



ANAIS do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Ouro Preto SP, 13-18 de junho de 2017 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/34cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

CAVALCANTE, D. R.; BASTOS, F. H.. Relações entre oscilações climáticas e relevo cárstico no semiárido cearense, o exemplo do município de Tejuçuoca. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. *Anais...* Campinas: SBE, 2017. p.439-445. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_439-445.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

A publicação dos Anais do 34º CBE contou com o apoio do Instituto Brasileiro de Mineração. Acompanhe a cooperação SBE-IBRAM em www.cavernas.org.br/sbe-ibram

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



IBRAM 40 anos
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO
Brazilian Mining Association
Câmara Mineira de Brasil

RELAÇÕES ENTRE OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E RELEVO CÁRSTICO NO SEMIÁRIDO CEARENSE, O EXEMPLO DO MUNICÍPIO DE TEJUÇUOCA

*RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATIC OSCILLATIONS AND KARSTIC RELIEF IN SEMIARID
CEARENSE, THE EXAMPLE OF TEJUÇUOCA CITY*

Daniel dos Reis CAVALCANTE; Frederico de Holanda BASTOS

Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza CE.

Contatos: daniel_reisc1@hotmail.com; fred.holanda@uece.br.

Resumo

No município de Tejuçoca, centro-norte do Ceará, se encontra uma das mais significativas ocorrências de relevos cársticos do Estado. O referido estudo tem por objetivo tentar explicar a gênese da atual configuração do carste, associando-o a processos morfodinâmicos atuais e pretéritos. Para isso, foram divididas as etapas de trabalho em levantamentos bibliográficos/cartográficos, levantamentos de campo seguidos de trabalhos de gabinete com auxílio de técnicas de geoprocessamento e por fim a integralização dos dados obtidos. O significativo desenvolvimento de feições de dissolução não corresponde com às condições climáticas atuais semiáridas, sendo, portanto, sugerido que tais formas tiveram seu ápice de desenvolvimento em condições climáticas mais úmidas durante o Quaternário que, posteriormente, passou a apresentar climas mais secos viabilizando ciclos erosivos através de processos físicos condizentes com o entorno atual do carste. Nessa perspectiva foram identificadas feições exocársticas e endocársticas que tiveram sua gênese ligada aos eventos paleoclimáticos, tendo como exemplos os lapiás alveolares e os diferentes espeleotemas encontrados nas cavernas.

Palavras-Chave: geomorfologia cárstica; oscilações climáticas; semiárido brasileiro.

Abstract

In the municipality of Tejuçoca, central-north of Ceará, is located one of the most significant occurrences of karstic reliefs of the State. The present study aims at explaining the genesis of the current karst configuration, associating it with current and past morphodynamic processes. For this, the work steps were divided into bibliographical / cartographic surveys, fieldwork and office work with the help of geoprocessing techniques and, finally, the payment of data obtained. The significant development of dissolution features does not correspond to the current semi-arid climatic conditions. Therefore, it was suggested that these forms had their greatest development under more humid climatic conditions during the Quaternary period, which later became drier climates, allowing erosive cycles through of physical processes consistent with the current karst environment. In this perspective, exokarstic and endokarstic features that had their genesis associated to the paleoclimatic events were identified, having as examples the alveolar lapiez and the different speleothems found in the caves.

Key-words: karstic geomorphology; climatic oscillations; brazilian semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

Para Ford e Williams (2007, p. 1), “Carste é um termo usado para descrever um estilo especial de paisagem que contém cavernas e extensos sistemas de água subterrâneos e que são desenvolvidos especialmente sobre rochas solúveis tais como calcários, mármore e gesso”.

Para um bom desenvolvimento do relevo cárstico são necessários alguns elementos primordiais, que já são consenso entre os pesquisadores. Existe uma certa concordância que

para o completo desenvolvimento de um relevo cárstico é necessário: 1 – Rochas com alto grau de porosidade secundária e solúveis, tais como calcário, dolomito e mármore; 2 – Expressivos gradientes hidráulicos; e 3 – Disponibilidade hídrica abundante (THORNBURY, 1960; CHRISTOFOLETTI, 1980; KARMANN, 2000; PILÓ, 2000; FORD; WILLIAMS, 2007; BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2009; SUGUIO, 2010).

Bailey (2004) se refere à paleoclima como climas que ocorreram no passado, sendo a

Paleoclimatologia responsável por estudos mais aprofundados sobre a temática. O autor ainda afirma que o clima tem papel significativo nos processos geomorfológicos, portanto é necessário o conhecimento do clima atual e também dos climas do passado para uma boa interpretação do relevo.

As causas das variações paleoclimáticas são complexas e é resultado da interação de fenômenos de caráter geológico, geofísico e astronômicos, sendo que ocorrem em diferentes escalas tanto temporais quanto espaciais (SUGUIO, 2010).

Elorza (2006) destaca que muitos processos geomorfológicos podem sofrer modificações como consequência das mudanças climáticas como, por exemplo, o aumento das temperaturas irá produzir mudanças na criosfera, modificações no balanço hídrico e na porcentagem da cobertura vegetal.

No carste em regiões áridas, em consequência da escassez da cobertura vegetal densa e solos pouco desenvolvidos, a quantidade de CO₂ é muito pequena, o que acaba por limitar o desenvolvimento desse tipo de feição. Consequentemente, se identificadas morfologias cársticas sobre essas áreas, deve-se interpretá-las como sendo formadas em períodos onde a precipitação era mais expressiva (ELORZA, 2008).

Bigarella, Becker e Santos (2009) destacam que em terrenos calcários sob clima árido ou semiárido as feições cársticas são respectivamente pouco desenvolvidas ou ausentes e concluem afirmando que as feições cársticas que ocorrem nessas áreas podem ser explicadas como relíquias formadas durante regimes climáticos mais úmidos.

Ford e Williams (2007) afirmam que chuvas torrenciais aliadas à ausência de solos e o clima semiárido, fazem com que o escoamento fluvial seja total e a evaporação seja rápida, limitando assim o desenvolvimento do epicarste.

Diante de tal conjuntura, o município de Tejuçuoca (Figura 1), situado no centro-norte do Estado do Ceará, abriga um exemplo excepcional de relevo cárstico em meio ao sertão cearense. No extremo SW do município, onde se localiza o carste, ocorrem diversas feições exocársticas, tais como lapiás e *kamenitzas*, bem como feições endocársticas como, por exemplo, coraloídes, clarabóia, estalactites, estalagmites, entre outros.

Face o exposto, o objetivo do referido estudo é traçar um paralelo entre os eventos

paleoclimáticos com a atual configuração do relevo cárstico, tendo em vista que o clima semiárido é um fator limitante para o desenvolvimento do carste em questão.

2. METODOLOGIA

Optou-se por dividir as etapas de trabalho em quatro, esta divisão se fez necessária no intuito de dar uma melhor organização e evolução da pesquisa para se chegar aos resultados almejados. A divisão das etapas se deu em levantamentos bibliográficos/cartográficos, trabalhos de campo, trabalhos de gabinete com auxílio de técnicas de geoprocessamento e a integralização dos dados obtidos.

A primeira etapa consistiu em levantamentos bibliográficos de caráter interdisciplinar, onde buscou-se por estudos sobre relevos cársticos de forma geral e também em áreas áridas e semiáridas (TRICART; CARDOSO DA SILVA, 1961; CRISTOFOLETTI, 1980; KOHLER, 1989; FORD; WILLIAMS, 2007; ELORZA, 2008), bem como estudos sobre paleoclimas no Nordeste brasileiro (BEHLING *et al.*, 2000; WANG *et al.*, 2004; LIMA, 2008; SUGUIO, 2010; PIMENTEL, 2013).

No levantamento cartográfico os mapas mais consultados para uma melhor interpretação da área de estudo foram os mapas geológico da CPRM (BRASIL, 2003) na escala de 1:500.000 e o mapa morfoestrutural do Ceará e adjacências de Peulvast e Claudino Sales (2003) na escala de 1:500.000, além da utilização de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, com resolução de 30 metros, da área de estudo.

Foram realizados também dois trabalhos de campos na área de estudo, onde se tentou identificar o contraste entre diferentes períodos do ano, sendo que o primeiro, no mês de outubro de 2015, foi marcado por um período de estiagem e o segundo, no mês de março de 2016, coincidiu com o período da quadra chuvosa.

Os trabalhos de gabinete foram de suma importância para a confecção da cartografia básica com auxílio das técnicas de geoprocessamento. A última etapa realizada foi a integralização dos dados obtidos em campo junto aos levantamentos bibliográficos/cartográficos visando o melhor entendimento da área.

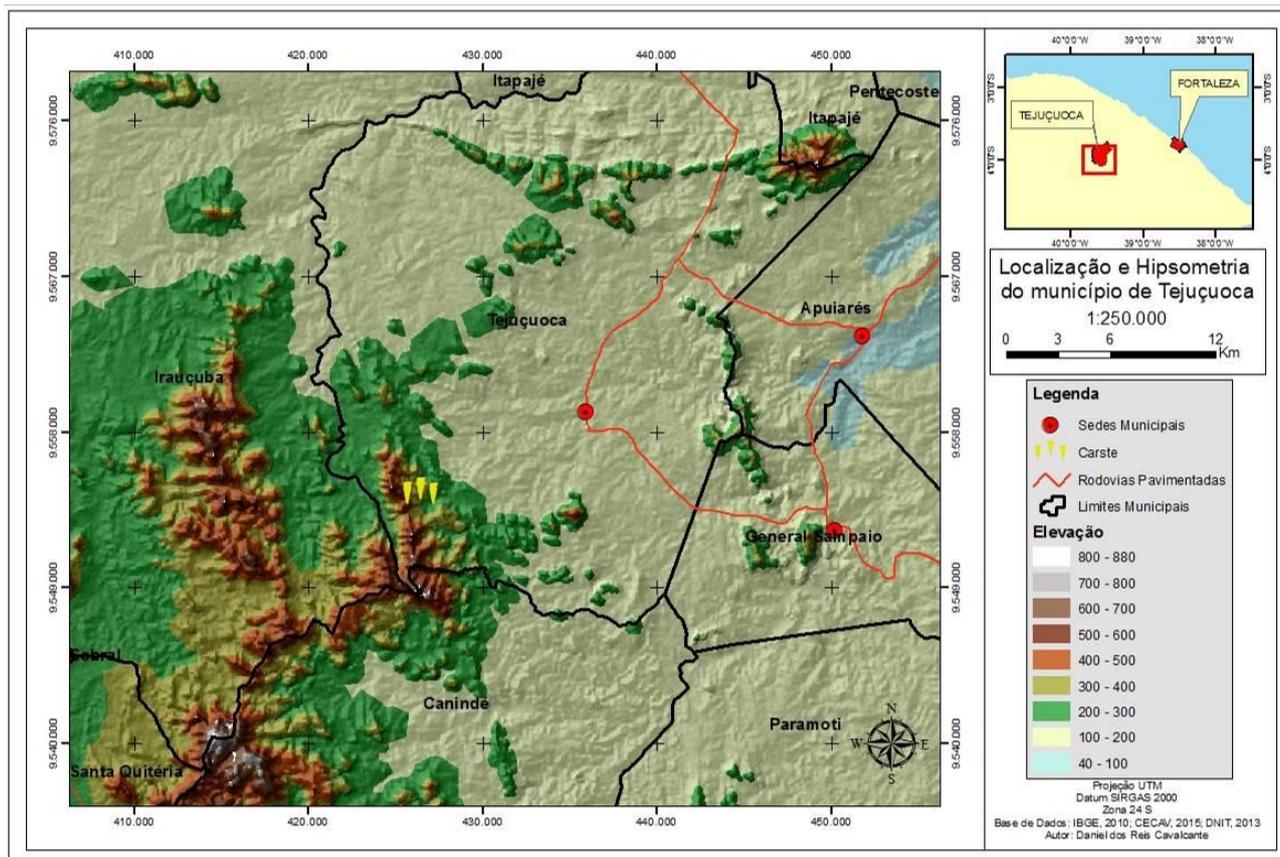


Figura 1: Localização e hipsometria do município de Tejuçuoca.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Os relevos cársticos objeto desse estudo encontram-se num esporão da serra do Machado (Figura 2), sendo que este esporão recebe localmente o topônimo de serra da Catarina, possuindo topografias aproximadas de 400 m.



Figura 2: Relevo cárstico no alto da serra da Catarina.

A princípio, se faz necessário o entendimento preliminar da estrutura onde o carste se desenvolveu. Tal estrutura pertence ao Complexo Ceará, mais precisamente à Unidade Independência,

que é datada do Paleoproterozóico (BRASIL, 2003). A estrutura do carste é predominantemente carbonática, sendo esculpido numa rocha metamórfica (mármore), portanto, tais características lhe conferem a particularidade de ser um carste tradicional (TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015).

A estrutura apresenta planos de acamamento predominantemente horizontalizados com alguns setores topográficos podendo ultrapassar os 400 m de altitude. Já a porosidade secundária da estrutura tem notável participação na gênese das diversas feições presentes na área, onde algumas fraturas são bem verticalizadas permitindo a circulação hídrica.

A cobertura vegetal de porte arbustivo nos setores mais baixos e a ausência de solos na maior parte do carste fazem com que a rocha apresente-se totalmente exposta por quase toda a estrutura, o que permite identificar os diversos tipos de formas.

Devido sua pouca extensão, o carste de Tejuçuoca não apresenta algumas feições típicas de relevos cársticos, porém não deixa a desejar quando o assunto são microformas. Formas típicas que não ocorrem na área são dolinas, uvalas, vales cegos, *polje*, entre outras.

O carste de Tejuçuoca apresenta uma morfologia notável, com expressivas feições exocársticas e endocársticas, ocorrendo presença de lapiás variados, *kamenitzas* (Figura 3A), arcos, entre outras formas externas. No que tange às feições endocársticas as estalagmites, estalactites, colunas e coraloídes (Figura 3B) são bem representativas, ocorrendo por quase todas as cavernas.



Figura 3: (A) Kamenitza na área de estudo; (B) Exemplo de Coraloide.

No entanto, a forma como o carste se apresenta não reflete os processos predominantes do sistema morfoclimático atual. No caso, os mármore presentes na área e sua condição topográfica atual, que lhe confere um expressivo gradiente, são fatores favoráveis ao bom desenvolvimento de tal morfologia, porém, o clima semiárido com elevadas temperaturas médias diárias e totais pluviométricos irregulares, não permitem que a dissolução seja o principal processo morfodinâmico no carste em questão.

O clima local é semiárido com poucas variações de temperatura ao longo do ano, apresentando cerca de 26° a 29°C e baixos totais pluviométricos com significativa irregularidade ao longo do ano, sendo que o regime de chuva concentra-se, predominantemente, em três meses, Fevereiro, Março e Abril, apresentando médias pluviométricas anuais aproximadas de 600 mm.

Diante de um contexto climático semelhante, Tricart e Cardoso da Silva (1961) afirmam que o clima onde está situada a gruta do Bom Jesus da Lapa é pouco favorável à carstificação, já que seus totais pluviométricos anuais oscilam entre 700 e 900 mm. Cabe destacar que o contexto climático onde o carste de Tejuçuoca está inserido, se comparado ao exemplo de Bom Jesus da Lapa, tem-se condições pluviométricas ainda menos favoráveis à carstificação.

No caso do carste de Tejuçuoca é fato que o sistema morfoclimático atual não propicia condições necessárias para a morfogênese cárstica, entretanto, não se pode desconsiderar que exista, mesmo que de

forma pouco expressiva, dissolução da rocha carbonática por águas meteóricas. Entretanto, se faz necessário destacar o papel das oscilações climáticas ao longo do Quaternário para tentar justificar a presença de tal morfologia cárstica tão significativa.

Nessa conjuntura, Melo *et al.* (2005) enfatizam a importância dos eventos pretéritos, tanto climáticos quanto estruturais, para o entendimento da configuração atual dos relevos na superfície da Terra. Para o Nordeste do Brasil, alguns eventos de oscilações climáticas foram verificados por Behling *et al.* (2000), Wang *et al.* (2004) e Lima (2008) (Quadro 1).

Behling *et al.* (op. cit.) através de registro palinológico encontrado em amostras retiradas na plataforma continental leste do Estado do Ceará, possivelmente entre as cidades de Beberibe e Aracati, a cerca de 70 km da linha de costa, inferiram que a pluviosidade era mais expressiva nos períodos de 40, 33 e 24 mil anos A.P., sendo que a maior taxa de precipitação já registrada no Nordeste brasileiro ocorreu entre 15.500 e 11.800 anos A.P.. Os autores ainda afirmam que foi nesse período de maior taxa de precipitação que ocorreu a expansão das florestas úmidas.

Lima (op. cit.) afirma que taxas de intemperismo e precipitação de óxidos de manganês têm utilidade para o entendimento dos paleoclimas. Com isso, através da análise de amostras de óxido de manganês, adquiridas entre os Estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará, a autora sugeriu quatro picos onde as condições climáticas seriam quentes e úmidas (28; 10; 5,5; 1,5 Ma).

Por sua vez, Wang *et al.* (2004), com auxílio de métodos de datações absolutas em espeleotemas e depósitos de travertinos adquiridos no Estado da Bahia, conseguiram inferir períodos de alta pluviosidade, onde os picos correspondem a 15, 39, 45 e 60 mil anos A.P., num intervalo de 210.000 mil anos, associados a deslocamentos meridionais da ZCIT.

Pimentel (2013) destaca que nos últimos 3.500 anos A.P. observou-se duas situações onde a precipitação no norte do Nordeste brasileiro sofreu uma notável redução, sendo a primeira situação em 2,5 – 3 mil anos A.P. e a segunda entre 1,5 – 2 mil anos A.P., o mais recente, por sua vez, representando o período mais seco registrado no norte do Nordeste brasileiro.

Quadro 1: Eventos de oscilações climáticas ao longo do Cenozóico de acordo com os autores citados.

PERÍODO	ÉPOCA	BEHLING <i>et al.</i> (2000)	WANG <i>et al.</i> (2004)	LIMA (2008)	PIMENTEL (2013)
QUATERNÁRIO	HOLOCENO	X	X	X	2.000 yr 3.000 yr
	PLEISTOCENO	15.000 yr 24.000 yr 33.000 yr 40.000 yr	15.000 yr 39.000 yr 45.000 yr 60.000 yr	1,5 Ma	X
NEÓGENO	PLIOCENO	X	X	X	X
	MIOCENO	X	X	5,5 Ma 10 Ma	X
PALEÓGENO	OLIGOCENO	X	X	28 Ma	X
		PICOS DE UMIDADE		PICOS DE SEMIARIDEZ	

Fazendo uma relação entre o período de maior taxa de precipitação já registrado para o Nordeste brasileiro, que provavelmente ocorreu no período entre 15.500 e 11.800 anos A.P. (BEHLING, *et al.*, 2000), com o relevo cárstico do município de Tejuçuoca, fica claro que esse relevo teve seu mais expressivo desenvolvimento ao longo do Pleistoceno tardio.

Sendo o clima fator determinante no condicionamento morfogenético, todas essas oscilações climáticas tiveram repercussões sobre o relevo regional, bem como no relevo cárstico em questão. As repercussões estão expressas em diferentes formas tanto exocársticas quanto endocársticas.

Os lapiás alveolares (Figura 4A) identificados na área são excelentes testemunhos paleoclimáticos, tendo em vista que sua gênese se dá sob os solos (AULER; PILÓ; SAADI, 2005). Nesse caso, com a ocorrência dessas feições por alguns setores, sobretudo nos setores mais rebaixados, pode-se afirmar que em períodos mais úmidos houve o desenvolvimento de mantos de intemperismo, justificando assim as morfologias arredondadas sub-horizontalizadas a horizontalizadas da área.

As feições endocársticas, também conhecidas como espeleotemas (Figura 4B), encontram-se bem desenvolvidas e se apresentam como importantes evidências paleoclimáticas no sertão cearense. As cavernas de origem epigênica abrigam diferentes

morfologias e, de forma geral, tais cavernas lembram *canyons* com paredões escarpados e algumas delas chegam a ultrapassar 7 m de altura.



Figura 4: (A) Lapiás alveolares; (B) Micro-represa de travertinos na Gruta do Sino.

Sendo assim, o relevo cárstico do município de Tejuçuoca possui importantes registros da evolução climática do Estado do Ceará, entretanto, se faz necessário estudos ainda mais aprofundados e, se possível, com auxílio dos diferentes métodos geocronológicos que possam vir a mensurar tais processos pretéritos.

4. CONCLUSÕES

O carste de Tejuçuoca documenta importantes eventos climáticos nas suas diferentes feições morfológicas, sendo de grande necessidade estudos mais aprofundados buscando uma melhor compreensão da morfodinâmica atual e pretérita do relevo cárstico em questão.

Sua morfologia exocárstica, bem como a endocárstica apresentam-se bem desenvolvidas, onde temos diversos tipos de lapiás como principais representantes de formas exocársticas e, no que tange as feições endocársticas as estalagmites e estalactites, cortinas, coraloides e outras, encontram-se bem desenvolvidas por toda estrutura.

As inferências adotadas nesse trabalho estão associadas com interpretações de leituras de artigos que tentam explicar a evolução de relevos cársticos em áreas de clima semiárido, além de análises do contexto geomorfológico, pedológico e fitogeográfico regional e local.

Cabe aqui destacar também a importância da geoconservação do patrimônio geomorfológico que o carste abriga, tendo em vista seu potencial geoturístico e espeleoturístico. Além de sua extrema importância como testemunho de eventos paleoclimáticos regionais.

A utilização do relevo cárstico pelo turismo, de forma planejada, pode trazer benefícios para a população local e ajudar na conservação das cavernas, da fauna e da flora local, que também possui um valor notável pelo atual estado de conservação.

REFERÊNCIAS

- AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. Ambientes cársticos. In: SOUZA, C. R. G. et al. (Orgs.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 321-342.
- BAILEY, R. Palaeoclimate. In: Goudie, A. S. (Org.) **Encyclopedia of Geomorphology**. v. 1, Londres: Routledge, 2004. p. 746-748.
- BEHLING, H.; ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, v. 19, n. 10, p. 981-994, 2000.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. v. 1. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2009.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Mapa na escala 1:500.000. Serviço Geológico do Brasil. Ministério das Minas e Energia. Fortaleza, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.
- ELORZA, M. G. Erosión e influencia del cambio climático. **Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario**, Salamanca, v. 20, n. 3, p. 45-60. 2006.
- _____. **Geomorfología**. Madrid: Pearson Educación, 2008.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. John Wiley & Sons, 2007.
- KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000. p. 113-138.
- KOHLER, H. C. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa, MG**. 1989. 113 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- LIMA, M. G. **A História do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas**. 2008. 593 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica)

– Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MELO, M. S.; CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P.; SAADI, A.; MELLO, C. L. Processos e Produtos Morfogenéticos Continentais. In: SOUZA, C. R. G. *et al.* (Orgs.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 258-275.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Carta morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e da Paraíba**. Nota explicativa. In: CPRM: Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará. Mapas na escala 1:500.000. Serviço geológico do Brasil, Fortaleza, 2003.

PILÓ, L. B. Geomorfologia cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 88-102. 2000.

PIMENTEL, F. V. **Reconstrução da precipitação sobre o Nordeste brasileiro em função das temperaturas da superfície do mar durante o Holoceno**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2013.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

THORNBURY, W. D. **Principios de geomorfología**. Buenos Aires: Kapelusz, 1960.

TRAVASSOS, L. E. P.; RODRIGUES, B. D.; TIMO, M. B. **Glossário conciso e ilustrado de termos cársticos e espeleológicos**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2015.

TRICART, J.; CARDOSO DA SILVA, T. Um exemplo de evolução karstica em meio tropical sêco: o môro de Bom Jesus da Lapa (Bahia). **Boletim Baiano de Geografia**, Salvador, n. 5/6, p. 3-19. 1961.

WANG, X.; AULER, A. S.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; CRISTALLI, P. S.; SMART, P. L.; RICHARDS, D. A.; SHEN, C. C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, p. 740-743, 2004.