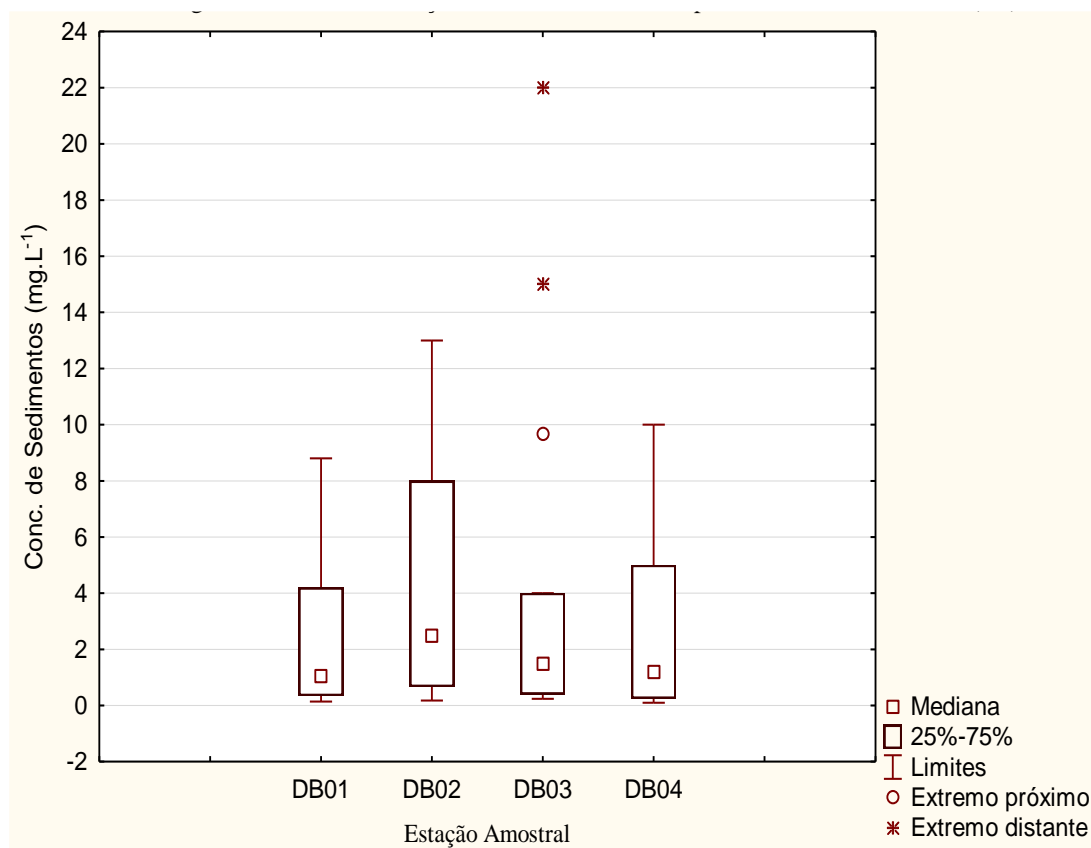
Fonte – os autores.

A concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) apresentou os menores valores médios na estação DB01 e 04, atingindo os maiores valores médios na estação DB03, praticamente o dobro das demais. Analisando a Figura 6, pode-se observar no *boxplot* que os valores extremos de C_{ss} ocorreram na estação amostral DB03, e a estação DB02, a maior variação interna dos dados entre o primeiro e terceiro quartil. Contudo, ainda nessa Figura 6, é possível verificar que a haste inferior do *boxplot* de todas as estações está próxima dos valores do primeiro quartil, fato que indica que os valores mínimos estão próximos a ele. O *boxplot* permite ainda afirmar que existe uma forte variação da C_{ss} ao longo perfil longitudinal da BHRDB do rio Duas Bocas.

O baixo valor médio de 2,64 mg.L⁻¹, máximo de 8,80 mg.L⁻¹, mínimo de 0,14 mg.L⁻¹ e desvio padrão de 3,14; de C_{ss} na estação DB01 está relacionado a densa cobertura vegetal de Mata Atlântica presente nos limites da ReBio de Duas Bocas que corrobora para a maximização do processo de interceptação e infiltração da chuva, conforme relatado por López e Marchioro (2018) e para a proteção contra o efeito de salpicamento e o escoamento superficial, reduzindo a ocorrência de problemas ligados à erosão nas encostas e no canal fluvial (MARONEZE et al., 2014; MORGAN, 2005).

A estação amostral DB02 por estar localizada após a barragem de Duas Bocas deveria apresentar uma redução na C_{ss}, conforme estudos de impactos de barragem de Bracken et al. (2015) e Carvalho (2008). Todavia, a estação apresentou a segunda maior C_{ss} média de 4,36 mg.L⁻¹ e máxima de 13 mg.L⁻¹, mínimo de 0,18 mg.L⁻¹ e desvio padrão de 4,40 no período de estudo, que é atribuído as descargas de efluentes da estação de tratamento de água (ETA) a montante do ponto, que reintroduz e remobiliza sedimentos em suspensão presentes no canal fluvial, demonstrando a conectividade hidrológica com as atividades antrópicas.

Figura 6 – *BoxPlot* do perfil longitudinal da concentração de sedimentos em suspensão no rio Duas Bocas (ES)



Fonte – os autores.

A estação DB03 apresentou valor médio de C_{ss} de 4,48 mg.L⁻¹, valor máximo e mínimo, respectivamente de 22 e 0,24 mg.L⁻¹ possuindo os maiores valores mínimos e máximos entre todos os pontos amostrais e

maior desvio padrão de 6,61 e, por fim, a estação DB04 obteve média de 2,61 mg.L⁻¹, valor máximo e mínimo, respectivamente, de 10 e 0,10 mg.L⁻¹ e desvio padrão de 3,1. Em ambas as estações amostrais predominam a classe pastagem e áreas agrícolas, realizada sem práticas de manejo e conservação adequada, que potencializam a erosão areolar das encostas e maximização do efeito do salpicamento.

Os máximos e os mínimos valores de C_{ss} ao longo do perfil longitudinal evidenciam um aumento de sua produção da estação DB01 até a estação DB04, estando atribuída nesse trabalho, ao efeito das mudanças de uso e cobertura da terra das paisagens, que promovem uma conectividade hidrológica para a produção de sedimentos que atingem o canal.

A relação entre o aumento da C_{ss} e a forma de apropriação do espaço geográfico para diferentes fins, também é verificada na bacia hidrográfica do rio Capivari (PR), pois Hoffmann e Oliveira (2018) verificaram que nas áreas onde ocorriam a predominância de área rural e agrícola, foram onde obtiveram o maior resultado de carga sedimentar em suspensão. Cabral e Reis (2015) verificaram relação semelhante no rio Jacarecica (AL), ao constatarem que a maior concentração de sedimentos em suspensão esteve diretamente ligada aos usos nas bacias urbanas e de solo exposto, com valores na ordem de até 0,70 mg.L⁻¹, Marchioro et al. (2010; 2011) evidenciaram também, a importância da floresta para minimização da produção de sedimentos por meio de cenário ambiental e/ou modelagem utilizando o Soil Water Assessment Tool na bacia do rio Santa Maria no noroeste fluminense. Por fim, Santos e Marchioro (2020) em estudos na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, verificaram a minimização da fragilidade emergente na área de maior cobertura vegetal como nos limites da ReBio de Duas Bocas no interior da bacia do rio Duas Bocas.

Na Colômbia, Restrepo, Escobar e Tosic (2018) também identificaram que o desmatamento ocasionou o aumento da carga de sedimentos em suspensão; na Thailandia Namsai et al. (2020) verificaram que no rio Yom, ocorreu o aumento da carga de sedimentos nas últimas seis décadas devido às ações antrópicas. Outros trabalhos, como de Walling e Woodward (1995) na bacia do rio Devon (UK), Walling (1983) destaca que o desmatamento que ocorreu na Europa promoveu o incremento das concentrações de sedimentos nos rios. Já Walling e Collins (2016) destacaram que em bacias do Reino Unido as principais fontes de sedimentos em suspensão estão associadas às áreas agrícolas, evidenciando uma conectividade hidrológica.

Distribuição longitudinal do fósforo total

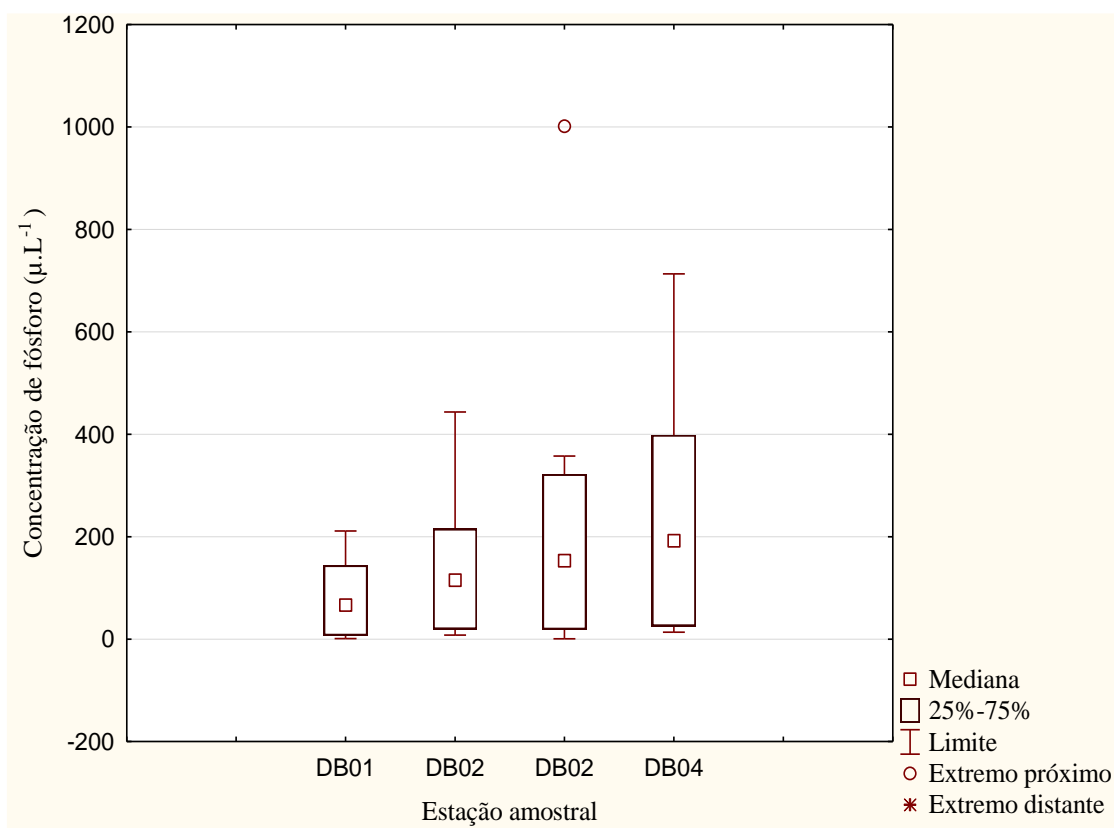
De modo geral, as menores concentrações médias de fósforo (P) no período de amostragem foram verificadas na estação DB01, com máximo de 211,1 µ.L⁻¹ e mínimo de 1,0 µ.L⁻¹ e média de 80,375 µ.L⁻¹, estando associado a presença da cobertura de Mata Atlântica (Figura 7). Em ambientes de floresta, a movimentação e transferência de fósforo para os rios acontece em função da ação do intemperismo de minerais de rochas e solos, juntamente com ciclos de absorção e regeneração biológica. A ciclagem deste nutriente é impulsionada por atividades heterotróficas, que em rios com cobertura vegetal depende da serapilheira e outros detritos da zona ribeirinha (WITHERS; JARVIE, 2008).

A média das concentrações de P da estação DB01 até a DB04 aumentaram gradualmente no sentido de montante para jusante do rio, como pode ser visto na *boxplot* da figura 7. Tal acréscimo ao longo do perfil longitudinal do rio indica que este nutriente está conectado hidrologicamente aos diferentes usos e cobertura da terra da bacia da BHRDB. Para ilustrar tal situação, verifica-se na figura 7, que ao longo das áreas agrícolas e do perímetro urbano nas estações DB03 e DB04, ocorreu o aumento considerável do fósforo, que chegou até o máximo 1001,5 µg.L⁻¹ em dezembro de 2016 na estação DB03.

De acordo com Dodds (2006), Dodds e Smith (2016) e Mainstone e Parr (2002) em áreas de atividades agrícolas com ausência de práticas de manejo e conservação do solo adequada, ocorre o aumento significativo das concentrações de P, uma vez que, a erosão e o escoamento superficial são acentuados e capazes de removê-los das encostas até os cursos fluviais (LWIN; MURAKAMI; HASHIMOTO, 2017).

Em relação a estação DB02, outro fato que corroborou para o aumento nas concentrações de fósforo a jusante do reservatório, foi o despejo de rejeito da estação de tratamento de água nas proximidades deste ponto. Mainstone e Parr (2002) também salientam que essa fonte pontual de tratamento têm uma influência muito importante nos níveis de fósforo na coluna de água.

Figura 7 – Perfil longitudinal do fósforo total ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas



Fonte – os autores.

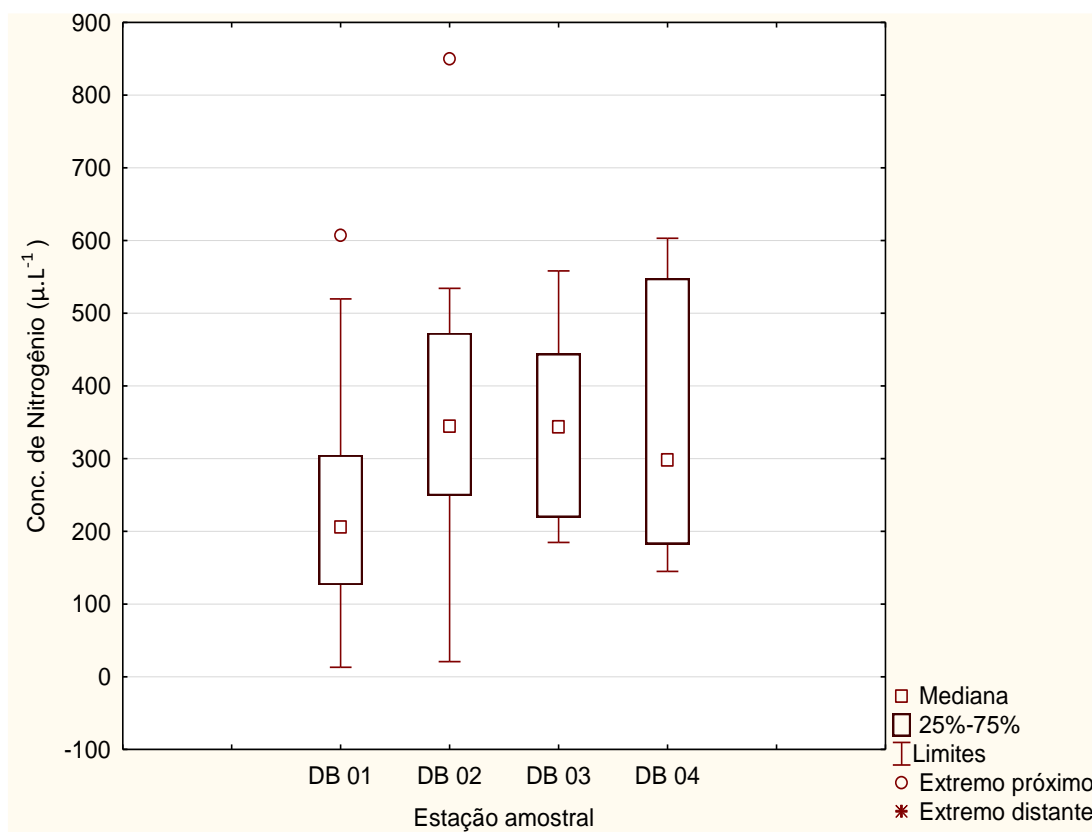
Distribuição longitudinal do nitrogênio total

Conforme pode ser observado na figura 8, ocorre um aumento na concentração de nitrogênio (N) da estação DB01 em relação as demais estações amostrais, ao mesmo tempo que verificamos valores próximos entre as demais estações. Assim, a estação DB01 apresentou valor médio de 238,39 μL^{-1} , na DB02 o valor médio foi de 360,13 de μL^{-1} ; na DB03 o valor médio foi de 357,32 μL^{-1} e, por fim, na estação DB04 de 351,35 μL^{-1} (Figura 8).

Com relação ao uso e cobertura da terra, foi verificado que a menor concentração média de nitrogênio foi obtida na estação amostra DB01 em relação as demais estações amostrais, onde ocorre a Mata Atlântica nos limites da ReBio de Duas Bocas. De maneira geral, esta situação exprime a conectividade hidrológica entre o aumento a concentração de nitrogênio ao longo do perfil longitudinal (Figura 8), que está associado ao aumento significativo das alterações no uso e cobertura da terra devido as atividades antrópicas. Teubner Junior (2016) estudando a bacia do rio Santa Maria da Vitória, ao qual a Duas Bocas é sub-bacia, verificou que responde por 80 e 89% das emissões de nitrogênio e fósforo que atingem a baía de Vitória, sendo que as fontes antrópicas respondem por 97% e 99% de N e P.

Tal situação também foi verificada por Molisani et al., (2013) na bacia hidrográfica do rio Macaé, que constataram um aumento nas concentrações de nitrogênio associado as emissões antrópicas de criação de animais e urbanização. Alvim (2016) na bacia hidrográfica do rio Piabanha também verificou relação semelhante, ao encontrarem as maiores concentrações de N e P nos pontos das áreas urbanas e os menores valores nos pontos localizados nas cabeceiras dos rios com cobertura vegetal. Por fim, Smith, Tilman e Nekola (1999) destacam ainda que, nos últimos dois séculos, em função das atividades antrópicas estão ocorrendo um acréscimo global de emissões pontuais ou difusas de nitrogênio nos cursos fluviais repercutindo-se sobre a conectividade hidrológica.

Figura 8 – Perfil longitudinal da concentração de nitrogênio no rio Duas Bocas (ES)



Fonte – os autores.

Ainda na Figura 8, do *boxplot*, é possível verificar o maior valor extremo na estação DB02 e a maior haste inferior em relação as demais, indicando uma forte variação no menor valor observado em relação ao primeiro quartil. Outro fato relevante em relação ao *boxplot* é que a estação DB01 possui a menor caixa, indicando uma menor discrepância interna nos valores entre o primeiro e o terceiro quartil, e a estação DB04, apresentou a maior caixa do *boxplot*, indicando uma forte variação interna dos dados entre o primeiro e o terceiro quartil, sendo que tais oscilações refletem as múltiplas conexões hidrológicas entre a água e as transformações no uso e cobertura da terra.

CONCLUSÃO

As concentrações de sedimentos em suspensão, nitrogênio total e fósforo total expressam a conectividade hidrológica entre o uso e cobertura da terra das paisagens ao longo do perfil longitudinal do rio, pois às menores concentrações ocorrem na estação DB01, indicando o importante papel da área florestada do tipo Mata Atlântica para diminuição da erosão areolar, em relação as demais estações amostrais a jusante do reservatório, que apresentaram as maiores concentrações associadas ao uso e cobertura da terra com predomínio de pastagens e áreas agrícolas.,

A desconectividade hidrológica verificada no rio é efetuada pela barragem de Duas Bocas, que interfere na dinâmica do fluxo de água (energia) e sedimentos (matéria) ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas, corroborando também para seca do rio, principalmente, quando associados a um período de estiagem como observado no período de monitoramento desse estudo. Portanto, a (des)conectividade apresentada possui um caráter longitudinal, transversal e vertical, que são impulsionadas pelo agente antrópico.

Estudos envolvendo dados empíricos com a abordagem teórica da conectividade hidrológica, mostra-se como um importante instrumento de análise das paisagens, principalmente aquelas de bacias hidrográficas com múltiplos usos e cobertura da terra, que acarretam variabilidade espaço-temporal no fluxo de energia e matéria do sistema ambiental.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos fomentadores de bolsa de pesquisa de mestrado (Capes/CNPQ). A Pró-Reitoria de Extensão da UFES, pela concessão de bolsa de extensão. Ao Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA) e ao Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental (LimnoLab) pela infraestrutura disponível para desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, R.; MARCÉ, R.; SABATER, S. Linking in-stream nutrient flux to land use and inter-annual hydrological variability at the watershed scale. **Science of the total environment**, v. 440, p. 72–81, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.030>
- ALVIM, R. B. **Dinâmica do nitrogênio e fósforo em águas fluviais de uma bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no Sudeste do Brasil**. 2016. 143p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências/Universidade Federal Fluminense, 2016.
- AMORIM, L. N. **O efeito da escala na análise geomorfológica da sub-bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, tributário da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória – ES**. 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2014.
- ANNANDALE, G. W. Overview of Sedimentation Issue. In: **Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower**. Washington, DC: The World Bank Group, 2016. p. 227–240. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0838-8_ch3
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. Perda De Solo Em Estradas Rurais Em Área De Cultivo De Tabaco Na Bacia Do Arroio Boa Vista-Paraná Soil Loss in Rural Roads in Tobacco Growing Area in the Arroyo Boa Vista Paraná Basin. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, 2016. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.769>
- APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association: Denver, 2005.
- BASTOS, K. V. et al. Ritmo pluviométrico da bacia do rio Duas Bocas (ES). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS. 2015, Uberaba (MG). **Anais...** Uberaba: *Compact Disc Read-only Memory*, 2015, p.1- 10.
- BEVEN, K. J. **Rainfall-runoff modelling**. New York: John Wiley & Sons, 2001. 360p.
- BLANTON, P.; MARCUS, W. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, p. 212–227, 1 nov. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.008>
- BRACKEN, L. J. et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, Pathways and future agendas. **Earth-Science Reviews**, v. 119, p. 17–34, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001>
- BRACKEN, L. J. et al. Sediment connectivity: A framework for understanding sediment transfer at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 2, p. 177–188, 2015. <https://doi.org/10.1002/esp.3635>
- BRIERLEY, G. A. Personal Perspective on the Methodological Practices of an Applied Fluvial Geomorphologist. **Espaço Aberto, PPGG - UFRJ**, v. 6, n. 1, p. 9–15, 2016. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5235>
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**, p. 1–398, 2004. <https://doi.org/10.1002/9780470751367>
- CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica. **Revista de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 147–157, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229034>> Acesso em: 01 dez. 2020.
- CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos**. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1994. 253p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2a. edição ed. Rio de Janeiro: Editora

Interciência, 2008. 600P.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a Edição ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 312p.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008. <https://doi.org/10.14393/RCG92615721>

CORDER, G. W.; FOREMAN, D. I. **Nonparametric Statistics for Non_statisticians: a step-by-step approach**. 1ª edição ed. New Jersey: 2009. <https://doi.org/10.1002/9781118165881>

COVINO, T. Hydrologic connectivity as a framework for understanding biogeochemical flux through watersheds and along fluvial networks. **Geomorphology**, v. 277, n. March, p. 133–144, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.030>

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo**. Carta Geológica: Folha SF-24-VB-I. Vitória (ES): 2014.

CUNHA, M. C. da; THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 107–118, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100009>

CUPERTINO, W. **Áreas de contribuição e aporte hidrossedimentológico no reservatório de Duas Bocas - Cariacica – ES**. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2018.

CUPERTINO, W.; SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Análise da distribuição granulométrica do reservatório de da reserva biológica de Duas Bocas - Cariacica (ES). CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 1., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015.

DODDS, W. K. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography*, v. 51, n. 1, part 2, p. 671–680, 2006. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0671

DODDS, W. K. ; SMITH, V. H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. **Inland Waters**, v. 6, n. 2, p. 155–164, 2016. <https://doi.org/10.5268/IW-6.2.909>

DUARTE, N. S.; MARÇAL, M. D. S. Conectividade da paisagem na bacia do rio sana (RJ): Relação entre áreas de captação efetiva e tipos de bloqueios. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 755–766, 2017. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1211>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed. – Rio de Janeiro (RJ), 2013. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(2\)18-20](https://doi.org/10.17138/TGFT(2)18-20)

FONSECA, B. M. et al. Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 1, p. 19–33, jan. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3351-8>

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. de. Conectividade de sedimentos na Bacia Hidrográfica Riacho do Tigre, ambiente semiárido no município de São João do Tigre-PB. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 23, n. 3, p. 697-711, 2019. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2019.151940>

FRYIRS, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30–46, 2013. <https://doi.org/10.1002/esp.3242>

GOERL, R. F. et al. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para análise de bacias hidrográficas (Development and Application of Landscape Fragmentation and Connectivity Index to Watershed Analysis). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 1000, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i5.232678>

GROPPO, J. D. et al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Revista de Geociências**, v. 24, n. 2, p. 181–193, 2005.

GUZHA, A. C. et al. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 15, p. 49–67, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.005>

HECKMANN, T. et al. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. **Earth-Science Reviews**, v. 187, n. September, p. 77–108, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.004>

HOFFMANN, T. C. P.; DE OLIVEIRA, F. A. de. Influence of land use in rural and urban areas on the production and transport of suspended sediments in the drainage basin of the Capivari River, Lapa-Pr. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 821–836, 2018.

<https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1340>

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Referência Técnica: Mapeamento ES 2012-2015**. Vitória (ES): 2012. Disponível em:

<https://geobases.static.es.gov.br/public/MAP_ES_2012_2015/MAP_ES_2012_2015_REFERENCIA_TECNICA.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2021.

IJSN. Instituto Jones dos Santos Neves. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito Santo**. 2012. Disponível em: http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120718_ij01271_notatecnica28.pdf.

Acesso em: 23 nov. 2021.

IJSN. Instituto Jones dos Santos Neves. **Sistema integrado de bases geoespaciais do Estado do Espírito Santo**. 2015. Disponível em: <https://geobases.static.es.gov.br/minio/public/>. Acesso em: 05 fev. 2022.

LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E. A. R. Análise temporal da conectividade e da capacidade de transporte potencial de sedimentos em meso-bacia semiárida, CE, Brasil. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 7, n. 2, p. 136, 2013. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i2.1030>

LOPEZ, J. F. B.; MARCHIORO, E. **Interceptação de águas pluviais na Reserva Biológica de Duas Bocas**. Novas Edição. ed. Letônia: 2018. 168p.

LWIN, C. M.; MURAKAMI, M.; HASHIMOTO, S. The implications of allocation scenarios for global phosphorus flow from agriculture and wastewater. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 94–105, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.017>

MAINSTONE, C. P.; PARR, W. Phosphorus in rivers — ecology and management. **Science of The Total Environment**, v. 282–283, p. 25–47, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00937-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00937-8)

MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental conservation**, v. 29, n. 2, p. 134-153, 2002. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000097>

MARCHIORO, E.; COUTINHO, F. N. Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Duas Bocas (ES): um evento extremo em 2013. **Geografia (Londrina)**, v. 30, n. 1, p. 477-497, 2021.

<https://doi.org/10.5433/2447-1747.2021v30n1p477>

MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; CORREA, W. S. C. A zona de convergência do atlântico sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, n. 0 SE-, p. 101–117, 24 jul. 2016.

<https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.108447>

MARCHIORO, E. et al. Aplicação do Código Florestal Brasileiro como subsídio para o planejamento ambiental: um estudo de caso na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1): 11-21, abr. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100002>

MARCHIORO, E. et al. Modelagem da produção de sedimentos no Noroeste Fluminense como subsídio ao planejamento ambiental: um estudo de caso da Bacia Do Córrego Santa Maria. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, p. 29–38, 2011. <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i1.216>

MARCHIORO, E.; BARROSO, G. F. Avaliação de sólidos transportados, parâmetros da morfometria e solos de seções fluviais do córrego Naiá-Assú (Reserva Biológica de Duas Bocas/ES. **Caderno de Pesquisa (PPGE/UFES)**, Espírito Santo, v. 01, n.01, p. 185-195, 1996.

MARINHESKI, V. A Erosão em estradas não Pavimentadas Na Bacia do Rio do Atalho em Cruz Machado – PR. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 2, p. 117, 2017.

<https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.28802>

MARONEZE, M. M. et al. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1403>

MARTINS, D. M. F. et al. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1054–1061, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000010>

MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E. O comportamento dos ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climáticos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5 SE-Artigos, p. 983 – 993, 12 nov. 2012.

MOLISANI, M. M. et al. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 27–33, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000100006>.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Third edit ed. Victoria (Australia): Blackwell Publishing Ltd, 2005. 304p.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watershed for sustainable use**. 1a. ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 2009.

NAMSAI, M. et al. Sediment dynamics and temporal variation of runoff in the yom river, Thailand. **International Journal of Sediment Research**, p. 365–376, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.03.002>

NEILL, C. et al. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. **Ecological Applications**, v. 11, n. 6, p. 1817–1828, 2001. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1817:DFPANA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1817:DFPANA]2.0.CO;2)

NOVELLI, F. Z. A. Reserva Biológica de Duas Bocas e seus vínculos à história da conservação no Espírito Santo. **Revista Natureza Online**, v. 8, n. 2, p. 57-59, 2010.

NYBERG, B.; GAWTHORPE, R. L.; HELLAND-HANSEN, W. The distribution of rivers to terrestrial sinks: Implications for sediment routing systems. **Geomorphology**, v. 316, p. 1–23, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.007>

PERRONE, A. **Estudos preliminares sobre a Carga de Sólidos Transportados, Parâmetros Morfométricos e Pluviométricos da Bacia do Córrego Pau Amarelo – Reserva Biológica de Duas Bocas – ES**. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 1995.

POEPPL, R. E.; KEESSTRA, S. D.; MAROULIS, J. A conceptual connectivity framework for understanding geomorphic change in human-impacted fluvial systems. **Geomorphology**, v. 277, p. 237–250, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.033>

PRINGLE, C. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? **Hydrological Processes**, v. 17, n. 13, p. 2685–2689, 2003. <https://doi.org/10.1002/hyp.5145>

RESTREPO, J. D.; ESCOBAR, R.; TOSIC, M. Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios, and connections with upstream human impacts. **Geomorphology**, v. 302, p. 92–105, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.007>

ROCHA, P. C. Geomorfologia e conectividade em ambientes fluviais do alto Rio Paraná, Centro-Sul do Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 157–176, 2010. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v28i2.10382>

RODRIGUES, V. et al. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). **The Science of the total environment**, v. 622–623, p. 1553—1561, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.028>

RODRÍGUEZ-BLANCO, M. L.; TABOADA-CASTRO, M. M.; TABOADA-CASTRO, M. T.; Phosphorus transport into a stream draining from a mixed land use catchment in Galicia (NW Spain): Significance of runoff events. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 12–21, 1 fev. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.046>

RUSSELL, K. L.; VIETZ, G. J.; FLETCHER, T. D. Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds. **Earth-Science Reviews**, v. 168, p. 73-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.001>

- SANTOS, J. C. N. et al. Sediment delivery ratio in a small semi-arid watershed under conditions of low connectivity. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 1, p. 49–58, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170006>
- SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. **Revista do departamento de Geografia**, v. 39, p. 72–87, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>
- SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Fragilidade emergente da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas , Espírito Santo : uma análise integradora da paisagem. **Revista GEOgrafias**, v. 26, n. 2, p. 8–30, 2018.
- SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, v. 100, n. 1, p. 179–196, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)
- SOUZA, J. O. P. de; CORREA, A. C. B. Conectividade e área de captação efetiva de um sistema fluvial semiárido: bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco-PE. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 319–332, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200011>
- SOUZA, J. O. P. de; CORREA, A. C. B. Cenários Evolutivos da conectividade da paisagem em ambiente semiárido – bacia do riacho do Saco , Serra Talhada. **Revista Brasileira de Geomorfologia (online)**, v. 21, p. 63–77, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1529>
- SOUZA, P. A.; MARÇAL, M. S. Hidrossedimentologia E Conectividade Do Rio Macaé, Norte Do Estado Do Rio De Janeiro, Brasil. **Geo UERJ**, n. 27, p. 176–201, 2015. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2015.16436>
- SOUZA, N. S.; SOUZA. W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 453–462, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017155279>
- TEUBNER JUNIOR, F. J. **Aportes de água e nutrientes para o sistema estuarino da Baía de Vitória (ES)**: subsídios para a gestão ambiental integrada. 2016. 304 f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2016.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS, 2005.
- WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, p. 209–237, 1983. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90217-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90217-2)
- WALLING, D. E.; COLLINS, A. L. Fine sediment transport and management. **River Science**. Wiley Online Books, London, p. 37-60, 2016. <https://doi.org/10.1002/9781118643525.ch3>
- WALLING, D. E.; WOODWARD, J. C. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK. **Marine & Freshwater Research**, v. 46, n. 1, p. 327–336, 1995. Doi: <https://doi.org/10.1071/MF9950327>
- WITHERS, P. J. A.; JARVIE, H. P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. **Science of The Total Environment**, v. 400, n. 1-3, p. 379–395, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.002>
- WOHL, E. et al. Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, n. 1, p. 4–26, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1002/esp.4434>
- WOHL, E. et al. Mapping longitudinal stream connectivity in the North St. Vrain Creek watershed of Colorado. **Geomorphology**, v. 277, p. 171–181, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.004>
- WOHL, E.; MAGILLIGAN, F. J.; RATHBURN, S. L. Introduction to the special issue: Connectivity in Geomorphology. **Geomorphology**, v. 277, p. 1–5, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.005>
- ZANANDREA, F. et al. Evaluation of different DTMs in sediment connectivity determination in the Mascarada River Watershed, southern Brazil. **Geomorphology**, v. 332, p. 80–87, maio 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.005>

ZANANDREA, F. et al. Conectividade Dos Sedimentos: Conceitos, Princípios E Aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 0–3, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1754>

ZANANDREA, F.; KOBAYAMA, M.; MICHEL, G. P. Conceitual Hydrosedimentological Connectivity : a Conceptual. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22. **Anais...** Florianópolis (SC): 2017.

Recebido em: 24/05/2022

Aceito para publicação em: 19/09/2022