

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E SUAS IMPLICAÇÕES NO COMPORTAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Felipe de Souza Pizetta, Gabriel Dardengo de Brito, Mirna Aparecida Neves, Salomão Silva Calegari.

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde (CCENS) / Departamento de Geologia, Alto Universitário s.n., Centro – 29500-000 – Alegre, ES, Brasil, felipe.pizetta@edu.ufes.br, gabriel.brito@edu.ufes.br, mirna.neves@ufes.br, salomao.calegari@ufes.br

Resumo

O relevo reflete aspectos da evolução geológica de uma região e fornece informações importantes para a pesquisa de recursos naturais, como as águas subterrâneas. No estado do Espírito Santo, as variações altimétricas são acentuadas em uma faixa relativamente estreita, conferindo grandes variações no terreno, controladas tanto por fatores climáticos, quanto pela presença de diferentes tipos de rochas e sedimentos, além das estruturas geológicas. O objetivo deste trabalho é apresentar resultados preliminares obtidos a partir de um projeto que visa ao entendimento das formas de ocorrência da água subterrânea nos terrenos de rocha cristalina e de coberturas sedimentares no estado do Espírito Santo. Os resultados mostram que o Sistema Aquífero Cristalino ocorre em terrenos predominantemente compostos por rochas metamórficas de médio a alto grau, e rochas ígneas intrusivas, além do manto de intemperismo que ocorre sobre elas. O Sistema Aquífero Sedimentar ocupa as áreas com coberturas sedimentares da Formação Barreiras e coberturas quaternárias. Tal conhecimento influencia na previsão dos tipos de poços e da potencialidade hidrogeológica da área.

Palavras-chave: Geomorfologia. Litologia. Estrutura Geológica. Ocupação Antrópica.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.

Introdução

Estudos sobre as formas de relevo ajudam a compreender, não apenas aspectos da evolução geológica e geomorfológica de uma região, mas também fornecem dados importantes para a pesquisa de recursos naturais, como alguns tipos de minério e de água subterrânea. Além disso, alicerçam o adequado planejamento do uso e ocupação do solo, a avaliação de risco geológico e de interferências antrópicas no ambiente. A geomorfologia tem relação com os sistemas climáticos globais, que determinam o grau de intemperismo e o desenvolvimento de solos, o que, por sua vez, influenciam nos problemas locais de Engenharia, como a estabilidade de encostas, taludes e canteiros de obras (Kusky, 2005). Além disso, os processos costeiros, incluindo erosão, deposição e movimentação de areia ao longo da costa, são fatores ligados à geomorfologia costeira.

No estado do Espírito Santo, poucos estudos foram realizados com foco nas relações entre as formas de relevo e outras feições do meio físico, como os litotipos e as estruturas geológicas. O trabalho pioneiro de Gatto et al. (1983) classificou as unidades geomorfológicas em escala regional, em um mapa muito amplo, mas que engloba o estado do Espírito Santo. Os autores descreveram um domínio de rochas cristalinas na Faixa de Dobramentos Remobilizados, Colinas e Maciços Costeiros; e o domínio de depósitos sedimentares, nas unidades Planície Costeira e Tabuleiros Costeiros. Há também o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito Santo (IJSN, 2012) que apresentou várias subdivisões das unidades geomorfológicas, gerando um mapa mais complexo com as porcentagens em área de ocorrência das diferentes unidades.

Na região sul do estado, Peixoto-Oliveira et al. (2018) descreveram a geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), destacando o controle dos diferentes litotipos e das estruturas geológicas nas formas de relevo. Isto está exposto no arranjo da rede de drenagem, na distribuição das coberturas sedimentares e na compartimentação morfoestrutural. Assim como foi descrito em porções mais ao sul, na Serra da Mantiqueira, os autores destacaram a presença de patamares

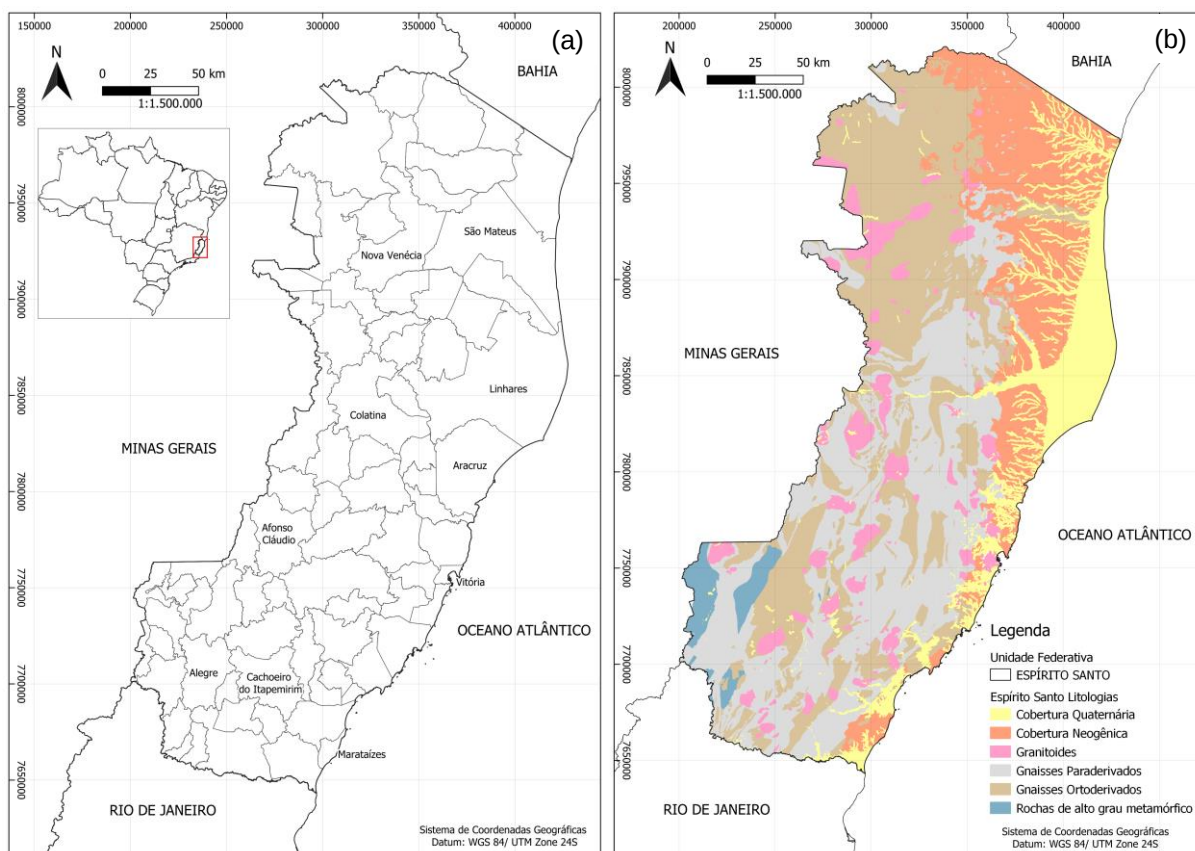
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

escalonados, evidenciando ação da tectônica cenozoica. Para Gupta (1993), os processos geomorfológicos dependem em grande parte do clima, mas também há influência do neotectonismo, da litologia, de eventos episódicos e catastróficos e, sobretudo, de alterações antropogênicas da paisagem. Uma grande variedade de formas de relevo e processos é encontrada nos trópicos úmidos, e generalizações são extremamente difíceis.

Considerando-se a necessidade de construir um mapa geomorfológico em escala adequada ao desenvolvimento de futuros trabalhos voltados à exploração de recursos naturais, o objetivo deste trabalho é apresentar resultados preliminares obtidos a partir de um projeto que visa ao entendimento das formas de ocorrência da água subterrânea nos terrenos de rocha cristalina e de coberturas sedimentares no estado do Espírito Santo (Figura 1a).

O mapa geológico da área (Figura 1b) se baseia no mapa original de Vieira et al. (2014) e na simplificação proposta por Neves et al. (2024). Nele, predominam os gnaisses paraderivados e ortoderivados (gerados, respectivamente, a partir do metamorfismo de rochas sedimentares e ígneas), além de uma ocorrência mais restrita de rochas de alto grau metamórfico, como granulitos. Também estão presentes rochas sedimentares pouco consolidadas da Formação Barreiras (cobertura neogênica), além de sedimentos inconsolidados de idade quaternária.

Figura 1 – (a) Localização da área de estudos, envolvendo todo o estado do Espírito Santo, e (b) mapa geológico simplificado, agrupando os litotipos de acordo com as características relevantes para o presente estudo.



Fonte: Mapa de Unidades da Federação do IBGE e mapa geológico de Vieira et al. (2014), modificado por Neves et al. (2024).

Metodologia

O mapa de localização do estado do Espírito Santo foi elaborado no software QGIS 3.28.3 a partir do *shapefile* das Unidades da Federação disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), no qual o polígono correspondente ao estado foi destacado e mantidas as

fronteiras estaduais vizinhas assim como as principais cidades para melhor contextualização espacial. Já o mapa geológico do Espírito Santo foi produzido com base no mapa publicado por Vieira et al. (2014) e disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2018). O arquivo digital foi importado e ajustado quanto à simbologia e cores utilizada no estudo de referência para representar as diferentes unidades litoestratigráficas. Ambos os mapas foram elaborados no sistema de projeção WGS84/UTM zona 24S, garantindo consistência espacial entre as bases cartográficas, e tiveram sua composição final com escala gráfica, legenda, título e orientação norte, organizada no software QGIS 3.28.3, seguindo as normas cartográficas usuais.

Os modelos digitais de elevação (MDE) foram obtidos no site Earthdata Search, disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2019). A partir do Modelo Digital de Elevação ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model*), com resolução espacial de 30 m, foram elaborados os mapas hipsométrico, de relevo sombreado e de declividade. O mapa hipsométrico foi construído com intervalos de classes definidos manualmente, para atender melhor aos objetivos. O relevo sombreado foi gerado na opção multidirecional e o mapa de declividade foi calculado em graus, com classes ajustadas à escala de trabalho.

A nomenclatura das unidades geomorfológicas foi adaptada a partir da proposta de Gatto et al. (1983). A interpretação baseou-se principalmente no mapa de declividade, complementada com informações dos mapas hipsométrico e de relevo sombreado. A unidade Planície foi incorporada diretamente do Mapa Geológico do Espírito Santo (Vieira et al., 2014).

Resultados e Discussão

As figuras 2a e 2b mostram os mapas hipsométrico e de declividade que, juntamente com o mapa geológico simplificado (Figura 1), permitiram gerar o mapa das formas de relevo (Figura 2c). O mapa dos tipos de aquíferos (Figura 2d), elaborado a partir do mapa geológico, evidencia relações importantes entre as formas de relevo e os litotipos. Com base nessas informações, é possível tecer inferências sobre a influência do relevo na ocorrência da água subterrânea.

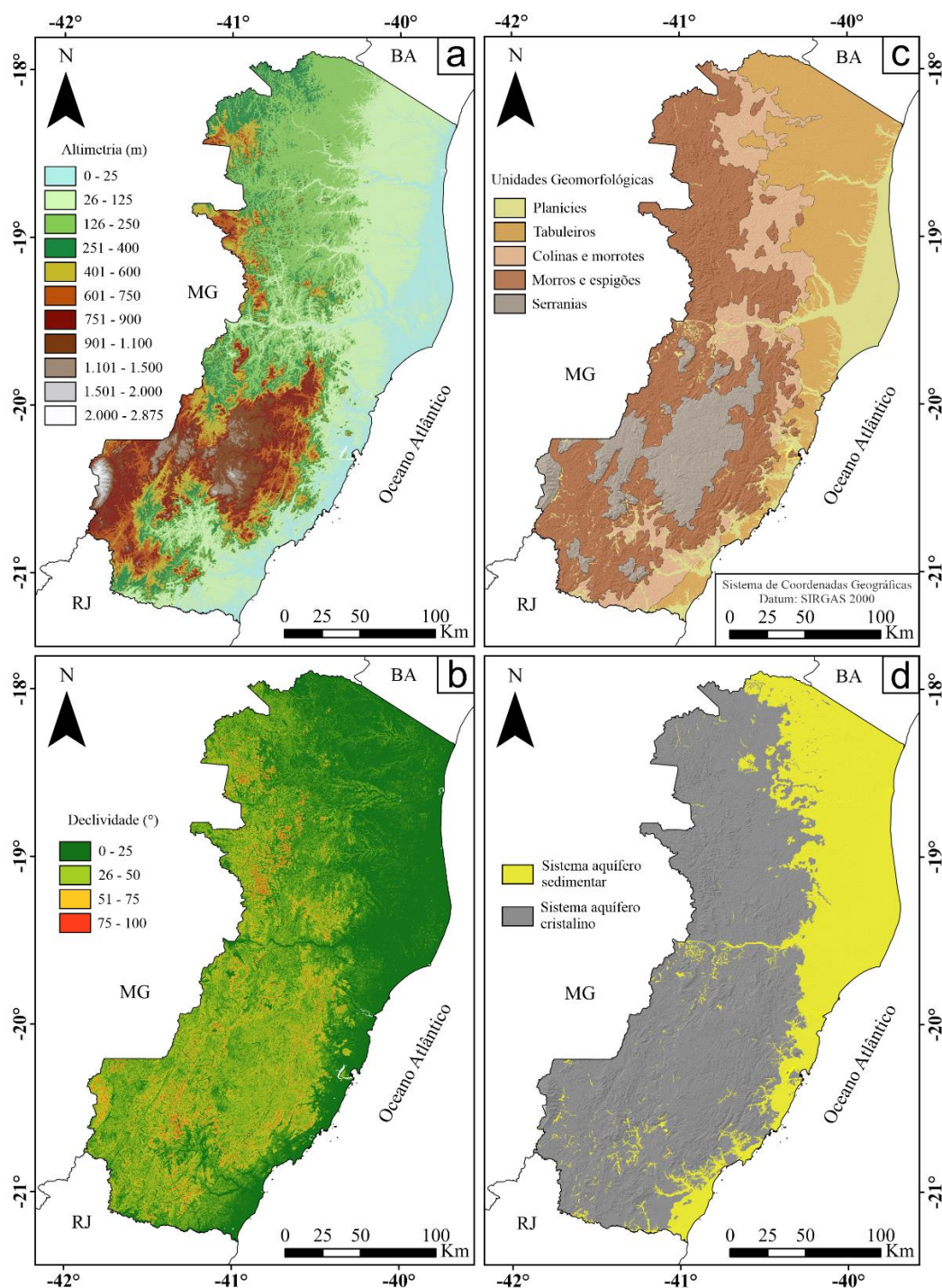
O Sistema Aquífero Cristalino está contido em rochas do embasamento cristalino, que controlam as unidades geomorfológicas aqui definidas como Serranias, Morros e Espigões, Colinas e Morrotes. Por outro lado, O Sistema Aquífero Sedimentar ocorre nas unidades Tabuleiros (ou Tabuleiros Costeiros) e Planícies.

Os patamares altimétricos mais elevados estão entre 2.000 e 2.875 metros, culminando com o topo do Pico da Bandeira, o terceiro mais alto do Brasil, na Serra do Caparaó. Além da Região do Caparaó, a Região Serrana do Espírito Santo, com altitudes entre 600 e 2.000 metros acima do nível do mar, também se destaca como as áreas mais altas do relevo capixaba. Trata-se da unidade geomorfológica aqui denominada de Serranias que, juntamente com a unidade Morros e Espigões (descrita a seguir), são apontadas por Gatto et al. (1983) como pertencentes à Mantiqueira Setentrional. Usando os conceitos do IBGE (2009), Peixoto-Oliveira et al. (2018) descrevem a serra conjuntamente aos morros e espigões (aqui descritos separadamente) como uma região onde os processos erosivos são intensos e expõem feições estruturais do embasamento cristalino. Ao cair no solo, as águas pluviais tendem a escoar rapidamente nesta região e, com solos pouco espessos e a rocha são geralmente aflorante, a infiltração da água para compor aquíferos é muito limitada. Contudo, ao encontrar zonas fraturadas, o abastecimento do aquífero fraturado é favorecido (Dewandel et al. 2011). A velocidade de percolação das águas deve ser rápida, em função do gradiente hidráulico elevado.

Entre os patamares altimétricos de 250 e 900 metros, ocorre a unidade Morros e Espigões, também um relevo de dissecção, conforme os critérios de IBGE (2009). Os morros são de topos arredondados e os espigões possuem cumes mais alongados, alinhados ou não. É um relevo acidentado e com vertentes íngremes, porém menos do que a região das Serranias. Estão presentes feições de morros, morrotes e “pães-de-açúcar”, além de lajeados e áreas com “caos-de-blocos” ou campos de matacões (Peixoto-Oliveira et al., 2018). Os modelos de acumulação são fluviais e gravitacionais de enxurrada e inundação. De forma localizada, há terraços fluviais, planícies de inundação e rampas de colúvio. Nesta região, assim como nas Serranias, as águas pluviais tendem a escoar superficialmente mais do que infiltrar, o que acontece preferencialmente ao longo das zonas fraturadas.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 2 – (a) Mapa hipsométrico, (b) mapa de declividade, (c) mapa geomorfológico e (d) mapa das unidades aquíferas do Estado do Espírito Santo. As unidades aquíferas são condicionadas aos tipos litológicos, que determinam também a estruturação geomorfológica mostrando a interligação entre os parâmetros do meio físico.



Fonte: autores.

A área de Colinas e Morrotes corresponde a patamares topográficos mais baixos, entre 125 e 400 metros de altitude. Nesta região, as declividades são menores e o relevo menos acidentado. A principal distinção entre colinas e morrotes é a magnitude: colinas são elevações com contornos mais suaves e altitudes modestas, enquanto morrotes são mais proeminentes, com declives mais acentuados e maior

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

altitude. Nestas porções, espera-se encontrar terrenos mais intemperizados, com regolito mais espesso e maior capacidade de infiltração e acumulação de água subterrânea. O aquífero de porosidade formado no manto de intemperismo das rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) tende a ter maior expressão nestes terrenos.

A unidade dos Tabuleiros ocupa os patamares de altitude entre 25 e 250 metros acima do nível do mar. É uma feição geomórfica caracterizada por topos tabulares ou suavemente ondulados, geralmente de baixa a média altitude, limitados por ressaltos ou escarpas. No Espírito Santo, essas feições coincidem com as áreas de afloramento da Formação Barreiras, de possível idade miocênica. Ela predomina na região centro-norte do estado e apenas ao longo do litoral do centro ao sul capixaba. O aquífero de porosidade presente nessa região é de extrema importância para o abastecimento da população, já que a demografia é mais concentrada ao longo do litoral, bem como para a agricultura na região norte.

As Planícies constituem o nível de base regional, entre 0 e 25 metros de altitude. Elas têm presença marcante no delta do Rio Doce, onde há deposição de sedimentos quaternários, em sua maioria recentes. A unidade também ocorre ao longo das planícies aluvionares dos canais de drenagem, distribuídos pelo interior do estado, porém nem sempre visível na escala do mapa apresentado. De acordo com Peixoto-Oliveira et al. (2018), esta é uma importante área de acumulação de sedimentos, onde os modelos de acumulação predominantes são de gênese fluvial, com planícies de inundação e terraços fluviais. Também ocorrem modelos de gênese fluvial costeira, destacando-se as falésias vivas, as praias, os terraços fluviais e marinhos. O predomínio de modelados de acumulação indica que esses terrenos estão sujeitos a inundações e processos de assoreamento. Nestas porções, a água subterrânea está contida nos poros dos sedimentos inconsolidados e, embora seja de fácil acesso por poços rasos, pode estar mais sujeita a interferências antrópicas e comprometimento da qualidade.

A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, as relações observadas nos mapas descritos acima. Importante citar que a escala deste mapeamento é regional. Estudos em escala de maior detalhe sempre deverão ser feitos para descrever uma área com vistas à locação de poços, por exemplo.

Tabela 1 – Relações entre as feições e características observadas nos mapas apresentados neste trabalho.

Unidade Geológica	Unidade Geomorfológica	Altimetria* (m)	Sistema Aquífero
Embasamento Cristalino (rochas ígneas e metamórficas)	Serranias	600 a 2.800	Cristalino (ou Fissural)
	Morros e Espigões	250 a 900	
	Colinas e Morrotes	125 a 400	
Formação Barreiras e Formação Rio Doce (não aflorante)	Tabuleiros	25 a 250	Sedimentar (ou de Porosidade)
Sedimentos aluviais	Planícies	0 a 25	

* valores predominantes na unidade geomorfológica correspondente.

Conclusões

Este trabalho mostrou a íntima relação entre os aspectos geomorfológicos do Estado do Espírito Santo e as formas de ocorrência da água subterrânea. As unidades geomorfológicas descritas como Serranias, Morros e Espigões e Colinas e Morrotes constituem as áreas onde o Sistema Aquífero Cristalino está presente. Porém, nas Serranias, Morros e Espigões há preponderância do fluxo subterrâneo na porção do sistema aquífero constituído por rocha fraturada, mais do que no manto de intemperismo. Por outro lado, no conjunto de Colinas e Morrotes, onde o manto de intemperismo tende a ser mais espesso, a água subterrânea pode ser encontrada também nessa porção, que compõe a parte porosa do sistema aquífero. Nos conjuntos de Tabuleiros e Planícies, há o Sistema Aquífero de Porosidade, onde a água subterrânea fica armazenada nos poros das rochas sedimentares pouco consolidadas e nos sedimentos recentes.

Referências

DEWANDEL, B.; LACHASSAGNE, P.; ZAIDI, F. K.; CHANDRA, S. A conceptual hydrodynamic model of a geological discontinuity in hard rock aquifers: Example of a quartz reef in granitic terrain in South India. **Journal of Hydrology**, v. 405, p. 474-487, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.050>

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. (1983). Geomorfologia. In: H. F. MOREIRA (Ed.), **Projeto RADAMBRASIL** (v. 32). Rio de Janeiro: MME SG.

GUPTA, A. The changing geomorphology of the humid tropics. **Geomorphology**, v. 7, n. 1–3, 1993, p. 165-186. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90016-U](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90016-U)

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 5).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 set. 2025.

IJSN – INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEP/IJSN, 2012. 19 p. (Nota técnica n. 28).

KUSKY, T. **Encyclopedia of Earth Science**. USA: Facts on File, 2005. 510 p.

NASA; METI; AIST; JAPAN SPACE SYSTEMS; U.S./JAPAN ASTER SCIENCE TEAM. **ASTER Global Digital Elevation Model V003**. 2019. Distribuído pelo LP DAAC – NASA Earthdata. DOI: 10.5067/ASTER/ASTGTM.003. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/astgtm003v003>. Acesso em: 15 set. 2025.

NEVES, M.A.; HUBNER, L.T.; CALEGARI, S.S.; OLIVEIRA, F.B. Favorabilidade à recarga e armazenamento de água subterrânea no Estado do Espírito Santo, SE Brasil: utilizando análise multicritério. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 11, n. 28, p. 1019-1033, 2024. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2024\)112833](https://doi.org/10.21438/rbgas(2024)112833)

PEIXOTO-OLIVEIRA, J.; NEVES, M.A.; CALEGARI, S.S.; GUADAGNIN, F. Compartimentação morfoestrutural da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do Estado do Espírito Santo. **Geologia USP**, v. 18, n. 2, p. 57–70, 2018. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-134749>.

VIEIRA, V. S.; SILVA, M. A. da; CORRÊA, T. R.; LOPES, N. H. B. Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo, escala 1:400.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL - SIMEXMIN, 6, 2014. **Seção Poster...** Ouro Preto: ADIMB/CPRM, 2014.

VIEIRA, V. S.; SILVA, M. A.; CORRÊA, T. R.; LOPES, N. H. B. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo – escala 1:400.000**. Vitória: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15564>. Acesso em: 15 set. 2025.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PRPPG da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, pela concessão das bolsas de iniciação científica (IC) dos alunos de graduação em Geologia e à Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, pela concessão de uma das bolsas de IC e da bolsa Pós-Doc Sênior da orientadora da equipe.