

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA OCORRÊNCIA DE LAGOAS MARGINAIS NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO

Geomorphological analysis of the occurrence of marginal lagoons in the upper course of the São Francisco river

Rúbia Riane de Sousa Araújo

Graduanda em Geografia, Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Ouro Preto, Brasil

rubia.rianedesa@gmail.com

Diego Alves de Oliveira

Doutor em Geografia, Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Ouro Preto, Brasil

diego.oliveira@ifmg.edu.br

Elizêne Veloso Ribeiro

Doutora em Geografia, Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Ouro Preto, Brasil

elizene.ribeiro@ifmg.edu.br

Recebido: 27.06.2022

Aceito: 26.10.2022

Resumo

As áreas úmidas (AUs) ocupam cerca de 20% do território nacional e são feições de grande importância para a manutenção da vida terrestre. No entanto, são escassos os estudos geomorfológicos voltados para a compreensão dessas feições. Com isso, o objetivo do artigo é fazer uma análise geomorfológica das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco, a partir dos atributos de litologia e relevo. A análise se baseou nas informações sobre a litologia, o cálculo do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) e as interpretações dos perfis e dados obtidos em campo. As AUs têm ocorrência principalmente sobre as litologias sedimentares (calcários e siltitos e argilitos) e as formações cenozóicas (coberturas e depósitos). O ICR foi importante para a identificação de padrões de dissecação do relevo e ocorrência dos processos hidrogeomorfológicos, se mostrando como uma técnica satisfatória para a correlação das AUs com valores de ICR, mesmo com a utilização de MDE em diferentes resoluções. Foi possível identificar segmentos de ocorrência das áreas úmidas a partir do perfil longitudinal, bem como correlacionar a ocorrência destas com a planície de inundação do rio. Também, ao longo do trabalho a depressão do rio do Picão se mostrou como uma bacia com grande potencial para investigações sobre a hidrogeomorfologia das áreas úmidas.

Palavras-chave: Áreas úmidas; Índice de Concentração da Rugosidade; alta bacia hidrográfica do São Francisco; Modelo Digital de Elevação.

Abstract

Wetlands occupy about 20% of the national territory and are important for maintaining terrestrial life. However, there are few morphological studies of features to understand these features. With that, the article's objective is to make a geomorphological analysis of the marginal lagoons of the upper course of the São Francisco River from the attributes of lithology and relief. The analysis was based on information about the lithology, the Roughness Concentration Index (RCI) calculation and the interpretations of the profiles and

data obtained in the field. Wetlands occur mainly on sedimentary lithologies (limestones, siltstones, and claystones) and Cenozoic formations (covers and deposits). The RCI was important for identifying relief dissection patterns and the occurrence of hydrogeomorphological processes, proving to be a satisfactory technique for the correlation of wetlands with RCI values, even with the use of the Digital Elevation Model (DEM) at different resolutions. It was possible to identify segments of occurrence of wetlands from the longitudinal profile, as well as to correlate their occurrence with the floodplain of the river. Also, throughout the work, the depression of the Picão River proved to be a basin with great potential for investigations on the hydrogeomorphology of wetlands.

Keywords: Wetlands; Roughness Concentration Index; upper São Francisco watershed; Digital Elevation Model.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa aliada à incorporação das novas tecnologias tem revolucionado a Geomorfologia ao possibilitar a diminuição da distância entre os trabalhos realizados em campo, laboratório e os modelos computacionais (VILES, 2016). A incorporação de novas tecnologias que geram dados topográficos permite a análise e modelagem espacial nas pesquisas geomorfológicas, é impulsionada pelos avanços dos sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE) (BISHOP *et al.*, 2012).

A utilização de dados topográficos contribui para a caracterização de padrões homogêneos e a classificação da paisagem (VALERIANO, 2008), fornecendo uma base mais objetiva e uniforme na identificação e estudo de sistemas terrestres e/ou aquáticos (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019). Apoiado no desenvolvimento dos MDE o mapeamento geomorfológico pode ser automatizado com base no uso de dados morfométricos, fornecendo uma descrição quantitativa e objetiva das formas de relevo. Aliado ao uso de MDE de média e alta resolução, a caracterização geomorfológica se torna ainda mais importante nos estudos de grande escala, pois exigem maior nível de detalhe (BISHOP *et al.*, 2012).

A partir da disponibilização de dados ambientais e topográficos oriundos de diversas ciências, os processos ecológicos podem ser associados aos processos geomorfológicos (VILES, 2016). Neste contexto, o estudo das áreas úmidas ainda tem sido desenvolvido principalmente a partir das ciências biológicas sob a ótica dos processos ecológicos (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015) demonstrando a necessidade de relevância da investigação das AUs a partir de uma abordagem geomorfológica.

Estima-se que cerca de 20% do território nacional esteja coberto por áreas úmidas, encontradas em diversas tipologias, sendo parte dos ambientes mais ameaçados e afetados pelas atividades humanas (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015). São áreas caracterizadas pela presença de umidade, sob diversas formas, prestando serviços ambientais desde a escala local à escala global (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS, 2018).

No contexto da importância geomorfológica no estudo das AUs, a abordagem hidrogeomorfológica das AUs pode ser compreendida a partir de fatores geomorfológicos e climáticos, que fornecem a base para a ocorrência de processos que envolvem a interrelação entre as formas de relevo e a circulação da água na superfície e em subsuperfície, e como os processos hidrológicos alteram as formas de relevo (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020; GOERL; KOBAYAMA; SANTOS, 2012).

A recarga das áreas úmidas localizadas no interior continental e com inundação temporária é explicada principalmente pelo conceito de pulso de inundação (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015), desenvolvido no âmbito das ciências biológicas, no qual durante os pulsos de inundação do rio há oscilação do nível da água e ocorre um intercâmbio lateral de água, nutrientes, sedimentos e organismos e as áreas adjacentes que são alagáveis. Para além da conexão superficial, as AUs também podem ser recarregadas subsuperficialmente pelo aumento no nível freático durante a estação úmida.

Compreender as AUs a partir da hidrogeomorfologia envolve então as interações entre a hidrologia local (como a magnitude, intensidade e duração das inundações), o ambiente físico-químico (porosidade e permeabilidade das geocoberturas, teor de oxigênio) e a biota (TOOTH *et al.* 2015). O conceito de inundação exemplifica para além dos mecanismos de inundação, a conexão das AUs interiores com os canais fluviais, sendo estas influenciadas pelos processos fluviais, regulando o fluxo de água, sedimentos e nutrientes entre os ambientes (LISENBY *et al.* 2019).

As AUs localizadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco têm sofrido degradação e desaparecimento a partir das intervenções relacionadas à conversão do uso da terra, barramento, poluição e destruição de habitats (GODINHO; GODINHO, 2003). Este cenário se torna ainda mais ameaçador para as AUs no alto São Francisco, onde intensificam os impactos ambientais à medida que avança o desmatamento e a drenagem desses ambientes para a expansão de atividades agrícolas, urbanas e de mineração, principalmente. Estes impactos são justamente os principais mecanismos de degradação e perda das AUs brasileiras (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015).

O cenário social, econômico e ambiental no século XXI gera aumento dos eventos de inundações, secas e constante prática de incêndios, agravando os impactos ambientais que ocorrem nas AUs. Esses impactos podem ocasionar mudanças nos processos hidrogeomorfológicos, acarretando impactos negativos na estrutura e função das áreas úmidas e as atividades humanas associadas (TOOTH *et al.*, 2015), podendo levar à sua destruição, muitas vezes por meio do efeito “*cumulative loss*” (MITSCH; GOSELINK, 2015).

O conhecimento e delimitação dessas áreas úmidas é ainda incipiente no território brasileiro, apesar de haver dispositivos legais para a sua proteção (BRASIL, 1996, 2012; MINAS GERAIS, 1995), condição prévia indispensável para conseguir alcançar uma política de proteção e manejo dessas áreas coerente com um viés mais sustentável.

Outros trabalhos já foram realizados a respeito das AUs na bacia hidrográfica do rio São Francisco, como Ribeiro (2010), Trindade (2016), Oliveira (2021), Araújo e Oliveira (2021) e Araújo *et al.* (2020). Ainda, Borges e Costa (2022) com identificação e classificação das AUs na bacia do rio Pandeiros, e o trabalho de Ferreira e Magalhães Júnior (2018) com o inventário das AUs urbanas em Belo Horizonte. Contudo, trabalhos estes que não tinham como objetivo fazer a análise geomorfológica da ocorrência das lagoas marginais no alto curso do rio São Francisco.

A partir do trabalho de Araújo *et al.* (2020) no qual foram mapeadas as lagoas marginais permanentemente inundadas no alto curso do rio São Francisco, o objetivo deste trabalho é correlacionar a ocorrência destas com componentes do meio físico, considerando uma abordagem hidrogeomorfológica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada entre as coordenadas 18° 43' 12" S a 20° 38' 24" S de latitude e 46° 48" W a 44° 48" W de longitude. Situada no cráton São Francisco, delimitado pelas faixas Brasília a leste e Araçuaí a sudeste (MINAS GERAIS, 1999).

A litologia é composta predominantemente pelo grupo Bambuí, que ocupa a maior parte da porção sudeste do cráton, constituindo uma extensa cobertura sedimentar depositada sobre o cráton São Francisco, sendo dividido em duas sequências: o subgrupo Paraopeba na porção inferior, com características pelito-carbonática e depositado em uma

plataforma carbonática, e a formação Três Marias superior e terrígena de natureza continental (MINAS GERAIS, 1999).

No contexto geomorfológico se destacam na porção oeste a Serra da Canastra, S-SW, onde inicia o curso do rio São Francisco; a Serra da Saudade que margeia o lado esquerdo do rio. Na porção leste está o Planalto Centro-Sul mineiro e a Depressão de Belo Horizonte próximo às Serras do Quadrilátero Ferrífero e em NW dá início a Serra do Espinhaço Meridional (MARTINS, 2013).

A área de estudo está sob o domínio da Depressão do Rio São Francisco. A amplitude topográfica entre 550 a 1485 metros, com os maiores valores para a região da Serra da Canastra e os menores valores para o vale do rio São Francisco e a represa de Três Marias (Figura 1).

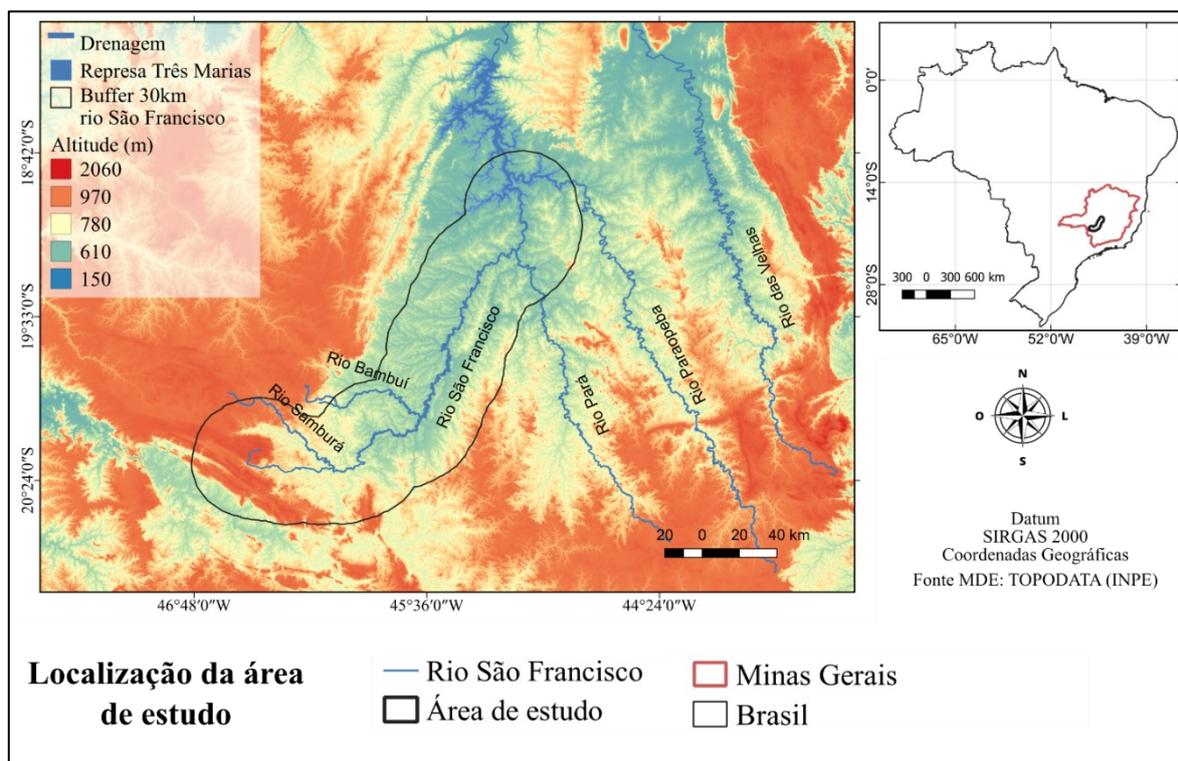


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os principais afluentes neste trecho são os rios Samburá e Bambuí na margem esquerda, e os rios Pará e Paraopeba localizados na margem direita na área de estudo. A figura 2, apresenta o canal do rio São Francisco (B) e as AUs com inundação permanente (2A) e temporária (2C e 2D).

O clima da região é uma predominante temperado chuvoso, com chuva de verão e variando de verão moderadamente quente (Cwb) ao sul a verão quente na porção mais ao

norte (Cwa), segundo a classificação climática de Köppen (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Inserida predominantemente no bioma do Cerrado, considerado um dos *hotspots* para a conservação da biodiversidade (MYERS *et al.* 2000), com entraves de Mata Atlântica (Mata Mesofítica) nos fundos de vale.



Figura 2 - Lagoas marginais e canal do rio São Francisco.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2. Técnicas utilizadas

Para a realização do trabalho foram executados os seguintes procedimentos: (i) mapeamento do substrato litológico; (ii) elaboração do perfil longitudinal do rio São Francisco e perfis topográficos das áreas adjacentes; (iii) geração do modelo digital de elevação (MDE) em duas resoluções (12,5 m e 30 m); (iv) aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) a partir do MDE, adaptado de Sampaio e Augustin (2014); (v) trabalho de campo no mês de abril de 2022.

2.2.1. Mapeamento da litologia

Foram utilizadas as cartas geológicas disponibilizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) na escala de 1:100.000. A área de concentração das lagoas marginais (ARAÚJO *et al.*

2020) abarca as cartas de Abaeté (CPRM, 2009a), Luz (CODEMIG, 2011), Bom Despacho (CPRM, 2009b), Vargem Bonita (CODEMIG, 2015) e Piumhi (CPRM, 2008) que foram unidas em ambiente SIG no *software* QGIS versão 3.16 'Hannover' e posteriormente recortadas.

Quanto às siglas e litotipos estes foram agrupados a partir da litologia predominante, mediante consulta nas cartas geológicas e relatórios das respectivas cartas para agrupar as litologias mais homogêneas com o objetivo de adequar as diferentes siglas e classificações de acordo com as litologias semelhantes, conforme quadro 1.

Quadro 1: Detalhamento da unificação das litologias.

Litotipos	Legenda
Depósitos aluvionares	Depósitos
Depósitos aluvionares e de terraços	
Depósitos fluviais	
Cobertura coluvionar	Coberturas
Cobertura eluvio-coluvionar	
Cobertura eluvionar detrito-lateríticas	
Calcarenitos (Formação Lagoa do Jacaré)	Calcarenitos, calcários, siltito, argilito e metapelito
Calcários, calcipelitos, metacalcários e metacalcipelitos (Formação Sete Lagoas)	
Siltito, argilito (Formações Serra da Saudade e Serra de Santa Helena)	
Conglomerado, metaconglomerado (Formação Samburá)	Conglomerado, metaconglomerado
Metapelito (Bambuí Indeterminado, Lagoa Formosa, Sequência Turbidítica)	Metapelito
Quartzito, filito, muscovita, xisto (Grupo Canastra)	Quartzito, filito, muscovita, xisto
Granitóide	Granitóides, ortognaisses e metavulcânicas
Ortognaisses (Complexo Divinópolis)	
Metavulcânicas (Supergrupo Piumhi)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2.2. Perfis topográficos e longitudinal

A elaboração dos perfis se deu em ambiente SIG, utilizando o *software* QGIS, a partir do *Plugin Terrain Profile*. Os perfis foram importados para o programa *Inkscape*, editados e finalizados com as informações complementares à sua interpretação visual. O perfil

longitudinal foi feito a partir do canal de drenagem do alto curso do rio São Francisco, e a localização dos perfis topográficos é apresentada na figura 7.

2.2.3. Índice de Concentração da Rugosidade

A utilização do ICR se baseia no uso de MDE em ambiente SIG, auxiliando no processo de mapeamento e compartimentação geomorfológica a partir de parâmetros numéricos do relevo, reduzindo a subjetividade. O ICR analisa padrões da rugosidade do relevo, tendo como base a análise da distribuição espacial da declividade, possibilitando uma análise morfométrica da dissecação e a compartimentação do relevo (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014).

Foram utilizados dados numéricos do relevo disponibilizados pelo projeto TOPODATA, produtos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 m, disponibilizado pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (INPE, 2008). E para o MDE com resolução de 12,5 m, foram utilizados os dados do ALOS PALSAR, disponíveis na plataforma do *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2022).

Foram utilizadas duas bases diferentes de MDE pois, ao alterar a resolução, é esperada uma maior precisão ao identificar o valor de ICR em que ocorrem as áreas úmidas, bem como as áreas que possam estar sujeitas a esta inundação. Embora nem sempre resoluções melhores vão indicar uma maior acurácia na identificação desses ambientes, como pode ser visto em Guasselli *et al.* (2020).

No QGIS foi feita a miscelânea das cenas. Os arquivos resultantes foram recortados tendo como máscara área de estudo, que corresponde ao *buffer* de 30 km a partir do canal do rio São Francisco (Figura 1). A partir dos dados dos MDE (ASF e SRTM), foi realizado o cálculo do Índice de Concentração da Rugosidade.

Os dados foram manipulados no *software ArcGis* (versão 10.8), onde foi calculada a declividade do terreno para cada pixel dos MDE e quantificada em valores de porcentagem. Os novos MDE com os valores de porcentagem do terreno foram convertidos em uma malha de pontos vetoriais, do tipo pontos para que fosse possível fazer a interpolação dos valores obtidos.

A interpolação foi feita pelo Estimador de Densidade Kernel (*Kernel estimator*), que quantifica as relações entre os pontos amostrados a partir de determinado raio de influência, este determinado em 1128 metros que corresponde ao valor de ICR global (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014). Após, é feita a análise do padrão dos valores amostrados e é estimada a sua densidade para a área a partir da função Gaussiana (ou normal). Os

valores foram normalizados, variando de 0 para os menores índices até 1 para os maiores índices de rugosidade e classificados a partir do método de desvio padrão.

Para o presente trabalho as lagoas marginais foram interpretadas como elementos espaciais pontuais, durante as análises em SIG computada como um dado vetorial do tipo ponto. Dessa forma, foi possível fazer a intersecção da localização das coordenadas das lagoas com os valores de ICR calculados. Essa operação foi feita utilizando o *plugin Point Sampling Tool*, disponível como uma extensão no QGIS, que possibilitou obter os valores de ICR para os pontos de amostragem (lagoas marginais)

Os valores da tabela de atributos obtidos após a intersecção dos dados permitiram o cálculo das estatísticas básicas e do *boxplot*, calculados a partir do PAST (PAleontological Statistics) e apresentados de modo complementar aos mapas de ICR.

2.2.4. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado no mês de abril de 2022, período após a estação chuvosa, no qual ainda haviam algumas das AUs temporárias inundadas e as lagoas marginais (AUs na forma de lagoas permanentes) se encontravam inundadas. O trabalho de campo foi pertinente para a averiguação dos afloramentos próximos às lagoas marginais, correspondentes à cartografia litológica e para entendimento da paisagem na qual ocorrem as lagoas marginais do tipo AUs no alto curso do rio São Francisco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram organizados a partir das informações sobre o substrato litológico, visando identificar e compreender os condicionantes litológicos que poderiam ser encontrados na área e sua relação com a ocorrência das áreas úmidas. Em seguida foram analisados o perfil longitudinal do rio São Francisco e dois perfis topográficos, um sendo compreendendo a área onde se encontra a depressão do rio Picão, este de maior extensão, e outro de maior detalhe ao longo da planície de inundação do rio São Francisco, onde há maior concentração das AUs. Posteriormente foram apresentados os mapas de ICR e o pequeno tratamento estatístico associado.

As principais litologias da área de estudo pertencem aos Grupos Canastra, Bambuí e as Coberturas Cenozóicas, e esta distribuição se dá em função da transição: Faixa Brasília em direção a bacia sedimentar. As lagoas ocorrem predominantemente sobre litologias sedimentares (Grupo Bambuí) e os depósitos e coberturas (Formações Cenozóicas).

As litologias do Grupo Canastra afloram à montante da área de pesquisa, nas quais as lagoas são esparsas. Sobre o grupo Canastra, sobre as litologias predominantes de muscovita-filito de coloração de cinza-claro a prata, e variando para o amarelado quando alterados, com intercalações de quartzo-muscovita filito (CODEMIG, 2015) ocorrem as primeiras lagoas. Não há ocorrência das lagoas sobre as litologias de conglomerados e metaconglomerados, correspondentes às rochas da Formação Samburá.

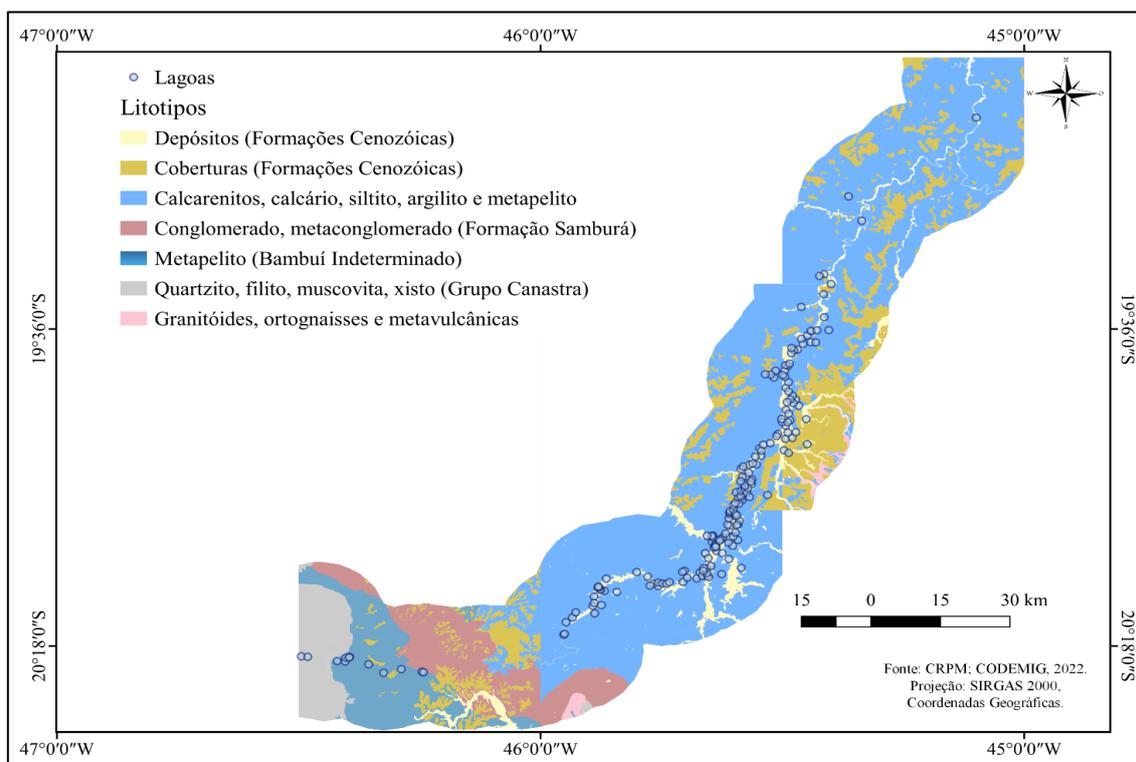


Figura 3 – Mapa com os litotipos na área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O grupo Bambuí ocorre nos segmentos junto às coberturas e depósitos associados aos cursos fluviais, sendo as litologias predominantes para a ocorrência das lagoas marginais. O grupo Bambuí também se apresenta como Bambuí indeterminado (SIMÕES *et al.* 2015), onde há a ocorrência das lagoas marginais sobre os metapelitos, variando de metacalcários e metacalcarenitos cinza a pretos, ardósias e ardósias carbonáticas, de coloração cinzas quando são, mas se apresentam na maioria dos afloramentos como altamente intemperizadas (CODEMIG, 2015). Nesta classe dos Metapelitos ocorrem 10 das lagoas identificadas.

Há ocorrência das lagoas sobre a formação de Sete Lagoas, que abrangem os calcipelitos em estágio avançado de intemperismo, e os calcários, ambos litotipos com características de fácies maciças e com laminação plano-paralela (CPRM, 2008). E também

na formação Lagoa do Jacaré, onde predominam os calcarenitos de finos a médios (CODEMIG, 2011). As formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré, dentre as formações do grupo Bambuí, são as que menos possuem a ocorrência das lagoas marginais, totalizando 23 ocorrências.

Na figura 4 é possível visualizar os afloramentos de calcário, sendo 4A afloramento de calcário nas margens do rio São Francisco próximo à estação Ponte do Chumbo, e em 4B afloramento de calcário ao fundo, próximo ao dique marginal do rio. As paisagens típicas associadas a esses litotipos (calcários e siltitos) é apresentada em 4C, nos quais as litologias de calcário se apresentam na paisagem como as áreas mais rebaixadas e de relevo aplainado e o topo é representado por remanescentes de argilitos e siltitos.

Apesar da cartografia litológica indicar que o rio São Francisco está sobre litologia cenozoica, foi observado em trabalho de campo que o rio flui em vários trechos sobre leito de calcário das formações Serra da Saudade e Sete Lagoas (Figura 4A), assim como algumas lagoas associadas a esse litotipo.

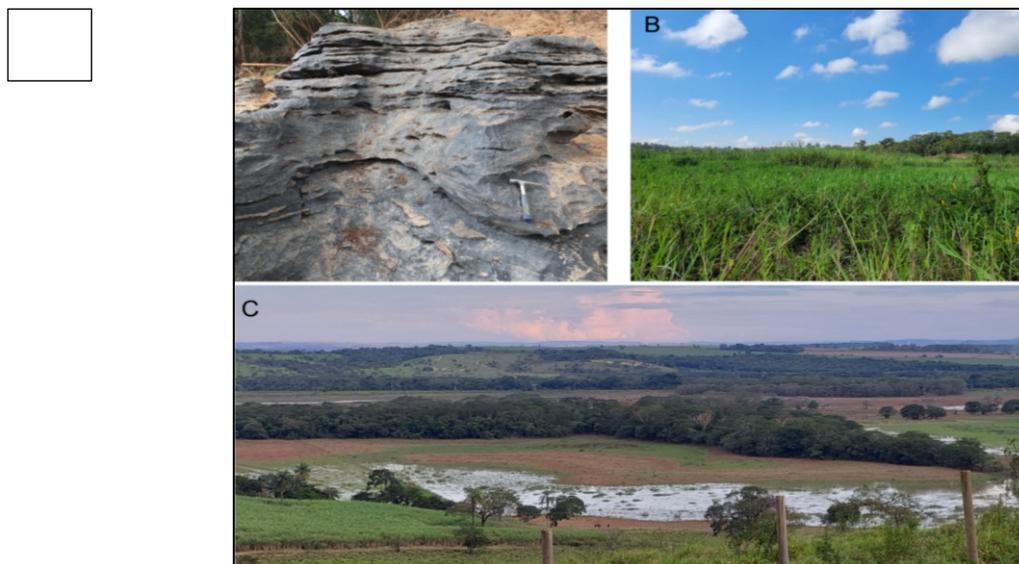


Figura 4 - Em A, afloramento de calcário encontrado no leito do rio São Francisco; B, afloramento de calcário ao fundo, próximo ao *levee* do rio São Francisco; C, representação de lagoa marginal em relevo suave associado às formações de calcário.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As lagoas distribuídas sobre os siltitos e argilitos somam total de 21 ocorrências, sendo a formação predominante Serra da Saudade (Figura 3), que pode conter níveis de arenitos finos a muito finos, e ardósias fortemente alteradas na formação inferior (CPRM, 2009b; CODEMIG, 2015).

Os afloramentos de siltito e argilito encontrados em campo se apresentam altamente intemperizados, como apresentado em 5B e 5C. As paisagens associadas a estes litotipos compreendem os topos convexos de colinas, e se apresentam como as áreas mais elevadas, com a ocorrência das lagoas nos sopés das colinas e áreas mais aplainadas, associadas às planícies de inundação dos afluentes e do canal principal do rio São Francisco.

O maior número das lagoas marginais ocorre sobre as formações cenozoicas (130), variando entre as coberturas eluvionares detrito-lateríticas e depósitos aluvionares, com predominância no segundo litotipo, onde há menor ocorrência de lagoas dentre as coberturas (CPRM, 2009a). Encontradas ao longo das margens dos cursos fluviais, como os rios São Francisco e Bambuí em decorrência da atuação de processos de dissecação (Figura 5A) mais recentes.

Há também concentração das coberturas cenozóicas principalmente na margem direita do rio São Francisco. Ocorrem associados às drenagens atuais, principalmente aos cursos fluviais do São Francisco e Bambuí (CODEMIG, 2011) e próximo à represa de Três Marias. As coberturas inconsolidadas, a exemplo das coberturas aluvionares estão associadas às planícies de inundação (CPRM, 2009b; TRINDADE, 2016). Os depósitos são resultantes de retrabalhamento fluvial recente de materiais detríticos diversos (aluviões) e pretéritos (terraços) (CAMPOS; DARDENNE, 1997).



Figura 5 - A e D representam paisagens típicas áreas com a predominância das rochas carbonáticas com relevos nas porções mais baixas da paisagem, e as áreas elevadas correspondendo aos principais afloramento de siltitos e argilitos; B e C afloramentos associados a siltitos e argilitos encontrados em campo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O perfil longitudinal do rio São Francisco, gerado a partir do Modelo Digital de Elevação, tem como valor máximo de 1.417 metros e mínimo de 473 metros, gerando uma diferença altimétrica de 944 metros compreendendo desde a nascente até a represa de Três Marias, neste trecho. A amplitude topográfica está concentrada principalmente a montante do perfil longitudinal do rio, nos primeiros 16 km ao longo do curso do rio, causada principalmente pela ruptura de declive da cachoeira Casca D'anta (representado pelo segmento A da figura 6).

No segmento B da figura 6 há um gradual rebaixamento que se faz contínuo até o início de uma área mais suave onde estão concentradas as lagoas marginais (segmentos C, D e E). A ocorrência das lagoas marginais inicia-se próximo a marca de 189 km, em altitude de 635 metros e sua concentração acontece principalmente a partir da marcação de 340 km até 362 km (segmento D da figura 6). Os supracitados segmentos, C, D, e E correspondem às áreas mais aplainadas da área de pesquisa que variam entre 610 m e 630 m de altitude.

No segmento E as lagoas marginais voltam a ficar dispersas até se findarem a cerca de 362 km, próximo da altitude de 600 metros. A partir do início de F, não há mais a ocorrência das lagoas, havendo declínio gradual do curso fluvial que se mantém até próximo de 400 km, quando há novamente uma acentuação do declive.

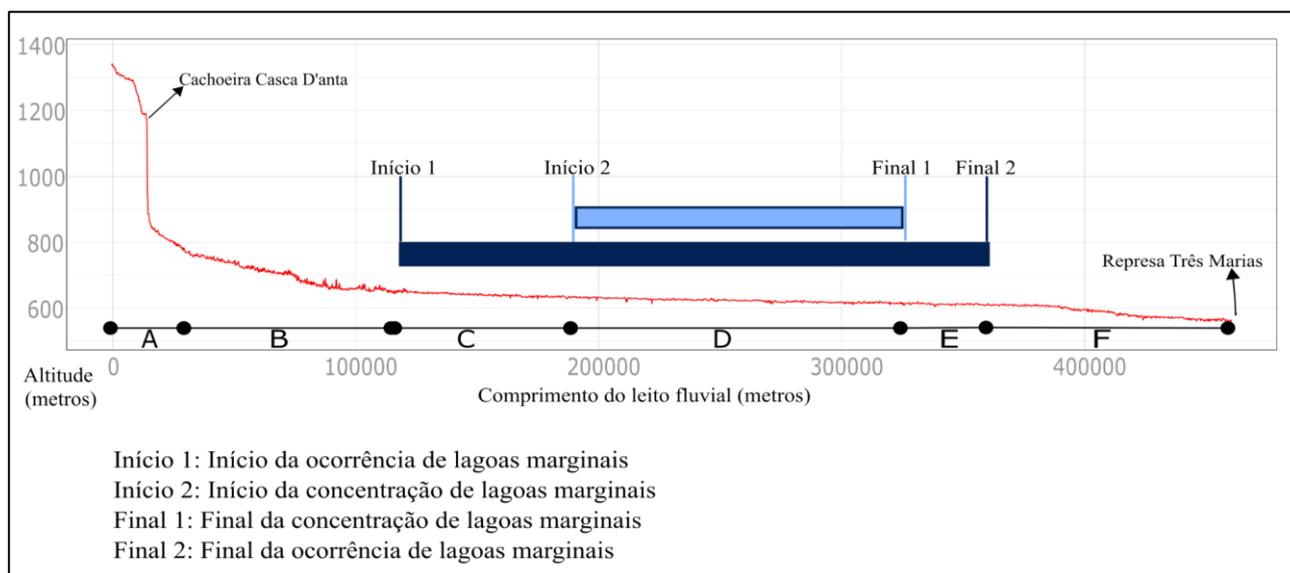


Figura 6 - Perfil longitudinal do alto curso do rio São Francisco.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No segmento total os canais de drenagem possuem maior densidade na margem esquerda, e com a presença dos afluentes rios Samburá, Ajudas, Bambuí, Jorge Grande, e ribeirões, Marmelada e São Vicente, e na margem direita presentes os canais dos

ribeirões Prata, Sujo, dos Patos, e a jusante do rio São Francisco os rios Pará e Paraopeba, e os canais frequentemente apresentam padrão de drenagem na forma dendrítica. Próximo da latitude 19° 36' 0" S a planície de inundação do rio São Francisco se alarga de cerca de 1 km para mais de 3 km de áreas inundáveis.

Na margem direita do rio São Francisco foi identificada uma depressão, na qual o principal afluente é o rio do Picão, com largura de aproximadamente 5 km (Figuras 7 e 8). Próximo à depressão do rio Picão as drenagens apresentam um padrão diferenciado, no qual os afluentes da margem direita da bacia de drenagem do rio São Francisco não convergem diretamente para o canal do rio São Francisco. Elas deságuam predominantemente na depressão do rio Picão, que é afluente do rio Pará, tornando a rede de drenagem paralela ao canal do rio São Francisco.

A área da bacia do rio Picão, por apresentar estas características, depressionária e com assimetria de drenagem tem potencial para a ocorrência de muitas e importantes áreas úmidas, podendo representar um canal pretérito do rio São Francisco, a partir das características de altimetria, declividade, forma do vale e disposição dos canais de drenagem.

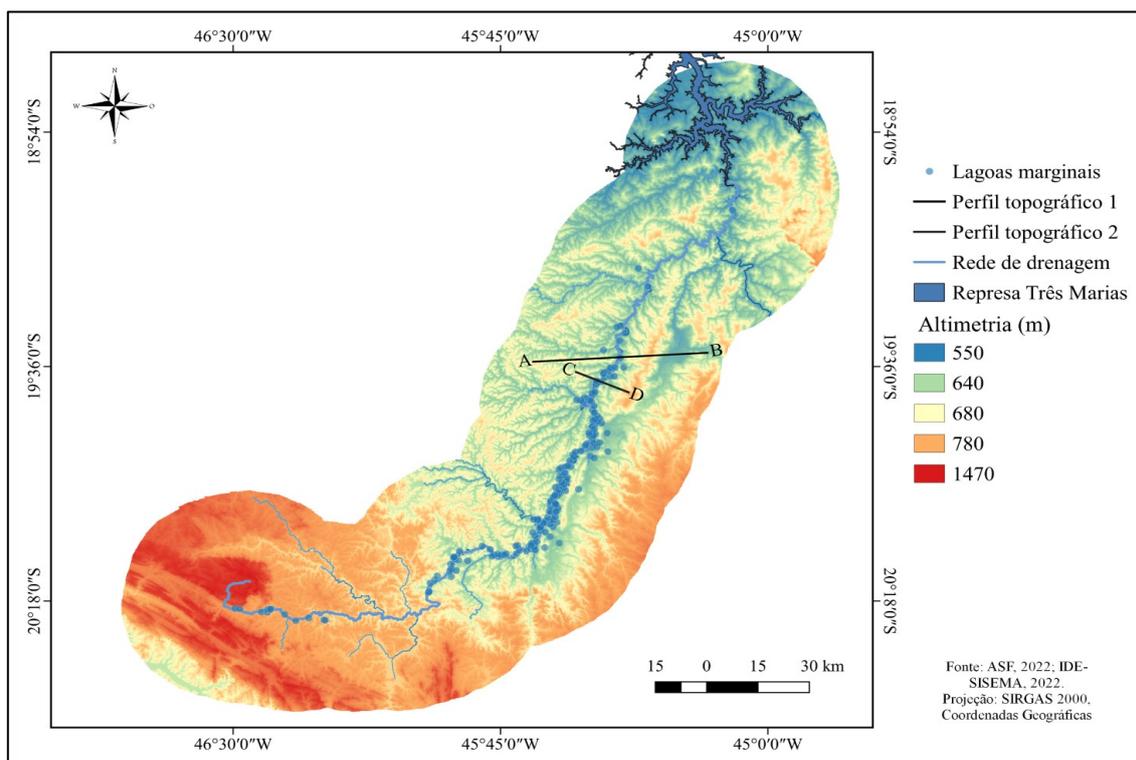


Figura 7 - Mapa com a localização dos perfis topográficos 1 e 2.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O perfil topográfico A-B, com a localização indicada na figura 7, e detalhado na figura 8 possui extensão de aproximadamente 50 km e amplitude altimétrica de 160 metros. Na margem direita os valores altimétricos variam de 650 a 730 metros, com o predomínio dos litotipos da formação Serra da Saudade do Grupo Bambuí, e apresentando feições íngremes (Figura 5A). O atual canal do rio São Francisco está encaixado em vale, com altitude média de 610 metros, margeado pela cobertura dos depósitos aluvionares (CPRM, 2008).

Potencial para a ocorrência de áreas úmidas, as áreas de menor altitude, dentro do perfil topográfico não correspondem ao canal do rio São Francisco, mas a planície de inundação situada na margem direita há cerca de 10 km de onde está localizado o atual curso fluvial (Figuras 7 e 8), também situada sobre a litologia dos depósitos aluvionares (CPRM, 2008). E comparando o mapa topográfico com o perfil topográfico A-B, pode-se considerar que se trata de um possível paleocanal do rio São Francisco, devido a dimensão e profundidade do vale e as conexões com a drenagem atual do rio São Francisco e a depressão entre as coordenadas 19° 36' S a 19° 30' S e 45° 18' W a 45° 12' W até a foz do rio Picão no rio Pará, que ocorre também próximo da foz do rio Pará no rio São Francisco.

No entorno da área deprimida há a presença de coberturas eluvionares detrítico-lateríticas, que também recobre a superfície em direção a B (a partir de 45 km), onde a altitude se eleva, com valores entre 640 metros e 680 metros. A área de maior altitude no perfil está situada entre essas duas áreas, o canal do rio São Francisco e a bacia do rio Picão, atingindo a cota de 760 metros é também recoberta pelos materiais superficiais detrítico-lateríticos.

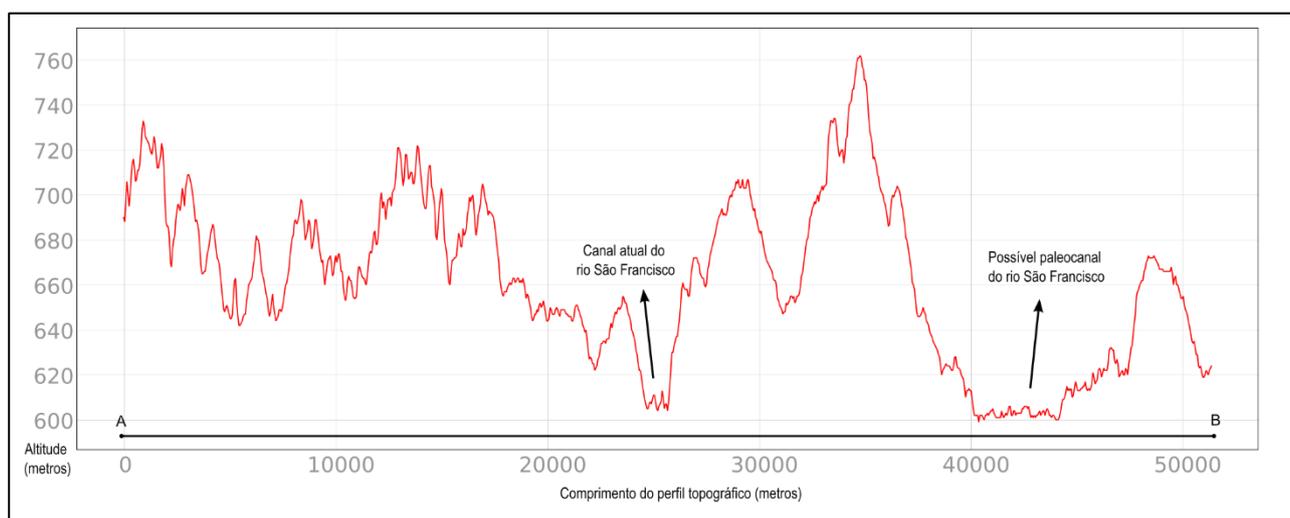


Figura 8 - Perfil topográfico A-B do rio São Francisco.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Algumas áreas podem se manter elevadas principalmente devido a resistência litológica, como encontrado em campo e ilustrado na figura 9, onde a intercalação entre litologia mais tenra e litologia mais resistente a erosão, no qual a camada litológica mais resistente atua como um impedimento para a dissecação e consequentemente rebaixamento do relevo. Em 9A é possível ver o gradiente elevado entre as proximidades do canal do rio São Francisco e o rio Picão. É possível perceber a diferenciação de resistências entre as camadas, com a litologia superior servindo de proteção para a litologia inferior que já está altamente intemperizada. A litologia parece ter sofrido algum grau de metamorfismo, como visto na amostra de 9C, podendo ter sofrido rearranjo estrutural e com isso maior resistência.



Figura 9 - Em A a paisagem é associada a área de topo próximo ao rio São Francisco, vertentes de topo convexa; em B as rochas encontradas apresentam camadas com diferenças, sendo a camada superior com maior resistência e a inferior com menor resistência, ambas indicadas pelas setas; e C amostra com a curvatura das rochas encontradas. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

O perfil topográfico C-D, localizado no mapa da figura 7 e detalhado na figura 9 representa em detalhe a topografia da área na qual estão distribuídas as lagoas associadas ao canal atual do rio São Francisco. O perfil possui aproximadamente 13 km de extensão, e uma amplitude altimétrica de 160 metros. Os maiores valores de altitude estão ligeiramente situados na margem esquerda, e os menores ao canal do rio São Francisco e a planície de inundação.

Todo o perfil se encontra predominantemente sobre os argilitos e siltitos (Figura 5) da formação Serra da Saudade, e os depósitos aluvionares recobrem a litologia entre 4 e 6,6 km, onde estão situados o canal fluvial e a planície de inundação (CPRM, 2008), sendo o local onde se desenvolvem as lagoas marginais. Possíveis terraços podem ser visualizados nas margens próximas ao São Francisco (Figura 10), e apesar de se tratar de uma área de planície de inundação desníveis topográficos de dezenas de metros podem ser percebidos.

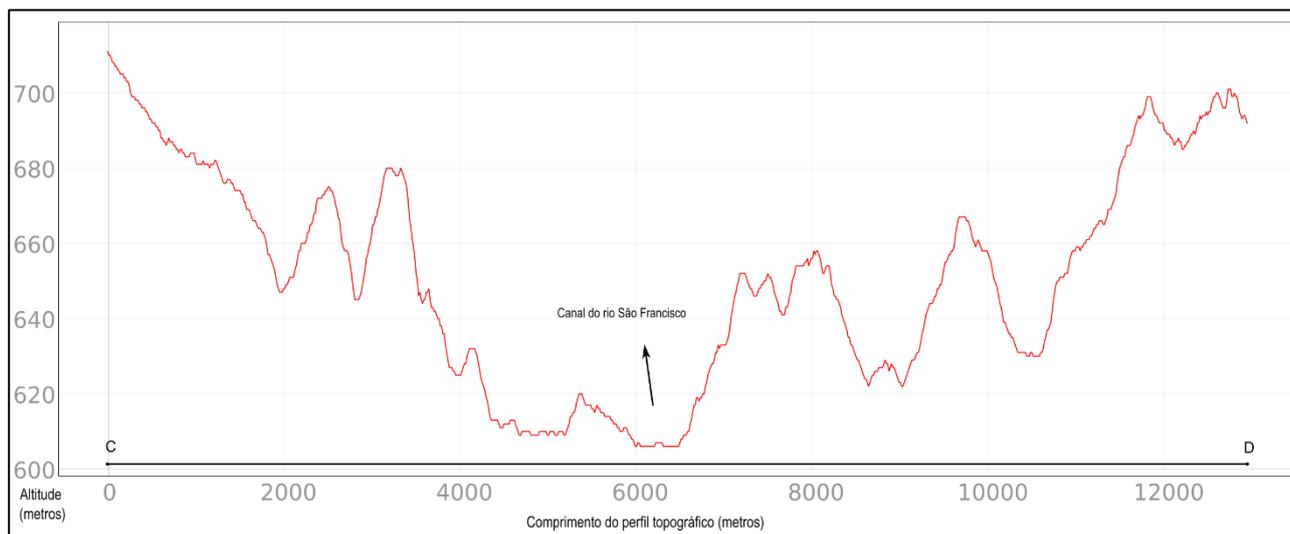


Figura 10 – Perfil topográfico C-D da planície de inundação do rio São Francisco

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados de ICR apresentam variações devido principalmente as diferenças de resolução dos MDE e a diferença de tamanho da área amostrada. Não foi possível produzir o ICR B com o *buffer* de 30km devido a limitação de capacidade de processamento de *hardware*, sendo realizado com *buffer* de 15km. Os valores demonstram que quanto mais próximo de 0, menor é o índice de concentração de rugosidade para a área, sendo interpretada como área favorável a ocorrência de áreas úmidas, e próximo de 1, áreas com alto índice de concentração da rugosidade.

O ICR já foi utilizado em outros trabalhos (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014; OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017), aplicado em áreas úmidas também na bacia do rio São Francisco. Embora o ICR seja utilizado principalmente para realizar uma análise espacial dos padrões de declividade, sendo possível estabelecer uma relação entre o valor do ICR e a dissecação do relevo é possível associar os valores de ICR com o nível de energia do ambiente, como foi feito por Oliveira (2019).

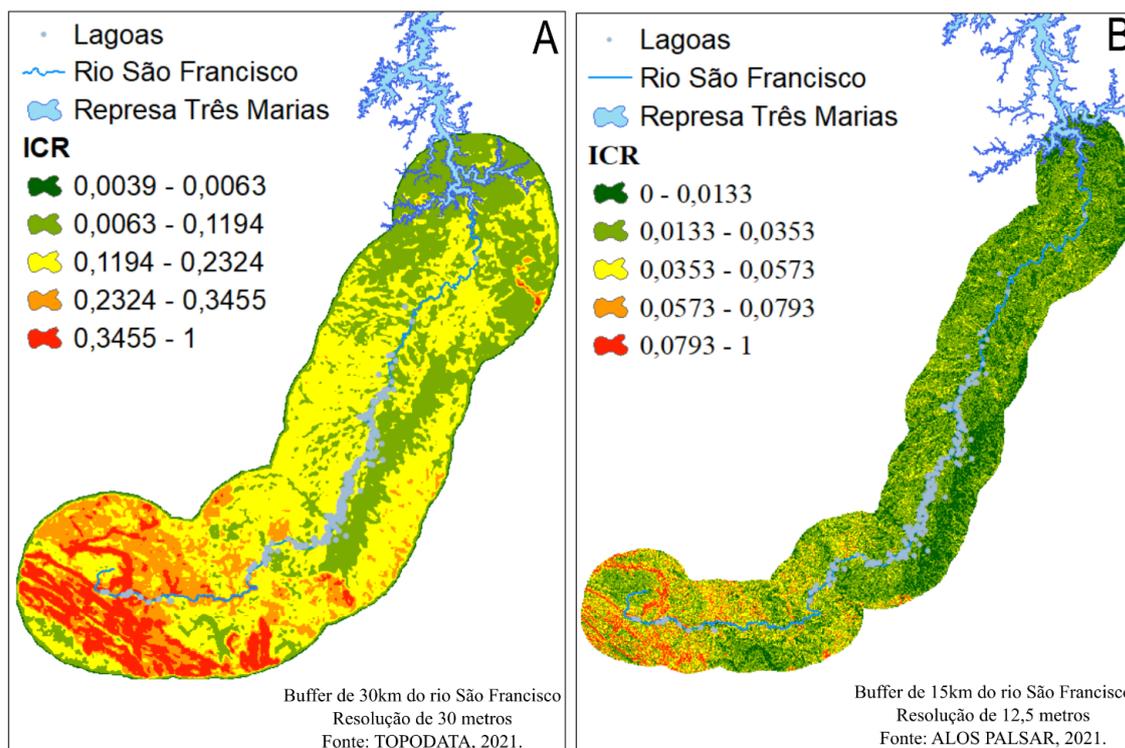


Figura 11 - Mapas dos ICR A (TOPODATA) e B (ALOS PALSAR) na área de estudo.
Fonte: Os autores.

Os mapas de ICR apresentam variações, devido principalmente a diferença de resolução entre os MDE utilizados. Para o ICR A os valores encontrados para as lagoas são de mínimo 0.25 e máximo de 0.318. No ICR B o valor mínimo foi 0 e o máximo 0.055 para as áreas onde estão localizadas as lagoas, apresentando menor variação quando comparado aos valores do ICR A, e com desvio padrão de 0.010.

Quadro 2: Resumo das estatísticas dos valores de ICR para as lagoas marginais.

	TOPODATA	ALOS PALSAR
Min	0.025	0.000
Max	0.318	0.055
Mean	0.099	0.012
Median	0.085	0.009
Stand. dev	0.056	0.010
25 prcnil	0.059	0.006
75 prcnil	0.116	0.015
Variance	0.003	0.000

Fonte: Os autores.

Os maiores valores de ICR para A e B foram encontrados nas lagoas à montante, próximas à Serra da Canastra (Figura 10), sendo valores discrepantes quando comparados às lagoas situadas à jusante, podendo indicar que essas lagoas podem

ocorrer em virtude de atividades antropogênicas como o garimpo de diamante e atualmente para a mineração de areia e argila para a construção civil, por exemplo (PINHEIRO, 2017).

Os granitos que ocorrem à direita do canal do rio São Francisco, como o granito na carta de Bom Despacho (Complexo Divinópolis) (CPRM, 2009b), na qual também ocorrem elevados valores de ICR, próximo da depressão do rio Picão (Figura 7), conferindo uma importante litologia na margem direita para a ocorrência das AUs, atuando a partir da menor permeabilidade nessas áreas e acumulando a área na planície de inundação do atual rio Picão.

Os menores valores de ICR também podem ser observados, para além da planície de inundação do rio São Francisco, na depressão do rio Picão. A área com baixos valores de ICR também pode indicar o potencial para a ocorrência de áreas úmidas, que possui o vale mais amplo do que o do próprio canal atual do rio São Francisco.

O ICR também permite observar valores mais elevados na margem direita em comparação com a margem esquerda (principalmente em 11A), indicando maior dissecação do relevo na margem direita; embora, a nível de alta bacia hidrográfica do rio São Francisco, o maior desnível topográfico esteja na margem esquerda Serra da Saudade.

O norte da área de estudo também apresenta baixos valores de ICR, e apesar dos baixos valores de altitude (Figura 7) e a distância vertical e horizontal do canal de drenagem não indicam a ocorrência de áreas úmidas na forma de lagoas marginais, que dependem dos pulsos de inundação para se formarem. Embora possam ocorrer áreas úmidas de outras tipologias, como veredas, lagoas e brejos, por exemplo.

A concentração de precipitações ao longo de um curto período de tempo, na área de estudo ilustrado principalmente pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é um dos principais mecanismos para a ocorrência dos pulsos de inundação, que faz a recarga das áreas úmidas (OLIVEIRA, 2019). Estes já foram analisados no alto curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco (AARÃO *et al.* 2020; SILVA *et al.* 2020). A abordagem hidrogeomorfológica parte da compreensão do relevo como um dos condicionantes para as áreas de ocorrência das AUs, e a utilização do ICR pode ser uma das técnicas para a interpretação desses ambientes.

O ICR permite uma compreensão processual da geomorfologia, identificando as áreas onde tendem a prevalecer determinados processos de gradação, erosão ou deposição. A identificação das áreas de menor rugosidade corrobora para a análise da

ocorrência de áreas úmidas a partir da caracterização geomorfológica, visto que estas ocorrem associadas a topografias que tendem a ser planas (KROGER, 2010). As áreas inundáveis pelos pulsos de inundação são controladas pelos fatores geomorfológicos, que a partir dessas áreas de abaulamento adjacentes ao canal do rio serão as áreas mais propícias para a ocorrência de AUs tanto permanentes, foco maior deste trabalho, quanto também as temporárias, que por vezes tem a sua importância desconsiderada.

Os mapas mostram que o ICR calculado com os dados do TOPODATA de permitiu uma maior compreensão do relevo regional em escala de menor detalhe, possibilitando ver padrões de dissecação, enquanto o ICR B ALOS PALSAR de 12,5 m permitiu uma maior precisão para a identificação de um padrão de ICR para as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.

Os valores obtidos com a intersecção entre os pontos amostrados de ocorrência das lagoas e os valores de ICR, os *boxplots* demonstram homogeneidade dos resultados. O *boxplot* com os dados do TOPODATA, apresentados na figura 12A apresenta maior concentração dos valores, com o primeiro e o terceiro quartil variando entre 0.594 e 0.116. Na figura 12 B os valores estão mais dispersos, mas o primeiro e segundo quartil apresentam grande proximidade entre os valores. Para ambos os diagramas, é possível perceber uma homogeneidade nos valores de ICR para a ocorrência das AUs na forma de lagoas marginais.

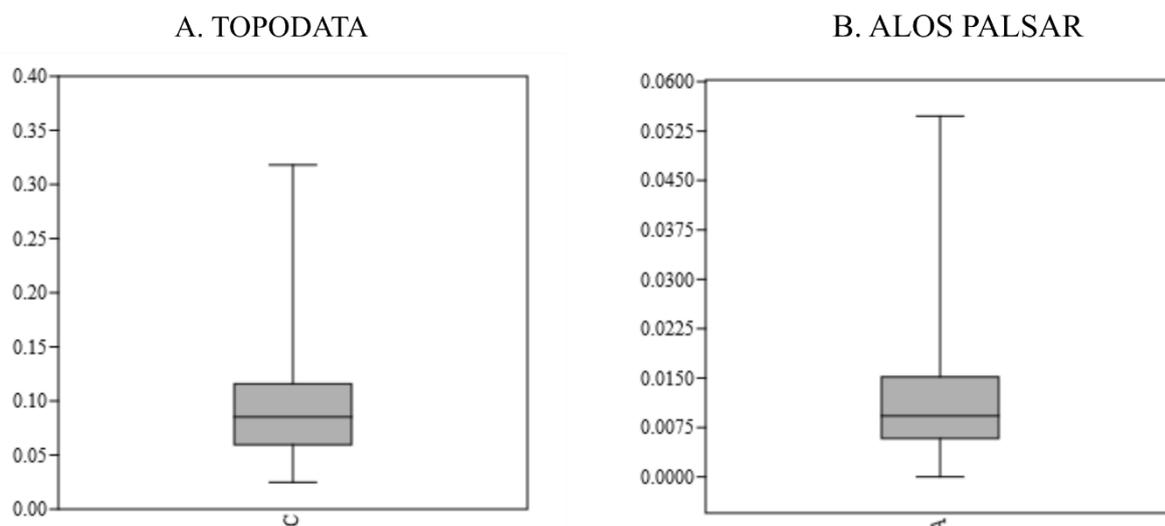


Figura 12 - Boxplots dos valores de ICR para as lagoas marginais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo teve como objetivo fazer uma análise geomorfológica da área de ocorrência das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco a partir da configuração litológica, perfil longitudinal do rio São Francisco, perfis topográficos da planície de inundação e áreas adjacentes, e valores do Índice de Concentração da Rugosidade. Foi possível correlacionar a ocorrência das lagoas com a litologia sedimentar (Grupo Bambuí) e formações cenozóicas, como depósitos e coberturas.

A partir do perfil longitudinal foi possível mensurar a ocorrência das lagoas a determinados segmentos do rio, e com o auxílio dos perfis topográficos correlacionar as áreas de maior potencial para a ocorrência das AUs, como a planície de inundação e a identificação da depressão do rio Picão na margem direita do rio.

A correlação entre litologia, formas de relevo, perfil longitudinal e topográfico e ICR permitiram o entendimento mais completo da dinâmica de ocorrência das AUs do tipo lagoas marginais, trabalho este que ainda não havia sido realizado para esta área. O trabalho de campo foi uma técnica importante para associar a cartografia com a verdade terrestre e a interpretação das formas de relevo.

O ICR ALOS, apesar de apresentar maior dificuldade técnica para o seu processamento, foi o mais interessante pela maior precisão dos resultados obtidos, e visto o escopo do trabalho para fazer a correlação com as amostras das lagoas marginais.

Após essa primeira análise, feita de forma pontual das lagoas marginais do tipo permanentes, é possível aperfeiçoar a metodologia do trabalho, associando o sensoriamento remoto junto com o ICR para o aprofundamento da pesquisa na área de estudo. Assim, identificando as áreas úmidas do tipo lagoas marginais não apenas na forma de pontos, mas também na forma de áreas, possibilitando associar mais valores de ICR com as áreas inundadas, temporariamente e permanentemente.

AGRADECIMENTOS

À PRPPG do IFMG pelos editais 87/2019 “Mapeamento das áreas úmidas do alto curso do rio São Francisco: inventário, análise das lagoas marginais e avaliação da sua contribuição social e ambiental para o desenvolvimento sustentável” e 15/2021 “Atlas integrado do uso e gestão dos recursos hídricos do alto curso da bacia do rio São Francisco”.

REFERÊNCIAS

AARÃO, G. M.; OLIVEIRA, D. A.; ARAÚJO, R. R. S.; SILVA, N. J. Ocorrência de Pulsos de Inundação no Alto Curso do Rio São Francisco: Análise do Nível do Rio de 1977 a 2015. In: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. 3., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2020.

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. 112p.

ARAÚJO, R. R. S.; OLIVEIRA, D. A. Mapeamento das Lagoas Marginais do Alto Curso do Rio São Francisco, Meio Físico e de Recursos Naturais. In: PLANETA IFMG - SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2021. **Anais ...** 2021. p. 1-7.

ARAÚJO, R. R. S.; SILVA, N. J.; OLIVEIRA, D. A.; AARÃO, G. M. Mapeamento Preliminar da Ocorrência das Lagoas Marginais do Alto Curso do Rio São Francisco. In: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. 3., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2020.

ASF. **Alaska Satellite Facility**. University of Alaska. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

BARBOSA, C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**: princípios e aplicações. São José dos Campos: INPE, 2019.

BISHOP, M. P.; JAMES, L. A.; SHRODER JR., J. F.; WALSH, S. J. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, n. 1, p. 5-26, 2012.

BORGES, M. G.; COSTA, L. R. F. Tipologia de Áreas Úmidas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros em Minas Gerais – Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 32, n. 69, p. 508-522, 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://planalto.gov.br>. Acesso em: 28 set. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 1.905 de 16 de maio de 1996**. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como “Habitat” de Aves Aquáticas, Conhecida como Convenção de RAMSAR. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d1905.htm. Acesso em: 28 set. 2021.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.

CARVALHO, C. M. S. **Lagoas marginais**: importância ecológica para a conservação de aves aquáticas no alto rio São Francisco Minas Gerais - Brasil. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **FOLHA LUZ - SE.23-Y-D-V**. Governo do Estado de Minas Gerais, 2011. (Projeto Alto Paranaíba).

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **FOLHA VARGEM BONITA - SF.23-V-B-I**. Governo do Estado de Minas Gerais, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas).

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **FOLHA PIUMHI SF.23-V-D-II**. Ministério de Minas e Energia, 2008. (Projeto Geologia do Brasil).

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **FOLHA SE.23-Y-D-III ABAETÉ**. Ministério de Minas e Energia, 2009. (Programa Geologia do Brasil).

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **FOLHA SE.23-Y-D-VI BOM DESPACHO**. Ministério de Minas e Energia, 2009. (Programa Geologia do Brasil).

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: EDUFMT, 2015. 165p.

FERREIRA, L. L. B.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Inventário das áreas úmidas urbanas em parques municipais de Belo Horizonte - MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 28, n. 54, p. 1-29, 2018.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: Princípios, Conceitos, Processos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103-111, 2012.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Classes Hidrogeomorfológicas de Áreas Úmidas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

GUASSELLI, L. A.; SIMIONI, J. P. D.; LAURENT, F. Mapeamento e Classificação de Áreas Úmidas Usando Topographic Wetness Index (TWI) a Partir de Modelos Digitais de Elevação, na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020.

IBGE. **Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil>. Acesso em: 04 jan. 2022.

INPE. Divisão de Sensoriamento Remoto. **TOPODATA**: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 08 jan. 2022.

KRÖGER, R. Landscape hydrogeomorphic conditions determine structure and species composition of an ephemeral floodplain wetland. **Acta Ecologica Sinica**, v. 30, n. 5, p. 280–287, 2010.

KUCHENBECKER, M. **Projeto Alto Paranaíba**: capítulo VIII folha luz se.23-y-d-v. Belo Horizonte: CPRM, 2011. 47p.

LISENBY, P. E.; TOOTH, S.; RALPH, T. J. Product vs. process? The role of geomorphology in wetland characterization. **Science of the Total Environment**, v. 663, p. 980–991, 2019.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento geomorfológico da filha Piumhí, Minas Gerais**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 208p.

MINAS GERAIS. **Lei nº 11943, de 16 de outubro de 1995**. Declara Áreas de Proteção Ambiental as Lagoas Marginais do Rio São Francisco e de Seus Afluentes e dá Outras Providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa>. Acesso em: 16 maio 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Minas e Energia. **Projeto São Francisco**: Província mineral Bambuí (MG). Belo Horizonte, 1999.

MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. **Wetlands**. 5. ed. New Jersey: Wiley, 2015.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, Gustavo A. B. da. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, D. A. **“Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido mineiro**: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do rio pandeiros - MG. 2019. 418 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017. Campinas. **Anais...** Campinas, 2017. p. 6253-6262.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. Desenvolvimento regional como política do Rio São Francisco. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Campinas, v. 18, n. 0, p. 61-75, 2018.

PINHEIRO, C. **Nascente do Rio São Francisco é ameaçada pela ação humana**. 2017. Revista Galileu. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2017>. Acesso em: 26 jun. 2022.

RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. **Global Wetland Outlook**: State of the world's wetlands and their services to people. Switzerland: Gland, 2018. Secretariat of the Convention on Wetlands.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: metais pesados e atividades antropogênicas.** 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 47-60, 2014.

SIMÕES, L. S. A.; MARTINS, J. E. S.; VALERIANO, C. M.; GODOY, A. M.; ARTUR, A. C. **FOLHA VARGEM BONITA SF.23-V-B-I.** Codemig, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 22 fev. 2022.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, 2005. 382p.

TOOTH, S.; ELLERY, F.; GRENFELL, M.; THOMAS, A.; KOTZE, D.; RALPH, T. **10 Reasons why the geomorphology of wetlands is important.** S. L: Wetlands In Drylands Research Network, 2015. 32p.

TRINDADE, W. M. **Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais.** 2016. 144 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.

VILES, H. Technology and geomorphology: are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science?. **Geomorphology**, v. 270, p. 121-133, 2016.

Recebido: 27.06.2022

Aceito: 26.10.2022