

Uso dos atributos sísmicos na análise da morfologia e das superfícies basal e de topo em depósitos de transporte em massa

Vanessa da Silva Reis Assis¹, Barbara Trzaskos², Giovana Rebelo Diório¹. ¹Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, ²Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.

Copyright 2022, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Curitiba, 04 a 06 de outubro de 2022. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IX SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Os depósitos de transporte em massa ou MTDs (*mass-transport deposits*) têm grande importância no registro sedimentológico e para realizar a análise dos estratos que ocorrem em subsuperfície é necessário utilizar métodos indiretos como a sísmica, por exemplo. Mas mesmo como o avanço dos estudos nesse domínio, os atributos sísmicos ainda são pouco utilizados para realizar a caracterização de MTDs de forma completa, considerando todos os critérios que podem ser observados com o dado sísmico. Dessa forma, propõe-se a utilização de uma variedade de atributos sísmicos para a análise de algumas características específicas dos depósitos de transporte em massa em volume sísmico.

Introdução

Os MTDs são resultado da ressedimentação provocada por deslizamentos, escorregamentos e fluxos de detritos (D'Avila *et al.* 2008), de forma que a transição de um fluxo para o outro ocorre de forma gradual (Dasgupta 2003). Os movimentos de massa podem ser provocados por diferentes gatilhos (e.g. sobrecarga, pressão hidráulica e terremotos) e são mecanismos dominantes de mobilização, transporte e deposição (Dott 1963, Nardin *et al.* 1979). Além disso, são processos geológicos de grande relevância que ocorrem tanto em ambientes aéreos quanto subaquosos (Martinsen 1994), sendo que, para a análise de MTDs submarinos, a sísmica de reflexão é o método mais aplicado, tanto 2D quanto 3D (e.g. Joanne *et al.* 2013, Biancardi *et al.* 2020). A maior vantagem do estudo dos MTDs em sísmica 3D é poder executar de forma completa a análise volumétrica e geométrica, tanto dos elementos externos quanto internos, em áreas extensas (Bull & Cartwright 2010). Os atributos sísmicos consistem das informações obtidas a partir do dado sísmico que quantificam características específicas do dado, com o objetivo de capturar maior quantidade de informações, podendo ser gerados por medidas diretas ou de forma lógica (Barnes 2001, Taner 2001). Os atributos começaram a ser empregados na década de 1960 com foco na indústria do petróleo (Barnes 1999), no entanto, eles também são utilizados no estudo de algumas características de MTDs submarinos (e.g. Frey-Martínez 2010, Bhatnagar *et al.* 2019), mas essa aplicação é feita de forma pontual e poucos atributos são utilizados. Le Buteiller *et al.* (2019) definem as características de um MTD que podem ser interpretadas a partir da sísmica. Os autores utilizaram 38

descritores, os quais são subdivididos em sete propriedades: morfologia, superfície basal, superfície de topo, posição, escarpa, distribuição interna de fácies e ambiente global. A partir das características que podem ser observadas na sísmica, foi proposta a aplicação de diferentes atributos sísmicos, tais como: isócronas, *dip*, curvatura, fratura, RMS amplitude, decomposição espectral, energia, similaridade e semelhança, na interpretação da morfologia e das superfícies basal e de topo em dois MTDs, para identificar quais atributos são mais adequados em cada tipo de análise.

Metodologia/ Problema Investigado

Para a realização deste trabalho foi utilizado parte do volume sísmico BS-500 situado na porção norte da Bacia de Santos, à cerca de 130 km da cidade do Rio de Janeiro e com área de 1051,46 km² (Figura 1), no qual foi feita a análise de dois MTDs, um raso (A) e outro profundo (B) utilizando o *software* OpendTect Pro. A metodologia pode ser dividida em duas partes principais. Primeiramente, foram interpretadas as superfícies basal e de topo nos dois MTDs. Em seguida, foram aplicados os atributos nos horizontes, *in-lines*, *cross-lines* e *z-slices*, para investigar os descritores das três propriedades analisadas neste estudo.

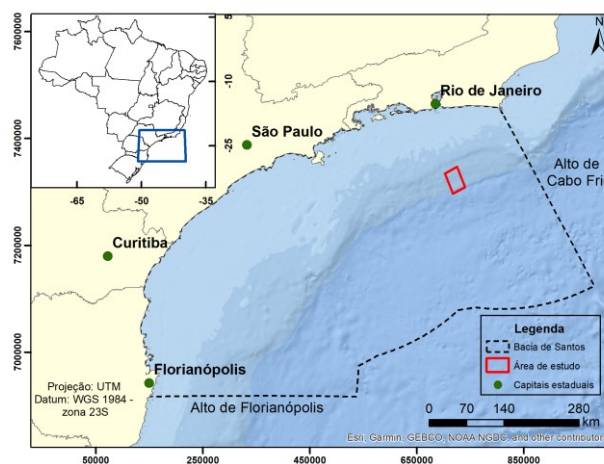


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Como alguns dos atributos utilizados podem gerar *outputs* distintos de acordo com o *input* empregado (e.g. *dip*, curvatura, fratura, decomposição espectral, similaridade e semelhança), foram testadas diferentes variações de um mesmo atributo na análise dos descritores. Para descrição dessas três propriedades

foram utilizados vinte critérios, sendo nove relacionados à morfologia (variação de espessura, espessura média, variação de largura, razão de aspecto horizontal, volume, área superficial, máximo comprimento horizontal, direção principal e presença de línguas na região distal), oito relacionados à superfície basal (declive médio, *BS flat-horizontal zone*, indicadores de *plunging poll*, múltiplos terraços/blocos remanescentes, rampas, presença de feições erosivas ou deformacionais, paredes laterais erosivas e amplitude da superfície basal) e três à superfície de topo (declive médio, presença de turbiditos no topo e presença de rampas ou cumes). Vale ressaltar que, nem todos os descritores foram analisados nos dois MTDs, devido à ausência das feições necessárias. Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises que utilizaram os atributos sísmicos.

Resultados

No que se refere à morfologia, apenas a variação de espessura e a espessura média foram interpretadas com a aplicação algum atributo sísmico. Já nas superfícies basal e de topo os atributos não foram utilizados na análise dos seguintes descritores: *BS flat-horizontal zone*, indicadores de *plunging poll*, múltiplos terraços/blocos remanescentes e presença de turbiditos no topo. O quadro 1 apresenta os atributos utilizados na interpretação de cada um dos descritores. A espessura do MTD A varia de 0,0005 a 194,5374 ms, com predomínio de valores até 71,6395 ms, e o MTD B tem espessura variando de 0,4308 a 153,2941 ms, com predomínio de valores até 50 ms (Figura 2). Na base do MTD A ocorrem diversas rampas (perpendiculares e paralelas à direção de fluxo), sendo algumas delas relacionadas à presença de terraços e blocos remanescentes, enquanto que no MTD B só foram identificadas duas rampas perpendiculares à translação (Figura 3). A base do MTD A possui declividade variando de 0 a 169,3074 $\mu\text{s/m}$ (range predominante entre 7,81025 a 91,7823 $\mu\text{s/m}$) e mergulha, predominantemente para SE, com exceção da porção distal onde a presença de uma depressão provoca mergulhos para NW. Já no MTD B, a declividade da base varia de 0 a 149,0537 $\mu\text{s/m}$ (range predominante de 5,09902 a 91,7823 $\mu\text{s/m}$) e ela mergulha, predominantemente, para SE (Figura 4). Também, na superfície basal do MTD A foram identificados sulcos, uma estria e uma feição perpendicular ao fluxo, a qual foi identificada como estrutura deformacional (Figura 5). Relacionadas às paredes laterais erosivas do MTD A, ocorrem falhas de empurrão nas *cross-lines*, que provocam a geração de feições nos *z-slices* identificadas com o auxílio dos atributos. A amplitude da superfície basal do MTD A é intermediária e o MTD B apresenta amplitude predominantemente alta, ambas com polaridade negativa. Por fim, na superfície de topo, a declividade do topo do MTD A varia de 0 a 121,5936 $\mu\text{s/m}$ (range predominante entre 5 a 60,8769 $\mu\text{s/m}$), no MTD B ela varia de 0 a 148,0304 $\mu\text{s/m}$ (range predominante de 5 a 85 $\mu\text{s/m}$). A direção de mergulho principal, nas duas superfícies é para SE, havendo algumas pequenas variações em cada caso (Figura 6). No topo do MTD A há tanto rampas laterais quanto perpendiculares ao fluxo,

além da ocorrência de um cume na porção distal. Já o topo do MTD B é muito irregular, com a presença de algumas rampas, principalmente, perpendiculares e contra a direção de fluxo, e com a ocorrência de vários cumes, sobretudo na porção proximal (Figura 7).

Discussão e Conclusões

Dentre as propriedades investigadas neste estudo, nove foram interpretados com o auxílio dos atributos, sendo que em cinco delas o uso foi indispensável (variação de espessura, espessura média, declive médio da superfície basal, amplitude da superfície basal e declive médio da superfície de topo). No que se refere aos diversos *outputs* gerados a partir de um mesmo atributo, os dois atributos criados a partir do *dip* (*polar dip* e *azimute*) foram utilizados. Na decomposição espectral, foi possível identificar as rampas e cumes na base e no topo dos MTDs com as várias combinações de frequência testadas com um mesmo tipo de transformação e onduleta, dessa forma não foi escolhido um *output* específico para ser utilizado. Com relação à curvatura, alguns dos *outputs* não foram utilizados por apresentarem resultados semelhantes ou não tão bons quanto outros, além disso os atributos que tiveram como base dados mais detalhados (*detailed steering* - identificados pelo número 2 no quadro 1) foram mais empregados. Em relação à fratura, o atributo empregado também teve como base dados de maior detalhe. Por fim, o *output* de similaridade e os dois de semelhança (5.3 e 7.3) utilizados foram os que geraram os melhores resultados, sendo estes criados com a respectiva combinação dos *inputs* extensão e *steering: cross* e *full*, *cross* e *full*, *diagonal* e *full*. Dessa forma, observa-se que a aplicação dos atributos sísmicos é de grande importância para a análise de depósitos de transporte em massa no dado sísmico para as propriedades estudadas, mesmo que eles não tenham sido empregados em todos os descritores. Vale ressaltar que, para interpretar as rampas e as feições erosivas ou deformacionais não foi necessário utilizar todos os atributos listados, mas a partir deles era possível realizar a análise. Além disso, destaca-se a importância de gerar os *outputs* de acordo com o dado sísmico disponível e a característica estudada.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e à Petrobras pelas bolsas concedidas. Agradecemos também ao PPG-Geologia da UFPR pela oportunidade de realizar a pesquisa e ao Laboratório de Análise de Bacias (LABAP) pelo suporte. À ANP pela disponibilização dos dados e à dGB Earth Sciences pela liberação do software Opendtect Pro. BT é pesquisadora CNPq (PQ 306780/2019-4).

Referências

- Barnes A.E. 1999. Seismic attributes past, present, and future. SEG Technical Program Expanded Abstracts, p. 882-895. doi: <https://doi.org/10.1190/1.1821230>
- Barnes A.E. 2001. Seismic attributes in your facies. CSEG Recorder, 26(7):41-47.

Biancardi C.A., Alves T.M., Martins-Ferreira Marco.Antonio.Caç. 2020. Unpredictable geometry and depositional stacking patterns of mass-transport complexes in salt minibasins. *Marine and Petroleum Geology*, 120:104522. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104522>

Bhatnagar P., Verma S., Bianco R. 2019. Characterization of mass transport deposits using seismic attributes: Uper Leonard Formation, Permian Basin. *Interpretation*, 7(4):SK19-SK32. doi: <https://doi.org/10.1190/INT-2019-0036.1>

Bull S. & Cartwright J. 2010. Small-Scale into Seismic-Scale Slumps: A comparison of Slump Features from the Waitemata Basin, New Zealand, and the Møre Basin, Off-Shore Norway In: Mosher D.C., Shipp C., Moscardelli L., Chaytor J., Baxter C, Lee H., Urgeles R. (eds.) *Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, v. 28, Dordrecht, Springer, p. 257-266. doi: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3071-9_21

Dasgupta P. 2003. Sediment gravity flow – the conceptual problems. *Earth-Science Reviews*, 62:265-281. doi: [http://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00160-5](http://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00160-5)

D'Avila R.S.F. et al. 2008. Ambientes de água profundas In: da Silva J.C.L., de Aragão M.A.N.F., Magalhães A.J.C. (org.) *Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil*. São Paulo, Beca, p. 244-301.

Dott R.H. 1963. Dynamics of subaqueous gravity depositional processes. *AAPG Bulletin*, 47(1):104-128. doi: <https://doi.org/10.1306/BC743973-16BE-11D7-8645000102C1865D>

Frey-Martínez J. 2010. 3D Seismic Interpretation of Mass Transport Deposits: Implications for Basin Analysis and Geohazard Evaluation In: Mosher D.C. *et al.* (eds.) *Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol 28. Dordrecht, Springer, p. 553-568. doi: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3071-9_45

Joanne C., Lamarche G., Collot J.-Y. 2013. Dynamics of giant mass transport in deep submarine environments: the Matakaoa Debris Flow, New Zealand. *Basin Research*, 25:1-18. doi: <http://doi.org/10.1111/bre.12006>

Le Bouteiller P., Lafuerza S., Charléty J., Reis A.T., Granjeon D., Delprat-Jannaud F., Gorini C. 2019. A new conceptual methodology for interpretation of mass transport processes from seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, 103:438-455. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.12.027>

Martinsen O.J. 1994. Mass movements In: Maltman A (eds.) *The Geological Deformation of Sediments*. Dordrecht, Springer, p. 127-165. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-011-0731-0_5

Nardin T.R., Hein F.J., Gorsline D.S., Edwards B.D. 1979. A Review of Mass Movement Processes, Sediment and Acoustic Characteristics, and Contrasts in Slope and Base-of-Slope Systems Versus Canyon-fan-Basin Floor Systems In: Doyle L.J. & Pilkey O.H. (eds.) *Geology of Continental slopes*. SEPM Society for Sedimentary Geology, p. 61-73. doi: <https://doi.org/10.2110/pec.79.27.0061>

Taner M.T. 2001. Seismic attributes. *CSEG Recorder*, 27(7):48-56.

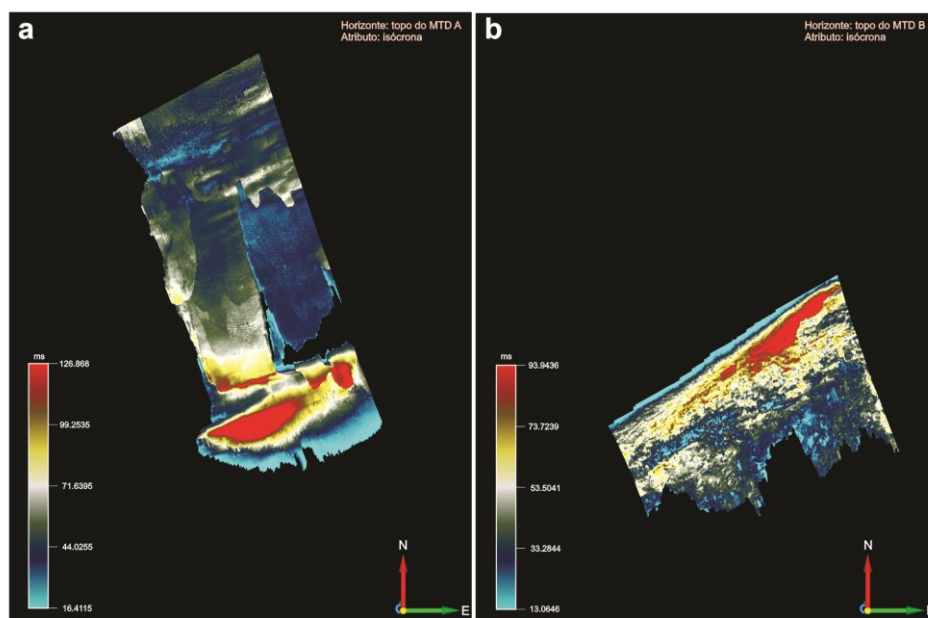


Figura 2 – Visualização da espessura dos MTDs A (a) e B (b) com o atributo isócrona.

Quadro 1 – Relação dos atributos utilizados na análise de cada descritor.

Propriedade	Descritor	Atributos utilizados	
		MTD A	MTD B
Morfologia	Variação de espessura	Isócrona	Isócrona
	Espessura média	Isócrona	Isócrona
Superfície basal	Rampas	<i>Maximum curvature; maximum curvature 2; most positive curvature; most positive curvature 2; gaussian curvature 2; strike curvature; strike curvature 2; contour curvature; contour curvature 2; curvedness 2; decomposição espectral, semelhança 7.3 + maximum curvature (50% de transparência); similaridade</i>	<i>Maximum curvature; maximum curvature 2; most positive curvature; most positive curvature 2; dip curvature; dip curvature 2; strike curvature 2; contour curvature 2; curvedness 2; gaussian curvature 2; fracture proximity 2; energia; RMS amplitude; decomposição espectral</i>
	Declive médio	<i>Polar dip e azimute</i>	<i>Polar dip e azimute</i>
	Presença de feições erosivas ou deformacionais	Sulco: <i>polar dip, most negative curvature 2, shape index 2 e strike curvature 2;</i> Estria: <i>contour curvature, curvedness, strike curvature, strike curvature 2, most negative curvature, most positive curvature 2, dip curvature 2, shape index 2, maximum curvature 2, semelhança 7.3, similaridade;</i> Estrutura deformacional: <i>polar dip; dip curvature 2</i>	Não observado
	Paredes laterais erosivas	Similaridade; semelhança (5.3)	Não analisado
	Amplitude da superfície basal	RMS amplitude	RMS amplitude
Superfície de topo	Declive médio	<i>Polar dip e azimute</i>	<i>Polar dip e azimute</i>
	Presença de rampas ou cumes	Decomposição espectral	<i>Maximum curvature 2, most positive curvature 2 e decomposição espectral</i>

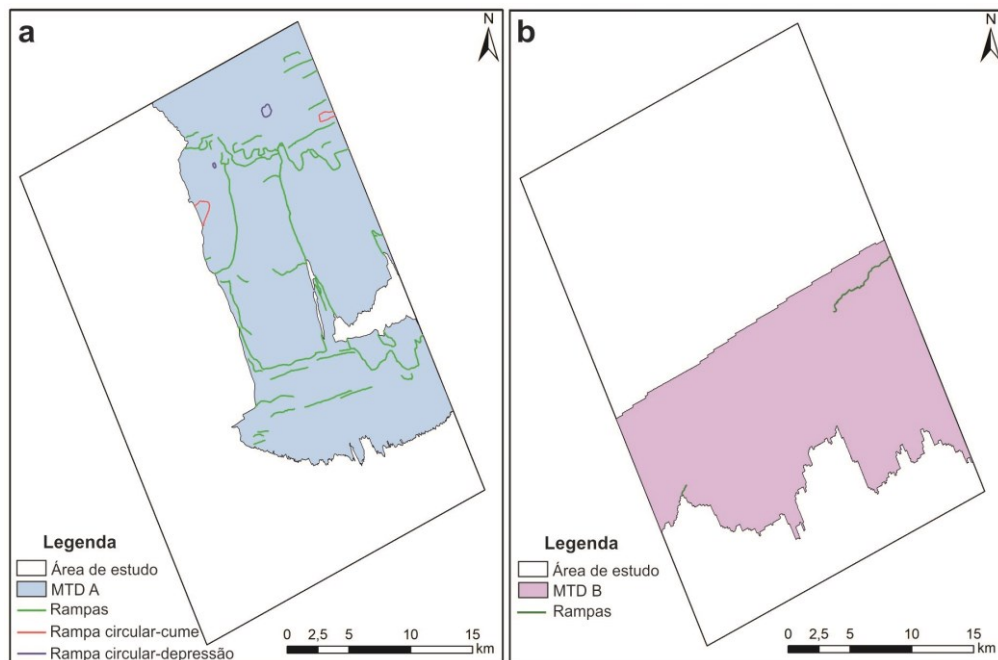


Figura 3 – Localização das rampas interpretadas na base dos MTDs A (a) e B (b).

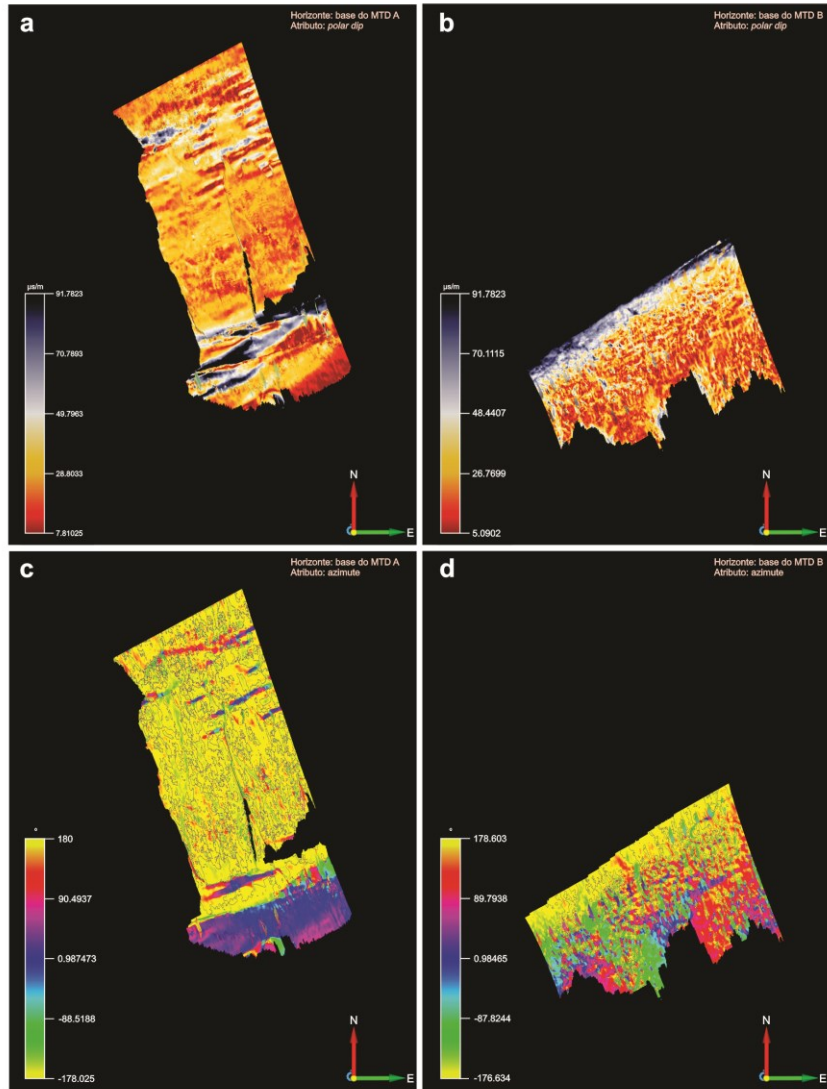


Figura 4 – Visualização do declive médio da superfície basal, com a aplicação do atributo polar dip no MTD A (a) e no MTD B (b) e do atributo azimute no MTD A (c) e no MTD B (d).

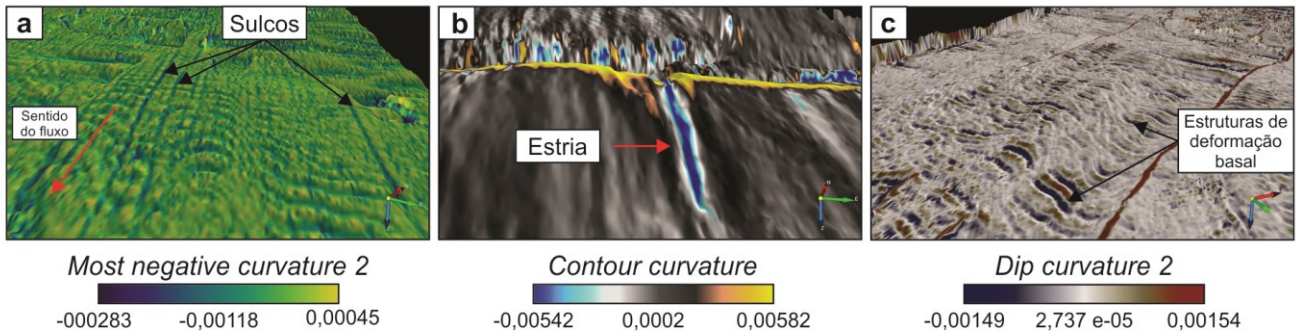


Figura 5 – Visualização das estruturas identificadas na base do MTD A: (a) sulcos, com o atributo most negative curvature 2; (b) estria, com o atributo contour curvature; (c) estruturas deformacionais, com o atributo dip curvature 2.

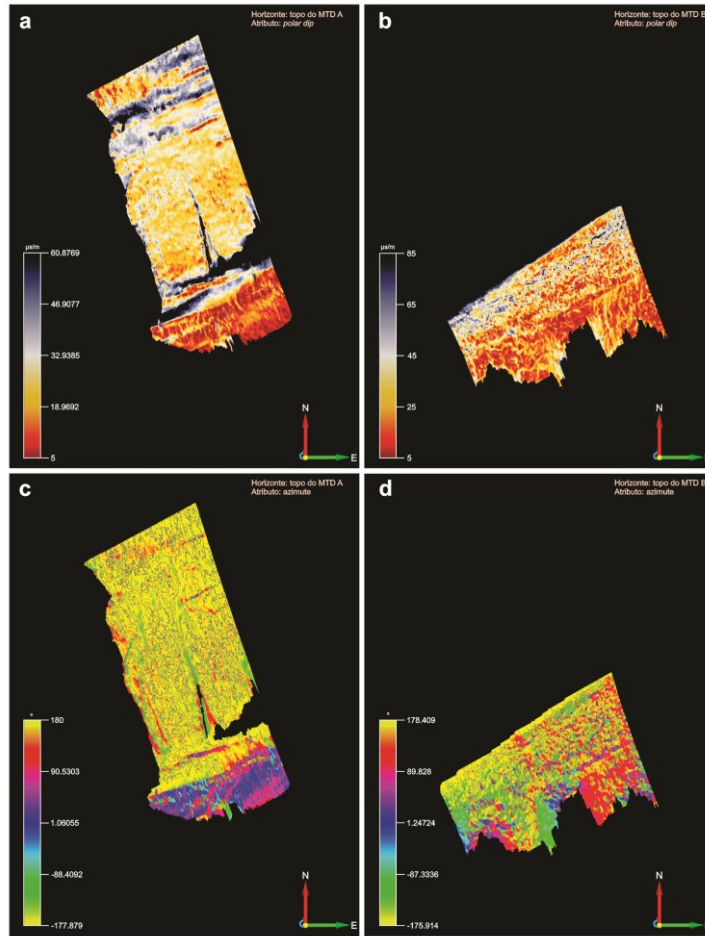


Figura 6 – Visualização do declive médio da superfície de topo, com a aplicação do atributo polar dip no MTD A (a) e no MTD B (b) e do atributo azimute no MTD A (c) e no MTD B (d).

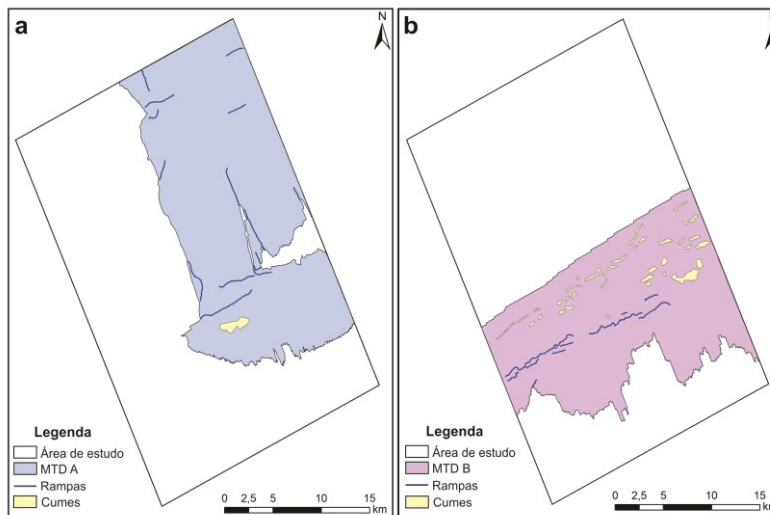


Figura 7 – Localização das rampas e cumes interpretados da superfície de topo dos MTDs A (a) e B (b).