

ELABORAÇÃO DE UM MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E DENSIDADE DE LINEAMENTOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, RS

Vinícius Sgorla¹; Tiago De Vargas²; Rossano Belladona³; Volnei Dal Bosco⁴

Resumo – A necessidade de estudar estruturas como os lineamentos é algo a ser destacado persistentemente. Um mapa de lineamentos, bem como a sua densidade, pode ser utilizado como base para estudos ambientais em aquíferos que podem servir como alicerce em projetos na gestão ambiental de uma região. Este estudo propõe criar uma nova base de lineamentos para o município de Caxias do Sul, elaborando um mapa em escala 1:30.000. Com base no sombreado do Modelo Digital de Terreno e em levantamentos aerofotogramétricos, gerou-se um mapa composto por 1128 lineamentos, que também foram validados pela localização de poços tubulares do município. As feições foram classificadas em quatro classes de azimute: N/S, E/W, NE/SW e NW/SE, e divididas por comprimento, entre pequenos, médios e grandes. O mapa da densidade de lineamentos infere que há uma maior densidade nas áreas das bacias de captação de Caxias do Sul, variando de 0 a 4,01 km/km². O mapa de lineamentos estruturais apresenta uma concordância significativa com trechos retilíneos de cursos d'água. No que se refere à frequência do número de lineamentos, a distribuição é levemente heterogênea, com uma maior frequência de lineamentos entre os azimutes N60E e N75E, enquanto há uma menor quantidade de lineamentos na direção NS. Já quanto ao comprimento dos lineamentos, o padrão de uma maior relevância no quadrante NE e menor na direção NS se mantém, mas o grau de heterogeneidade é muito mais expressivo.

Abstract – The need for studying structures such as lineaments has to be persistently emphasized. A lineament map, as well as its density, can be used as a basis for environmental studies in aquifers that can serve for projects in a city's environmental management. This study propose to create a new base of lineaments for the city of Caxias do Sul, in a 1:30.000 scale map. Based on the DEM's hillshade and aero photogrammetry, a map composed by 1128 lineaments was developed, which were also validated by the location of wells in the city. The structures were classified in four azimuth classes: N/S, E/W, NE/SW and NW/SE, and divided by length, between small, medium and large. The lineament density map implies a larger density in the watershed areas of Caxias do Sul, varying between 0 to 4,01 km/km². The lineament map show a significant conformity with linear stretches of waterways. Referring to the frequency of lineaments, there is a slight heterogeneous distribution, with a larger frequency between azimuths N60E and N75E, while a smaller frequency is shown in the N/S direction. As for the length of the lineaments, the pattern of a bigger relevance in the NE quadrant and smaller in the NS direction continues, however the heterogeneity degree is much more expressive.

Palavras-Chave – Sensoriamento remoto; Descontinuidades; Morfoestruturas; Gestão ambiental.

¹ Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAЕ), Caxias do Sul – RS, (54) 99129-7746, v.sgorla@gmail.com

² Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAЕ), Caxias do Sul – RS, tvargas@samaecaxias.com.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, IPH, Porto Alegre – RS, rbelladona101@gmail.com

⁴ Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAЕ), Caxias do Sul – RS, vdalbosco@samaecaxias.com.br

1. INTRODUÇÃO

Lineamentos são estruturas mapeáveis na superfície terrestre, lineares, retilíneas ou suavemente encurvadas que refletem fenômenos de subsuperfície (O'Leary et al., 1976), podendo representar tanto baixos topográficos (vales e drenagens, chamados lineamentos negativos) como altos topográficos (cristas alinhadas, chamados lineamentos positivos) (Hung et al., 2005). A necessidade de estudar estruturas geológicas como os lineamentos é algo que deve ser constantemente enfatizado, visto que tais feições, que incluem falhas, disjunções e fraturas, agem não apenas como zonas de depósito de minerais e minérios, como também são reservatórios para água, óleo e gás. Há, inclusive, uma série de estudos de prospecção desses bens ao redor do mundo a partir do mapeamento de lineamentos (Enoh et al., 2021; Nag & Chowdhury, 2019; Soe et al., 2007; Verdiansyah, 2019; Vidal et al., 2006).

Os mapas de lineamentos estruturais e de densidade de lineamentos podem ser utilizados como base para estudos de vulnerabilidade intrínseca e risco à contaminação de aquíferos (Jenifer & Jha, 2018a, 2018b; Souza et al., 2022), prospecção de água subterrânea e cartas geotécnicas. Os produtos cartográficos associados a esses mapas são ferramentas substanciais na gestão ambiental de um município ou região hidrográfica. Alguns estudos envolvendo o mapeamento de lineamentos estruturais e descontinuidades já foram realizados na região de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul (Betiollo, 2006; Borsatto, 2011; Lisboa et al., 2003), porém estes possuem um baixo grau de detalhamento ou abrangência municipal. A necessidade de um mapa de lineamentos e de densidade de lineamentos em maior detalhe implica em uma maior assertividade na prospecção de bens (como para perfuração de poços tubulares), bem como uma percepção mais controlada do modo com o qual a água subterrânea (e, em casos mais graves, contaminantes) podem se locomover no aquífero. Deste modo, denota-se a falta de um estudo de maior detalhe e refinamento para o município.

Buscando contribuir para a identificação dessas estruturas com um melhor nível de detalhamento, esse estudo tem como objetivo apresentar uma nova base de lineamentos estruturais para o município de Caxias do Sul, elaborando um mapa em escala 1:30.000 de lineamentos e sua respectiva densidade. Assim podendo ser um instrumento auxiliar em projetos destinados à gestão da cidade.

2. ÁREA DE ESTUDO

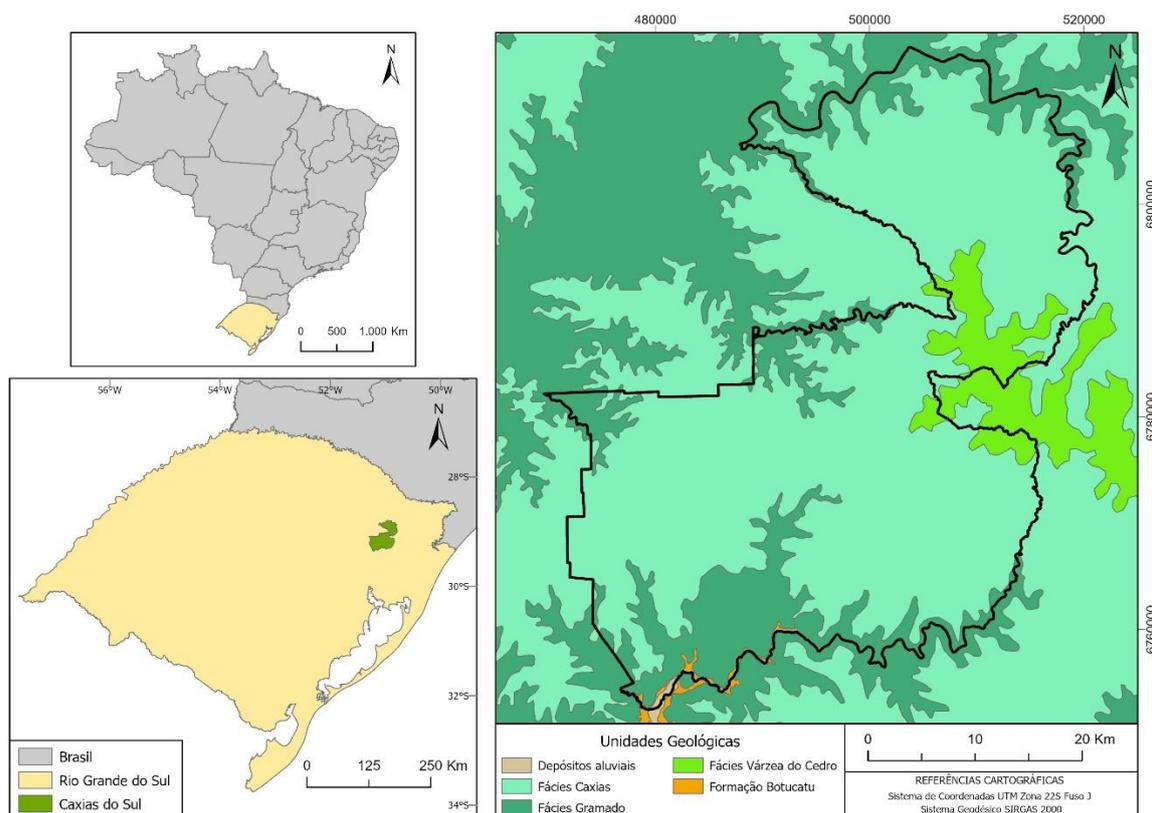
O município de Caxias do Sul está localizado na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, possuindo 1.652,31 km² e uma população estimada de 523.716 habitantes (IBGE, 2021). A área de estudo é enquadrada geologicamente pelo Grupo São Bento, da Bacia do Paraná, constituído pelas formações sedimentares Guará e Botucatu e o pacote de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (FSG), relacionada à abertura do Oceano Atlântico (CPRM, 2008), conforme a Figura 1. As litologias que constituem a FSG são representadas por basaltos (Fácies Gramado) na base da sequência, ao passo que são encontrados riolitos, dacitos e riolitos das Fácies Palmas e Chapecó na seção superior (Bellieni et al., 1986; Roisenberg & Viero, 2000) assim como vitrófiros na Fácies Várzea do Cedro (Godoy et al., 2012). A porção ácida da Formação Serra Geral ocorre predominantemente como unidades vulcanoclásticas associadas a modelos de ignimbrito (Roisenberg & Viero, 2000), com registros locais de domos, cuja distribuição espacial é bastante restrita (Lima et al., 2012).

Tectonicamente, a Bacia do Paraná foi influenciada por diversos ciclos orogênicos que afetaram as duas unidades Pré-cambrianas presentes no Escudo Sul Rio-Grandense: o Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano (Zalán et al., 1990). Estudos na Bacia do Paraná identificaram direções predominantes de lineamentos que se referem ao contexto estrutural da região, como NE, NW, NNE e NNW (Fernandes et al., 2011; Fiume, 2013; Soares et al., 2007; Zalán et al., 1990). Em maior escala, na região Nordeste do Rio Grande do Sul, Reginato e Strieder (2006) observaram que a FSG possui lineamentos com quatro direções bem definidas, sendo elas NE, NW, N-S e E-W, com direções predominantes N70-90E e secundariamente N20-30W e N80-90W,

bem como a presença de falhas geológicas transcorrentes com direções preferenciais NE-SW, NW-SE e E-W (Nummer et al., 2014).

Na região do município de Caxias do Sul, de acordo com Betiollo (2006), há uma predominância de lineamentos na direção NE-SW, e de forma menos significativa NW-SE e E-W, onde a direção preferencial estaria relacionada ao modelo geológico dos padrões estruturais do Cinturão Móvel Dom Feliciano (Nummer et al., 2014). Borsatto (2011) observa uma predominância de lineamentos estruturais nos quadrantes NE e NW, especificamente entre os azimutes N60E e N80E, e mais secundariamente entre os azimutes N50W e N70W. Já Lisboa et al. (2003) ressalta uma preponderância de lineamentos na direção NE-SW em grandes comprimentos, subordinados a lineamentos menores na direção NW-SE.

Figura 1. Mapa de localização e das unidades geológicas de Caxias do Sul, RS.



3. METODOLOGIA

Neste estudo predominou a aplicação de ferramentas geoespaciais vinculadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) e ao geoprocessamento de dados, através do software ArcGIS Pro 2.8.3 (ESRI). Inicialmente, foram obtidas as curvas de nível equidistantes de 5 metros como base de dados topográficos da área de estudo (SEPLAN/DIGEO, 2018). Essas curvas de nível foram interpoladas através da ferramenta *Topo to Raster* para a obtenção de um Modelo Digital de Terreno (MDT), com resolução espacial de 5 metros.

Com base no MDT gerado, pôde ser extraído como produto o mapa de sombreamento (*hillshade*) do relevo, com diferentes iluminações de azimutes, que podem realçar as feições de lineamentos. Para este trabalho, foram interpretados os mapas de sombreamento com elevação solar de 45° para os azimutes 0°, 45°, 90° e 135°, sendo traçado os lineamentos em escala 1:30.000 nos fundos de vale, drenagens e demais feições demarcadas da região. Para a validação da existência das feições, foi consultado o levantamento aerofotogramétrico de 1998 da região em escala 1:30.000 (SEPLAN/DIGEO, 2018), utilizando a estereoscopia como fator decisório. Além disso, a localização de 532 poços tubulares cadastrados no Serviço Autônomo Municipal de Água

e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul foram utilizados como meio de validação, verificando se esses poços se encontram em um raio de influência de 300 metros dos lineamentos identificados.

Para automatizar a medição da direção do azimute dos lineamentos, foi adotada uma rotina em código *Python* (Tabela 1), através do modo avançado da ferramenta *Field Calculator* (modificada de uma rotina criada pelo próprio ESRI para extração de lineamentos) (ESRI, 2020), sendo aplicada em um campo criado na tabela de atributos do *shapfile* dos lineamentos. Além disso, os lineamentos através da mesma rotina foram classificados em 4 classes de azimute: N/S, E/W, NE/SW e NW/SE, cujos intervalos em graus foram definidos a partir de De Vargas et al. (2022).

Tabela 1. Rotina em código Python para extração automática dos azimutes dos lineamentos e definição da classe de azimute.

<p>Extração da direção do azimute dos lineamentos</p>	$90 - \text{math.degrees}(\text{math.atan2}((!END_Y! - !START_Y!), (!END_X! - !START_X!)))$
<p>Extração da classe de azimute em que o lineamento está contido.</p>	<pre>def quadrant(NorthAzimuth): if ((NorthAzimuth>=337,5) & (NorthAzimuth<22,5)): ((NorthAzimuth>=157,5) & (NorthAzimuth<202,5)): quad = "N/S" elif ((NorthAzimuth>=22,5) & (NorthAzimuth<67,5)): ((NorthAzimuth>=202,5) & (NorthAzimuth<247,5)): quad = "NE/SW" elif ((NorthAzimuth>=67,5) & (NorthAzimuth<112,5)): ((NorthAzimuth>=247,5) & (NorthAzimuth<292,5)): quad = "E/W" else: quad = "NW/SE" return quad quadrant (!Azimute!)</pre>

Fonte: modificado de ESRI (2020)

O mapa de densidade de lineamentos foi criado a partir da ferramenta *Line Density* no software *ArcGIS Pro 2.8.3*, que determina a densidade em unidades de comprimento por unidade de área (km/km²). De forma conceitual, a ferramenta desenha um círculo ao redor de cada célula da área utilizando um raio de valor arbitrário conforme a distribuição das feições e da área, sendo no caso deste estudo um raio de 1,6 km. A porção do comprimento de cada lineamento que está contida na área do círculo é somada e o total da soma é dividido pela área do círculo.

Posteriormente, com todas as variáveis determinadas, a tabela gerada com os dados foi exportada (formato *Excel*) para a realização de medidas estatísticas da população de lineamentos. Desse modo, foi possível expressar a contagem total e distribuição de comprimento dos lineamentos e em cada classe de direção. As frequências das classes de direção e o comprimento dos lineamentos foram analisados utilizando um diagrama de roseta a partir do software *Rockworks 20*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação do relevo sombreado, em conjunto com o auxílio de fotos aéreas, gerou um mapa composto por 1.128 lineamentos agrupados em 4 classes de direção distintas: N-S (11,3% dos lineamentos), NE-SW (27,4%), E-W (30,9%) e NW-SE (30,4%), conforme a Tabela 2. Seguindo

a classificação proposta por Tomasi e Roisenberg (2019), 62,9% dos lineamentos foram categorizados como pequenos (menor que 2 km), 26,6% como médios (entre 2 e 4 km) e 10,5% como grandes (maiores que 4 km). Quanto à validação dos lineamentos a partir dos poços tubulares, observou-se que 82,3% desses poços estão localizados no lineamento ou em raio de influência de até 300 metros da feição.

Tabela 2. Estatísticas dos lineamentos do município de Caxias do Sul, RS.

Classe	Intervalo (em graus)	População	Pequeno (< 2 km)	Médio (2 – 4 km)	Grande (> 4 km)	Média do comprimento (km)
N-S	337,5° – 22,5° ; 157,5° – 202,5°	128	94 (73,4%)	29 (22,7%)	5 (3,9%)	1,61
NE-SW	22,5° – 67,5° ; 202,5° – 247,5°	309	190 (61,5%)	85 (27,5%)	34 (11%)	2,05
E-W	67,5° – 112,5° ; 247,5° – 292,5°	348	200 (57,5%)	90 (25,9%)	58 (16,7%)	2,4
NW-SE	112,5° – 157,5° ; 292,5° – 337,5°	343	226 (65,9%)	96 (28%)	21 (6,1%)	1,87

O mapa gerado a partir da densidade de lineamentos é apresentado na Figura 2-I. Sobre a área de estudo obteve-se uma variação de densidade de 0 a 4,01 km/km², onde, pela discriminação proposta por Souza et al. (2022), foi separada 5 intervalos de classe (Tabela 3). Observa-se que as regiões de menor densidade estão localizadas nas extremidades do limite do município, enquanto alguns pontos isolados conferem uma maior densidade de lineamentos. Como observado por Souza et al. (2022), a inserção da densidade de lineamentos na composição de mapas de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea evidenciam um aumento significativo do risco para a área. Deste modo, ressaltando a importância dos lineamentos como meio de transporte para contaminantes ou como fator de influência na velocidade de fluxo subterrâneo, estes mapas tornam-se essenciais para o planejamento e gestão de Caxias do Sul.

Tabela 3. Distribuição em área das classes de densidade de lineamentos (Souza et al., 2022).

Intervalo de Densidade de Drenagem (km/km ²)	Área (km ²)	Área (%)
0 – 0,15	14,59	0,88
0,15 – 0,5	68,27	4,13
0,5 – 1	314,20	19,02
1 – 3	1242,81	75,22
3 – 4,01	12,43	0,75

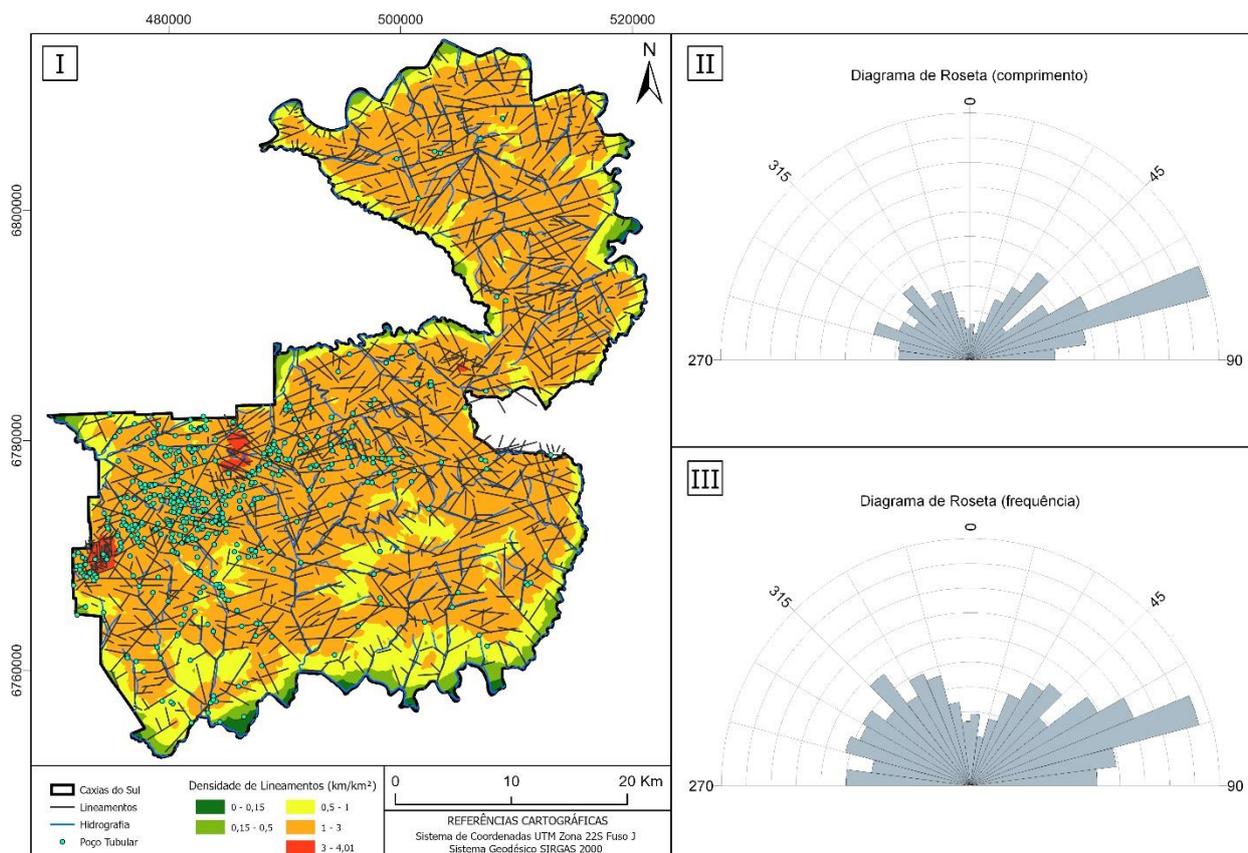
Em uma primeira análise, o mapa de lineamentos apresenta uma concordância significativa com trechos retilíneos da hidrografia de Caxias do Sul, feição esta que exibe com mais destaque os lineamentos estruturais, especialmente no levantamento aerofotogramétrico, sugerindo uma relação riacho-fenda (Feitosa et al., 2008). Há, portanto, uma semelhança notável entre a distribuição das estruturas com a hidrografia do município, em escala 1:250.000 (FEPAM, 2008). É possível observar áreas com alta densidade de lineamentos (Figura 2-I, em vermelho) próximo às regiões das bacias urbanas de captação Samuara, Dal Bó e Maestra, na região oeste do município, enquanto é possível observar uma área com menor densidade de lineamentos na região centro-sul do município.

Pelos diagramas de roseta dos lineamentos (Figuras 2-II e 2-III), é possível perceber que a distribuição da frequência dos traços por azimute é relativamente semelhante no que se refere à média do comprimento das feições. No que se refere ao número de lineamentos quanto à frequência (Figura 2-III), a distribuição é levemente heterogênea, com a ocorrência de lineamentos em todas

as direções em uma quantidade semelhante, com exceção de uma maior frequência de lineamentos no quadrante NE, especialmente entre os azimutes N60E e N75E, enquanto há uma menor quantidade de lineamentos na direção NS.

Ao observar o comprimento dos lineamentos no diagrama de roseta da Figura 2-II, verifica-se que há um padrão de uma maior relevância no quadrante NE, enquanto que na direção NS é menor. Entretanto, o grau de heterogeneidade é muito mais expressivo, com um destaque absoluto nos maiores comprimentos estando entre os azimutes N67,5E e N75E, enquanto os lineamentos na direção NS possuem tamanhos ínfimos.

Figura 2. Lineamentos e densidade de lineamentos da área de estudo. Em I, mapa com a localização dos lineamentos, dos poços tubulares e a distribuição espacial da densidade de lineamentos. Em II e III, diagramas de roseta mostrando o comprimento e frequência dos lineamentos, respectivamente.



5. CONCLUSÕES

Os dados obtidos a partir do sombreamento de relevo aliado ao uso de levantamentos aerofotogramétricos apresentam uma grande diversidade de direções de lineamentos estruturais. Enquanto o MDT gerado a partir das curvas de nível destaca estruturas mais profundas e demarcadas, o levantamento aerofotogramétrico, em uma escala maior, permite destacar lineamentos demarcados de forma mais rasa. Além disso, houve uma boa correlação entre as feições encontradas e seus métodos de validação, como os poços tubulares da região. Sendo assim, este mapa se encontra apto para uso em demais projetos que possam auxiliar no desenvolvimento e gestão ambiental de Caxias do Sul.

Algumas limitações do estudo se dão por parte da construção do Modelo Digital de Terreno a partir das curvas de nível em intervalos de 5 metros, cuja interpolação, por vezes, gera falsos lineamentos (feições retilíneas criadas por algum problema), mas que são descartados por conta de outros métodos de validação das feições. O uso de informações em maior escala permite um

resultado de maior qualidade e refinamento, e pesquisas futuras com uma base de dados mais precisa pode aprimorar os resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

- Bellieni, G., Comin-chiaramonti, P., Marques, L. S., Melfi, A. J., Nardy, A. J. R., Papatrechas, C., Piccirillo, E. M., Roisenberg, A., & Stolfa, D. (1986). Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the paraná plateau (Brazil): Geological, mineralogical and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, 27(4), 915–944. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.4.915>
- Betiollo, L. M. (2006). *Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica Dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral no Nordeste do Rio Grande Do Sul , Brasil*.
- Borsatto, S. (2011). *Contribuição ao estudo geológico-geotécnico da área urbana de Caxias do Sul - RS*. UFRGS.
- CPRM. (2008). *Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000*. http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf
- De Lima, E. F., Philipp, R. P., Rizzon, G. C., Waichel, B. L., & De Magalhães May Rossetti, L. (2012). Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). *Geologia USP - Serie Científica*, 12(2), 49–64. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000200004>
- De Vargas, T., Boff, F. E., Belladonna, R., Faccioni, L. F., REGINATO, P. A. R., & Carlos, F. S. (2022). Influence of geological discontinuities on the groundwater flow of the Serra Geral Fractured Aquifer System. *Groundwater for Sustainable Development, Em revisão*.
- Enoh, M. A., Okeke, F. I., & Okeke, U. C. (2021). Automatic lineaments mapping and extraction in relationship to natural hydrocarbon seepage in Uguweme, South-Eastern Nigeria. *Geodesy and Cartography (Vilnius)*, 47(1), 34–44. <https://doi.org/10.3846/gac.2021.12099>
- ESRI. (2020). *How To: Batch calculate line direction using the Field Calculator*. <https://support.esri.com/en/technical-article/000015375>
- ESRI. (2021). *ArcGIS Pro (2.8.3)*. Environmental Systems Research Institute.
- Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J., Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. A. (2008). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. In *CPRM-Serviço Geológico do Brasil (3rd ed., Issue 3)*. LABHID.
- FEPAM. (2008). *BIBLIOTECA DIGITAL - Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000*. http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp
- Fernandes, A. J., Maldaner, C. H., & Rouleau, A. (2011). Análise das Fraturas nos Basaltos de Ribeirão Preto, SP: Aplicação à Elaboração de Modelo Hidrogeológico Conceitual. *Geologia USP - Serie Científica*, 11(3), 43–64. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2011000300003>
- Fiume, B. (2013). *Geologia estrutural de detlahe para elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: estudo de caso em Juruatuba, SP*. Universidade de São Paulo.
- Godoy, M. M., Binotto, R. B., & Wildner, W. (2012). Geoparque Caminho dos Cânions do Sul (RS/SC): proposta. *Geoparques Do Brasil: Propostas*, 457–492. <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17168%0Ahttp://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17168>
- Hung, L. Q., Batelaan, O., & De Smedt, F. (2005). Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V*, 5983, 59830T. <https://doi.org/10.1117/12.627699>
- IBGE. (2021). *IBGE | Cidades@ | Rio Grande do Sul | Caxias do Sul | Pesquisa | Censo | Sinopse*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/caxias-do-sul/panorama>

- Jenifer, M. A., & Jha, M. K. (2018a). Comparative evaluation of GIS-based models for mapping aquifer vulnerability in hard-rock terrains. *Environmental Earth Sciences*, 77(19), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7821-8>
- Jenifer, M. A., & Jha, M. K. (2018b). Comprehensive risk assessment of groundwater contamination in a weathered hard-rock aquifer system of India. *Journal of Cleaner Production*, 201, 853–868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.005>
- Lisboa, N. A., Remus, M. V. D., Dani, N., Castro, J. W., & Neto, F. T. (2003). *Estudo geológico e hidrogeológico para o aproveitamento de água do Aquífero Guarani no município de Caxias do Sul. Relatório técnico.*
- Nag, S. K., & Chowdhury, P. (2019). Decipherment of potential zones for groundwater occurrence: a study in Khatra Block, Bankura District, West Bengal, using geospatial techniques. *Environmental Earth Sciences*, 78(2), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8034-x>
- Nummer, A. R., Machado, R., & Jacques, P. D. (2014). Tectônica transcorrente mesozoica/cenozoica na porção leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas Em Geociências*, 41(2), 121. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78078>
- O’Leary, D. W., Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463–1469. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<1463](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<1463)
- Reginato, P. A. R., & Strieder, J. A. (2006). Integration of geologic data in the prospection of fractured aquifer at the Serra Geral Formation. *Águas Subterrâneas*, 20(1), 1–14. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/9713/6701>
- Roisenberg, A., & Viero, A. P. O. (2000). Vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In M. Holz & F. De Ros (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul* (pp. 355–374). CIGO/UFRGS.
- SEPLAN/DIGEO. (2018). *Mapa digital GeoCaxias - Prefeitura de Caxias do Sul.* <https://geopublico.caxias.rs.gov.br/geocaxias/map?config=src/webgis/config/map/config-mapoteca.xml>
- Soares, A. P., Soares, P. C., Bettú, D. F., & Holz, M. (2007). Compartimentação estrutural da bacia do paraná: A questão dos lineamentos e sua influência na distribui o do Sistema Aquifero Guarani. *Geociencias*, 26(4), 297–311.
- Soe, M., Won-In, K., Takashima, I., & Charusiri, P. (2007). Relationship between Lineament Density Extraction from Satellite Image and Earthquake Distribution of Taungtonelone Area, Myanmar. *Proceedings of the CEReS International Symposium = CEReS 国際シンポジウム資料集*, 13, 53–59.
- Souza, M. E. R. de, Vargas, T. de, & Belladonna, R. (2022). Assessment of the vulnerability to contamination of fractured aquifers based on DRASTIC method : the influence of the lineament density Vulnerabilidade   contamina o de aquiferos fraturados com base no método DRASTIC : a influência da densidade de line. * guas Subterrâneas*, 35(3), 1–10. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30086>
- Tomasi, L. C., & Roisenberg, A. (2019). Contexto Hidrogeológico e sua Relac o com a Tect nica do Sistema Aquifero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí , RS. *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42, 40–49.
- Verdiansyah, O. (2019). A desktop study to determine mineralization using lineament density analysis at Kulon Progo Mountains, Yogyakarta and central Java province, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 51(1), 31–41. <https://doi.org/10.22146/ijg.37442>
- Vidal, A. C., Rostirolla, S. P., Kiang, C. H., & Martini, M. L. (2006). Estudo Da Relac o Entre Lineamentos Estruturais E a Explorac o De  gua Subterrânea Por Meio Da Análise De Favorabilidade. * guas Subterrâneas*, 20(2), 27–38. <https://doi.org/10.14295/ras.v20i2.10436>
- Zalán, P. V., Wolff, S., Concei o, J. C., Marques, A., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., & Appi, V. T. (1990). Bacia do Paraná. In *Origem e Evolu o das Bacias Sedimentares* (2nd ed., pp. 135–

164). PETROBRAS.