ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DE RUGOSIDADE (ICR) APLICADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO BOA VISTA, PIRANHAS (ALAGOAS)

Kallyne Teixeira [1]
Bianca Pereira Carneiro [2]
Nivaneide Alves de Melo Falcão [3]
Kleython de Araujo Monteiro [4]

RESUMO

A dinâmica das bacias hidrográficas pode ser compreendida por meio da aplicação de índices morfométricos, os quais possibilitam analisar a organização do relevo e os processos associados à dinâmica fluvial e geomorfológica. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo aplicar o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), proposto por Sampaio e Augustin, na bacia hidrográfica do riacho Boa Vista, localizada no município de Piranhas, no semiárido do estado de Alagoas. A metodologia foi desenvolvida a partir da utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE), do qual foram extraídos os valores de declividade em porcentagem. Posteriormente, esses dados foram convertidos em pontos vetoriais e submetidos ao estimador de densidade Kernel, permitindo a espacialização e a análise da concentração de rugosidade do relevo. Os resultados evidenciaram predominância de relevo classificado como Suave Ondulado na área estudada. Por sua vez, os valores do ICR demonstraram significativa variabilidade espacial da rugosidade do relevo. As classes de Muito Baixa e Baixa concentração predominam nos setores a montante da bacia, enquanto os valores mais elevados estão associados às áreas dos cânions situados às margens do rio São Francisco e ao relevo residual em crista localizado no setor nordeste da área de estudo. Dessa forma, a aplicação do índice mostrou-se eficiente na identificação da distribuição espacial da rugosidade do relevo, contribuindo para a compartimentação geomorfológica e fornecendo subsídios para pesquisas futuras, bem como para o planejamento ambiental e territorial da bacia hidrográfica do riacho Boa Vista.

INTRODUÇÃO

Para a compreensão das questões geomorfológicas relacionadas às bacias hidrográficas, torna-se possível analisar padrões associados aos processos morfogenéticos e morfodinâmicos responsáveis pela modelagem da paisagem. Segundo Marques *et al.* (2024), a utilização de abordagens metodológicas fundamentadas em

[1] Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, kallyne.santos@igdema.ufal.br;
[2] Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, bianca.carneiro@igdema.ufal.br;
[3] Professora Doutora do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, nivaneide.melo@igdema.ufal.br ;
[4] Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, kleython.monteriro@igdema.ufal.br;

índices morfométricos permite classificar e delimitar, de maneira quantitativa, os aspectos do relevo e da rede de drenagem.

Nesse contexto, os parâmetros morfométricos podem subsidiar diferentes análises, como a identificação de formas de relevo a partir da quantificação da taxa de dissecação de feições em mapeamentos geomorfológicos. Além disso, a aplicação de métodos quantitativos possibilita maior detalhamento e, consequentemente, melhor compreensão da dinâmica dos processos evolutivos atuantes na superfície terrestre e em seu sistema hídrico (Teixeira *et al*., 2024).

Dentre as diferentes possibilidades de aplicação desses índices, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979) apresentou a classificação da declividade derivada das informações com base na topografia. Essa metodologia consiste na compartimentação do relevo em intervalos previamente estabelecidos do plano ao escarpado, permitindo a elaboração de mapas do terreno e facilitando a identificação tanto das formas topográficas mais elevadas quanto das superfícies mais planas presentes na paisagem.

Mais recentemente, a proposta desenvolvida por Sampaio e Augustin (2014) introduziu o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) como um parâmetro voltado à redução da subjetividade nos estudos de análise do relevo. Nesse sentido, os autores propõem a quantificação, classificação e delimitação das unidades geomorfológicas com base na distribuição espacial da declividade, interpretada como padrão de rugosidade do relevo. A aplicação dessa ferramenta ocorre em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o uso do Modelo Digital de Elevação - MDE, incorporando avanços proporcionados pelas geotecnologias que, conforme destacado por Carneiro *et al*. (2025), permitem a geração de dados semiautomatizados capazes de subsidiar diferentes pesquisas científicas.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo aplicar e analisar o ICR na bacia hidrográfica do riacho Boa Vista, situada no contexto do semiárido do estado de Alagoas. Além disso, o estudo mostra-se relevante diante do caráter ainda incipiente das investigações desenvolvidas na área, contribuindo para futuras análises científicas voltadas à cartografia geomorfológica, à dinâmica fluvial e ao planejamento ambiental e

territorial, especialmente no que se refere à mitigação de áreas mais suscetíveis aos processos erosivos.

METODOLOGIA

Caracterização da Área de Estudo

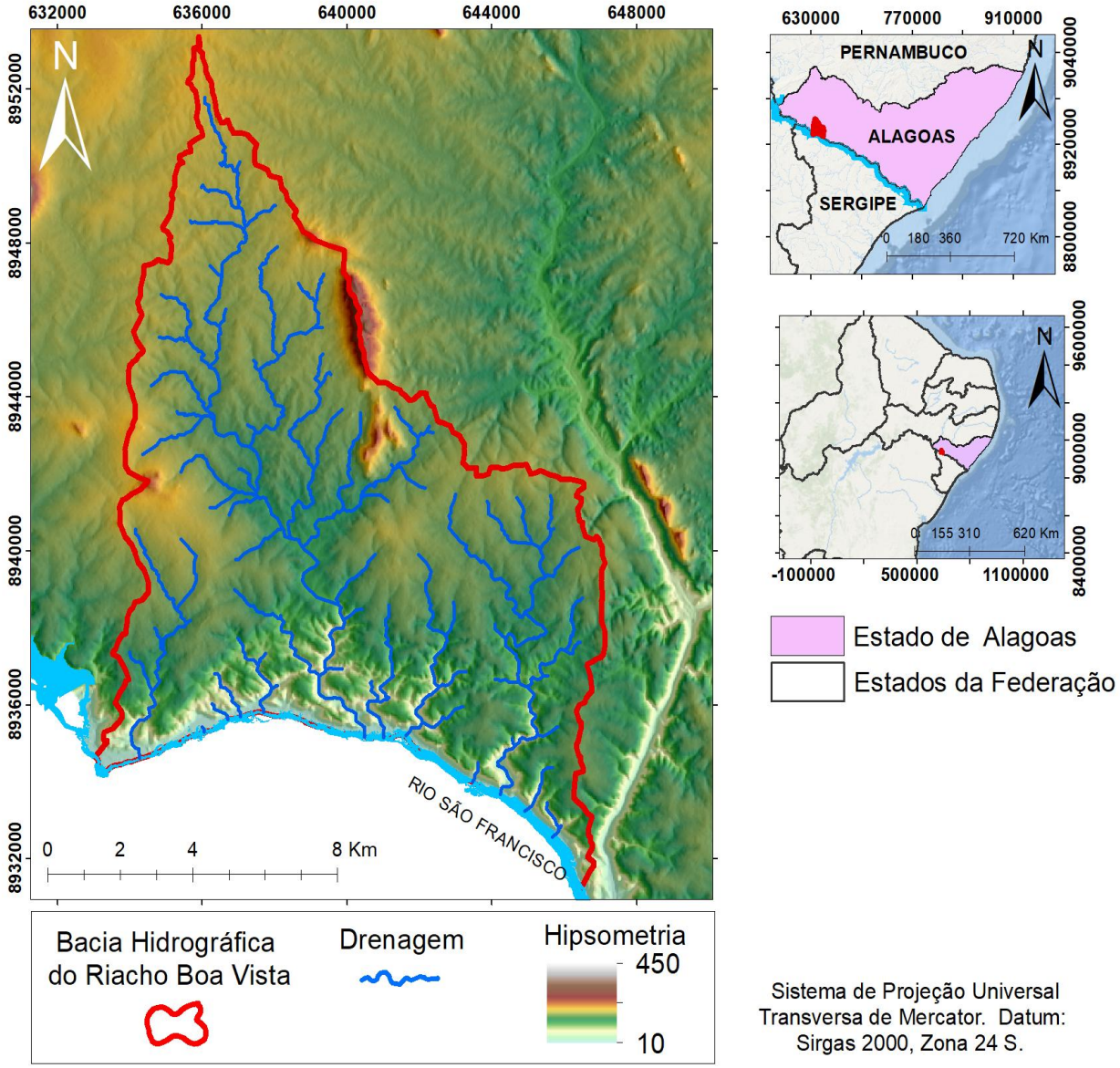
No que se refere aos aspectos geológicos, segundo o Serviço Geológico do Brasil (2015), a geologia da bacia hidrográfica do riacho Boa Vista (BHRBV) é composta predominantemente por rochas cristalinas de litologia ígnea do Neoproterozóico. Ainda de acordo com o SGB, destacam-se litotipos representados por leucogranitos, biotita granito e quartzo-sienitos e monzonitos, associados ao Plúton sem Dominação e às suítes intrusivas de Propriá e Serra do Catu.

O contexto geomorfológico da área é caracterizado pelo domínio da Depressão Sertaneja e do Baixo São Francisco, com presença de relevos residuais. Segundo Santos (2024), a morfologia predominante da Depressão encontra-se condicionada pelo metamorfismo regional, enquanto as feições residuais permanecem preservadas na paisagem em decorrência da erosão diferencial. Em consonância com essa interpretação, Corrêa *et al.* (2010) destacam o intenso processo de pediplanação atuante na Província Borborema, condicionando a formação de quebras de pedimentos.

Em relação aos aspectos climáticos, a área está inserida no domínio do Semiárido Quente, classificado como BSh segundo Köppen, apresentando precipitação média anual entre 500 e 600 mm (Lima, 1992). No que se refere à pedologia, predominam Planossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Regolíticos, além de Luvissolos Crômicos (EMBRAPA, 2012).

A bacia hidrográfica do riacho Boa Vista (Figura 1) corresponde a uma área de 142,184 km² e encontra-se integralmente inserida no município de Piranhas - Alagoas com sua desembocadura no Rio São Francisco. De acordo com Teixeira *et al.,* (2024), a área em questão possui hierarquia de drenagem de 5ª ordem com basculamento preferencial para o lado esquerdo, indicando possível instabilidade tectônica na morfologia da região.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho Boa Vista, Alagoas



Fonte: Os autores (2026).

Procedimentos Metodológicos

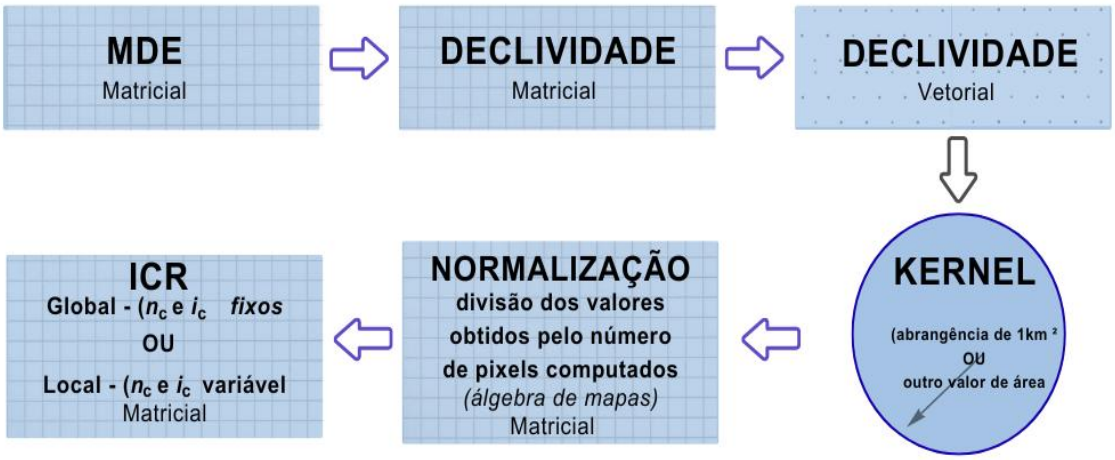
A primeira etapa da pesquisa foi a obtenção do Modelo Digital de elevação (MDE), nesse sentido, usou-se a base topográfica do projeto Copernicus, da *European Space Agency* (ESA) com resolução espacial de 30 m. Posteriormente, utilizou-se o ambiente de Sistema de Informação Geográfica para o tratamento do dado e para adquirir

subprodutos, como preenchimento de *pixel* com a ferramenta *fill*, delimitação de bacia hidrográfica e rede de drenagem.

Por sua vez, a aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (Figura 2) seguiu a metodologia de Sampaio e Augustin (2014), sendo usado o raio local de 564m, como sugere a proposta baseada na delimitação de Horton (1945). Seguindo as diretrizes dos autores, inicialmente é gerado a partir do MDE, os valores de declividade em porcentagem com a ferramenta *Slope* (Embrapa, 1979).

Após, esses valores são convertidos em dados vetoriais pontuais, permitiu sua organização e análise em SIG, os cinco intervalos de declividade foram reconhecidos pela Embrapa (1979) como: Plano (0-3%), Suave Ondulado (3-8%), Ondulado (8-20%), Forte Ondulado (20-45%), Montanhoso (45-75%) e Fortemente Montanhoso (>75%). Com base nesse conjunto de informações, aplicou-se o estimador de densidade *Kernel*, cuja parametrização envolve, sobretudo, a definição do raio de influência e dos atributos vinculados aos pontos de declividade.

Figura 2 – Procedimento para aplicação do ICR com Área de abrangência.



Fonte: Adaptado de Sampaio e Augustin (2014).

O ICR é obtido a partir da soma dos valores de declividade dos pontos inseridos em uma área previamente delimitada, expressando, desse modo, o grau de rugosidade do relevo. Dessa forma, os valores obtidos variam de próximo a zero para setores predominantemente plano até aproximadamente infinito com áreas de feições muito

acidentadas com declividade expressa em porcentagens de 0% para 0º, 100% para 45º e ∞ para 90º, sendo adotada na pesquisa as classes de Santos *et al.,* 2025. Além disso, ressalta-se que os resultados do índice estão diretamente condicionados à densidade de pontos considerados, a qual varia em função da resolução espacial do MDE utilizado, sendo necessária a normalização dos dados de acordo com o número de *pixel*.

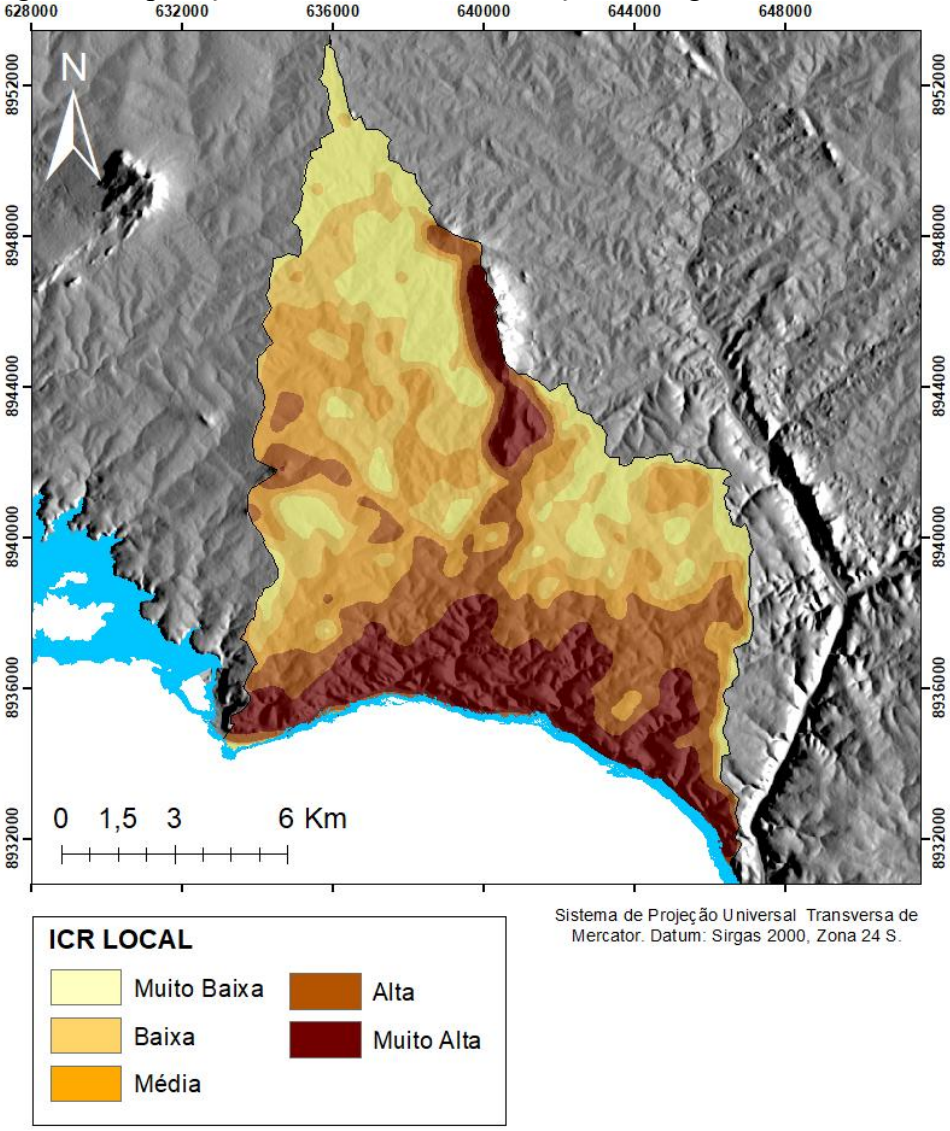
Por sua vez, Sampaio e Augustin (2014) também propõem duas escalas de análise: o ICR Global, calculado com base em uma área de referência de 4 km², e o ICR Local, definido a partir de uma área de 1 km² ou raio de 564 m. No presente estudo, como valor de partida local, usou o *quantis* no emprego de intervalos de classes a agrupamentos, sendo sugerida pela metodologia os termos de: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da declividade evidenciou que a área de estudo apresenta, de maneira geral, relevo relativamente plano nos setores a montante da bacia, enquanto a proximidade com os canais de drenagem favorece o aumento da dissecação do relevo e, consequentemente, maiores variações topográficas. Predomina na Bacia Hidrográfica do Riacho Boa Vista (BHRBV) a classe de relevo Suave Ondulado. Entretanto, foram identificados setores classificados como Forte Ondulado, sobretudo nas áreas próximas às margens do rio São Francisco e no compartimento mais elevado de relevo residual.

A partir da aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade Local (Figura 2), foi possível identificar diferenças espaciais expressivas na distribuição da rugosidade do relevo. As classes classificadas como Muito Baixa concentram-se predominantemente no alto curso da bacia e em determinados setores orientados no sentido noroeste-sudeste, indicando áreas com menor grau de dissecação geomorfológica. Esses resultados corroboram as informações obtidas por meio da análise de declividade, demonstrando correspondência entre superfícies menos rugosas e terrenos de menor inclinação, como Gois, Falcão e Monteiro (2021) já haviam destacados.

Figura 2 - Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade na BHRBV



Fonte: Os autores, 2026.

Por outro lado, no setor nordeste com relevo residual em crista, nota-se variação entre Alta e Muito Alta, associada a feição geomorfológica da paisagem. Da mesma forma, os maiores valores do índice concentram-se no baixo curso da bacia, especialmente nas proximidades do vale do rio São Francisco, onde o relevo apresenta maior entalhamento. Tal configuração pode estar relacionada à influência do nível de base regional exercido pelo rio São Francisco sobre seus afluentes, favorecendo processos de encaixamento dos vales e intensificação da dissecação do relevo. Conforme observado

por Silva (2022), essa dinâmica pode contribuir para a formação de vales suspensos, condicionados, sobretudo, pelos controles litológicos e estruturais da área.

Dessa forma, o ICR Local possibilita identificar diferentes níveis de dissecação do relevo por meio da análise morfométrica, auxiliando na compartimentação geomorfológica e na elaboração de mapas geomorfológicos, conforme observado em Gois, Falcão e Monteiro (2021), Santos, Monteiro e Nascimento (2022), Santos *et al.* (2022) e Santos (2024). Além disso, segundo Flores e Oliveira (2016), a técnica pode ser integrada a outras ferramentas voltadas à análise de bacias hidrográficas e dinâmica fluvial.

Ademais, a aplicação do ICR apresenta relevância para estudos de gestão e planejamento ambiental, especialmente na identificação de áreas mais suscetíveis aos processos erosivos (Simonetti, Silva e Rosa, 2022). Nesse contexto, Corrêa et al. (2025) destacam sua utilização na definição de estratégias de mitigação, ampliação de áreas de amortecimento e delimitação de áreas prioritárias para manejo em situações de risco hídrico em drenagens urbanas no município de Pelotas (RS).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica da bacia hidrográfica do riacho Boa Vista por meio do Índice de Concentração de Rugosidade permitiu identificar diferentes padrões espaciais de dissecação do relevo, evidenciando a influência da declividade, da litologia e da rede de drenagem na configuração da paisagem. Os resultados demonstraram predominância de relevo Suave Ondulado, enquanto os setores mais dissecados concentram-se principalmente nas áreas dos cânions do rio São Francisco e nos relevos residuais localizados no nordeste da bacia.

O setor da área de estudo que apresenta um ICR muito baixo é o alto curso do Riacho Boa Vista, sendo relacionado com a declividade plana da depressão sertaneja. Em relação ao médio curso da área em apreço, é evidente uma variação entre os intervalos de ICR Baixa, Muito Baixa e Média, no entanto existe uma predominância da classe Média, associada aos setores de declive Suave Ondulada. Considerando a dinâmica do baixo curso da bacia, nota-se um ICR Muito Alto sendo condicionado possivelmente pela calha

do Rio São Francisco aliado aos afluentes de primeira ordem que drenam para o canal principal franciscano e o contexto litológico. Valores assim também são observados no setor mais elevado da área de estudo, ao nordeste, onde atinge 450 m e possui classe Forte Ondulada. Dessa forma, os resultados obtidos contribuem para o entendimento da dinâmica geomorfológica da bacia hidrográfica do riacho Boa Vista, além de fornecer subsídios para futuras pesquisas em cartografia geomorfológica, análise morfométrica, dinâmica fluvial e planejamento ambiental e territorial.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica; Morfometria; Dissecação; Semiárido.

AGRADECIMENTOS
Agradecemos à CAPES e ao CNPq pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

CARNEIRO, B. P. *et. al.* Aplicação de índices morfométricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, Alagoas e Pernambuco. *In*: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 15., 2025. Natal. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize, 2025. p. 1-10.

CORRÊA, A. C. B. *et. al.* Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**: São Paulo, v. 31, p. 35-52, 2010.

CORRÊA, T, G. *et al.* Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) na Avaliação da Mancha de Inundação da Enchente de 2024 no Município de Pelotas - RS. **Sociedade e Natureza,** v. 37, 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento do reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Alagoas.** 1 ed. Recife: EMBRAPA SOLOS, 2012. 238 p. (Relatório Técnico).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. S**erviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. 10. súmula. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. 83 p.

FLORES, D. M.; OLIVEIRA, D. Aplicação do Ìndice de Concentração de Rugosidade (ICR) para análise de bacias hidrográficas e para traçados de lineamentos estruturais.. **Geoinformação e Sensoriamento Remoto em Geografia,** v. 20, n. 3, p. 125-139. 2016.

GOIS, L. S. S.; FALCÃO, N. A. M.; MONTEIRO, K. A. Mapeamento de unidades morfoestruturais e morfoesculturais no maciço de Mata Grande, Alagoas e entorno. **Geosul**: Florianópolis, v. 36, n. 79, set. 2021.

LIMA, I. F. **Estudos Geográficos do Semiárido Alagoano: Bacias dos rios Traipu, Ipanema, Capiá e Adjacentes**. Maceió: Serviço Gráfico de Alagoas AS – SERGASA, 1992. 139 p.

MARQUES, R. F. *et. al*. Erosão e dissecação do relevo na bacia hidrográfica do rio Ipanema, PE-AL: um estudo morfométrico. *In*: CORRÊA, A. C. B. *et. al*. **Mudanças ambientais e as transformações da paisagem no nordeste brasileiro**. Ananindeua: Itacaiúnas, 2024. p. 2781-2794.

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. 48-58, abr. 2014.

SANTOS, J. E. B. dos.; MONTEIRO, K. A.; NASCIMENTO, M. C. do. Mapeamento geomorfológico do baixo e médio curso da bacia hidrográfica do rio Coruripe, Alagoas. *In*: SANTOS, G. B.; FELIPPE, M. F.; MARQUES NETO, R. **Geomorfologia: complexidade e interescalidade da paisagem**. São José dos Campos: Comum Design, 2022. p. 2447-2455.

SANTOS, K. *et. al*. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Ipanema. *In*: SANTOS, G. B.; FELIPPE, M. F.; MARQUES NETO, R. **Geomorfologia: complexidade e interescalidade da paisagem**. São José dos Campos: Comum Design, 2022. p. 2437-2446.

SANTOS, K. T. **Mapeamento Geomorfológico do setor Franciscano em Alagoas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024b.

SILVA, G. Panta. **Expressão geomorfológica da queda do nível de base no Baixo São Francisco**. 2022. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2023.

SIMONETTI, V. C; SILVA, D. C. da C.; ROSA, A. H. Correlação espacial compartimentada dos padrões de drenagem com características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, *[S. l.]*, v. 23, n. 1, 2022.

SBG – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa de Geodiversidade de Alagoas**. CPRM: Rio de Janeiro, 2015.

TEIXEIRA, K. *et. al*. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Uruçu, Alagoas. *In*: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 20., 2024. João Pessoa. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize, 2024. p. 1-8.