

APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO USO DE ALGORITMOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL NO APLICATIVO SURFER® EM PERFIS ATMOSFÉRICOS SUBTERRÂNEOS

APPLICATIONS AND LIMITATIONS OF THE USE OF SPATIAL INTERPOLATION ALGORITHMS ON SURFER® SOFTWARE IN PROFILES OF THE CAVE ATMOSPHERE

Heros Augusto Santos Lobo

Seção de Espeleoturismo – Sociedade Brasileira de Espeleologia (SeTur/SBE).
União Paulista de Espeleologia (UPE).

Contatos: heroslobo@hotmail.com.

Resumo

Os estudos espeleoclimáticos devem ser conduzidos considerando a complexidade espacial das cavernas e variabilidade espaço-temporal da atmosfera. Nesse contexto, o presente trabalho demonstra aplicações usuais e problemas práticos do uso de algoritmos de interpolação na análise geoestatística de dados atmosféricos subterrâneos, em função da complexidade espacial das cavernas.

Palavras-Chave: Espeleoclima; Geoestatística; Microclima; Perfil atmosférico.

Abstract

Speleoclimatic studies have to be conducted considering the spatial complexity of caves and the space-time variability of the atmosphere. In this context, this paper shows some usual applications and also practical problems of the use of interpolation algorithms in geostatistical analysis of data of cave atmosphere, in function of the spatial complexity of the caves.

Key-words: *Speleoclimate; Geostatistic; Microclimate; Atmospheric profile.*

1. INTRODUÇÃO

Os estudos espeleoclimáticos ainda são pouco aprofundados no Brasil, com a maioria dos trabalhos com enfoque pontual no espaço e baixa extensão temporal (LOBO, 2010a). Embora o monitoramento em longo prazo seja uma técnica mais adequada para o conhecimento da dinâmica da atmosfera de uma caverna (CIGNA, 2002), diversos estudos no Brasil e no mundo têm utilizado os perfis atmosféricos espaço-temporais para a obtenção de respostas pontuais sobre determinado aspecto do espeleoclima, para a determinação de padrões sazonais – desde que sejam feitos com maior periodicidade, como nos trabalhos de Fernández-Cortés et al., (2006) e Milanolo; Gabrovsek (2009), por exemplo – ou para a identificação de impactos de origem antrópica, como em Fernández-Cortés et al., (2006), Lobo et al., (2009) e Lobo; Zago (2010).

Visando contribuir com esta linha de estudos, o presente artigo ilustra, por meio de pesquisas secundárias, algumas aplicações para os perfis atmosféricos espaço-temporais, bem como evidencia os principais problemas identificados no uso desta técnica em cavernas com alta complexidade espacial.

2. MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram considerados dados coletados em três cavernas brasileiras, a lapa do Penhasco, localizada em Buritinópolis, GO, e as cavernas Santana e Morro Preto, localizadas no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, em Iporanga, SP. Nestas cavernas foram feitas coletas de dados para a caracterização de aspectos diversos da atmosfera subterrânea, como o estudo de um evento musical na caverna Morro Preto (LOBO et al., 2009), de impactos do uso de carbureteiras na lapa do Penhasco (LOBO; ZAGO, 2010) e de estudos de capacidade de carga na caverna Santana, com resultados parciais publicados em Lobo et al. (2009). Embora apontem resultados totalmente distintos entre si em função de seus objetivos, o ponto em comum entre estes trabalhos foi a criação de redes de monitoramento atmosférico. Na lapa do Penhasco e na caverna Morro Preto, foram utilizados dados de uma rede de pontos fixos de monitoramento, variável entre 8 e 9 estações, distribuídos espacialmente de forma heterogênea. Na caverna Santana foram utilizados os dados de perfis atmosféricos, a exemplo do trabalho de Fernández-Cortés et al. (2006).

A perfilagem atmosférica – bem como o monitoramento em redes complexas com diversos pontos de registro de dados – permite a geoespacialização dos resultados, por meio de procedimentos de interpolação de dados, gerando com isto um episódio espacialmente delimitado e temporalmente variável. A variação temporal depende tanto do tempo de coleta de cada variável quanto da quantidade de pontos pré-estabelecidos. No caso da caverna Santana, foram estabelecidos 75 pontos de coleta, considerando as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, CO₂ e pressão atmosférica. Com estas características, a realização de cada perfil na caverna de Santana durou aproximadamente 8h.

A partir dos dados coletados, foram elaborados mapas de isolinhas e isoáreas, suavizadas para os gradientes de variação entre ambiente externo e interno das cavernas. Considerando a irregularidade da distribuição dos pontos de coleta sugerida por Landim (2003), optou-se pela construção de um reticulado (*grid*) para a modelagem das isoáreas e isolinhas, por meio de dois algoritmos de interpolação de dados: a triangulação linear e as superfícies de tendência. A triangulação linear, embora não forneça resultados com curvas suaves, é recomendada quando o enfoque das análises se localiza no trecho interpolado pelos pontos com os valores absolutos (LANDIM, 2003). Por sua vez, as superfícies de tendência são procedimentos que permitem tanto a interpolação quanto a extrapolação dos dados. Neste caso, o reticulado foi processado por regressão polinomial, buscando um ajuste à superfície de maior grau possível (LANDIM; CORSI, 2001). No caso das cavidades lapa do Penhasco e caverna Morro Preto, o melhor ajuste foi obtido com as superfícies de 3º grau (cúbica), enquanto que na caverna Santana o melhor resultado foi com as superfícies de 2º grau (quadrática). Estes procedimentos foram executados com uso do aplicativo *Surfer*®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte dos resultados destes diversos estudos são apresentados nas figuras 1 à 3. Para ilustrar os cuidados necessários na aplicação dos algoritmos de interpolação espacial, foi dado enfoque nos resultados de temperatura do ar.

Nas figuras 1 e 2 são expostos resultados de perfis atmosféricos espaço-temporais de cavernas que se constituem grosseiramente em salões únicos

– ao menos nos trechos analisados –, de forma a não gerarem barreiras físicas para a interpolação dos dados utilizados. Desta forma, as interações realizadas pelos algoritmos de interpolação entre os pontos (1x2, 1x3, 1x4, 1xn...) representam situações plausíveis, dadas as possibilidades de interconexão espacial entre estes pontos. Situações com resultados semelhantes foram obtidas no trabalho de Fernández-Cortés et al., (2006) no sistema Covadura, Espanha. Os autores evidenciam ainda que tais tipos de mapas são bastante usuais para a visualização de impactos antrópicos, tal como observado no trabalho de Lobo; Zago (2010), com resultados parciais ilustrados na Figura 2.

Todavia, a Figura 3 ilustra uma situação mais complexa, de uma caverna com galerias mais confinadas e até mesmo sobrepostas. Neste caso, o uso dos dados em sua forma original gera distorções, pois os valores de um salão podem interferir estatisticamente nos valores de outro salão, que está níveis de galeria abaixo ou acima deste primeiro, mas especialmente próximo à ele em um plano bidimensional. Estes problemas são demonstrados de forma mais evidente na Figura 4.

A solução encontrada foi a separação dos dados por níveis de galerias, resultando em perfis atmosféricos mais condizentes com a realidade espacial da caverna (Figura 5).

A adoção desta prática requer cuidados que devem se iniciar nos procedimentos de coleta, que precisam ser dimensionados adequadamente para esta realidade. Landim (2003) ressalta que a interpolação de dados por meio de algoritmos em aplicativos como o *Surfer*® apresenta melhores resultados quando do uso de, no mínimo, dez pontos de coleta. Este valor deverá então ser multiplicado pelo total de níveis ou salões que se deseja representar, sem que os dados de um interfiram diretamente no outro.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que para cavernas com salões ou condutos contínuos, os dados podem ser utilizados a partir da rede de coleta original, em função dos objetivos de cada estudo espeleoclimático. Por sua vez, as cavernas com maior complexidade espacial, com diversos salões interconectados ou níveis distintos de galerias, devem ter seus perfis atmosféricos feitos por trechos separados, de forma que os dados de um trecho da caverna não interfiram estatisticamente em outro, distorcendo os resultados finais.

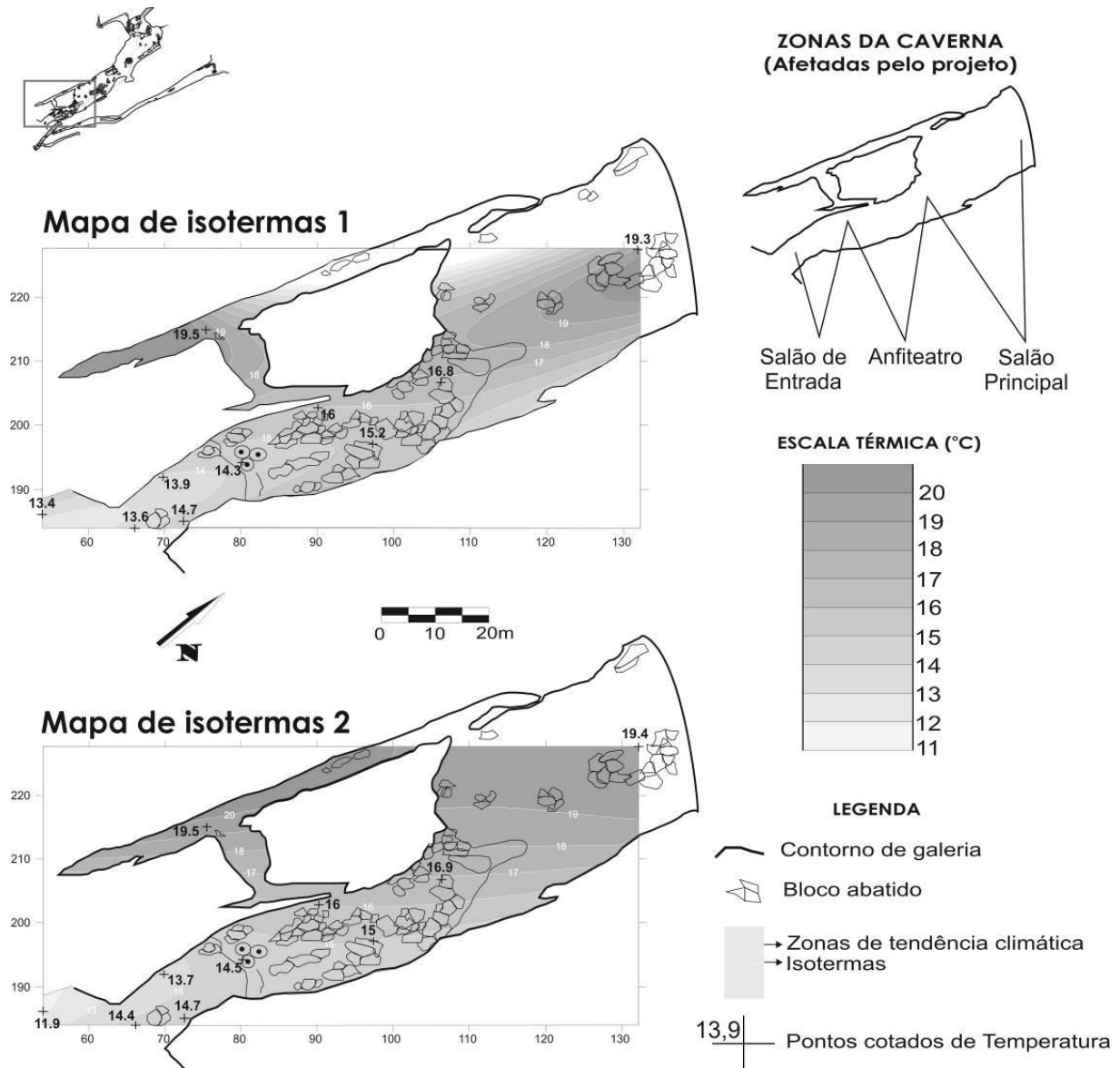


Figura 1. Superfícies cúbicas de tendência para o microclima da caverna Morro Preto, a qual se constitui em amplo salão. Elaborada por Lobo et al., (2009) sob planta de GEGEO (1998).

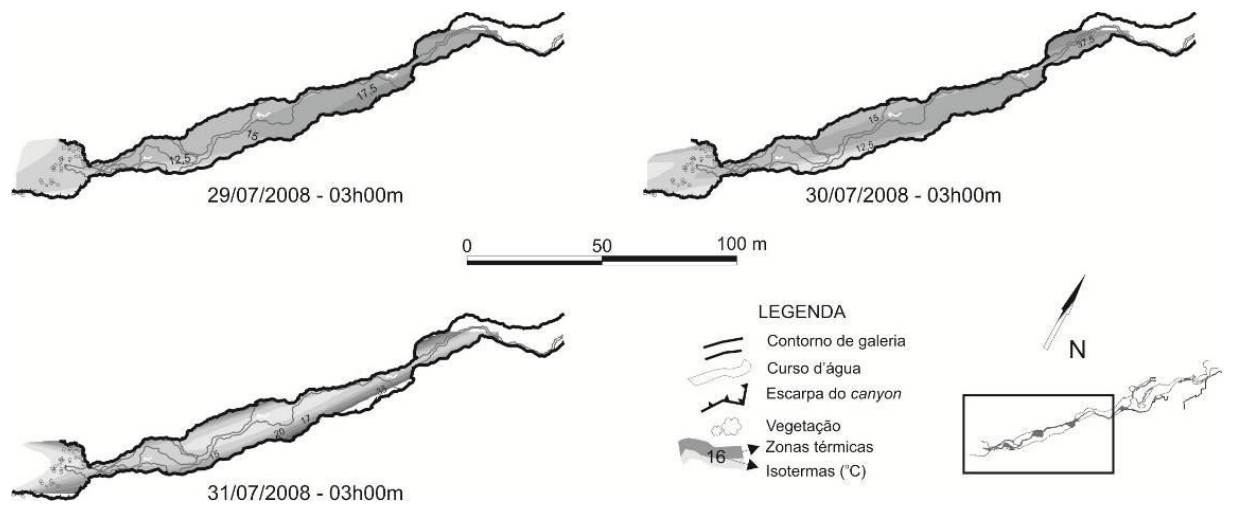


Figura 2. Planta baixa com superfícies cúbicas de tendência por regressão polinomial para a T em três episódios na lapa do Penhasco, outra cavidade com amplo salão. Elaborado por Lobo; Zago (2010). Mapa base: GREGO (1998).

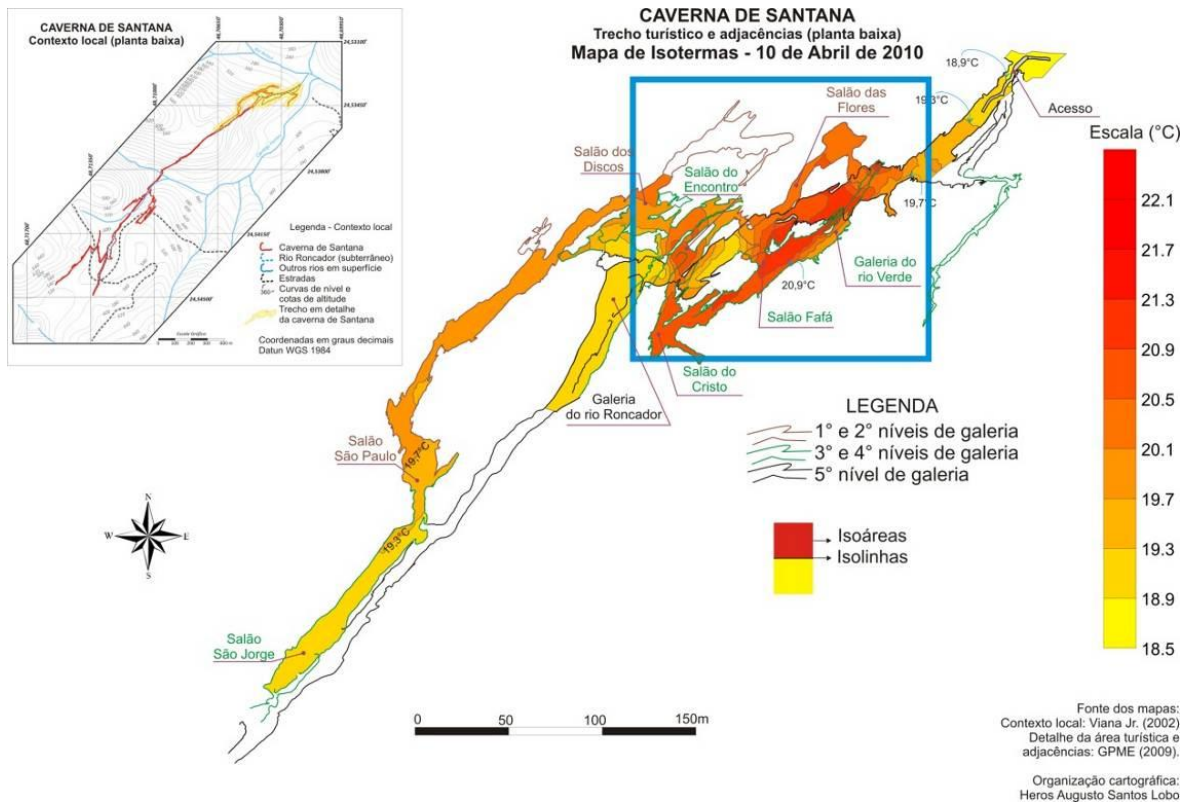


Figura 3. Planta baixa com perfil por triangulação da caverna Santana, sem separar os dados por trechos da caverna. A área em destaque apresenta os maiores problemas de extrapolação estatística dos limites dos níveis de galeria da caverna (detalhes na Figura 4).

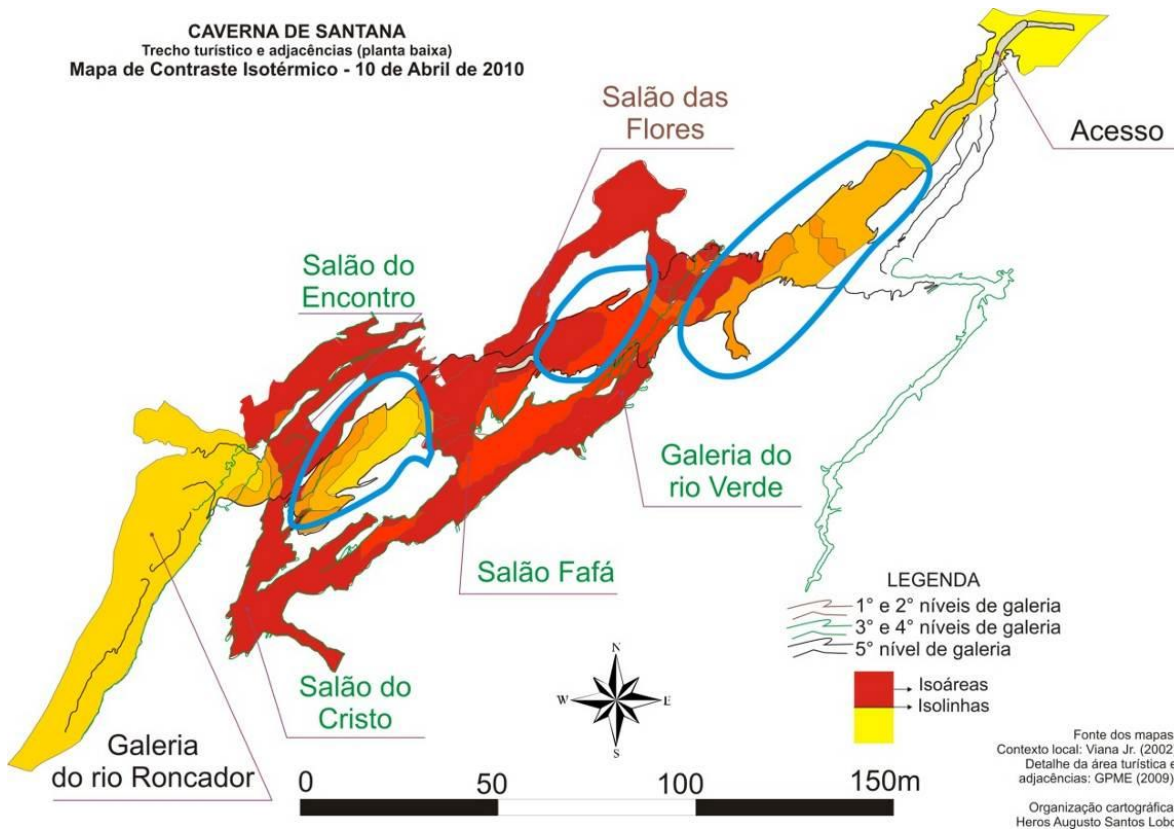


Figura 4. Trecho da caverna Santana evidenciando o contraste entre a temperatura mais elevada nas galerias superiores (em vermelho) e a extrapolação estatística dos valores para a galeria inferior do rio (tons de laranja, circulado de azul), gerando zonas térmicas fora da realidade destes ambientes.

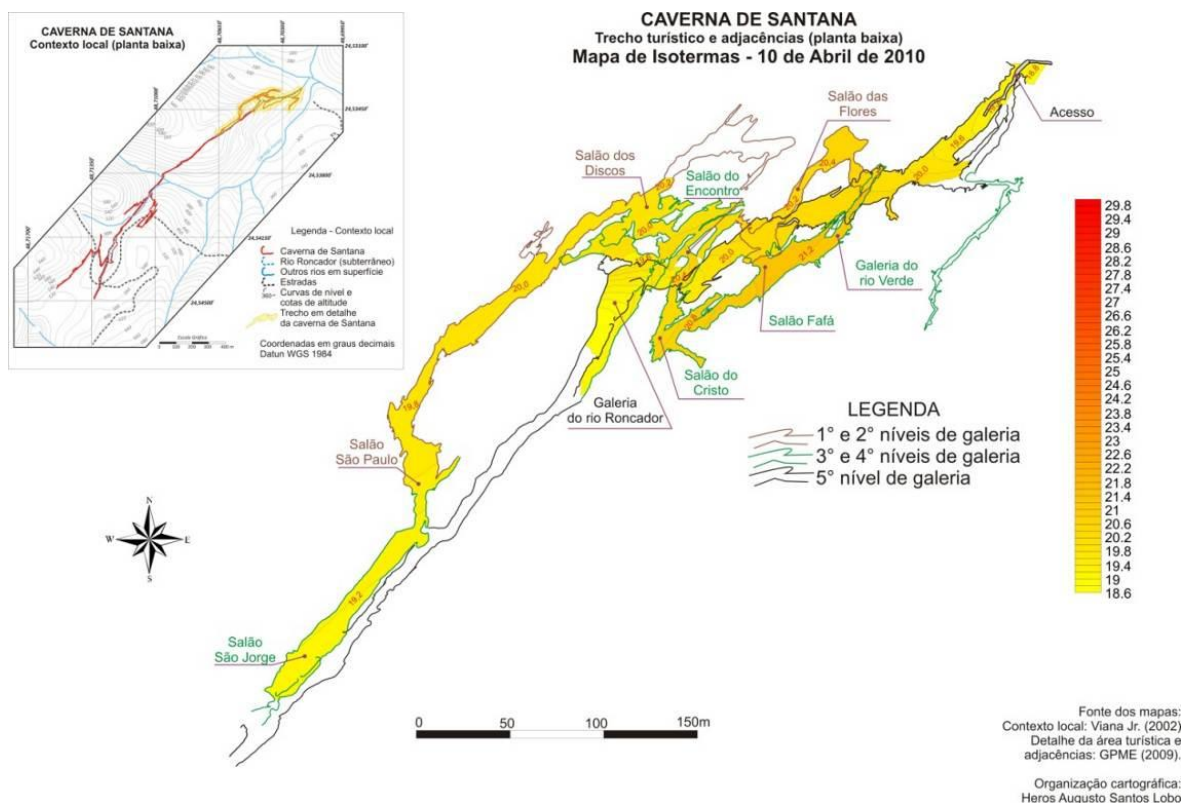


Figura 5. Superfície de tendência de segunda ordem no trecho turístico e adjacências na caverna Santana, com os dados separados por trechos da caverna (LOBO, 2010b).

REFERÊNCIAS

- CIGNA, A. A. Modern trend in cave monitoring. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v.31, n.1, p.35-54, 2002.
- FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J.M.; JIMÉNEZ-ESPINOSA, R.; SÁNCHEZ-MARTOS, F. Geostatistical spatiotemporal analysis of air temperature as an aid to delineating thermal stability zones in a potential show cave: implications for environmental management. **Journal of Environmental Management**, v.81, p.371-383, 2006.
- GECEO – GRUPO DA GEO DE ESPELEOLOGIA. **Conjunto Morro Preto / Couto**. USP/Gegeo, São Paulo, 1998. 1p.
- GREGO – GRUPO ESPELEOLÓGICO GOIANO. **Lapa do Penhasco**. Goiânia, 1998. 1p.
- GPME – GRUPO PIERRE MARTIN DE ESPELEOLOGIA. **Mapa da caverna Santana**. GPME, São Paulo, 2009. 1p.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed. Rio Claro: Edunesp, 2003. 253 p.
- LANDIM, P.M.B.; CORSI, A.C. **Cálculo de superfícies de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER**. Rio Claro: IGCE/DGA, 2001. 11 pp.
- LOBO, H.A.S. Histórico das pesquisas espeleoclimáticas em cavernas brasileiras. **Espeleo-Tema**, v.21, p.131-144, 2010a.
- LOBO, H.A.S. **Dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga na caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP)**. Rio Claro: Unesp, 2010. 312p. Tese de qualificação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2010b.

- LOBO, H.A.S.; ZAGO, S. Iluminação com carbureteiras e impactos ambientais no microclima de cavernas: estudo de caso da lapa do Penhasco, Buritinópolis-GO. **Geografia**, Rio Claro, v.35, n.1, p.183-196, 2010.
- LOBO, H.A.S.; PERINOTTO, J.A. de J.; BOGGIANI, P.C.; ZAGO, S. Eventos musicais causam impactos no microclima de cavernas? Avaliação das alterações na atmosfera subterrânea da gruta Morro Preto (PETAR, Iporanga-SP). **Geonomos**, Belo Horizonte, v.17, n.1, p.01-10, 2009.
- MILANOLO, S.; GRABROVSEK, F. Analysis of carbon dioxide variations in the atmosphere of Srednja Bijambarska cave, Bosnia and Herzegovina. **Boundary-Layer Meteorology**, v.131, p.479-493, 2009.
- VIANA JÚNIOR, O. **Hidroquímica, hidrologia e geoquímica isotópica (O e H) da fácies de percolação vadosa autogênica, caverna Santana, Município de Iporanga, Estado de São Paulo**. 2002. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.