



ANAIS do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Barreiras-BA, 11-14 de julho de 2013

ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/32cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

SCOSS, L.M.; DIAS, C.R.C.; BRANDI, I.V.. Transformação e interpretação de dados espeleométricos para análise de relevância de cavidades. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013. Barreiras. *Anais...* Campinas: SBE, 2013. p.299-306. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_299-306.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

A publicação dos Anais do 32º CBE contou com o apoio da Cooperação Técnica SBE-VC-RBMA. Acompanhe outras ações da Cooperação em www.cavernas.org.br/cooperacaotecnica

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia. Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br



TRANSFORMAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS ESPELEOMÉTRICOS PARA ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES *SPELEOMETRIC DATA TRANSFORMATION AND INTERPRETATION FOR CAVE RELEVANCE ANALYSIS*

Leandro Moraes Scoss (1), Cláudio Renato Carnevalli Dias (2) & Iuri Viana Brandi (2)

(1) Departamento de Planejamento de Ferrosos (DIPF), Gerência de Licenciamento Ambiental da Logística (GALAP), Vale S. A..

(2) Departamento de Planejamento de Ferrosos (DIPF), Gerência de Espeleologia e Tecnologia (GAEAF), Vale S. A..

Contatos: leandro.scoss@vale.com; claudio.dias@vale.com.

Resumo

A relação da média populacional dos dados (μ) com o desvio padrão (σ) vem sendo utilizada como um dos critérios para classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas no Brasil. O objetivo desse artigo foi avaliar a função de distribuição da variável espeleométrica “projeção horizontal”, com e sem transformação matemática dos valores originais, para discutir a aplicabilidade do uso da distribuição normal e transformação de dados no âmbito dos critérios estabelecidos pela IN 2/09, para um conjunto de dados formado por 500 cavidades do Quadrilátero Ferrífero, MG. Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, antes e após a transformação da variável sob investigação, e os resultados indicam que para a amostra analisada, nenhum dos casos obteve distribuição normal ($p < 0,01$), o que reforça que o tratamento atual não é adequado para classificação e análise de relevância como propõe a IN 2/09. Discutimos que a transformação de dados quando aplicada deve ser feita com cuidado porque dificulta a interpretação dos resultados. Recomendamos o tratamento das variáveis espeleométricas por meio do uso de métodos não paramétricos (análise de agrupamento) para evitar incorreções que podem prejudicar a tomada de decisões e comprometer o desdobramento de soluções para tratamento e análise de dados, no contexto de revisão técnica dos requisitos legais normativos.

Palavras-Chave: Métodos estatísticos; Distribuição normal; transformação de dados; cavidades naturais subterrâneas.

Abstract

The relationship among average of data population (μ) and standard deviation (σ) has been used as a criterion for the classification of the degree of relevance of natural underground cavities in Brazil. The aims of this paper was to evaluate the variable distribution function espeleometric "horizontal projection", with and without mathematical transformation of the original values, to discuss the applicability of the use of the normal distribution and data processing under the criteria established by IN 2/09, for a data set formed by 500 cavities located in the Quadrilátero Ferrífero, MG. Applied the Kolmogorov-Smirnov test before and after processing of the variable under investigation, our results indicated that for the sample analyzed, none of the cases was obtained normality ($p < 0.01$), which stresses that the current treatment is not suitable for classification and analysis of relevance, as proposed by IN 2/09. We also discussed that the processing of data should be made with caution, especially because it hinders the interpretation of results. We recommend the treatment of espeleometrics variables through the use of non-parametric methods (e.g. cluster analysis) in order to avoid inaccuracies that may affect decision-making and compromising the deployment of solutions for processing and analysis of data, in particular in technical review of legal regulatory requirements.

Key-words: Statistical Methods; Normal distribution; data transformation; natural underground cavities.

1. INTRODUÇÃO

No estudo espeleológico, o grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas é de grande interesse para a conservação. Essa classificação é

obtida como resultado da aplicação da metodologia estabelecida pela Instrução Normativa MMA Nº-2 de 20 de Agosto de 2009 (MMA, 2009). Para os atributos espeleométricos (projeção horizontal,

desnível, área e volume), a IN apresenta os conceitos baseados na lógica da distribuição normal. É utilizada como critério, portanto, a relação da média populacional dos dados (μ) com o desvio padrão (σ) para obter a classificação do grau de relevância das cavidades entre: alto ($>\mu+\sigma$), médio (valor contido no intervalo entre $\mu-\sigma$ e $\mu+\sigma$) e baixo ($<\mu-\sigma$). Não foram definidos os critérios, com base em atributos espeleométricos, para classificação das cavidades de máxima relevância.

Esses critérios vêm sendo discutidos em busca de procedimentos mais apropriados à natureza da variável sob investigação (ver BERBERT-BORN, 2010; TIMO, ACÁCIO, 2012; DIAS *et al.*, em elaboração). Isso se deve ao fato da utilização dos parâmetros populacionais (μ e σ), para a totalidade do conjunto de dados não ter se mostrado adequada para a classificação de cavidades pequenas (e.g. BERBERT-BORN, 2010), visto que os parâmetros utilizados não são capazes de descrever completamente as características do conjunto de dados que apresentam assimetria positiva - desvios padrão maiores que o valor da média (ver detalhes em KANJI, 1999; HAIR *et al.*, 2005; BERBERT-BORN, 2010). Isto significa que a média de uma população de dados somente é representativa caso atenda ao pressuposto da normalidade (KREBS, 1999; ZAR, 1999).

Como discutem Dias *et al.* (em preparação) cavidades ferríferas tem origem principalmente por processos de dissolução e erosão, o que justifica o fato da maioria apresentar dimensão reduzida (AULER, PILÓ, 2005), e contribui para a manifestação da assimetria positiva.

Para situações onde a distribuição de dados não corresponde a uma distribuição normal, tanto a mera suposição de “normalidade” quanto o uso da curva normal como referência são inadequadas. A constatação de “não normalidade” em distribuição de dados é bastante comum para características mensuráveis que assumem valores fracionais em uma escala contínua. Também é comum observar a ausência de normalidade quando o número de observações é pequeno ($n < 30$), o que aumenta a chance da amostra não ser representativa do conjunto de dados. Essa discussão na espeleologia é recente, porém tecnicamente necessária, como observado e discutido por Berbert-Born (2010) e proposto por Timo e Acácio (2012).

O presente trabalho buscou avaliar a função de distribuição da variável espeleométrica “projeção horizontal”, com e sem transformação matemática dos valores originais, para discutir a aplicabilidade

do uso da distribuição normal e transformação de dados no âmbito dos critérios estabelecidos pela IN 2/09. Pretende-se com essas informações proporcionar maior segurança para o processo de tomada de decisão associado à classificação de relevância de cavidades naturais subterrâneas.

2. METODOLOGIA

2.1 Conjunto de Dados

Para avaliar o critério proposto pela IN 2/09 para a avaliação do atributo espeleométrico projeção horizontal foram utilizados os registros de cavidades ferríferas identificadas durante o desenvolvimento dos Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) na região do Quadrilátero Ferrífero (QF), porção Sul da Cadeia do Espinhaço. Para atender os objetivos propostos, utilizamos apenas as informações da variável “projeção horizontal” (medida em metros), muito embora, para cada cavidade, as demais variáveis espeleométricas (desnível, área e volume) também utilizam critérios que relacionam a média populacional com o desvio padrão para compor a análise de relevância.

A população de dados deste estudo foi composta por 500 cavidades naturais ferríferas identificadas no Quadrilátero Ferrífero (unidade regional), especificamente nas unidades espeleológicas locais denominadas Serra do Gandarela e Quadrilátero Oeste formado pelas Serras do Curral, Serra de Itabirito e Serra da Moeda (OLIVEIRA, OLIVITO, RODRIGUES-SILVA, 2011).

As medidas das projeções horizontais das cavidades foram obtidas a partir de levantamento topográfico de campo utilizando o sistema de classificação “British Cave Research Association” – BCRA, com grau de precisão 5D. O grau 5 de precisão para linha de trena se refere a um levantamento magnético, com ângulos horizontais e verticais medidos com precisão $\pm 1^\circ$, distâncias medidas com precisão de 1 cm e erro de posição da base menor que 10 cm. O grau D para registro de detalhes de conduto se refere a medidas de detalhe realizadas nas bases topográficas e entre elas, de modo a representar mudanças morfológicas na galeria (CECAV, 2010).

2.2 Transformação dos Dados – Projeção Horizontal

A transformação de dados é aqui definida como o processo de efetuar uma transformação

matemática da característica original para uma nova característica que se aproxime de uma distribuição normal (HOAGLIN *et al.*, 1983). É muito comum na literatura de diversas áreas do conhecimento observar dados transformados para tentar resolver o problema da falta de normalidade e ou de heterocedasticidade (ausência de homogeneidade de variância) (COCHRAN, 1947; HOAGLIN *et al.*, 1983; FISHER, VAN BELLE, 1993; KREBS, 1999; ZAR, 1999). É importante destacar que a transformação de variáveis quantitativas é um procedimento matemático legítimo (ver ZAR, 1999), frequentemente utilizado para atender aos pressupostos de determinadas análises estatísticas (normalidade e homogeneidade de variância) – métodos paramétricos.

As transformações podem ser obtidas através de combinações lineares das variáveis originais (e.g. soma/subtração, produto/divisão), onde todas as variáveis ficam com peso semelhante ou por meio de combinações não lineares (e.g. logaritmo, funções trigonométricas, entre outras) que contribuem para tornar as variâncias menores e, desta forma, alcançam mais facilmente a homocedasticidade. Box e Cox (1964) apresentam uma família de transformação de dados e uma técnica computacional para selecionar a melhor transformação para determinado conjunto de dados, de forma que solucione os problemas de não normalidade e heterogeneidade. Contudo, como destacam Peltier *et al.* (1998) a transformação de Box-Cox ainda é raramente usada em análise estatística de dados.

A escolha do tipo adequado de transformação não é uma tarefa óbvia, pois matematicamente, existem inúmeras possibilidades e apenas o método de “tentativa e erro” nem sempre é o mais recomendado (ver BOX & COX, 1964; PELTIER *et al.*, 1998). Além disso, nem sempre uma transformação matemática produz os resultados esperados (normalização dos dados) (HOAGLIN *et al.*, 1983; ZAR, 1999).

Para o presente trabalho utilizamos os dados originais (projeção horizontal – metros) em comparação com três transformações: Função Racional ($1/x$), Função Potência (x^2) e Função Logaritmo Natural (\ln_{PH}). Para cada variável calculamos a média, o desvio padrão, os valores mínimo e máximo, além do coeficiente de variação (CV).

2.3 Análise Estatística dos Dados

Antes e após a transformação dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância de 5% (SHAPIRO, WILK, 1965; LILLIEFORS, 1967). Kanji (1999) ressalta que esse teste é aplicado quando a função de distribuição da população for contínua, como é o caso da variável projeção horizontal. A aplicação desse teste teve como objetivo verificar a aderência dos dados à distribuição normal. Posteriormente foram obtidas as medidas descritivas (μ e σ), os histogramas de distribuição dos dados e foi realizada a análise dos valores normais esperados, antes e após a transformação. A tabulação dos dados foi realizada com o MS Office Excel versão 2007™ para organização do conjunto de dados e as análises estatísticas foram feitas no Statistica 7.1 (STATSOFT, 2005), com nível de 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média de uma população de dados somente é representativa caso atenda ao pressuposto da normalidade: formato da distribuição de determinada variável contínua, utilizando como parâmetros, o grau de assimetria e curtose. Caso contrário, corre-se o risco de extrair conclusões sobre resultados equivocados (KREBS, 1999; HAIR *et al.*, 2005; BERBERT-BORN, 2010).

A análise da transformação dos dados de projeção horizontal indica que os valores normais esperados para cada tipo de procedimento matemático adotado são diferentes, sendo a transformação logarítmica a que apresentou menor coeficiente de variação (CV) (Tabela 1). Esse resultado é importante, pois quanto menor o CV, maior a probabilidade de atender o pressuposto de normalidade. Contudo, recomenda-se cuidado e reserva na interpretação dos resultados, como será discutido a seguir.

Características mensuráveis que assumem valores fracionais em uma escala contínua usualmente apresentam ajuste exponencial ou potência, como aqui demonstrado para projeção horizontal de cavidades naturais subterrâneas (Figura 1). Adicionalmente, esse tipo de cavidade tem origem principalmente por processos de dissolução e erosão, sendo a grande maioria delas de dimensão reduzida, quando comparadas a cavernas em outras litologias (AULER, PILÓ, 2005; PILÓ, AULER, 2005), o que naturalmente atribui viés na distribuição dos dados.

Tabela 1 – Medidas descritivas da variável projeção horizontal antes e após a transformação (funções: racional, potência e logarítmica).

Variável	Média (μ)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão (σ)	CV (%)
Dados originais - PH (m)	23,75	5,00	345,00	30,49	128,39
Função Racional - (1/x)	0,09	0,00	0,20	0,06	64,76
Função Potência - x^2	4,35	2,24	18,57	2,19	50,39
Função Logaritmo Natural - $\text{Ln}(\text{PH})$	2,75	1,61	5,84	0,84	30,72

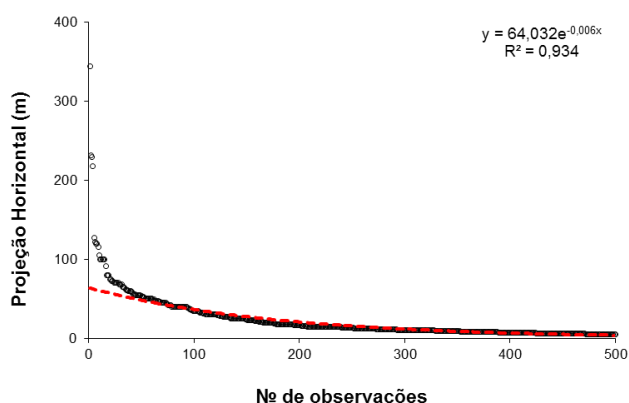


Figura 1 – Distribuição dos dados de projeção horizontal para cavidades ferruginosas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, MG. Para esta variável contínua o melhor ajuste da distribuição foi obtido pelo modelo exponencial ($r^2 = 0,934$; $n=500$).

Lipson e Sheth (1973) indicam que na falta de alguma evidência em contrário, pode-se assumir, em uma primeira abordagem, que os dados utilizados em métodos estatísticos sejam normalmente distribuídos. Contudo, Montgomery (1991) alerta que em muitas situações práticas existem razões para se duvidar da validade da suposição de “normalidade”, o que implica em especial atenção na análise dos dados. Para esses casos, recomenda-se o uso de métodos estatísticos não paramétricos ou a transformação dos dados para atender aos pressupostos de métodos paramétricos (FISHER, VAN BELLE, 1993; KREBS, 1999; ZAR, 1999).

Neste contexto, a aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov é estritamente recomendada para concluir se as variáveis, antes e após a transformação, são normalmente distribuídas (ver detalhes em SHAPIRO, WILK, 1965). Para o conjunto de dados analisado ($n=500$), a variável projeção horizontal não apresentou distribuição normal (K-S $d=0,269$; $p<0,01$), antes da transformação, como esperado e discutido anteriormente (curva assimétrica). As

transformações utilizadas para tentar minimizar a assimetria e a curtose também não surtiram o efeito desejado (K-S $d=0,114$; $p<0,01$). Para nenhum dos casos testados a variável atingiu a normalidade (Figura 2).

A análise gráfica dos resultados da Figura 2, aliada aos valores de CV para a “variável” logaritmo natural (Ln_{PH}), atribuem uma falsa impressão de que a transformação aplicada foi suficiente para que as observações apresentassem distribuição normal. A hipótese de normalidade foi refutada para todos os casos, incluindo a transformação logarítmica. Esses resultados indicam que a distorção observada para os dados originais (não transformados), bem como o viés de interpretação considerando-se a média da população e o desvio padrão são mantidos mesmo após as transformações aqui testadas.

Diversas transformações podem ser necessárias para que a distribuição se torne menos assimétrica e com grau menor de curtose. Contudo, dados transformados podem se tornar um problema significativo para a pesquisa, uma vez que as transformações, na verdade, geram variáveis com valores diferentes daqueles observados empiricamente, o que implica uma limitação. Ademais, dados transformados, em geral, são menos informativos ao pesquisador/observador que a média dos dados originais. Assim, afirmar que um determinado dado deve necessariamente ser transformado é considerado muito generalista (FERNANDEZ, 1992).

O logaritmo natural da média de um determinado conjunto de dados, por exemplo, apresenta valor diferente da média obtida a partir do logaritmo natural de cada dado do mesmo conjunto, não sendo possível, portanto, obter valores correspondentes ou proporcionalidade quando da reversão dos resultados. A conversão da média da Função Logaritmo Natural (Ln_{PH}) apresentada na Tabela 1, obtida pela potência da média de Ln_{PH} ,

obtem-se o valor de 15,58 metros de projeção horizontal, valor este 34% menor que a média da variável antes da transformação (23,75 m). Como discutido na literatura (HOAGLIN *et al.*, 1983; BERRY, 1987; ZAR, 1999; MORAES *et al.*, 2006), esse procedimento gera dificuldades de interpretação dos resultados e associa riscos à tomada de decisão.

Esses resultados sustentam que após a transformação de um dado não é possível referir-se à média da população de dados originais, mas sim à

média do dado tal qual o mesmo foi transformado. Portanto, por ocasião da interpretação e discussão dos resultados, o raciocínio deve ser feito em termos da natureza dos novos dados (variável transformada). Para fazer a conversão para os valores originais, as médias correspondentes às médias dos dados logarítmicos, como exemplificado anteriormente, têm de ser calculadas a partir dos dados originais, e não por simples conversão do valor final transformado.

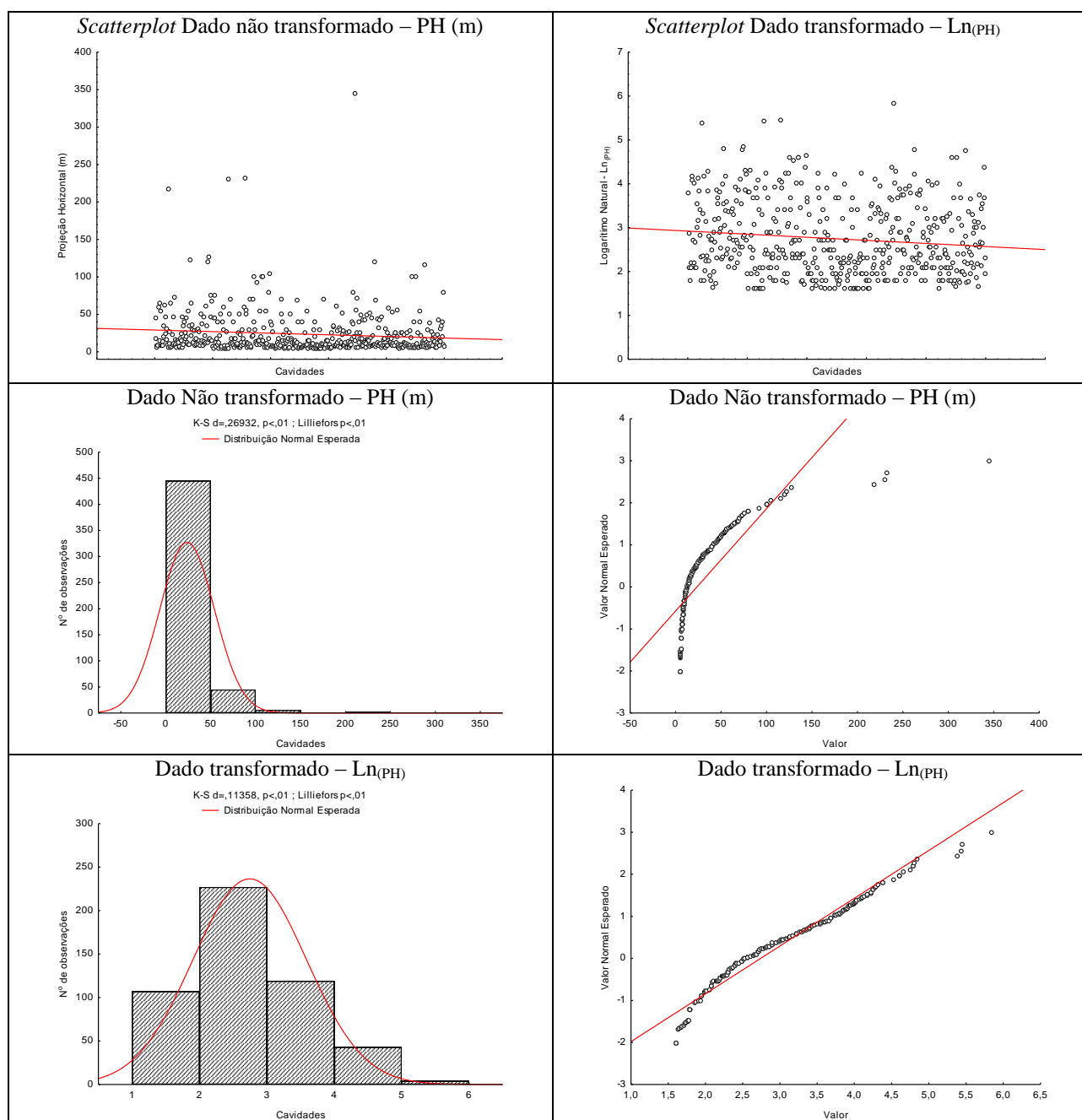


Figura 2 – Distribuição dos dados (*scatterplot*) de projeção horizontal de 500 cavidades ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero, MG, para os dados não transformados e transformados (Ln – logaritmo natural), seguida da análise de normalidade e valor normal esperado.

Moraes *et al.* (2006) apresentam com propriedade uma análise crítica da aplicação de métodos estatísticos em processos definidos por dados que não apresentam distribuição normal, com ênfase em transformação de dados. Os autores discutem as consequências da suposição incorreta de normalidade, o que pode gerar conclusões distorcidas sobre diferenças entre grupos. Incorreções desta natureza podem prejudicar a compreensão dos cenários para a tomada de decisão e, até mesmo, comprometer o desdobramento de soluções de tratamento e análise de dados (ver detalhes em HURLBERT, 1984; PINTO *et al.*, 2003; MORAES *et al.*, 2006).

Hurlbert (1984) e Pinto *et al.* (2003) avaliaram artigos publicados em diversos periódicos nos últimos 30 anos, e discutem sobre diferenças muitas vezes inexistentes, como reflexo de tratamento de dados inadequado – grave distorção das verdades provisórias que balizam o conhecimento científico (POPPER, 1974; ARANHA, MARTINS, 1986).

Feigenbaum (1994) argumenta que independentemente de quão precisos sejam os métodos estatísticos e procedimentos matemáticos, na realidade os dados é que são os elementos importantes. Keene (1995) destaca que a transformação de dados deve ser evitada. Muitas vezes é preferível seguir soluções alternativas, aplicando-se métodos não paramétricos, em

substituição às tentativas para alcançar normalidade e homogeneidade de variância, minimizando a incorporação de procedimentos inapropriados, viés nos resultados e conclusões incorretas. Nesse contexto, Dias *et al.* (em preparação) apresentam uma proposta com base em análise de agrupamento (método *k-means*) como procedimento padronizado para classificação de cavidades e análise de relevância.

4. CONCLUSÕES

Os resultados aqui apresentados confirmam que as relações entre média populacional (μ) e desvio padrão (σ), aplicadas à distribuição normal, não são apropriadas para o tratamento de dados espeleométricos para classificação de cavidades como propõe a IN 2/09. Também reforçam que a transformação de dados, quando necessária, deve ser feita com cuidado, especialmente porque dificulta a interpretação dos resultados. Recomenda-se, portanto, o tratamento das variáveis espeleométricas por meio do uso de métodos não paramétricos. Evitam-se, dessa forma, incorreções que podem prejudicar a tomada de decisões e, até mesmo, comprometer o desdobramento de soluções para tratamento e análise de dados, no contexto de revisão técnica dos requisitos legais normativos.

BIBLIOGRAFIA

- ARANHA, M. L. A.; MARTINS, M. H. P. *Filosofando: introdução à filosofia*. São Paulo: Moderna, 1995. 443p.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério e ferro e canga. *O Carste*, v. 7, n. 3, p. 70-72, 2005.
- BERBERT-BORN, M. Instrução Normativa MMA 2/09 - Método de classificação do grau de relevância de cavernas aplicado ao licenciamento ambiental: uma prática possível? *SBE, Campinas, SP. Espeleo-Tema*, v. 21, n. 1, p. 67-103, 2010.
- BERRY, D. A. Logarithmic transformations in ANOVA. *Biometrics*, Washington, v. 43, p. 439-456, 1987.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodological)*, New York. v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- CECAV - Centro Nacional de Estudos e Manejo de Cavernas. *II Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Brasília, DF, 2010. 195 p.
- COCHRAN, W. G. Some consequences when the assumptions for the analysis of variance are not satisfied. *Biometrics*, Washington, D.C., v. 3, n. 1, p. 22-38, 1947.

- DIAS, C. R. C.; SCOSS, L. M.; LUZZI, L. C.; BRANDI, I. V.; GRYNBERG, P.; FRANCO, G. R. Padronização do procedimento de análise de atributos espeleométricos com base nos dados de cavidades do Quadrilátero Ferrífero: análise de agrupamento. Ouro Preto: A ser editado pela Revista Escola de Minas. 2013.
- FEIGENBAUM, A. V. Controle da Qualidade Total, vol. 3, Métodos Estatísticos Aplicados à Qualidade. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.
- FERNANDEZ, G. C. J. Residual Analysis and Data Transformations: Important Tools in Statistical Analysis. HortScience, v. 27, n. 4, p. 297-300, 1992.
- FISHER, L. D.; VAN BELLE, G. V. Biostatistics: a methodology for the health sciences. New York: Wiley, 1993. 991p.
- HAIR, JR. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600p.
- HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. Understanding robust and exploratory data analysis. New York: John Wiley & Sons, 1983. 447p.
- HURLBERT, S. H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, v. 54, n. 2, p. 187-211, 1984.
- KANJI, G. K. 100 statistical tests: new edition. London: Sage, 1999. 215p.
- KEENE, O. N. The log transformation is special. Statistics in Medicine, v. 14, p. 811-819, 1995.
- KREBS, C. J. Ecological methodology. 2nd ed. Menlo Park, California: Benjamin/Cummings, 1999. 620p.
- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. JASA, v. 62, p. 399-402, 1967.
- LIPSON, C.; SHETH, N. J. Statistical and analysis of engineering experiments. New York: McGraw-Hill Book Company, 1973.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gabinete do Ministro. Instrução Normativa n.º 2, de 20 de agosto de 2009. Define a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 agosto 2009.
- MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- MORAES, C. F.; FERREIRA, J. R.; BALESTRASSI, P. P. Análise crítica da aplicação de métodos estatísticos em processos definidos por dados que não apresentam distribuição normal. GEPROS, v. 1, n. 2, p. 7-18, 2006.
- OLIVEIRA, O.; OLIVITO J. P.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da unidade espeleológica e das unidades geomorfológicas da região do Quadrilátero Ferrífero. SBE: Campinas, SP. Espeleo-Tema, v. 22, n. 1, p. 61-80, 2011.
- PELTIER, M. R.; WILCOX, C. J.; SHARP, D. C. Technical note: application of the Box-Cox data transformation to animal science experiments. Journal of Animal Science, v. 76, p. 847-849, 1998.
- PILÓ L. B.; AULER, A. S. Cavernas em minério de ferro e canga de capão Xavier, quadrilátero ferrífero, MG. O Carste, v.17, n. 3; p. 92-105, 2005.

- PINTO, M. P.; BINI, L. M.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 137-143, 2003.
- POPPER, K. A lógica da pesquisa científica. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 1974.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance teste for normality. *Biometrika*, v. 52, p. 591-611, 1965.
- STATSOFT, INC. STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- TIMO, M. B.; ACÁCIO, C. E. R. S. Proposta de metodologia para cálculo estatístico de dados espeleométricos de acordo com a Instrução Normativa Nº 2 do Ministério do Meio Ambiente. *SBE: Campinas, SP. Espeleo-Tema*, v. 23, n. 2, p. 43-58, 2012.
- ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. 4th ed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1999. 663p +212App.