

Avaliação espaço-temporal da dinâmica de sedimentação do baixo curso do rio Paraíba do Sul por meio de sensoriamento remoto

Spatiotemporal evaluation of the sedimentation dynamics of the low course of the rio Paraíba do Sul using remote sensor

Dhiego da Silva Sales, Graduado em Geografia e Mestrando em Engenharia Ambiental, IFF

dhiego.sales@outlook.com

Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional e professor do Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Engenharia Ambiental, IFF

jljunior@iff.edu.br

Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola e professor do Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Engenharia Ambiental, IFF

vsantos@iff.edu.br

Resumo

O Paraíba do Sul é um rio de grande extensão e que corta diversas áreas antropizadas, possuindo grande propensão à variação morfológica em seu baixo curso. A partir dessa premissa, o presente trabalho teve como objetivo verificar a ocorrência de modificações morfológicas decorrentes de possível processo de assoreamento. Para este fim foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, de 2017, associadas ao aerolevanteamento do IBGE realizado na região em 2005, para a vetorização e posterior obtenção da quantificação e espacialização dos processos geomorfológicos fluviais. Para garantia de padronização do nível de água nestas duas datas, foram observadas as médias, obtida a partir da estação fluviométrica da ANA, em Campos dos Goytacazes. Diante da metodologia proposta foi possível perceber que entre os anos de 2005 e 2017 houve perda significativa na largura média do rio na ordem de 34,75m e na área total na ordem de 2,26 km².

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial; Assoreamento; Monitoramento ambiental; GIS.

Abstract

The Paraíba do Sul is a river of large extension and passing through several anthropic areas having great propensity to the morphological variation in its low course. Based on this premise, the present research has aimed to verify the occurrence of morphological modifications resulting from possible silting process. For this purpose it was used images from the Sentinel-2 satellite,

from 2017, associated to the IBGE aerial survey carried out in the region in 2005, for the vectorization and subsequent obtaining of the quantification and spatialization of fluvial geomorphological processes. In order to guarantee the standardization of the water level in these two dates, the average were obtained from the fluviometric station of the ANA in Campos dos Goytacazes was observed. In view of the proposed methodology, it was possible to observe that between 2005 and 2017 there was a significant loss in the mean river width in the range of 34.75 m and in the total area in the range of 2.26 km².

Keywords: *Fluvial geomorphology; Silting; Environmental monitoring; SIG.*

1. Introdução

A sociedade contemporânea, fortemente marcada pela intrincada relação do homem com a natureza, tem ampliado sua preocupação com o uso racional dos recursos naturais notadamente dos recursos hídricos. Nesse contexto, temáticas como uso do solo, erosão, captação de água e assoreamento vem sendo discutidas. O assoreamento é um fenômeno que ocorre em rios que sofrem intensos processos erosivos ao longo de seu curso. Ele acontece por meio de causas naturais, como o regime de chuvas e os ventos fortes, que transportam os produtos do intemperismo para os rios que, por conseguinte, irão transportar e depositar estes sedimentos em seus baixos cursos, onde a energia, logo a capacidade de transporte, é reduzida (GUERRA, 2005). Este processo pode ser intensificado pela ação humana, na medida em que as matas ciliares são removidas, favorecendo a dinâmica de erosão dos terraços, o que ocasiona a remoção do solo e rochas para os cursos dos rios (RODRIGUES, 2016).

A ausência de um monitoramento eficaz tanto da elevação do nível da água, como da intensidade dos processos erosivos e deposicionais, no baixo curso do Rio Paraíba do Sul, representa um problema de gestão pública, que afeta o equilíbrio entre homem e natureza.

Entender a evolução do sistema deposicional é de grande importância para o contexto geológico e geomorfológico da paisagem, mas, também, para outras áreas do conhecimento, envolvendo desde os aspectos físicos, que incluem a hidrologia e a engenharia, aos aspectos ecológicos, que atentam para a estrutura e funcionamento das comunidades biológicas.

Para o desenvolvimento do presente trabalho será realizada uma análise qualitativa do processo de sedimentação do rio, sendo esta análise dividida em dois momentos. Primeiro serão abordados princípios da dinâmica fluvial natural do rio Paraíba do Sul, buscando entender os processos geomorfológicos fluviais naturais e, ainda, serão elencadas a natureza das principais intervenções realizadas neste curso, contribuindo para uma reflexão a cerca da diminuição do volume de água. Em seguida pretende-se propor a utilização de geotecnologias, para o monitoramento da dinâmica fluvial, notadamente para a diminuição do espelho d'água e o assoreamento decorrente da perda de capacidade de transporte, uma vez que as imagens de satélites auxiliam na compreensão das complexas relações entre homem e natureza (CARVALHO JÚNIOR, 2018)

Neste sentido, espera-se que este trabalho contribua para a discussão a cerca do uso de ferramentas SIG como suporte a decisão dos comitês de bacia, contribuindo para uma

gestão integrada e responsável das mais variadas instituições que compõe o mosaico heterogêneo de uso dos recursos hídricos.

2. Área de estudo

2.1 Caracterização e localização

A bacia do Rio Paraíba do Sul possui área de drenagem de 55.000 km², se estendendo pelo estado de São Paulo (13.900 km²), Rio de Janeiro (20.900 km²) e Minas Gerais (20.700 km²) (CEIVAP, 2013). Devido a sua grande importância para manutenção de diversos empreendimentos como parques hidrelétricos, atividades mineradoras, indústrias e agropecuária, seus recursos necessitam de monitoramento frequente, visto que seu uso pode ocasionar diversos impactos na sua qualidade e quantidade disponíveis para abastecimento.

O rio nasce na serra da Bocaina, no estado de São Paulo, a 1.800 m de altitude, e deságua no norte fluminense, no município de São João da Barra, percorrendo uma extensão de aproximadamente 1.180 km. O seu baixo curso estende-se de São Fidélis/RJ à foz, com 95 km de extensão e declividade média de 0,22 m/km, atravessando a Baixada Campista, extensa planície litorânea (MARENGO e ALVES, 2005).

O trecho delimitado para o presente trabalho se estende desde a divisa municipal entre Campos dos Goytacazes e São Fidélis, nas coordenadas $-41,53688^\circ$ / $-21,62133^\circ$, caracterizado na Figura 1, como o ponto A, até a foz no município de São João da Barra, nas coordenadas $-41,04181^\circ$ / $-21,61933^\circ$, caracterizado como ponto B. O rio Paraíba do Sul no trecho em questão banha cinco municípios, sendo eles: São Fidélis, Cardoso Moreira, Campos dos Goytacazes, São Francisco do Itabapoana e São João da Barra. A extensão total do trecho delimitado é de 65 km, sendo excluído o trecho final, do delta, para que a dinâmica costeira, provocada pela ação da erosão marinha não comprometesse a análise. A maior parte dessa extensão está localizada dentro dos limites municipais de Campos, correspondendo a aproximadamente 53 km da extensão total.

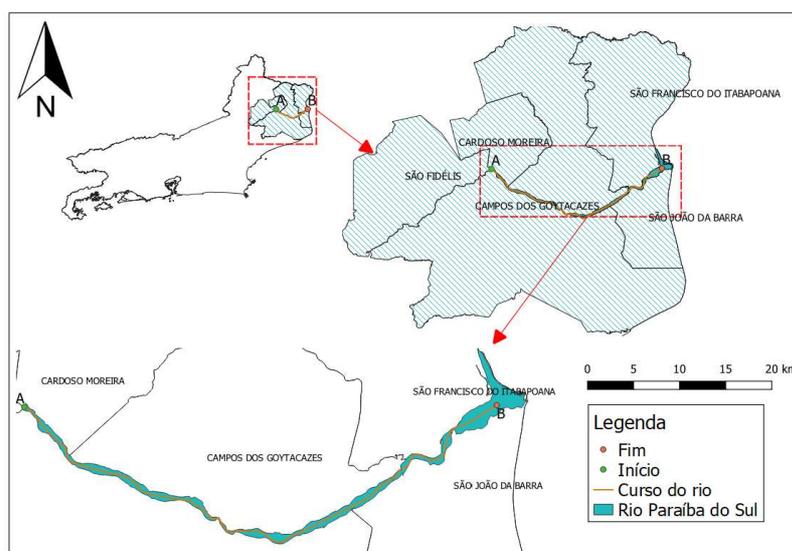


Figura 1: Delimitação da área de interesse. Fonte: elaborado pelos autores.

2.2 Padrão de canal do trecho estudado

A heterogeneidade dos canais vem sendo amplamente estudada no campo da geomorfologia fluvial, tendo a nomenclatura destes crescido de forma não sistemática, embora algumas dessas classificações tem se apresentando mais frequentemente. As quatro mais usuais são: retilíneo, anastomosado, meândrico e entrelaçado (LEWIN & ASHWORTH, 2014).

O renomado geógrafo brasileiro, Guerra (2005), apresenta três classificações para os canais, sendo eles, canais retilíneos, anastomosados e meandrante. (i) Para os canais retilíneos o autor atribui condições de excepcionalidade na medida em que depende de condições específicas, tais como um embasamento rochoso homogêneo e às vezes associados a linhas tectônicas. O canal retilíneo também pode estar associado a ações antrópicas, que com o objetivo de aumentar o escoamento e promover uma melhor drenagem da região, tem sido muito utilizado em áreas urbanas e de baixada constantemente alagadas. O autor também classifica retilíneo como sendo um seguimento com extensão 10 vezes maior que a largura; (ii) os canais anastomosados são classificados como canais que se caracterizam por apresentar grande volume de carga de fundo que, conjugado com as flutuações de descargas, ocasionam sucessivas ramificações, ou múltiplos canais que se subdividem e se reencontram, separados por ilhas assimétricas e barras arenosas; (iii) os canais meandros estão associados a áreas de baixa declividade onde a energia do fluxo de descarga de água é reduzida, típicos de regiões estuarinas. Apresentam condições de erosão específicas, sendo caracterizado pela zona de deposição na margem convexa (progradação das praias) e em áreas de degradação na superfície côncava.

Além da tipologia acima descrita é recorrente na literatura o canal entrelaçado. Este é definido como sendo rio permeado por ilhas e barras, decorrentes do assoreamento do material transportado em suspensão por suas próprias águas, e é caracterizado por apresentar pouca ou nenhuma mata ciliar no solo ao redor, pois a ausência ou baixo volume de raízes das plantas favorece a erosão, devido à instabilidade do solo exposto, sendo o produto desta erosão carregada para o rio (TEIXEIRA, 2009). Lorang & Hauer (2017), o descreve a partir de um processo que ocorre quando a capacidade do fluxo de transportar sedimentos é excedida pelo volume de sedimento sendo transportado como carga de leito, evidenciando perda da capacidade de transporte de sedimentos.

É importante destacar que um mesmo canal fluvial pode ter fisionomias diferentes ao longo de todo o curso, sendo a tipologia do canal associada a um conjunto de fatores que compõe a geomorfologia fluvial, destacando-se a descarga líquida, cargas de sedimentos e declive, que serão elementos decisivos na fisionomia do canal.

A cerca da fisionomia do curso fluvial do Rio Paraíba do Sul, no trecho de interesse, o relatório da ENGEORPS (2010) classifica a morfologia, como entrelaçada e com maior sinuosidade do que as regiões a montante (alto e médio curso), logo apresentando uma tendência meândrica associada. Pode-se observar na que o rio apresenta diversas ilhas à principalmente à jusante do perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, corroborando para a classificação entrelaçada do canal. Na área urbana percebem-se os meandros, onde se observa a progradação das praias da margem convexa. Os diques produzidos pela ação antrópica, para o desenvolvimento da cidade, que se encontra nas margens do rio, impedem o processo de escavação da margem côncava dos meandros, fazendo assim que os mesmos

não tendam a aumentar a sinuosidade. Em contrapartida a deposição na margem convexa do meandro, tende a promover um afunilamento do leito do rio.

2.3 Uso do solo, processo erosivo e produção de sedimentos

A intervenção humana nas áreas adjacentes aos cursos dos rios, seja na construção de diques ou na remoção de cobertura vegetal nativa, em razão da expansão da atividade agropecuária, ou mesmo para a expansão das cidades, vem contribuindo para o processo de erosão acelerada. A impermeabilização do solo, em função do crescimento das cidades, atua no sentido de dificultar o processo de infiltração, o que acarreta no transporte de sedimentos urbanos para os corpos hídricos que contribuirá para a deposição e consequente assoreamento (OLIVEIRA; BEZERRA, 2017).

A remoção da mata ciliar contribui para o processo de erosão que pode ocorrer de duas formas: (i) a erosão laminar, onde o escoamento difuso das águas pluviométricas removem a camada superficial do solo, conduzindo-a para o curso d'água, ou (ii) pode ser erosão linear, quando as águas se concentram em linhas de fluxo, resultando em incisões na superfície do terreno, tendendo, neste contexto a ser muito mais agressiva e mudando a geomorfologia fluvial consideravelmente. As águas oriundas das chuvas representam o mais expressivo agente erosivo (MORAES; SALES, 2017).

A questão dos assoreamentos nos rios está diretamente relacionada aos processos erosivos na medida em que é a erosão que fornece os materiais (sedimentos) que darão origem ao assoreamento. Quando não há energia suficiente para transportar o material erodido, este material é depositado (GUERRA, 2005). A erosão e o assoreamento trazem também como consequências uma maior frequência e intensidade de enchentes e alterações ecológicas, na medida em que o acúmulo de material no fundo do rio diminui o tirante hídrico do curso do rio, deixando-o vulnerável ao transbordamento quando ocorre uma elevação do volume de águas (ABDON, 2014).

Conforme relatório realizado pela COHIDRO e publicado pela CEIVAP (2006), a trecho de estudo representa área de grande potencial de erodibilidade, devido à baixa densidade vegetal nativa, que teria a capacidade de reter os sedimentos, diminuindo a erosão laminar oriunda das precipitações. Os fatores antrópicos desencadeiam um processo de desequilíbrio, que pode ser observado conforme tabela 1.

MUNICÍPIO	Floresta Ombrófila	Floresta Estacional	Veget. Secund.	Campo/Pastagem	Área Agrícola	Reflorestamento	Área Urbana	Outros
Aperibé			236	8.388			84	280
Cambuci		4.044	6.588	44.912	12		128	648
C. dos Goytacazes	588	212	2.768	17.740	29.360		220	3.344
Cardoso Moreira		308	4.400	37.772	8.144		12	844
Italva			1.440	27.608			160	312
Itaocara	216		3.048	37.948	968		192	424
Itaperuna		1.732	6.252	99.488	20	60	1.232	1.124
Laje do Muriaé		1.636	1.932	21.172	64		28	236
Miracema		572	2.648	26.444			364	4
Natividade		2.064	4.300	31.772	144		56	324
Porciúncula		2.812	1.060	15.368			128	36
Quissamã								
Santa Maria Madalena	7.892		1.208	18.676			48	496
S. Antônio de Pádua	688	16	2.884	57.004	324		320	420
São Fidelis	6.324	912	12.196	77.888	1.628		220	4.072
S. Fc. de Itabapoana				616	8			1.152
São João da Barra				1.076	44		176	2.064
São José de Ubá			1.828	22.272				1.036
Varre e Sai		1.364	312	2.188				
Total	15.708	15.672	53.100	548.332	40.716	60	3.368	16.816
Percentual (%)	2,3	2,3	7,7	79,0	5,9	0,07	0,5	2,4

Tabela 2: Uso do solo nos municípios que compõe o baixo curso do Rio Paraíba do Sul (em hectares). Fonte: CEIVAP (2006).

A erosão é sempre mais intensa em áreas desmatadas, pois a velocidade de escoamento é maior do que em áreas com cobertura vegetal, na medida em que os vegetais além de fornecer um obstáculo ao fluxo de água, favorecem a fixação do solo na encosta, além ainda, de permitir que a água infiltre, diminuindo assim a velocidade do fluxo superficial (RODRIGUES, 2016).

2.4 Decréscimo de vazão

O perfil altimétrico da região de Campos dos Goytacazes é modesto e plano, sendo de origem geológica recente. O volume de água ocupado regularmente no rio Paraíba do Sul, tem decrescido ao longo do tempo, fruto principalmente, das diversas obras de intervenção antrópica a montante. Conforme Marengo e Alves (2005),

A bacia do rio Paraíba do Sul tem sido palco para a implantação de uma série de aproveitamentos de usos múltiplos da água (...) dentre as possíveis causas desta redução sistemática nas vazões e cotas do Paraíba do Sul, temos: (a) efeitos antropogênicos de uso da água para abastecimento e geração de energia, com a construção de barragens e açudes; (b) desvio de rios para usos na agricultura e que pode aumentar a evaporação; (c) mudanças no uso da terra que pode afetar todo o ciclo hidrológico; (d) mudanças gradativas no canal do rio devido à sedimentação e deposição de sedimentos que podem não ter sido considerado no momento de calcular vazões usando a curva chave; e, finalmente, (e) mudanças gradativas no regime e distribuição de chuvas na bacia, decorrentes de mudanças climáticas regionais (MARENGO e ALVES, 2005, p3-4)

Os autores apresentam as diversas possibilidades de alterações na bacia, que irão implicar na diminuição no fluxo de água. Há de se notar que a maior parte das razões dizem respeito a ações antropogênicas, sendo a gestão integrada das bacias hidrográficas uma ação que vai além dos limites municipais ou divisas estaduais.

A fim de se avaliar quantitativamente o decréscimo do volume do rio, foi extraída a série histórica de nível coletadas na estação fluviométrica de Campos dos Goytacazes, a partir do portal HidroWeb da ANA, entre os anos de 2005 e 2018, sendo possível observar a diminuição do nível ao longo dos anos, conforme ilustra a Figura 2. A partir desses dados, é possível observar uma forte tendência a diminuição do volume de água no rio, implicando na possibilidade de levar o curso a exaustão se não sejam buscadas alternativas para às sucessivas intervenções no rio. O monitoramento tanto hidrológico, a partir de medições *in loco*, quanto espacial, por meio de sensoriamento remoto e aerofotogrametria, corrobora neste sentido.

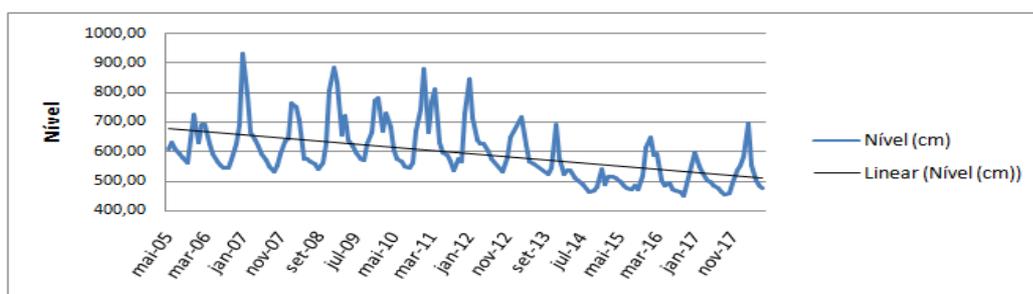


Figura 2: Evolução do decréscimo dos valores de nível do Rio Paraíba do Sul, coletados na estação fluviométrica da ANA, em Campos dos Goytacazes, entre 2005 e 2018. Fonte: elaborado pelos autores.

3. Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho necessita de imagens históricas de alta resolução para a vetorização do curso do rio e ilhas, com a finalidade de identificar a área do espelho d'água que foi decrescida do rio e as mudanças morfológicas no leito, que incluem o aumento do processo de sedimentação e deslocamento das margens. O processo de vetorização leva em consideração a interpretação visual do executante e pressupõe, além do conhecimento a cerca do ferramental de geoprocessamento, o conhecimento do local estudado. Por meio dessa vetorização é possível gerar mapas temáticos, extração de dados para operações estatísticas e informações de área do leito do rio preenchida pelo rio, e pelas ilhas. Todo o processo de vetorização e estatística foi realizado do QGIS 3.4.1.

Para a escolha das cenas e garantia de que a variação o leito não corresponderia à sazonalidade do regime das chuvas (cheia e vazante do rio), foi estabelecido como parâmetro para escolha das imagens a proximidade das cotas do rio médias nas datas de interesse. Os valores de cotas históricas foram obtidos a partir do portal oficial HidroWeb da ANA, e todas as medições aqui apresentadas dizem respeito a estação fluviométrica código 58974000, que se localiza no perímetro urbano da cidade de Campos dos Goytacazes, próximo a ponte Saturnino de Brito.

A primeira imagem escolhida é oriunda da campanha de aerolevante realizada pelo IBGE, entre junho e agosto de 2005, que possui uma resolução espacial de 0,7m, sendo cada foto na escala 1:25000. A cota média registrada na estação da ANA, citada anteriormente, foi de 609m.

Uma vez que não há uma imagem atual, de alta resolução e com a mesma cota do rio de 2005, buscou-se uma medida alternativa para a obtenção de uma imagem recente e de cota média aproximada. Foram buscados os satélites disponíveis com imagens gratuitas e que possuíssem a melhor resolução espacial, para uma equiparação com a imagem de alta resolução do IBGE, tendo sido escolhido o satélite Sentinel-2, que são disponibilizadas de forma gratuitas no site *Earth Explorer* do Serviço Geológico Americano.

A missão Sentinel-2 é composta de 2 satélites (2A e 2B) defasados 180° na mesma órbita, o que permite uma revisita de 5 dias no equador. O satélite 2A foi lançado pela Comunidade Européia e a ESA, em junho de 2015 e 2B em março de 2017, estando os dois em operação. O satélite é do tipo multiespectral e possui 13 bandas, as quais dispõe a seguinte distribuição de resoluções espaciais: 4 bandas de 10m, 6 bandas de 20m e 3 bandas de 60m (ESA, 2018).

4. Resultados e discussões

4.1 Validação do uso da imagen do Sentinel-2

A fim de validar o uso do satélite Sentinel-2, foram buscadas no *software Google Earth Pro* imagens de alta resolução que dispusesse da mesma cota do rio de uma cena do satélite. As imagens do *Google Earth*, apesar de alta resolução espacial, inferior a 1m, possui a limitação de utilização para a grande extensão da área de estudo – 65 km – pois são utilizadas imagens de diferentes datas para compor o mosaico da região. Outra

limitação diz respeito à possibilidade de substituição das imagens do banco de dados do *Google* sem aviso prévio, o que impossibilita a reprodução do estudo a qualquer tempo.

Para a validação foi utilizada uma imagem do *Google Earth* de 11/08/2016 (acessada em 02/12/2018) com uma cota do rio em 468cm. Foi vetorizado no *software* de geoprocessamento QGIS um trecho de 8,3 km do rio, que corresponde a 12,7 % do curso total de interesse.

A cena do Sentinel-2 escolhida para a validação foi de 29/08/2016, sendo a cota do rio encontrada nesta data de 468m (mesmo valor da imagem do Google de 11/08/2016). A banda escolhida para vetorização do leito do rio foi a 8, com resolução espacial de 10 m e que corresponde ao infravermelho próximo – NIR (*Near-infrared*), de comprimento de onda central de 842 μm . A escolha se dessa banda se deu em função do comportamento de absorção do infravermelho na água, que pode ser observada na figura 3. Antes da escolha, foi realizado um experimento de utilização do NDWI (*Normalized Difference Water Index*), que "foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra (vegetação terrestre e solos)" (BRENNER, GUASSELLI (2015) e pode ser obtido por meio de operações entre as bandas espectrais do verde e NIR, conforme enuncia Mcfeeters (1996):

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR}) \quad (1)$$

O NDWI vem amplamente sendo utilizado em trabalhos de mapeamento de corpos hídricos (CARVALHO JÚNIOR (2018); MARTH, MOURA, KOESTER (2016); BRENNER, GUASSELLI (2015)), no entanto, neste trabalho, o resultado do NIR se mostrou mais adequado para o monitoramento de pequenas variações morfológicas. Na Figura 4, pode-se observar a que a resposta do NDWI apresenta pequenas variações na margem e no contorno das ilhas, ocasionando em erro de interpretação no sentido de diminuição do espelho d'água, talvez pelo fato da grande presença de material particulado e da pequena lamina d'água associada nas margens do rio e ilhas. Uma vez que o NIR é absorvido pela água, a resposta visual tende a ser bem mais coerente com a realidade, apresentando uma resposta satisfatória em pequenas profundidades e com intensa presença de material particulado. Segundo Meneses et. al. (2012), a reflectância média da água é muito próximas na região do visível e são facilmente discriminadas na imagem do infravermelho próximo de um sensor multiespectral. Ainda destaca-se a interpretaç

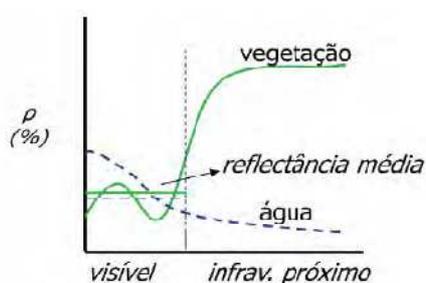


Figura 3: Assinatura espectral da água e vegetação. Fonte: Meneses et. al. (2012).

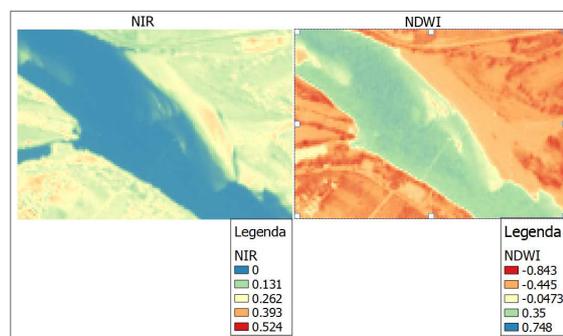


Figura 4: Comparação NIR x NDWI. Fonte: elaborado pelos autores.

Adicionalmente a análise acima citada foi observada a composição colorida fornecida pelo *software Google Earth Pro*, na data de interesse, de forma a corroborar com a escolha do NIR. A interpretação visual da composição colorida associada a cena do satélite, apresentou maior semelhança de contorno do NIR que o NDWI.

Para o processamento da imagem foi aplicada a correção atmosférica DOS1, cuja finalidade é a redução da influência da atmosfera na qualidade da imagem, em seguida se utilizou o método de classificação pixel-a-pixel, para definição dos pixels que correspondem ao espelho d'água e ao contorno das ilhas. Para ambos os processos foi utilizado o *plugin* do SCP, *Semi-Automatic Classification*, disponível no catálogo de complementos do QGIS. Após a classificação foi realizada a vetorização da imagem, no mesmo trecho, referente à imagem do *Google Earth* utilizada, sendo obtidos os valores conforme Tabela 2:

	Data	Nível (cm)	Área vetorizada (km ²)
<i>Google Earth</i>	11/08/2016	468	3,433
Sentinel-2	29/08/2016	468	3,491
		Diferença	1,69%

Tabela 2: Validação da imagem do Sentinel-2 a partir da imagem do Google Earth Pro. Fonte: elaborado pelos autores.

Foi possível observar que a vetorização da imagem do *Google Earth* apresentou uma área de 3,43 km², quanto à imagem do Sentinel-2, apresentou uma área de 3,49 km² resultando em uma diferença de 1,69%. A sobreposição dos contornos das duas imagens associadas à baixa diferença descrita, resultou na validação da imagem do satélite Sentinel-2 para a metodologia proposta.

4.2 Variações morfológicas ocorridas entre junho de 2005 e janeiro de 2017

Após validação da imagem do Sentinel-2 para observação de pequenas variações na geomorfologia fluvial, foi realizada a vetorização de todo o trecho de 65 km, descrito na Figura 1, tanto a partir da imagem do aerolevante do IBGE, quanto do Sentinel-2.

A data da imagem escolhida do satélite foi de 26/01/2017, que possuía uma cota média de 602 cm no dia da passagem do satélite. Esta data foi escolhida tendo em vista necessidade de se manter o nível médio do rio próximo ao nível da campanha do IBGE que foi de 609 cm. A vetorização do leito do rio e a sobreposição dos contornos nos permitem observar consideráveis variações geomorfológicas no curso do rio, conforme evidencia a Figura 5. Estas variações refletem espacialmente as modificações que ocorreram e continuam ocorrendo na morfologia do Rio Paraíba do Sul, ao longo dos últimos 12 anos.

É possível, por meio de ferramentas de geoprocessamento realizar a quantificação dessas mudanças, sendo estas expressas conforme a Figura 6. A quantificação processada

no *software* QGIS, reflete as modificações em termos quantitativos, que ocorreram e continuam ocorrendo na morfologia do Rio Paraíba do Sul, ao longo dos últimos 12 anos.

No que se refere à largura média no trecho estudado, a Figura 6 apresenta uma perda de 34,75m ou 4,53%, facilmente observada na espacialização das variações morfológicas expressas na Figura 5.

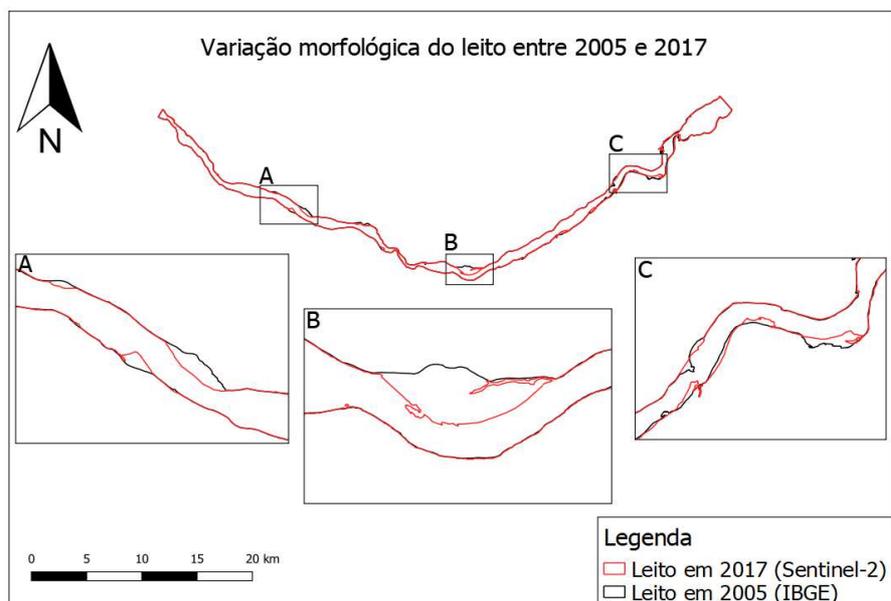


Figura 5: Variações morfológicas no trecho de interesse entre os anos de 2005 e 2017. Fonte: elaborado pelos autores.

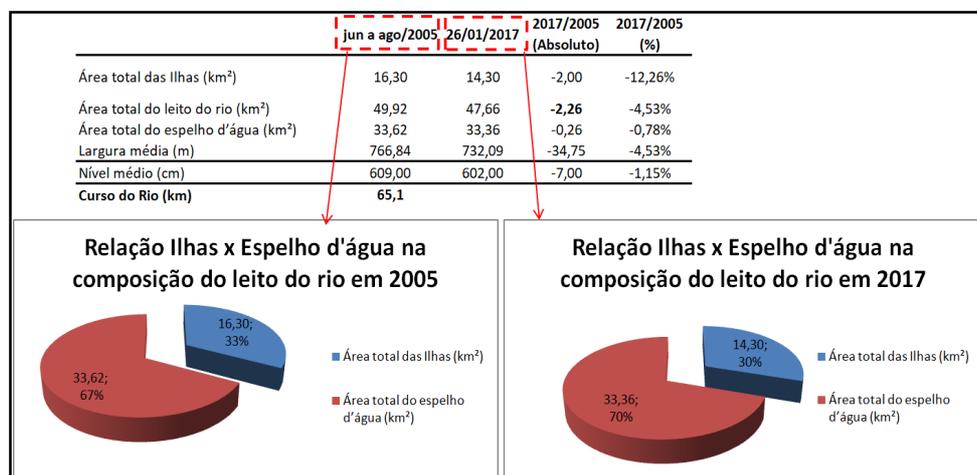


Figura 6: Estatísticas das variações morfológicas no trecho de interesse entre os anos de 2005 e 2017. Fonte: elaborado pelos autores.

É possível, dessa forma, observar que o rio tem gradativamente perdendo área e que aproximadamente 2,26 km² representou espelho d'água e ilhas que foram incorporadas à margem, tal como pode ser evidenciado por meio da análise histórica realizada a partir de imagens de satélite (Figura 5). O ponto B, por exemplo, representa uma ilha que existia em 2005, mas que foi incorporada a margem devido à redução do volume de água, possivelmente ocasionada pela ação antrópica no sentido de intensificação do uso da água.

5. Considerações finais

O presente trabalho evidenciou significativas mudanças na geomorfologia fluvial do baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde foi possível perceber que entre os anos de 2005 e 2017, houve perda significativa na largura média do rio na ordem de 34,75m e na área total na ordem de 2,26 km². Adicionalmente, esta pesquisa observou uma queda na vazão do rio, por meio na análise da série histórica fornecida pela ANA.

A utilização das imagens do satélite Sentinel-2, mostrou-se eficaz no processo de monitoramento e quantificação da dinâmica geomorfológica fluvial do rio Paraíba do Sul, configurando-se como uma ferramenta de baixo custo para subsidiar ações de gestão dos comitês de bacias hidrográficas. Foi possível espacializar e quantificar as modificações na geomorfologia fluvial, aonde ilhas vêm sendo incorporadas às margens, o leito principal está perdendo largura e as ilhas existentes estão aumentando extensão ao longo de seu curso.

No que se refere ao processo de sedimentação, a metodologia utilizada nesta pesquisa não se mostrou conclusiva, deixando para um próximo trabalho a iniciativa de quantificação dos processos sedimentológicos. Não há a princípio evidências conclusivas de que a progradação da margem convexa dos meandros e o alongamento das ilhas sejam oriundas diretamente de um processo de assoreamento crescente ou se apenas ocorreu uma redução do espelho d'água devido ao aumento da captação a montante.

Referências

- ABDON, Myrian de Moura. **Os impactos ambientais no meio físico, erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do Rio Taquari, MS**. 2014. 319p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos: USP.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas, Portal HidroWeb**. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> > Acesso em: 5 de dezembro de 2018.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, Laurindo Antônio. **Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS-Brasil**. ANAIS XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, 2015.
- CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de. **Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis**. Revista de Geografia (Recife), v. 35, n. 4, 2018.
- COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP. **Avaliação dos impactos de novas transposições de vazão no Rio Paraíba do Sul**. COHIDRO, 2013.
- _____. **Caderno de Ações Área de Atuação do GT-Foz**. COHIDRO, 2006. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/planobacia2.php>> Acesso em: 20 de novembro de 2018.

- _____. **Relatório de Gestão Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul.** 2012. Disponível em: <<http://cbhbaixoparaiba.org.br/downloads/relatorio-de-gestao-2011.2012.pdf>> Acesso em: 23 de setembro de 2018.
- ENGEORPS. **Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul, R 02 –** Coleta de Dados Engecorps - Brasília: ANA, SUM, 2010. 285p.
- EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Copernicus Sentinel-2 mission.** 2018. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2018.
- GUERRA, Antonio José Teixeira (org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 6.ed. Bertrand Brasil: 2005. 472p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Ortofotos da Bacia do Rio Paraíba do Sul.** Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/arquivos-raster.html>> Acesso em: 23 de setembro de 2018.
- LEWIN, J., & ASHWORTH, P. J. **Defining large river channel patterns: Alluvial exchange and plurality.** 2014. *Geomorphology*, 215, 83–98.
- LORANG, Mark S.; HAUER, F. Richard. *Fluvial geomorphic processes.* In: **Methods in Stream Ecology, Volume 1 (Third Edition).** 2017. p. 89-107.
- MARENGO, José A.; ALVES, Lincoln Muniz. **Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.
- MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V.; KOESTER, E. **Localização e mapeamento de áreas úmidas na Sub-bacia hidrográfica Arroio Santa Isabel, através do método NDWI.** Geografia (Londrina), v. 25, n. 1, p. 23-41, 2016.
- MENESES, Paulo Roberto *et. al.* **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** v. 11, 2012. Brasília, DF: Universidade de Brasília– CNPq.
- McFEETERS, S. K. (1996). **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432.
- MORAIS, R. C. S; SALES, M. C. L. **Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica .** Caderno de Geografia, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.
- OLIVEIRA, T. C. E.; BEZERRA, M. C. L. Manejo Sustentável da Água no Meio Urbano: O Caso de Brasília. In: **ENSUS 2017 - V Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2017, Florianópolis.** Anais [do] ENSUS 2017 - V Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB, 2017. v. 1. p. 1-1702
- RODRIGUES, Juliana Paula da Silva. **Avaliação da qualidade ambiental urbana na bacia hidrográfica do Córrego das Lajes em Uberaba (MG).** 2016. 127p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia: UFG.
- TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 557p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Earth Explorer, Sentinel-2.** Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 30 de novembro de 2018.