

Conclusão do modelo geológico 3D da Bacia de Taubaté e aplicação na pesquisa educacional em Geociências

Palavras-Chave: Modelagem, Ensino, Impressão 3D, Geoprocessamento

Autores(as):

REYNALDO SOUZA DE CARVALHO, Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. CELSO DAL RÉ CARNEIRO (orientador), Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Este projeto de pesquisa objetiva concluir a produção de modelos tridimensionais da Bacia de Taubaté e elaborar guias didáticos que auxiliem professores de educação básica a utilizá-los em suas atividades didáticas. Envolve processamento de dados de sensores remotos espectrais e dados de perfurações executadas na Bacia Sedimentar de Taubaté. O projeto integra um corpo maior de pesquisa que produz representações e modelos tridimensionais de bacias sedimentares e feições de relevo do Brasil. Os métodos envolveram revisão bibliográfica, estudo sistemático de artigos e modelagem computacional 3D para a produção de maquetes físicas, que deverão compor materiais didáticos de Geociências para o ambiente universitário e a escola básica. A maquete gerada fará parte de kits e materiais a serem distribuídos a professores de ensino básico e superior, por meio de *workshops* e tutoriais sobre uso didático do recurso. O modelo tridimensional da Bacia de Taubaté contribuirá para melhor entendimento da morfologia, estrutura e a história geológica dessa importante região do Estado de São Paulo. Espera-se que, à medida que novas técnicas forem desenvolvidas e novos dados estiverem disponíveis, os modelos tornar-se-ão mais precisos e completos.

INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté apresenta uma história evolutiva singular, cuja geometria tem sido compreendida por intermédio de dados fornecidos por perfurações que revelam seu grande potencial produtivo para água subterrânea (Carneiro et al. 1976) e levantamentos sísmicos para prospecção de hidrocarbonetos (Marques, 1990). Complementados por modelos digitais de elevação derivados de imagens de sensores remotos, os poços de extração de água subterrânea, abertos em diversos pontos da superfície, fornecem informações valiosas sobre arquitetura deposicional, arranjo estrutural das camadas e comportamento reológico dos pacotes submetidos a deformação.

Este projeto de Iniciação Científica utiliza os dados disponíveis para construir ferramentas educacionais que permitam a melhor visualização da estratigrafia e da evolução de bacias brasileiras por meio de modelos geológicos tridimensionais (3D). A abordagem, descrita por Carneiro et al. (2018, 2022a), ainda não está disseminada; busca facilitar a visualização da estratigrafia da Bacia e sua evolução de forma intuitiva, permitindo assim difundir conhecimentos não apenas entre os cursos universitários de Geociências, mas também para alunos da educação básica. O projeto conta com a participação e o auxílio de membros do grupo de pesquisa Geo-Escola, dedicado ao estudo da Educação em Geociências (Carneiro et al., 2022b) e que desenvolve recursos educacionais principalmente nas áreas de cartografia, sensoriamento remoto e sistemas de informações georreferenciadas. A pesquisa também recebe apoio do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), um instituto de pesquisa federal que possui a tecnologia de impressão 3D utilizada no projeto, além do Laboratório de Recursos Didáticos em Geociências (LRDG) do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

A equipe utiliza o LRDG, que está equipado com computadores adequados para o pleno desenvolvimento dos modelos em ambiente Blender.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto exigiu diversas habilidades de pesquisa e revisão bibliográfica, além da elaboração de textos e artigos técnicos. O levantamento bibliográfico envolveu a leitura de artigos sobre a área de estudo, sua história geológica e evolutiva, suas características morfológicas, estruturais e também históricas. Foi feito estudo aprofundado dos fundamentos da modelagem tridimensional, suas aplicações em outras áreas de pesquisa.

O levantamento de dados permitiu a utilização de dois conjuntos diferentes de dados (Fig. 1): o primeiro é proveniente do sensor remoto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um sistema de imageamento por radar que adquiriu dados altimétricos do globo inteiro, incluindo a Bacia de Taubaté. Os dados foram baixados e processados no software livre de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) chamado QGIS e posteriormente transformados em modelos digitais de elevação. Gera-se um arquivo em formato .TIFF que é então colocado no ambiente de modelagem tridimensional Blender onde são aplicados efeitos de exagero vertical, gerando uma superfície representativa do relevo da bacia.

O segundo conjunto de dados resulta de um conjunto de dados de profundidade do embasamento rochoso da bacia, obtidos por meio de perfurações feitas ao longo do tempo. Os dados fornecem a espessura da bacia em toda sua extensão. Os dados foram transformados em curvas de contorno estrutural, similares às curvas de nível do relevo, que foram processados em um polígono tridimensional que representou a espessura subsuperficial da bacia e permitiu a visualização de seu embasamento e do pacote de formações depositadas na pilha sedimentar.

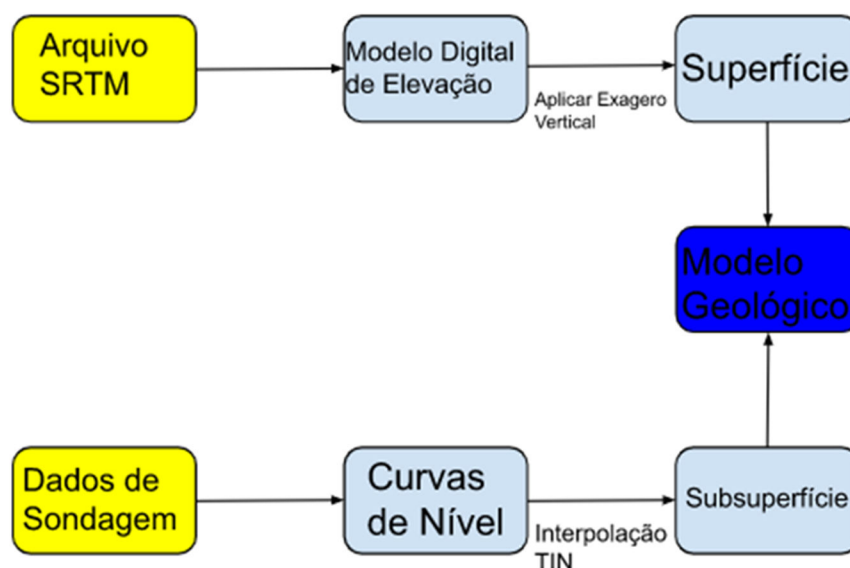


Figura 1. Pipeline necessário para o processamento dos dados obtidos ao longo do projeto até a obtenção de um modelo geológico pronto

RESULTADOS

A confecção do modelo foi iniciada com a obtenção das imagens dentro do software de SIG, QGIS, por meio do plugin *SRTM-Downloader*; este plugin forneceu os dados altimétricos superficiais utilizados na geração do relevo superficial da Bacia. A imagem foi delimitada por um arquivo vetorial do tipo shapefile (Fig. 2) indicado em Campos et al. (2021) além do material produzido no mapa geológico disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Nessas imagens observam-se as principais feições de relevo da Bacia de Taubaté, uma feição deprimida e orientada segundo as direções SW-NE (Carvalho et al. 2011), delimitada a norte pela serra da Mantiqueira e a sul pelas serras da Bocaina, do Quebra-Cangalha. As feições mais escuras ao longo da borda norte da bacia, isto é, com menor profundidade, correspondem a depósitos aluviais associados a um antigo sistema de leques e planícies aluviais; a porção centro-sul da bacia corresponde à formação Pindamonhangaba, assim como seu Alto Estrutural, que contém conglomerados que gradam até arenitos finos, correspondentes a um antigo sistema fluvial meandrante (RICCOMINI et al., 2004), as porções norte da Bacia correspondem às formações Tremembé e Resende contendo conglomerados de leques aluviais, siltitos e argilitos lacustres, calcários dolomíticos e folhelhos pirobetuminosos.

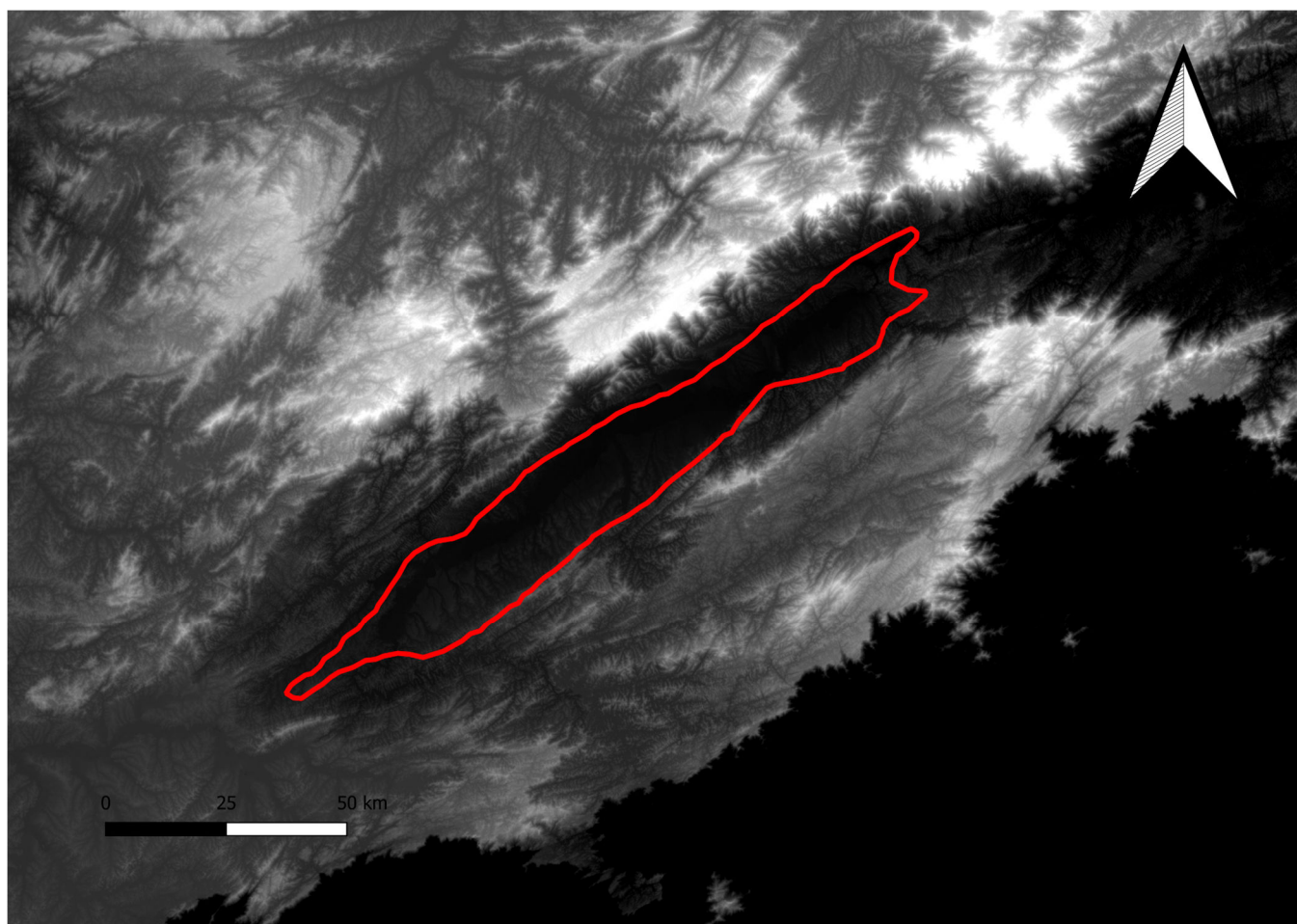


Figura 2. Modelo Digital de Elevação proveniente de sensor SRTM sobreposto com um arquivo vetorial no formato shapefile delimitando as bordas da Bacia Sedimentar.

A visualização da complexa estratigrafia e sequência de eventos é facilitada quando o modelo digital de Terreno é inserido no ambiente de modelagem tridimensional Blender e é aplicado um exagero vertical da ordem de nove vezes a escala normal do desenho. A Figura 3 apresenta o modelo tridimensional do relevo da Bacia gerado após a aplicação do exagero vertical.

DISCUSSÃO

O estudo das Geociências exige aprimoramento de habilidades, incluindo a capacidade crucial de visualização em três dimensões. Essa habilidade é essencial para compreender o comportamento e a evolução de estruturas geológicas sólidas, tanto em campo quanto em laboratório, e é fundamental para aproveitar prontamente as informações obtidas. O uso de modelos 3D gerados digitalmente facilita a visualização e o entendimento dessas estruturas, trazendo benefícios para diversas

atividades humanas, como a indústria de mineração, a prospecção de hidrocarbonetos, a exploração de água subterrânea, o planejamento regional e estudos geológicos.

A capacidade de visualização espacial é fundamental nas Geociências e está associada a um melhor desempenho em ciências e matemática. O desenvolvimento de habilidades de pensamento espacial tem sido pouco enfatizado na educação tradicional, especialmente no contexto brasileiro, o que torna essencial investigar alternativas e a contribuição das Geociências para o aprimoramento do ensino e das habilidades dos alunos

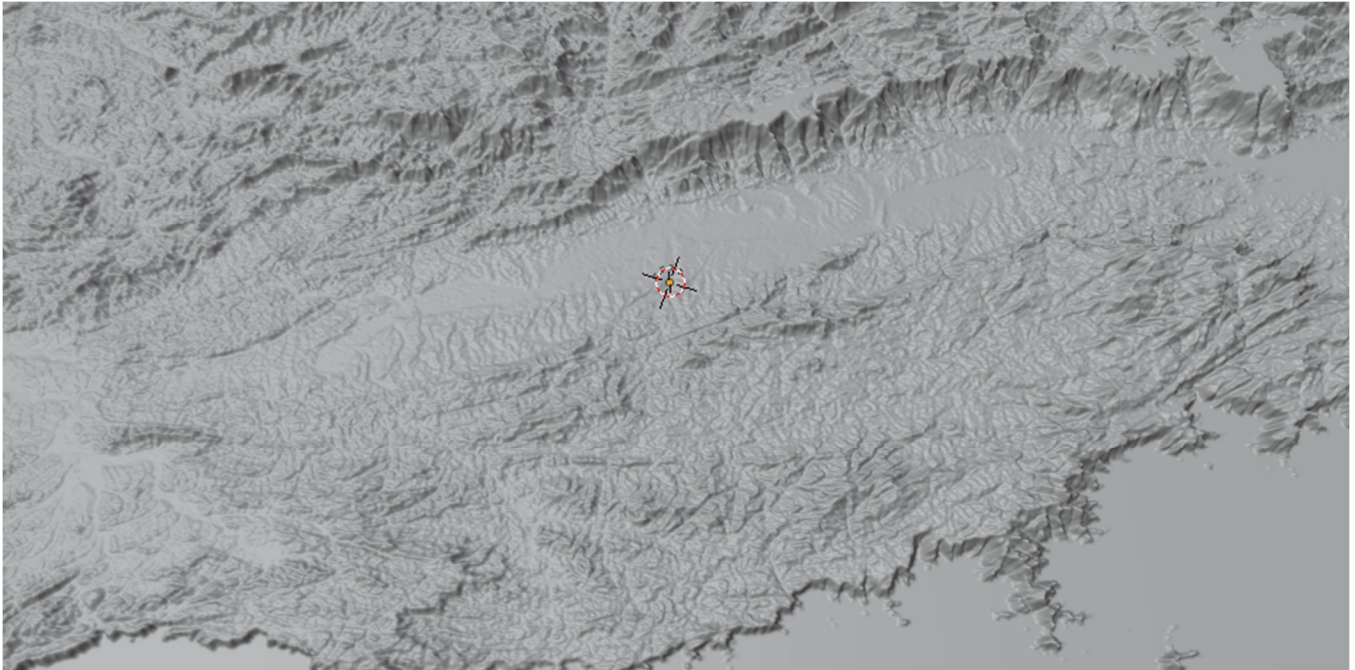


Figura 3. Imagem do modelo tridimensional gerado no ambiente Blender, usando um exagero de 9 vezes, a borda norte da bacia que corresponde a serra da Mantiqueira se mostra proeminente e é possível diferenciar os depósitos aluvionares das formações que compõem o grupo Taubaté

A Geologia constitui uma ciência interpretativa e histórica que requer habilidades complexas, incluindo o pensamento tridimensional e a compreensão de sistemas holísticos da Terra. O trabalho de campo nessa área demanda habilidades específicas de observação e análise. Os modelos geológicos, compostos por descrições das unidades litológicas, estruturas e arranjo de fraturas, são fundamentais para a compreensão das formações geológicas. O uso de modelos digitais 3D pode facilitar o desenvolvimento de habilidades necessárias na área.

CONCLUSÕES

O projeto revelou-se uma oportunidade ímpar para o bolsista, proporcionando-lhe um conhecimento aprofundado sobre a região de estudo escolhida. Ao mesmo tempo, permitiu-lhe adquirir conhecimentos sobre os fundamentos de modelagem tridimensional e a utilização de técnicas de geoprocessamento. Para alcançar a conclusão plena do projeto, é necessário percorrer ainda uma série de etapas adicionais:

- (a) desenvolvimento de *Workshops* e encontros com professores de escolas primárias e secundárias a fim de instruí-los quanto a boa utilização do material didático
- (b) investigar alternativas mais acessíveis que possibilitem reproduzir e multiplicar os modelos, de forma econômica e com baixo custo;

(c) desenvolver pigmentos e novos materiais para impressão tridimensional, capazes de permitira produção de modelos mais complexo, mais realistas e mais intuitivos.

A conclusão bem-sucedida dessas ações trará consigo um impacto significativo, favorecendo o ensino das Geociências e estimulando a exploração didática das representações tridimensionais. Em adição, as iniciativas têm o objetivo de aprimorar a capacidade de extração e tratamento de dados geológicos, proporcionando aos alunos uma interação mais profunda e enriquecedora com os modelos criados. Além disso, busca-se engajar os professores de educação básica em atividades de pesquisa, com vistas a aprofundar o estudo das Geociências nesse nível escolar.

Em síntese, o projeto se revela não apenas como um meio de aprendizado e domínio técnico, mas também como uma ferramenta poderosa para fortalecer o ensino e aprendizagem das Geociências, ampliando horizontes e despertando o interesse dos alunos e professores por essa área do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- Abreu, C. J., & Appi, C. J. (2008). *O preenchimento sedimentar da Bacia de Taubaté*. Trabalhos Apresentados em Eventos. [COMPLETAR REF.] URL: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/832>.
- Andrade, J. J. C., Severino, R. R., Campos, F. F., Guerra, G. I. T., & Lima, R. A. P. (2022). *Modelo geofísico-geológico da Bacia de Taubaté, SP*. Brasília, DF, Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Rel. Técn. (Informe de Geoquímica Aplicada, 7). 93p. URL: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22787>.
- Campos, F. F. de, Andrade, J. J. C. de, Severino, R. R., & Guerra, G. I. T. (2021). *Mapa geológico e de recursos minerais da Bacia de Taubaté*. Brasília, DF, Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 1p. URL: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22544>.
- Carneiro, C. D. R., Barbosa, R., Amendola, D. F., Barbosa, I. N. B. C. (2022b). Two decades of learning in the Geo-School Project: a journey for including Geosciences at schools. *Ciência & Educação (Bauru)*, 28. DOI: [10.1590/1516-731320220007](https://doi.org/10.1590/1516-731320220007). URL: <https://www.scielo.br/j/ciedu/i/2022.v28/>.
- Carneiro, C. D. R., Hasui, Y., & Giancursi, F. D. (1976). *Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, 1976. *Anais...* Belo Horizonte: SBG. v. 4, p. 247-256.
- Carneiro, C. D. R., Gondek, T. P., Ferreira, R., Polly, D., Fontolan, L. S. B., Oliveira, M., Noritomi, P. (2022a). *Aplicação de maquetes físicas tridimensionais da Bacia do Paraná no Ensino de Geociências*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 17, Belo Horizonte, 2022. *Anais CD-ROM...*, Belo Horizonte, ABGE. (5º Simpósio de Educação e Ensino, 5º SEGEA). URL: https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_137.pdf. Acesso 20.04.2023.
- Carneiro, C. D. R., Santos, K. M. dos, Lopes, T. R., Santos, F. C. dos, Silva, J. V. L. da, Harris, A. L. N. C., Noritomi, P. Y., Kemmoku, D. T. (2018). *Modelos 3D de bacias sedimentares como recurso didático*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 49, 2018, Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* São Paulo, SP: Soc. Bras. Geol. (Código 7548, ST03 “Ensino e Educação em Geociências”). URL: <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/ST03/st03.htm>. Acesso 25.07.2023.
- Marques A. 1990. Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. Rio de Janeiro: *B. Geoci. PETROBRAS*, 4, 221-340.
- Peixoto, C. A. B. (2010). *Geodiversidade do estado de São Paulo*. Brasília, DF, Serviço Geológico do Brasil (CPRM). URL: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16776>.
- Silva, A. J. P. da, Lopes, R. C., Vasconcelos, A. M., & Bahia, R. B. C. (2003). Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., & Gonçalves J. H. (Eds.) (2003). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003. p. 55-85. (Cap. 2). URL: <https://www.cprm.gov.br/publique/Recursos-Minerais/Apresentacao/Livro---Geologia%2C-Tectonica-e-Recursos-Minerais-do-Brasil-3489.html>.