



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

**GEOQUÍMICA E MINERALOGIA DE TUFAS CALCÁRIAS DA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO
VERMELHO (APANRV), NORDESTE DE GOIÁS**

Brasília, DF

2022

LEONARDO CHAVES MENDES

**GEOQUÍMICA E MINERALOGIA DE TUFAS CALCÁRIAS DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO
(APANRV), NORDESTE DE GOIÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Departamento de
Geografia da Universidade de Brasília
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Licenciado em
Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Uagoda

BRASÍLIA

2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

MENDES, Leonardo Chaves

Tufas calcárias da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV)/ Leonardo Chaves MENDES, orientador Rogério Uagoda – Brasília, 2022.

Monografia (Graduação- Geografia) – Universidade de Brasília, 2021

LEONARDO CHAVES MENDES

**TUFAS CALCÁRIAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS
NASCENTES DO RIO VERMELHO (APANRV)**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Elias Soares Uagoda (Orientador)
Universidade de Brasília - UnB

Emiliano Castro de Oliveira
Universidade Federal de São Paulo - Unifesp

Vinicius Vasconcelos de Souza
Universidade de Brasília - UnB

BRASÍLIA

2022

À minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

Ao Buda Amida, por indicar uma rota em meio ao Oceano de incertezas.

À minha família pelo apoio incondicional em todos os meus passos. Nos momentos de maior escuridão e tristeza, são acolhimento e segurança. Em especial, aos meus irmãos, Ana Letícia e Ricardo, agradeço pelas conversas, momentos de descontração e amor acolhedor; à minha companheira, Isabella, pelo ombro amigo, refúgio e presença constantes. Por nunca me deixar desistir de mim mesmo e por auxiliar com sugestões e apontamentos em meus textos. À minha mãe, lêda, por ser minha amiga de todas as horas, bússola na minha trajetória e por fomentar minha curiosidade no universo desde sempre. Eu amo vocês!

Minha sogra, Adriana, e meu sogro, Evandro, pelo acolhimento e risadas em dias que o TCC simplesmente não se desenrolava. Obrigado por cederem espaço para que eu pudesse, por vezes, estudar na casa de vocês. Minhas cunhadas, Rafaella e Mariah, por serem amigas, por estarem por perto e se interessarem pelo desenrolar da minha jornada acadêmica.

À Sangha do Templo Shin Budista da Terra Pura, em especial aos meus amigos do Grupo Jovem, por me auxiliarem a não perder a esperança e confiar no Oceano.

Ao Prof. Dr. Rogério Uagoda, pelos momentos de condução e orientação. Obrigado por ter confiado em mim para desenvolver pesquisas pelo Laboratório, mesmo durante a graduação. A conversa que tivemos na disciplina Geomorfologia abriu minha cabeça e me trouxe até aqui.

Às minhas amigas Adivane Nogueira e Dandara Caldeira, por estarem comigo rindo e chorando. Pelas conversas e experiências que enriqueceram essa monografia e permitem meu crescimento pessoal diário. Pelos puxões de orelha e por cada “orientação/bate-papo” remota ou presencial.

Ao Prof. Dr. Emiliano Oliveira, por ter topado compor nosso grupo de pesquisa e me auxiliar no desenvolvimento dos trabalhos sobre as tufas! Obrigado por ter respondido o e-mail!

Aos amigos e incentivadores. A Leandro César e Davi Magalhães, pela amizade incondicional, gargalhadas, passeios e almoços (im)produtivos no RU. Giovanna Hilário, Camilla Dias, Leonardo Luiz, Kelso Belém, Priscilla Lima, Graziella Campos, Marcelo Lucas e Matheus Pereira, por me aguentarem todos os dias e me darem suporte para que minha pesquisa chegasse à Europa. Vocês são demais!

Aos Laboratórios de Geografia Física (LAGEF/UnB), Difração de Raios-X (LDRX) e; Geoquímica e Água (LAGEQ/UnB). Em especial, aos conselhos valiosos de Myller Tonhá e Fernando Cavalcante. Aos amigos que esses espaços me proporcionaram.

Ao CNPq pelo fomento por meio de Bolsa de Iniciação Científica.

Ao ICMBio, pelo fomento por meio de TCCE ICMBio/VALE. Aos funcionários da APANRV, pela disposição, sorriso e auxílio nas aventuras durante os procedimentos de amostragem.

À população de Mambaí (GO), pela receptividade e acolhimento, além do bolo de mandioca e açaí maravilhosos!

À minha avó, Maria, por ser exemplo de superação e luta. Sua batalha também me colocou aqui.

“There's a reason why we live and die. In the end only our footprints stay behind...”

(Andre Matos)

RESUMO

Tufas calcárias podem ser caracterizadas como depósitos sedimentares, majoritariamente compostos por calcita (CaCO_3) e incrustações de matéria orgânica, formados em regime de águas não-termais e pH básico. Devido à sua importância na reconstrução de paleoambientes, as tufas calcárias possuem interesse crescente enquanto objeto de pesquisa, com aumento na quantidade de estudos publicados. Essa monografia busca apresentar, primeiramente, as tufas calcárias do Brasil e do mundo, a partir da revisão de literatura acerca dos estudos desenvolvidos, bem como das metodologias aplicadas na investigação desses carbonatos continentais. No segundo momento, busca apresentar as tufas calcárias inseridas na Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), mapeando-as e descrevendo a forma de seus ambientes de deposição. Por fim, apresenta uma caracterização preliminar, utilizando de análises geoquímicas e mineralógicas para a descrição de seu ambiente de formação. Percebe-se que a utilização de métodos de análise de elementos e minerais, associado à descrição dos ambientes deposicionais das feições, auxilia no desenvolvimento de estudos acerca das tufas, além de permitir inferências sobre o local de sedimentação da calcita, subsidiando novos entendimentos acerca do fluviocarste do Brasil central. Percebe-se também que as pesquisas sobre tufas no Brasil se concentra no bioma Pantanal. Deste modo, o presente trabalho é uma análise preliminar dos carbonatos continentais do Cerrado brasileiro.

Palavras Chave: carbonatos continentais; geoquímica; mineralogia; Cerrado

ABSTRACT

Calcareous tufa can be characterized as sedimentary deposits, mostly composed of calcite (CaCO_3) and incrustations of organic matter, formed in a non-thermal and basic pH water regime. Due to its importance in the reconstruction of paleoenvironments, calcareous tufa has a growing interest as a research object, with an increase in the number of published studies. This undergraduate thesis aims to present, at first, the calcareous tufa from Brazil and from the world, based on a literature review about the studies developed, as well as the methodologies applied in the investigation of these continental carbonates. In the second moment, aims to present the calcareous tufa from the Vermelho River Rising Environmental Protection Area (APANRV), mapping them and describing the shape of their depositional environments. Finally, it presents a preliminary characterization, using geochemical and mineralogical analyzes to describe its formation environment. It is noticed that the use of methods of analysis of elements and minerals, associated with the description of the depositional environments of the features, helps in the development of studies about tufa, in addition to allowing inferences about the sedimentation of calcite place, subsidizing new understandings about the fluviokarst from central Brazil. It can also be seen that research on tufa in Brazil is concentrated in the Pantanal biome. In this way, the present work is a preliminary analysis of continental carbonates in the Brazilian Cerrado.

Keywords: continental carbonates; geochemistry; mineralogy; Cerrado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização da área de estudo - Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho 18

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

APANRV	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO
DRX	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X
ICMBio	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
IG	INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
LDRX	LABORATÓRIO DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X
UC	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
UnB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	14
2	INTRODUÇÃO	15
3	OBJETIVOS	16
3.1	Objetivo Geral	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
5	REVISÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	19
5.1	TUFAS CALCÁRIAS: REVISÃO E PERSPECTIVAS DE ESTUDOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	20
	Introdução.....	21
	Definição, Tipologias E Processos De Formação Das Tufas.....	23
	Levantamentos De Estudos Envolvendo Tufas Calcárias	24
	Principais Metodologias Aplicadas Em Estudos De Tufas Calcárias	26
	Possibilidades Para O Estudo De Tufas No Brasil	31
	Considerações.....	33
	Agradecimentos.....	33
	Referências.....	34
6	RESULTADOS	41
6.1	IDENTIFICATION OF CALCAREOUS TUFA IN NORTHEAST OF THE STATE OF GOIÁS, BRAZIL.....	42
	Introduction	42
	Materials and methods.....	43
	Results.....	43
	Discussions.....	45
	Conclusion.....	46
	Acknowledgments.....	46
	References	46
6.2	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DE TUFAS CALCÁRIAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO (APANRV), NORDESTE DE GOIÁS	47
	Introdução.....	47
	Descrição Da Área De Estudo	48
	Materiais E Métodos	50

Resultados.....	53
Discussão	57
Considerações.....	61
Agradecimentos.....	62
Referências.....	62
7 CONSIDERAÇÕES GERAIS	65
8 REFERÊNCIAS	67

1 APRESENTAÇÃO

Para a construção desta pesquisa, foram realizadas consultas em bibliografias já consolidadas na temática das tufas calcárias, viabilizando a construção de um estudo mais acurado e preciso. No entanto, artigos mais recentes, além de teses e dissertações, também foram incorporados, possibilitando o desenvolvimento de novas perspectivas acerca do objeto de estudo.

A monografia está constituída na forma de três artigos, desenvolvidos no período da graduação e organizados em um mesmo documento. O primeiro deles, submetido para a revista “Geologia USP. Série Científica” e denominado “Tufas calcárias: revisão e perspectivas de estudos no território brasileiro”, é uma revisão que busca demonstrar a consolidação dos estudos e métodos de análise em tufas calcárias a partir do ano de 1999. A busca fora realizada em Base de Dados indexada pelo Portal de Periódicos Capes.

O segundo artigo, intitulado “Identification of calcareous tufa in northeast of the state of Goiás, Brazil” foi apresentado e publicado nos anais do evento 18th International Congress of Speleology, ocorrido no ano de 2022. A pesquisa contém a caracterização visual dos depósitos estudados na APANRV, bem como o mapeamento dos tipos de feições observadas.

Finalmente, o artigo denominado “Caracterização geoquímica e mineralógica de tufas calcárias da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), nordeste de Goiás” apresenta os resultados obtidos após análise laboratorial das tufas coletadas. Esse estudo será submetido para revista científica adequada.

A monografia conta, também com uma breve descrição acerca da área de estudo, demonstrando seus aspectos gerais, como a geologia. Por fim, no apêndice, foram inseridos os difratogramas citados no terceiro artigo que compõe a monografia, e obtidos por meio da técnica de Difração de Raios-X (DRX), no Laboratório de Difractometria de Raios-X (LDRX), do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB).

2 INTRODUÇÃO

Surgindo em regime de águas continentais, as tufas calcárias podem ser descritas como concreções carbonáticas de água não-termal e que contém incrustações de materiais biogênicos (FORD; PEDLEY, 1996). Esses afloramentos se desenvolvem em áreas cársticas, cujo processo de dissolução de rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos, libera Dióxido de Carbono (CO_2) para a atmosfera, permitindo a precipitação do mineral Calcita (CaCO_3) sobre matéria orgânica, como folhas e conchas de moluscos, além da presença de bactérias em seu interior (FORD; PEDLEY, 1996; TRAVASSOS, 2019).

A Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) é uma Unidade de Conservação (UC), criada em 2001, e que abriga, devido à sua Geologia, uma extensa área de carste. Dessa forma, feições como dolinas, sumidouros, *canyons* e cavernas dividem espaço com pequenos lotes agrícolas, que também estão compreendidos nos limites da APANRV. Desse modo, a contaminação inerente aos processos de antropização possui relevância e deve se desdobrar em novos estudos, devido a fragilidade do sistema fluviocárstico (BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

Alguns estudos demonstram que elementos químicos, como fosfatos (provenientes de ações antrópicas), podem interferir na sedimentação da Calcita e no desenvolvimento das tufas calcárias (NYSSSEN et al., 2004; CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; DABKOWSKI, 2014; DABKOWSKI, 2020). Dessa forma, análises geoquímicas e mineralógicas podem contribuir para o desenvolvimento da compreensão da formação dos carbonatos continentais.

O presente estudo se propõe a discutir acerca das tufas calcárias da APANRV a partir das perspectivas de espacialização das feições bem como de suas composições química e mineralógica, dando início às análises que podem auxiliar na compreensão da evolução da paisagem, quando atrelado à outras pesquisas em desenvolvimento.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- Descrever as tufas calcárias da APANRV a partir da perspectiva das análises química e mineralógica

3.2 Objetivos Específicos

- Descrever os ambientes de formação das tufas calcárias da APANRV
- Espacializar as feições localizadas em campo
- Correlacionar os dados obtidos a partir das análises das tufas calcárias com outras pesquisas da mesma área de estudo

4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) (Figura 1) está localizada na porção nordeste do estado do Goiás, e compreende os municípios de Simolândia, Alvorada do Norte, Sítio D'Abadia, Posse, Buritinópolis, Damianópolis e Mambaí. Sendo uma UC Federal, criada em 2001, a APANRV é administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e possui como missão a preservação ao Cerrado e ao carste o qual a APANRV se assenta.

Sua geologia é baseada em 3 grandes Grupos: Areado, Urucuia e Bambuí. O primeiro é associado a arenitos e à Formação Capacetes, interligado ao Bambuí. O Grupo Urucuia, por sua vez, é composto por quartzo-arenito red bed, arenitos-feldspáticos, arenitos, argilitos e conglomerados, distribuídos pelas Formações Posse e Serra das Araras. Por fim, o Grupo Bambuí, possui sequência pelito-carbonatada e é composto por calcários oolíticos e pisolíticos, margas e siltitos. (OLIVEIRA et al., 2008; NUNES, 2020).

A APANRV também conta, em seus limites, com pequenas propriedades agrícolas, sendo uma atividade econômica importante para os moradores da região. As ações agropecuárias, no entanto, podem sujeitar a APANRV à poluição das drenagens e, conseqüentemente, do sistema fluviocárstico, visto a grande quantidade de feições com atividade hídrica, como sumidouros e ressurgências, lapiás, cavernas e tufas calcárias (BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

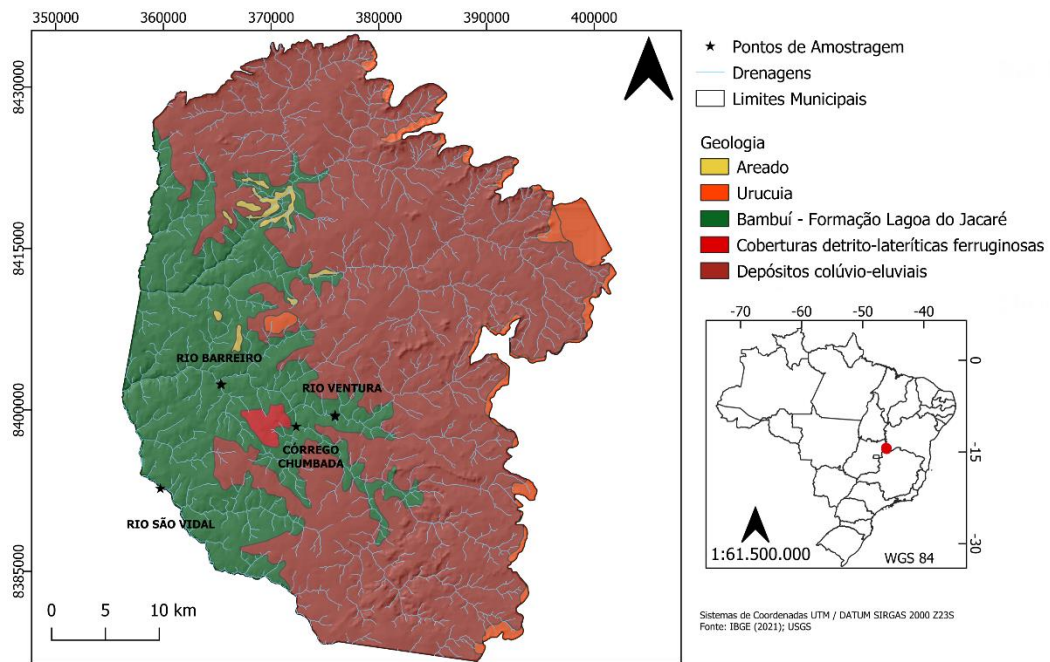


Figura 1- Mapa de Localização da área de estudo Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV).

5 REVISÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Esse capítulo apresenta uma revisão teórico-metodológica acerca das tufas calcárias no Brasil e no mundo. O artigo aqui inserido demonstra o quantitativo de textos publicados ao longo dos anos (1999-2022), bem como a distribuição espacial dos mesmos e as metodologias mais comuns para o estudo das concreções carbonáticas de águas não-termais. Além disso, um modelo de classificação de tufas de clima de monção já consolidado é traduzido e adaptado para o formato de tabela, facilitando sua leitura e interpretação. Por fim, são apresentadas perspectivas de estudo das concreções carbonáticas em território brasileiro.

5.1 Tufas calcárias: revisão e perspectivas de estudos no território brasileiro

Calcareous tufa: review and perspectives of studies in brazilian territory

Tufas calcárias: uma revisão bibliográfica

RESUMO

Dentre as feições típicas das áreas cársticas, encontram-se as tufas calcárias, importantes para reconstrução paleoambiental de determinada paisagem, pois se ancoram às diferentes áreas como climatologia, palinologia e malacologia. Além disso, auxilia estudos fluviais pois, sua gênese está diretamente ligada ao regime de águas frias (temperatura ambiente), com ocorrência principal em cachoeiras, barragens naturais, poços e represas. Finalmente, o desenvolvimento de pesquisas sobre tais concreções carbonáticas viabilizam novos entendimentos das feições e dinâmicas em paisagem cárstica. Desta maneira, o presente estudo busca revisar a ocorrência de artigos sobre tufas calcárias pelo mundo, auxiliando o desenvolvimento de trabalhos sobre estas concreções no território brasileiro. Utilizando a plataforma *Web of Science* (todas as bases), entre os períodos de 1999-2022, e a combinação dos termos “*calcareous*”, “*tufa*”, “*paleoclimate*” e “*palaeoenvironmental*”, fora encontrado o total de 32 artigos. Para localizar estudos no território brasileiro utilizou-se os termos: “*Brazil*” e “tufas”, encontrando 16 pesquisas, utilizadas na composição desta revisão. Com os resultados, é possível identificar uma escassez de pesquisas relacionadas às tufas calcárias em comparação à extensão de rochas carbonáticas no Brasil e no mundo. Ademais, observa-se uma concentração dessas pesquisas na Europa. No âmbito nacional a concentração de estudos ocorre na região do Pantanal.

Palavras-chave: Carste; Concreções carbonáticas; Paleoambiental.

ABSTRACT

Among the typical features of karstic terrains, lies the calcareous tufa, relevant to the ambiental reconstruction of certain landscape, whereas it is anchored in different areas such as climatology, palynology and malacology. In addition, helps in fluvial studies because its genesis is directly linked to cold water (ambient temperature) regimes, mostly occurring in waterfalls, natural barriers, pits and dams. Finally, the development of researches about these carbonate concretions, enable new understandings of the features and dynamics on karstic landscape. The present study aims to review the occurrence of calcareous tufa around the world, assisting the development of works about these concretions in Brazilian territory. Using *Web of Science* (all bases) platform, between 1999-2022 periods, and the combinations of the keywords “*calcareous*”, “*tufa*”, “*paleoclimate*” and

“palaeoenvironmental”, a total of 32 articles were found. To locate studies in Brazilian territory, using the terms “Brazil” and “tufas”, 16 articles were found and applied to compose this review. Due to the results, it’s possible to identify a lack of researches related to calcareous tufa, compared to the carbonate rocks in Brazil and in the world. Furthermore, these researches are concentrated in Europe. At national scope, the studies are condensed in the Pantanal region.

Keywords: Karst; Carbonate concretions; Palaeoenvironmental.

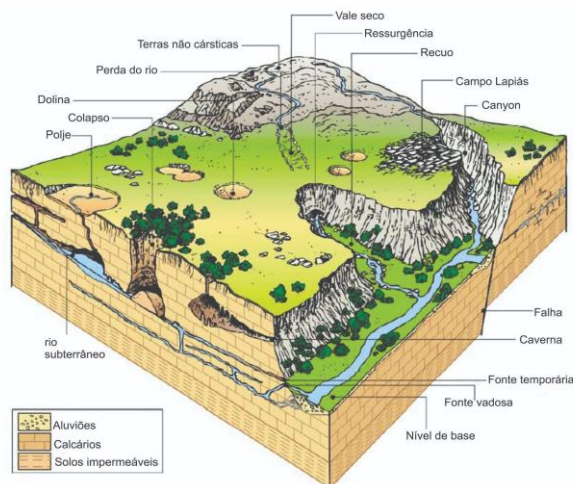
INTRODUÇÃO

Terreno cárstico é definido como um sistema aberto, onde há interações com subsistemas hidrológico e geoquímico, a partir de rochas carbonáticas, podendo ser descrito como um local cavernícola onde há ocorrência de águas subterrâneas. A alta solubilidade das rochas combinado com sua porosidade secundária (fraturas) auxilia no desenvolvimento de feições como afloramentos rochosos, sistemas de cavernas, dolinas, sumidouros, ressurgências, tufas calcárias, vales secos dentre outros, conforme demonstrado na Figura 1 (KARMANN, 1994; FORD e WILLIAMS, 2007; TRAVASSOS, 2019).

Há ocorrência de rochas carbonáticas em diversas partes da superfície terrestre. O mapeamento dessas litologias traz consigo a importância de verificar as aparições das feições típicas de terrenos cársticos não apenas em áreas de concentração carbonática, mas também em outras rochas com alta solubilidade (DE WAELE et al., 2009; WILLIAMS e FONG, 2010; TRAVASSOS, 2019).

O termo “carste” é originário do pré-indoeuropeu *karra*, significando pedra. Os eslovenos, por sua vez, utilizam a palavra *kras* que confere a esses terrenos a acepção “solo pedregoso e estéril”. A existência ou não de drenagem superficial nessas paisagens também é objeto de estudo da carstologia, visto a necessidade de entender a dissolução das rochas carbonáticas em diferentes temperaturas, bem como o transporte de CO₂ pelo fluxo fluvial (FORD e WILLIAMS, 2007; TRAVASSOS, 2019).

Figura 1 - Representação simplificada da paisagem cárstica



Fonte: BAKALOWICZ, M. (1999)

Uma das formas de ocorrência da perda do CO₂ para o ambiente se dá pelo processo deposicional dos sedimentos nas chamadas tufas. Essas, podem ser definidas como concreções carbonáticas formadas em áreas de água fresca (não-termais) e que possuem em sua constituição micro e macrófitos, invertebrados e bactérias. Além disso, é característico das tufas a disposição de alta porosidade em sua constituição (FORD e WILLIAMS, 1989; PEDLEY, 1990; FORD e PEDLEY, 1996; CAPEZZUOLI et al., 2014; TRAVASSOS, 2019).

Os estudos destes calcários formados por águas continentais frescas se dão por inúmeros fatores, dentre eles a reconstrução climática, a análise da evolução da paisagem e a verificação das influências das atividades antrópicas no meio, especialmente por intermédio da agricultura (CAPEZZUOLI et al., 2014). As análises biológicas e paleontológicas reforçam a importância do estudo das tufas, desenvolvendo questionamentos acerca da biota responsável pelo assentamento dos sedimentos formadores dessas concreções carbonáticas (FORD e PEDLEY, 1996; CAPEZZUOLI et al., 2014).

O sistema cárstico possui alta fragilidade pelo fato de ter um fluxo intenso de água subsuperficial, aumentando a possibilidade de receber tóxicos agrícolas, gerando poluição nos reservatórios (FORD e WILLIAMS, 2007). Deste modo, em um país como Brasil que tem grande parte do território, principalmente a região Centro-Oeste, pautada pela atividade econômica da agropecuária, tendo como produções principais de pecuária e soja, devido à intensa mecanização do campo (MIRAGAYA, 2014), os terrenos carbonáticos devem receber especial atenção por parte da pesquisa científica. A forma de uso da terra afeta diretamente o sistema cárstico bem como a dinâmica de crescimento das tufas, uma vez que o desmatamento é, também, um dos fatores de risco para os terrenos cársticos, visto que atrapalha a absorção do CO₂ pelas plantas. O dióxido de carbono, por sua vez, ao degradar a água, gera consequências negativas nas taxas de crescimento da tufa. Além disso, o corte e queima de árvores geram aumentos de temperatura, condição estritamente atrelada à formação dessas concreções carbonáticas (FORD e WILLIAMS, 2007; CAPEZZUOLI et al., 2014; DABKOWSKI, 2020). Demais influências antrópicas podem prejudicar intensamente tais feições como as atividades turísticas indiscriminadas (FORD e WILLIAMS, 2007; DABKOWSKI, 2020). Dessa forma, entende-se como necessário subsidiar tais pesquisas, reunindo trabalhos que se correlacionem à temática.

No intuito de localizar os estudos realizados em tufas no mundo, realizou-se consultas na ferramenta de busca *Web of Science* (todas as bases de dados), com recorte temporal entre os anos de 1999-2022, com emprego das combinações das palavras-chave: “*calcareous*”, “*tufa*”, “*paleoclimate*” e “*palaeoenvironmental*”. A partir disso, todos os artigos levantados foram checados no intuito de verificar se correspondiam aos termos. Cientes da existência de alguns estudos de tufas calcárias no Brasil, que, todavia, não foram identificados na plataforma de busca a partir da metodologia acima descrita, nos propomos a pesquisar na mesma utilizando apenas as palavras-chave: “*Brazil*” e “*tufas*” desta forma possibilitando identificar alguns estudos publicados. Outras referências de obras consolidadas foram utilizadas para ampliar o debate e construir o corpo do texto da presente revisão.

Neste sentido, o presente estudo busca revisar e apresentar os estudos desenvolvidos em sistemas de tufas calcárias no mundo e no Brasil, apontando as metodologias mais

aplicadas a fim de auxiliar o desenvolvimento de trabalhos sobre estas concreções no território brasileiro.

DEFINIÇÃO, TIPOLOGIAS E PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS TUFAS

No passado, o termo *tophus* era comum para a descrição de depósitos sendo de “cor branca e friável”, independentemente de sua origem. Atualmente, contudo, existem diferenciações acerca da aplicação do termo. A importância do regime das águas se dá pelo fato de que as concreções que surgem em águas quentes, próximas à atividade vulcânica, por exemplo, geralmente não possuem em sua constituição os pequenos invertebrados, comuns às tufas. São denominadas, então, por travertinos (FORD e PEDLEY, 1996).

A interação entre águas ricas em CO₂ e as rochas carbonatadas (condicionadas aos fatores de dissolução, a precipitação e/ou a evaporação) é o fator gerador das tufas. A supersaturação favorece a precipitação da calcita, o principal mineral de precipitação química em áreas cársticas (HILL e FORTI, 1997). O processo de reprecipitação da calcita pode ser demonstrado por meio da equação:



(equação de precipitação do carbonato de cálcio)

Para a ocorrência da precipitação dos depósitos de tufas, faz-se necessário a disponibilidade química dos íons envolvidos (Ca⁺² e HCO₃⁻), além da vazão do fluxo hídrico, bem como da quantidade de dióxido de carbono. Desta forma, as condições mais favoráveis para formação de tufas seriam em períodos muito úmidos e quentes de acordo com Ford e Pedley (1996). Entretanto, foram reconhecidas tufas formadas em diferentes condições climáticas, como tropical úmido com formações fortemente influenciadas por temperaturas de água sempre quentes, altas taxas de evaporação e inundações de alta magnitude causadas por monções (CARTHEW et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008) e mesmo no semi-árido (MOEYERSONS et al., 2006; ORDÓÑEZ et al., 2005).

Áreas de grande turbulência, como cachoeiras, também podem ser relacionadas à formação de tufas, em regiões cársticas de clima tropical e subtropical (CHEN et al., 2004). É interessante observar que o sistema da tufa, apesar de ocorrer em águas frescas e de fluxo constante, tem caráter agradacional e não degradacional (erosivo). Isso se deve ao fato de que a própria tufa seleciona os elementos carbonáticos e exclui os que não são úteis para sua formação (materiais siliciclásticos) (FORD e PEDLEY, 1996).

Dessa maneira, é visível que as tufas se formam em diferentes ambientes, gerando concreções de distintos formatos e conteúdos biogênicos. Em estudos desenvolvidos por Pedley (1990) e Ford e Pedley (1996), são demonstradas tentativas de uniformizar as classificações de tufas, não apenas por suas fácies litológicas, mas por seu conteúdo botânico e ambiente de formação. Essa junção das diferentes classificações promovidas ao longo do tempo se faz importante pois, como um sistema aberto, as tufas enquanto *outputs*, são produtos de diversas interferências em seu ambiente formador (CHORLEY, 1962).

LEVANTAMENTOS DE ESTUDOS ENVOLVENDO TUFAS CALCÁRIAS

Com os avanços nas pesquisas acerca das tufas calcárias, empregando técnicas como datação por radiocarbono, a biota presente e o monitoramento ativo do crescimento das concreções (por exemplo PEDLEY e ROGERSON, 2010), amplia-se a utilidade dessas para reconstruções paleoambientais (FORD e PEDLEY, 1996; DABKOWSKI, 2020), onde relata-se a diminuição das tufas devido a ações antrópicas, como a agricultura.

A partir do levantamento realizado a nível mundial, foi possível identificar 32 artigos (Quadro 1), dos quais 26 apresentam análises diretas nas litologias, enquanto o restante (seis artigos) possui o caráter de revisão/estado da Arte. Apenas seis estudos se encontram fora de território europeu, sendo apenas um localizado no Brasil (SALLUN FILHO et al., 2012).

Tabela 1 - Pesquisas localizadas sobre tufas calcárias

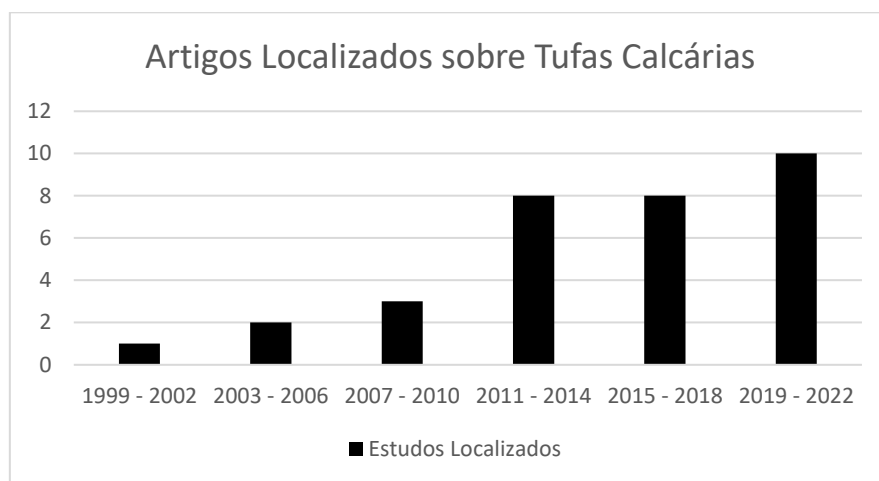
Cód	Autores	Ano	Análises	Local
1	AJUABA et al.	2021	Análise textural; Mineralogia	Valencia (Rio Ebrón), Espanha
2	ALEXANDROWICZ et al.	2018	Malacologia; Datação por Radiocarbono	Łapsze Niżne, Polónia
3	ANDREWS	2006	Isótopos estáveis (Revisão)	-
4	ANTOINE et al.	2007	Revisão	Rios Seine, Somme e Yonne, França
5	AZENNOUD et al.	2022	Petrografia, Geoquímica, Datação por Radiocarbono	Imouzzer Kandar (33º 43' 44" N, 5º 0' 39" W)
6	BERTINI et al.	2014	Palinologia	Bagnoli (43°26'38.59" N 11°03'13.19" E)
7	Capezuoli et al.	2014	Estado da Arte	-
8	CREMASCHI et al.	2010	Datação por U/Th, Datação por Radiocarbono e Isótopos estáveis	Tadrart Acacus Mountains, Saara
9	CREMASCHI et al.	2015	Datação por Radiocarbono, Petrografia, Geoquímica, Datação por U-Th, Isótopos estáveis	Dhofar, Oman
10	DABKOWSKI et al.	2011	Isótopos Estáveis	Caours e La Celle-sur-Seine, França
11	DABKOWSKI et al.	2012	Petrografia, Isótopos Estáveis, Elementos Traço	La Celle (48º 23' N, 2º 50' E)
12	DABKOWSKI et al.	2016	Petrografia, Isótopos Estáveis, Elementos Traço	Caours, França
13	DABKOWSKI et al.	2019	Geoquímica, Isótopos Estáveis	Cárpatos, Eslováquia (48°56'45" N, 17°58'24" E)
14	DABKOWSKI et al.	2022	Datação por Radiocarbono, Datação por U/Th, Isótopos Estáveis	Middle Atlas, Marrocos (33º 38' 49.50" N, 4º 59'38.33")

15	DABKOWSKI	2014	Revisão	-
16	DABKOWSKI et al.	2015	Isótopos Estáveis, Datação por Radiocarbono	Direndall/Rio Mamer (49°41'07" N/6°05'28" E)
17	DABKOWSKI et al.	2020	Malacologia	Rio Resson (48°32'59" N, 3°29'24" E)
18	DOBROWOLSKI et al.	2012	Palinologia, Malacologia, Análise de Macrofósseis de Plantas, Isótopos Estáveis, Datação por Radiocarbono, Datação por Termoluminescência	Spring Mire
19	DOBROWOLSKI et al.	2019	Datação por Radiocarbono, Isótopos Estáveis, Palinologia, Análise de Macrofósseis de Plantas, Malacologia, Geoquímica	Sítios Bobolice e Sokolica/Spurgle
20	GRANAI et al.	2020	Datação por Radiocarbono, Malacologia	Direndall/ Lorentzweiler
21	LESPEZ et al.	2008	Granulometria, Datação por Radiocarbono, Malacologia, Palinologia	Rio Mue
22	LIMONDIN-LOZOUET	2017	Malacologia (Revisão)	-
23	LIMONDIN-LOZOUET et al.	2020	Malacologia	La Celle (48° 23' N, 2° 50' E)
24	LUZÓN et al.	2017	Datação por Radiocarbono, Palinologia, Mineralogia, Isótopos Estáveis, Levantamento de Dados Geofísicos	Rio Añamaza
25	PAZZAGLIA et al.	2013	Descrição de Fósseis de Mamíferos, Palinologia, Datação por U/Th, Isótopos Estáveis	Bacia Ellera
26	PEÑA et al.	2000	Petrografia, Mineralogia, Isótopos Estáveis, Datação por U/Th	Rio Mijares
27	PIERUCCINI et al.	2021	Datação por Radiocarbono	Bacia Pecora
28	RICCI et al.	2015	Datação por Radiocarbono, Isótopos Estáveis, Palinologia	Bacia Valdelsa
29	RITTER et al.	2017	Geoquímica	Franconian Alb
30	SALLUN FILHO et al.	2012	Petrografia, Datação por Radiocarbono, Geoquímica	Serra do André Lopes
31	STARKEK et al.	2006	Revisão	Polônia
32	WACKENHEIM et al.	2020	Datação por Radiocarbono, Malacologia	Ait said ou Idder, Marrocos

Fonte: *Web of Science* (2021)

Percebe-se o aumento dos estudos em tufas no decorrer dos anos. Seis foram os artigos encontrados que se inserem entre os anos de 1999 e 2010. Desse modo, entre 2011 e 2022, 26 estudos foram localizados, demonstrando interesse ascendente nas investigações acerca dos depósitos carbonáticos. A Figura 3 mostra a quantidade de publicações numa série de quatro em quatro anos. É perceptível que o período de 2019-2022 possui maior acervo de estudos, totalizando dez.

Figura 3 - Trabalhos publicados entre 1999 e 2022 (a cada 4 anos)



Fonte: Web of Science (2022)

PRINCIPAIS METODOLOGIAS APLICADAS EM ESTUDOS DE TUFAS CALCÁRIAS

Verificando as análises realizadas nas concreções carbonáticas dos artigos reunidos (Figura 2), observa-se a importância destas para a realização das reconstruções ambientais nos locais estudados. Por meio de diversas análises, dentre elas a faciológica, geocronológica, isotópica, malacologia/botânica e geoquímica.

Análise Faciológica

Análise faciológica pode ser considerada uma das metodologias mais consolidadas, pois todos artigos levantados utilizam de tal técnica, já que a morfologia da deposição diz muito sobre as características ambiente deposicional e dos mecanismos ambientais envolvidos (Quadro 1).

Tufas calcárias vêm sendo descritas desde 1900 iniciando com o estudo de Davis (1900), no entanto de forma mais aprofundada a partir da década de 1960 (SCHOLL e TAFT, 1964). Uma primeira classificação das tufas foi proposta por Ordóñez e García Del Cura (1983), e em 1986 outra classificação (BRANCACCIO et al., 1986), que consideravam a litificação ou não do depósito, separando os depósitos em *Travertini Detritici* (detríticos, inconsolidados) e *Travertini Autoctoni* (autóctones, consolidados). Dessa forma, observa-se que o termo travertino ainda era utilizado como sinônimo de tufa.

Uma nova classificação bem conhecida foi lançada por Pedley (1990) na qual considera, além da litificação, as inclusões biogênicas, bem como o ambiente de formação, tornando-se, portanto, a forma de classificação mais completa e amplamente difundida sobre tufas. Pedley et al. (1996) acrescentam na classificação a divisão de tufas em relação aos ambientes: quente/semi-árido/ fresco/temperado. Depósitos de tufas foram descritos por Buccino et al. (1978) inserindo dados geoquímicos e isotópicos em todos continentes (exceto a Antártida). Ford e Pedley (1996) apresentam uma compilação, oferecendo um panorama global das ocorrências de tufas, cujo conhecimento se restringia a depósitos da Europa e América do Norte (PENTECOST, 1995).

Modelos ambientais contribuem grandemente para interpretação de campo de tufas fósseis que podem ser difíceis com o avanço do intemperismo e soterramento que atrapalham a observação dos detalhes estratigráficos e geomórficos, controlados por fatores biológicos e climáticos nos ambientes de tufas (CARTHEW et al., 2006, PEDLEY et al., 2003). Tais modelos podem ser entendidos como representações conceituais considerando dados de sequências de tufas ativas e fósseis. Portanto, resumem a morfologia característica do depósito, associações de fácies, condições hidráulicas (rios, lagos, nascentes e pântanos), flora e fauna que ocorrem em cada sistema de tufas (PEDLEY, 1990).

Por fim, podem oferecer informações acerca da formação e dos fatores que controlam o crescimento das tufas, que é essencial para o manejo eficaz nos locais das mesmas (PENTECOST et al., 2003). No entanto, modelos devem ser aplicados considerando o local sob investigação, porém, eram inexistentes modelos ambientais derivados de estudos de regiões de monções tropicais, com água quente, altas taxas de evaporação, precipitação fortemente sazonal e inundações destrutivas regulares. Fatores esses que têm grande influência sobre os depósitos de tufas. Desta forma, Carthew et al., (2006) se propuseram a desenvolver um modelo apropriado baseado em características gerais de esquemas existentes, especialmente aqueles relatados por Pedley (1990), Pedley et al. (2003); Violante et al. (1994), mas foi adaptado para se adequar aos tufas fluviais de monções tropicais. O modelo contém os ambientes deposicionais característicos, unidades geomórficas e fácies que se formam em rios depositantes de tufas que operam sob este regime climático (Quadro 2).

Tabela 2 - Proposta de Carthew et al., 2006 para classificação de fácies de tufas fluviais em regiões sob influência de monções

Sistema de tufas fluviais de monções tropicais				
	Fácies	Subtipos	Unidades geomórficas de tufa e estruturas sedimentares	Formação (ambiente deposicional)
Fácies autóctones (formação <i>in loco</i>)	Fácies microfíticas	Cerebral	A laminação compreende, uma camada contínua, contém filamentos microbianos planos e uma camada colunar com filamentos verticais formando os microstromatólitos	Zonas de sobreposição ou pulverização de água, em margens de riachos próximo a cachoeira ou cascata

		Esponjosa	Em uma escala micro, a alta porosidade é a característica mais marcante	Frentes de barragens sob condições de infiltração, onde se cria lóbulos da tufa
		Trombolítico	Fácies compacta microfítica densamente laminada pode ser vista claramente em lâminas delgadas	Zona de impacto abaixo dos derramamentos da barragem, restrita a condições subaquáticas, formando uma microestrutura coagulada
		Compacto	Fácies compacta microfítica densamente laminada	Zona de impacto abaixo dos derramamentos da barragem e é muito bem preservada em tufas fósseis
	Fácies larvais	Quironomídeo	Massa de pequenos tubos de habitação (das larvas) calcificados	Zonas hidráulicas que variam de água parada a água que flui suavemente em cascatas e frentes de barragens cobertas por uma fina película de água corrente
		Hidropsíquido	Abrigos (larvais) calcificados e redes de captura de seda (vazios redondos)	Zonas hidráulicas de água corrente de velocidade de fluxo relativamente alta
		Piralídeo	Abrigos (larvais) calcificados com cobertura de seda. Vazios redondos pouco maiores.	Frentes de barragens sob condições de infiltração
	Fácies macrofíticas	Fácies emaranhado de raízes	Compreende uma rede de pequenas raízes calcificadas de Melaleuca	Particularmente comum em piscinas entre represas e em cascatas onde o fluxo é turbulento e multidirecional
		Fácies de Briófitas	Incrustação de calcita com folhas e raízes de Briófitas	Barragens abandonadas e/ou com escoamento. Além disso, podem ocorrer próximas a cachoeiras ou cascatas, devido aos respingos de água.

	Fácies de jangada de calcita e fácies microdetritais	Fácies de jangada de calcita e fácies microdetritais	Jangada: Incrustações de calcita flutuantes. Fácies microdetritais: Lama micrítica, provavelmente produzida por cianobactérias. Também contém jangadas de calcita submersa.	Ambas restritas a zonas de água parada em piscinas e poços. Comuns durante a estação seca, pois as estações úmidas removem as jangadas de superfície e enxaguam jangadas de calcita afundadas e lama acumulada na base do canal.
	Fácies de concha	Fácies de concha	Ocorrem em associação com a camada radicular macrofítica ou fácies microdetrital. Contém conchas de moluscos articuladas em posição vital.	Ocorrem em piscinas e poços
Fácies alóctones (transportados)	Fácies litoclástica	Litologias cársicas não	Clastos que são depositados durante as enchentes e posteriormente cimentados por tufa para formar a fácies litoclástica	São depositados em piscinas e poços durante as enchentes
	Fácies fitoclásticas	Fácies fitoclásticas	Consistem em folhas, caules, galhos e cascas de plantas calcificadas e contém vazios abundantes que preservam a localização deste material em decomposição	Comuns em ambientes de barragens, onde se forma a partir de detritos lenhosos depositados durante as enchentes e também de material aprisionado que é constantemente jogado nos riachos pela vegetação ribeirinha.
	Fácies intraclásticas	Fácies intraclásticas	Pedaços de depósitos de tufa a montante são erodidos e depositados a jusante, onde são cimentados juntamente com a tufa. Normalmente ocorre com conchas quebradas.	As fácies intraclásticas formam-se em poços e piscinas durante as cheias.
	Fácies oncoidais	Fácies oncoidais	Composta de nódulos formados por cianobactérias calcificadas.	Observadas em área de água corrente. As fácies oncoidais fósseis são mais comuns em bancos onde ocorre em aterros sedimentares junto com lama e conchas. Oncoides indicam um ambiente de águas rasas.

Fonte: CARTHEW et al. (2006)

É importante ressaltar que as fácies e suas texturas podem ocorrer de forma semelhantes em riachos de diferentes áreas com clima diferente e dinâmica fluvial sazonalmente relacionada (CAPEZZUOLI et al., 2014; FORD e PEDLEY, 1996; PEDLEY, 1990) da mesma forma que grandes diferenças texturais e faciológicas podem acontecer em rios que de determinada região (OSTE et al., 2021).

Outras metodologias consolidadas no estudo de tufas calcárias

Outras análises, além das faciológicas, são utilizadas para os estudos das tufas. Sendo esses produtos da precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3), um dos estudos de grande relevância se dá onde o sedimento se assenta: o conteúdo biológico. Plantas, algas e conchas de moluscos são exemplos de locais onde a deposição pode ocorrer, conforme demonstrado por Ford e Williams (2007).

A malacologia é tida como o estudo dos moluscos e de suas conchas (STURM et al., 2006). Diversas são as necessidades de trabalho para compreensão das conchas presentes na concreção. Uma das finalidades se encontra na possibilidade de desenvolvimento de teorias acerca das condições e dinâmicas paleoambientais, pois a presença das espécies serve como indicador das conjunturas do ambiente anterior (MOREIRA JUNIOR, 2019). A presença de determinadas espécies sugere condições específicas da paisagem anterior, como locais de águas calmas ou lagos, como apresentado por Utida et al. (2017), além de demonstrar os motivos que levaram ao desaparecimento dos mesmos na área analisada (UTIDA, 2009).

A geoquímica estuda a forma de interação dos elementos químicos presentes na superfície terrestre, incluindo também a crosta, a biosfera, a litosfera, a hidrosfera e a atmosfera. Análise desses elementos associados a hidrologia da água com elementos de traço em áreas cársticas podem fornecer informações valiosas sobre as mudanças climáticas, mas a resposta geoquímica ao clima pode variar de acordo com o tipo de formação de carbonato secundário e resolução de tempo (KARMANN et al., 2007). Os depósitos de tufas foram investigados em busca de um melhor entendimento de que mudanças ambientais controlam a deposição de diferentes tipos de fácies de tufas. Tal dinâmica depende de parâmetros físico-químicos (OSTE et al., 2021). Datações e o estudo geoquímico de tufas também podem elucidar os últimos períodos úmidos, registrando informações sobre o tipo de recarga, origens das fontes de umidade e relações com mudanças em maior escala no sistema climático (KELE et al., 2021).

A utilização de isótopos estáveis como traçadores da proveniência geográfica natural de origem e processo tem crescido em diversas áreas, são aqueles que ocorrem de forma comum na natureza. Isótopos estáveis vêm sendo utilizados para reconstruir a temperatura com $\delta^{18}\text{O}$ da água de precipitação. Dados de isótopos e a idade U – Th para depósitos de tufas podem ser usados para datar e reconstruir as condições paleoclimáticas (KELE et al., 2021). Conforme salientado anteriormente depósitos de tufas que resultam da precipitação de calcita fazem parte dos carbonatos terrestres, e sua mineralogia (tipicamente > 95% CaCO_3) os torna arquivos altamente adequados para análise de isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$), que podem inferir informações sobre condições paleoclimáticas (DABKOWSKI et al., 2015). Portanto, além de descrever e fornecer um modelo sedimentológico para o determinado sistema e estabelecer os processos envolvidos na precipitação carbonática em todo o sistema também pode ajudar a compreender os controles e mecanismos de precipitação carbonática de outras tufas antigas como arquivos paleoclimáticos (MELÓN e ALONSO-ZARZA, 2018).

A aplicação de métodos de datação se mostra extremamente importante nas análises das concreções carbonáticas de água fresca. Isso porque é possível descobrir o período de sua formação a partir de aplicação de decaimento radioativo no material biótico ao qual o sedimento se assenta. Sua importância, contudo, vai além: ao realizar a cronologia da litologia, reconstruções da dinâmica paleoambiental podem ser feitas (FORD e WILLIAMS, 2007), a partir de estudos previamente realizados, que recriam as condições climáticas através dos tempos. Um dos principais métodos utilizados para datações está no decaimento de Urânio e Tório (U - Th). Isso se deve à meia-vida desses elementos, capaz de datar litologias mais antigas (FORD e WILLIAMS, 2007).

POSSIBILIDADES PARA O ESTUDO DE TUFAS NO BRASIL

O levantamento dos estudos em tufas calcárias com enfoque no território brasileiro permitiu identificar 16 artigos científicos no banco de dados consultado (Tabela 2). Da mesma forma que no cenário mundial observamos no Brasil uma carência de pesquisa, haja vista a extensão de áreas de ocorrência de cavernas e rochas carbonáticas no território. Comportamento similar também é observado com relação ao aumento da produção científica utilizando tufas calcárias na última década (11 trabalhos). Tal situação reflete o acompanhamento das pesquisas nacionais frente ao desenvolvimento científico sobre o tema.

Tabela 3 - Estudos sobre tufas calcárias no Brasil

Cód	Autor	Nome	Análises
1	(CORRÊA et al., 2011)	Geomorphology and genesis of the remarkable Araras Ridge tufa deposit, Western Brazil	Sedimentologia, Cronologia (U-Th)
2	(KARMANN et al., 2007)	Climate influence on geochemistry parameters of waters from Santana-Pérolas cave system, Brazil	Hidroquímica, espectrometria no solo
3	(OSTE et al., 2021)	Depositional and environmental controlling factors on the genesis of Quaternary tufa deposits from Bonito region, Central-West Brazil	Físico-química da água, classificação da litologia, análises faciológicas, Difração de Raios-X, caracterização dos cristais e da biota.
4	(RIBEIRO et al., 2001)	Uranium and thorium series disequilibrium in quaternary carbonate deposits from the Serra da Bodoquena and Pantanal do Miranda, Mato Grosso do Sul State, central Brazil	Cronologia (U-Th)
5	(RIBEIRO et al., 2015)	OSL dating of Brazilian fluvial carbonates (tufas) using detrital quartz grains	Luminescência Opticamente Estimulada, Cronologia (¹⁴ C).

6	(UTIDA et al., 2017)	Palaeoenvironmental interpretations based on molluscs from mid-Holocene lacustrine limestones, Mato Grosso do Sul, Brazil	Análise Faciológica, Malacologia.
7	(TRAVASSOS e DE OLIVEIRA, 2016)	Tufa deposits in the karst of Montes Claros, Minas Gerais, Brasil	Apresentação dos depósitos em Montes Claros (MG). Não há análises em tufas.
8	(DE OLIVEIRA et al., 2017)	Paleoenvironmental Evolution of Continental Carbonates in West-Central Brazil	Análise petrográfica, isotopia, cronologia (U-Th)
9	(SALLUN FILHO e KARMANN, 2007)	Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil	Mapeamento geomorfológico da área. Demonstra local com ocorrência de tufas.
10	(SALLUN FILHO et al., 2012)	Characterization of quaternary tufas in the Serra do André Lopes karst, southeastern Brazil	Análise petrográfica, Difração de Raios-X.
11	(DINIZ et al., 2022)	Tufa associated with karst features in a fracture-system fed by meteoric water, Araripe basin, NE Brazil	Petrografia, Difração de Raios-X, Isótopos Estáveis
12	(PEREIRA et al., 2017)	Continental carbonates from Itaboraí Formation in southeastern, Brazil	Petrografia, Faciologia, Isótopos Estáveis
13	RODRIGUES et al., 2022)	Continental freshwater carbonate coated grains: oncoids in Quaternary deposits of the Serra da Bodoquena region, Central-West Brazil	Difração de Raios-X, Isótopos Estáveis, Geoquímica, Petrologia
14	(SANT'ANNA et al., 2004)	The Paleocene travertine system of the Itaboraí basin, Southeastern Brazil	Petrografia, Difração de Raios-X, Geoquímica, Isótopos Estáveis, Faciologia
15	(SANTOS et al., 2016)	Integrative taxonomy of <i>Metrichia</i> Ross (Trichoptera: Hydroptilidae: Ochrotrichiinae) microcaddisflies from Brazil: descriptions of twenty new species	Descrição de Espécies contidas nas tufas
16	(SHIRAIISHI et al., 2022)	Microbial influences on tufa deposition in a tropical climate	Hidroquímica

A partir do levantamento efetuado, fora possível visualizar a espacialização de tais estudos no território, sendo possível observar que ocorre uma concentração de pesquisas na região do Pantanal brasileiro, e carência de pesquisas nas áreas onde tem maior concentração de rochas carbonáticas – o Cerrado do Brasil-central (WILLIAMS e FONG, 2010).

A maioria das metodologias utilizadas nos estudos internacionais são também as usadas nas pesquisas nacionais. No entanto, ao contrário das pesquisas mundiais, que possuem como predominância a análises de fácies, no Brasil as técnicas aplicadas são mais diversas. As únicas que aparecem somente nos estudos brasileiros são a espectrometria de solos e a datação utilizando técnica de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), aplicada por Ribeiro et al. (2015). Acredita-se que as idades obtidas por esse método são as melhores estimativas para o tempo de deposição inicial das amostras de tufas estudadas, pois a recristalização de carbonato ou a absorção de matéria orgânica após a formação de tufas são responsáveis pelas idades de radiocarbono mais jovens em comparação com idades de quartzo nas amostras das concreções mais antigas.

Este levantamento teórico-metodológico foi desenvolvido com intuito de preparar o grupo de pesquisa que vem realizando investigações acerca dos afloramentos de tufas calcárias no Cerrado do Brasil central, estando relacionadas ao Grupo Bambuí e a Formação Lagoa do Jacaré a oeste do Cráton São Francisco.

CONSIDERAÇÕES

O levantamento dos estudos envolvendo tufas calcárias evidenciou que, apesar do aumento de estudo na temática nos últimos anos, ainda são poucos considerando as vastas áreas de rochas carbonáticas da superfície terrestre. A nível mundial existe uma concentração de trabalhos no continente europeu. No que tangencia o território brasileiro, as análises se concentram principalmente na porção sudoeste do país, especialmente no espaço sul-matogrossense. Dessa maneira, áreas como a porção do Brasil central se mostram com defasagem de trabalhos desenvolvidos, apesar de possuir grande área de terreno cárstico. Trabalhos acerca da sedimentação do carbonato de cálcio em forma de tufas, auxiliaria a resolver questões concernentes à evolução da paisagem no Cerrado, se somando, inclusive, aos estudos que demonstram como a ação antrópica pode interferir no processo de formação e conservação das feições do carste brasileiro.

A metodologia de busca em plataforma é fundamental para reunir artigos de revistas indexadas, que permite detalhar as buscas por palavras-chave, e critérios espaço-temporais. As pesquisas localizadas apresentam diversas metodologias consolidadas ou recentes que podem ser aplicadas ao estudo de tufas dependendo do objetivo da pesquisa, sendo a análise de fácies a mais recorrente. Os estudos demonstram o potencial de tais feições para diversas análises voltadas à questão paleoambiental e também interferências antrópicas nos sistemas cársticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação (omitido para avaliação a cega) que forneceu estrutura para a realização da pesquisa. Ao programa PIBIC com o fomento da

bolsa de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq. Agradecem também ao fomento obtido pelo TCCE 01/2018 Vale/ICMBio.

REFERÊNCIAS

- AJUABA, S.; ARENAS, C.; CAPEZZUOLI, E. (2021). Sedimentology of pleistocene palustrine tufas and associated deposits of the ebrón valley (iberian ranges, spain). **Estudios Geológicos**, 77(1).
- ALEXANDROWICZ, W. P.; SZYMANEK, M.; RYBSKA, E. (2018). Application of malacological analysis in local and regional palaeoenvironmental reconstructions – A study from the Holocene of Łapsze Niżne (Podhale, southern Poland). **Acta Geologica Polonica**, 68(1), 89–105.
- ANDREWS, J. E. (2006). Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: Synthesis and review. **Earth-Science Reviews**, 75(1-4), 85–104.
- ANTOINE, P.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; CHAUSSÉ, C.; LAUTRIDOU, J. P.; PASTRE, J. F.; AUGUSTE, P.; BAHAIN, J. J.; FALGUÈRES, C.; GALEHB, B. (2007). Pleistocene fluvial terraces from northern France (Seine, Yonne, Somme): synthesis, and new results from interglacial deposits. **Quaternary Science Reviews**, 26(22–24) 2701–2723.
- AZENNOUD, K.; BAALI, A.; AIT BRAHIM, Y.; AHOUACH, Y.; HAKAM, O. (2022). Climate controls on tufa deposition over the last 5000 years: A case study from Northwest Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 586 (2022),110767.
- BAKALOWICZ, M. (1999). Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, **SDAGE Rhône - Méditerranée - Corse. Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse**, Lyon, 40 p.
- BERTINI, A.; MINISSALE, A.; RICCI, M. (2014). Palynological approach in upper quaternary terrestrial carbonates of central italy: Anything but a “mission impossible”. **Sedimentology**, 61(1), 200–220.
- BRANCACCIO, L.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; DAMIANO, S.; TURI, B.; PREITE, M. M. (1986). Caratteri Tessiturali e Geochimici dei Travertini di Rocchetta a Volturno (Molse). **Bollettino della Societa Geologica Italiana**, 105, 265-277.
- BUCCINO, G.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; BRANCACCIO, I.; FERRERI, M.; PANICHI, C.; STANZIONE, D. (1978). I Travertini della bassa valle del Tanagro (Campania). **Studio Geomorphologico, Sedimentologico e Geochimico. Bollettino della Societa Geologica Italiana**, 97, 617–646.
- CAPEZZUOLI, E.; GANDIN, A.; PEDLEY, M. (2014). Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. **Sedimentology**, 61(1), 1–21.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. (2006). An environmental model of fluvial tufas in the monsoonal tropics, Barkly karst, northern Australia. **Geomorphology**, 73(1–2), 78–100.
- CHEN, J.; ZHANG, D. D.; WANG, S.; XIAO, T.; HUANG, R. (2004). Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. **Sedimentary Geology**, v. 166(3–4), 353–366.
- CHORLEY, R. J. (1962). Geomorphology and General Systems Theory. **United States**

Government Printing Office, 16–22.

CORRÊA, D.; AULER, A. S.; WANG, X.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H. (2011). Geomorphology and genesis of the remarkable Araras Ridge tufa deposit, Western Brazil. **Geomorphology**, 134(1–2), 94–101.

CREMASCHI, M.; ZERBONI, A.; SPÖTL, C.; FELLETTI, F. (2010). The calcareous tufa in the Tadrart Acacus Mt. (SW Fezzan, Libya). An early Holocene palaeoclimate archive in the central Sahara. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 287(1–4), 81–94.

CREMASCHI, M.; ZERBONI, A.; CHARPENTIER, V.; CRASSARD, R.; ISOLA, I.; REGATTIERI, E.; ZANCHETTA, G. (2015). Early-Middle Holocene environmental changes and pre-Neolithic human occupations as recorded in the cavities of Jebel Qara (Dhofar, southern Sultanate of Oman). **Quaternary International**, 382, 264–276.

DABKOWSKI, J.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; ANTOINE, P.; MARCA-BELL, A.; ANDREWS, J. (2011). Enregistrement des variations climatiques au cours des interglaciaires d'après l'étude des isotopes stables de la calcite de tufs calcaires pléistocènes du nord de la France : exemple des séquences de Caours (SIM 5e. **Quaternaire**, 22(4), 275–283.

DABKOWSKI, J.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; ANTOINE, P.; ANDREWS, J.; MARCA-BELL, A.; ROBERT, V. (2012). Climatic variations in MIS 11 recorded by stable isotopes and trace elements in a French tufa (La Celle, Seine Valley). **Journal of Quaternary Science**, 27(8), 790–799.

DABKOWSKI, J. (2014). High potential of calcareous tufas for integrative multidisciplinary studies and prospects for archaeology in Europe. **Journal of Archaeological Science**, 52, 72–83.

DABKOWSKI, J.; BROU, L.; NATON, H. G. (2015). New stratigraphic and geochemical data on the Holocene environment and climate from a tufa deposit at Dierendall (Mamer Valley, Luxembourg). **Holocene**, 25(7), 1153–1164.

DABKOWSKI, J.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; ANDREWS, J.; MARCA-BELL, A.; ANTOINE, P. (2016). Quaternaire Climatic and environmental variations during the last interglacial recorded in a Northern France tufa (Caours, Somme basin). comparisons with regional records. **Quaternaire**, 27(3), 249–261.

DABKOWSKI, J.; FRODLOVÁ, J.; HÁJEK, M.; HÁJKOVÁ, P.; PETR, L.; FIORILLO, D.; DUDOVÁ, L.; HORSÁK, M. (2019). A complete Holocene climate and environment record for the Western Carpathians (Slovakia) derived from a tufa deposit. **Holocene**, 29(3), 493–504.

DABKOWSKI, J. (2020). The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality? **Quaternary Science Reviews**, 230(2020), 106141.

DABKOWSKI, J.; WACKENHEIM, Q.; FALGUÈRES, C.; FIORILLO, D.; TOMBRET, O.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; BOUDAD, L.; BERGER, J. F. (2022). Timing and intensity of humid interglacial and interstadial periods from the Eemian in the southwestern Mediterranean region: new chronological and stable isotope data from Ait Said ou Idder (Middle Atlas) and comparison with other regional tufa deposits . **E and G Quaternary Science Journal**, 71(1), 45–58.

DAVIS, C. A. A. (1900). Contribution to the natural history of marl. **Journal of Geology**,

8, 485–497.

DE OLIVEIRA, E. C.; ROSSETTI, D. F.; UTIDA, G. (2017). Paleoenvironmental evolution of continental carbonates in West-Central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 89(1), 407–429.

DE WAELE, J.; PLAN, L.; AUDRA, P. (2009). Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction. **Geomorphology**, 106(1–2), 1–8.

DINIZ, J. L.; TOGNOLI, F. M. W.; CLAES, H.; MIRANDA, T. S. DE; NEUMANN, V. H. DE M. L.; SIAL, A. N.; INOCENCIO, L. C.; SOUZA, L. V. DE. (2022). Tufa associated with karst features in a fracture-system fed by meteoric water, Araripe basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 115(2022), 103772.

DOBROWOLSKI, R.; PIDEK, I. A.; ALEXANDROWICZ, W. P.; HALAS, S.; PAZDUR, A.; PIOTROWSKA, N.; BUCZEK, A.; URBAN, D.; MELKE, J. (2012). Interdisciplinary studies of spring mire deposits from radzików (south podlasie lowland, east poland) and their significance for palaeoenvironmental reconstructions. **Geochronometria**, 39(1), 10–29.

DOBROWOLSKI, R.; MAZUREK, M.; OSADOWSKI, Z.; ALEXANDROWICZ, W. P.; PIDEK, I. A.; PAZDUR, A.; PIOTROWSKA, N.; DRZYMULSKA, D.; URBAN, D. (2019). Holocene environmental changes in northern Poland recorded in alkaline spring-fed fen deposits – A multi-proxy approach. **Quaternary Science Reviews**, 219, 236–262.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. (1989). *Karst Geomorphology and Hidrology*. Londres: **Unwin Hyman**, 601p.

_____. _____. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. Second ed. Chichester: **Wiley**, 562p.

FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the world. **Earth-Science Reviews**, 41(3–4), 117–175.

GRANAI, S.; DABKOWSKI, J.; HÁJKOVÁ, P.; NATON, H. G.; BROU, L. (2020). Holocene palaeoenvironments from the Direndall tufa (Luxembourg) reconstructed from the molluscan succession and stable isotope records. **Holocene**, 30(7), 982–995.

HILL, C. A.; FORTI, P. (1997). *Cave minerals of the world*. **National Speleological Society**, p.463.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas; CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. (2018). **Detalhamento dos dados das Cavernas**. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em: 07 mar 2021.

KARMANN, I. (1994). **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. 1994. 228 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KARMANN, I.; CRUZ, F. W.; VIANA, O.; BURNS, S. J. (2007). Climate influence on geochemistry parameters of waters from Santana-Pérolas cave system, Brazil. **Chemical Geology**, 244(1–2), 232–247.

KELE, S.; SALLAM, E. S.; CAPEZZUOLI, E.; ROGERSON, M.; WANAS, H.; SHEN, C.-C.; LONE, M. A.; YU, T.-L.; SCHAUER, A.; HUNTINGTON, K. W. (2021). Were springline carbonates in the Kurkur–Dungul area (southern Egypt) deposited during

glacial periods? **Journal of the Geological Society**, 178(3), 147.

LESPEZ, L.; CLET-PELLERIN, M.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; PASTRE, J. F.; FONTUGNE, M.; MARCIGNY, C. (2008). Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (Western France). **Geomorphology**, 98(1–2), 55–70.

LIMONDIN-LOZOUET, N.; DABKOWSKI, J.; ANTOINE, P. (2020). Palaeoenvironmental dynamics of the MIS 11 interglacial in north-western Europe based on the malacological succession from La Celle (Seine Valley, France): Relationship with glacial refugia and palaeobiodiversity. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 560(2020),110044.

LIMONDIN-LOZOUET, N. (2017). “l’assemblage à Iyrodiscus”, marqueur paléoenvironnemental et biostratigraphique des formations du SIM 11 en Europe du nord-ouest. **Quaternaire**, 28(2), 231–238.

LUZÓN, A.; GAUTHIER, A.; PÉREZ, A.; PUEYO-ANCHUELA, O.; MAYAYO, M. J.; MUÑOZ, A. (2017). Late Pleistocene-Holocene palaeoenvironmental evolution of the Añamaza River valley (Iberian Range, NE Spain): multidisciplinary approach on the study of carbonate fluvial systems. **Quaternary International**, 437, 51–70.

MELÓN, P.; ALONSO-ZARZA, A. M. (2018). The Villaviciosa tufa: a scale model for an active cool water tufa system, Guadalajara (Spain). **Facies**, 64(1), 1–16.

MIRAGAYA, J. (2014). O desempenho da economia na região Centro-Oeste *In*: BNDES. **Um olhar territorial para o desenvolvimento - Centro-Oeste**. Rio de Janeiro: BNDES, 424-452.

MOEYERSONS, J.; NYSSSEN, J.; POESEN, J.; DECKERS, J.; HAILE, M. (2006). Age and backfill/overflow stratigraphy of two tufa dams, Tigray Highlands, Ethiopia: Evidence for Late Pleistocene and Holocene wet conditions. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 230(1–2), 165–181.

MOREIRA JUNIOR, C. A. (2019). **Uso de moluscos bentônicos na reconstrução paleoambiental da Formação Riachuelo, Cretáceo de Sergipe**. Relatório (PIBIC). Sergipe: Departamento de Geologia DEGEOL/UFS.

OLIVEIRA, L. T.; LUZ, J. A. G. DA; CAMPOS, J. C. V.; LIMA, O. A. L. DE; LEAL, L. R. B. (2008). Comportamento Hidrogeológico do Grupo Urucua: Sub- bacias dos rios Formoso e Arrojado. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 71, 1–15.

ORDÓÑEZ, S.; GARCIA DEL CURA, M. A. (1983). Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain. **Special Publications of International Association of Sedimentologists**, 6, 485-497.

ORDÓÑEZ, S.; MARTÍN, J. A. G.; DEL CURA, M. A. G.; PEDLEY, H. M. (2005). Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area: The Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain). **Geomorphology**, 69(1–4), 332–350.

OSTE, J. T. F.; RODRÍGUEZ-BERRIGUETE, Á.; DAL’ BÓ, P. F. (2021). Depositional and environmental controlling factors on the genesis of Quaternary tufa deposits from Bonito region, Central-West Brazil. **Sedimentary Geology**, 413, 105824.

PAZZAGLIA, F.; BARCHI, M. R.; BURATTI, N.; CHERIN, M.; PANDOLFI, L.; RICCI, M. (2013). Pleistocene calcareous tufa from the Ellera basin (Umbria, central

- Italy) as a key for an integrated paleoenvironmental and tectonic reconstruction. **Quaternary International**, 292, 59–70.
- PEDLEY, H. M. (1990). Classification and environmental models of cool freshwater tufas. **Sedimentary Geology**, 68(1–2), 143–154.
- PEDLEY, H. M.; ROGERSON, M. (2010). Introduction to tufas and speleothems. **Geological Society Special Publication**, 336, 1–5.
- PEDLEY, M., ANDREWS, J., ORDONEZ, S., GARCIA DEL CURA, M. A., GONZALES MARTIN, J. A.; TAYLOR, D. (1996). Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 121(3–4), 239–257. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00080-1](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00080-1)
- PEDLEY, M., GONZÁLEZ MARTÍN, J. A., ORDÓNEZ DELGADO, S.; GARCÍA DEL CURA, M. Á. (2003). Sedimentology of quaternary perched springline and paludal tufas: Criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Espanha. **Sedimentology**, 50(1), 23–44. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00502.x>
- PEÑA, J. L.; SANCHO, C.; LOZANO, M. V. (2000). Climatic and tectonic significance of late Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian Range, Northeast Spain. **Earth Surface Processes and Landforms**, 25(13), 1403–1417.
- PENTECOST, A. (1995). The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia minor. **Quaternary Science Reviews**, 14(10), 1005–1028.
- PENTECOST, A.; JONES, B. ; RENAUT, R.W. (2003). What is a hot spring? **Canadian Journal of Earth Sciences.**, 40, 1443– 1446.
- PEREIRA, G. DO C. R.; OLIVEIRA, E. C. DE; BERGAMASCHI, S. (2017). Continental carbonates from Itaboraí Formation in southeastern, Brazil. **Quaternary International**, 437, 199–211.
- PIERUCCINI, P.; SUSINI, D.; BUONINCONTRI, M. P.; BIANCHI, G.; HODGES, R.; LUBRITTO, C.; PASQUALE, G. DI. (2021). Late Holocene human-induced landscape changes in Calcareous Tufa environments in Central Mediterranean valleys (Pecora river, Southern Tuscany, Italy). **Geomorphology**, 383, 107691.
- RIBEIRO, F. B.; ROQUE, A.; BOGGIANI, P. C.; FLEXOR, J. M. Uranium and thorium series disequilibrium in quaternary carbonate deposits from the Serra da Bodoquena and Pantanal do Miranda, Mato Grosso do Sul State, central Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, 54(1), 153–173.
- RIBEIRO, L. M. A. L.; SAWAKUCHI, A. O.; WANG, H.; SALLUN FILHO, W.; NOGUEIRA, L. (2015). OSL dating of Brazilian fluvial carbonates (tufas) using detrital quartz grains. **Quaternary International**, 362, 146–156.
- RICCI, M.; BERTINI, A.; CAPEZZUOLI, E.; HORVATINČIĆ, N.; ANDREWS, J. E.; FAUQUETTE, S.; FEDI, M. (2015). Palynological investigation of a Late Quaternary calcareous tufa and travertine deposit: The case study of Bagnoli in the Valdelsa Basin (Tuscany, central Italy). **Review of Palaeobotany and Palynology**, 218, 184–197.
- RITTER, S. M.; SCHRÖTER, M. I.-; SCHRÖDER-RITZRAU, A.; SCHOLZ, C.; FRANK, N. (2017). Geochemical Insights Into an Active Calcareous Tufa Depositing System in Southern Germany. **Procedia Earth and Planetary Science**, 17, 328–331.

- RODRIGUES, A. C.; ROCHA SANTOS, L. DA; CURY, L. F.; RUMBELSPERGER, A. B. (2021). Continental freshwater carbonate coated grains: oncoids in Quaternary deposits of the Serra da Bodoquena region, Central-West Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, 52(2), 1-18.
- SALLUN FILHO, W.; ALMEIDA, L. H. S.; BOGGIANI, P. C.; KARMANN, I. (2012). Characterization of quaternary tufas in the Serra do André Lopes karst, southeastern Brazil. **Carbonates and Evaporites**, 27(3-4), 357-373.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. (2007). Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil. **Journal of Maps**, 3(1), 282-295. DOI: 10.1080/jom.2007.9710845.
- SANT'ANNA, L. G.; RICCOMINI, C.; RODRIGUES-FRANCISCO, B. H.; SIAL, A. N.; CARVALHO, M. D.; MOURA, C. A. V. (2004). The Paleocene travertine system of the Itaboraí basin, Southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 18(1), 11-25.
- SANTOS, A. P. M.; TAKIYA, D. M.; NESSIMIAN, J. L. (2016). Integrative taxonomy of *Metrichia* Ross (Trichoptera: Hydroptilidae: Ochrotrichiinae) microcaddisflies from Brazil: Descriptions of twenty new species. **PeerJ**, 2016(5), 1-54.
- SCHOLL, D. W.; TAFT, W. H. (1964). Algae, contributors to the formation of calcareous tufa, Mono Lake. **Journal of Sedimentary Petrology**, 34(2), 309-319.
- SHIRAIISHI, F.; HANZAWA, Y.; ASADA, J.; CURY, L. F.; BAHNIUK, A. M. (2022). Microbial influences on tufa deposition in a tropical climate. **Sedimentary Geology**, 427, 106045.
- STARKEL, L.; SOJA, R.; MICHCZYŃSKA, D. J. (2006). Past hydrological events reflected in Holocene history of Polish rivers. **Catena**, 66(1-2), 24-33.
- STURM, C. F.; PEARCE, T. A.; VALDÉS, Á. (2006). The Mollusks A Guide to Their Study, Collection, and Preservation. Pittsburgh, PA, U.S.A: **American Malacological Society**.
- TRAVASSOS, L. E. P. (2019). Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio**.
- TRAVASSOS, L. E. P.; DE OLIVEIRA, R. I. C. (2016). Tufa deposits in the karst of Montes Claros, Minas Gerais, Brazil. **Acta Carsologica**, 45(1), 85-96.
- UTIDA, G. (2009). **Fósseis em micritos quaternários da Serra da Bodoquena, Bonito-MS e sua aplicação em estudos paleoambientais**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica). São Paulo: Instituto de Geociências IGc /USP.
- UTIDA, G.; OLIVEIRA, E. C.; TUCKER, M.; PETRI, S.; BOGGIANI, P. C. (2017). Palaeoenvironmental interpretations based on molluscs from mid-Holocene lacustrine limestones, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Quaternary International**, 437(2017), 186-198.
- VIOLANTE, C.; FERRERI, V.; D'ARGENIO, B.; GOLUBIC, S. (1994). Quaternary Travertines at Rocchetta a Voltumo (Isema, Central Italy): Facies analysis and Sedimentary Model of an Organogenic system. In: International Association of Sedimentology (org.). **Field Trip A1 Guidebook for the 15th International Association of Sedimentology Regional Meeting**. Ischia, Italy, 3-23.

WACKENHEIM, Q.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; DABKOWSKI, J.; BOUDAD, L.; BERGER, J. F. (2020). Reconstructing Mid-Holocene palaeoenvironmental dynamic in the Middle Atlas (Morocco) inferred from non-marine molluscs succession of the Aït Said ou Idder tufa sequence. **Quaternaire**, 31(2), 145–164.

WEB OF SCIENCE. (2022). **Todas as bases de dados**. Disponível em: <<https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/4421d55b-be6f-410d-be3b-b35a56d1a932-488d9ee3/relevance/1>>. Acesso em: 01 set 2022.

WEB OF SCIENCE. (2022). **Todas as bases de dados**. Disponível em: <<https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/3d7d57dc-fd96-446c-8ca9-2a1ef17954c1-488df63b/relevance/1>>. Acesso em: 01 set 2022.

WEB OF SCIENCE. (2022). **Todas as bases de dados**. Disponível em: <<https://www.webofscience.com/wos/alldb/summary/dbd58247-48bc-4b03-93f6-b6b5c2d20a39-4be0a252/relevance/1>>. Acesso em: 01 set 2022.

WILLIAMS, P.; FONG, Y. T. (2010). **Mapa mundial de afloramentos rochosos carbonáticos**. Disponível em: >https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/>. Acesso em : 11 abr 2021.

6 RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados estão divididos em dois artigos. O primeiro, intitulado “Identification of calcareous tufa in northeast of the state of Goiás, Brazil”, apresentado no Congresso Internacional de Espeleologia (ICS, 2022), trata-se de uma caracterização visual dos depósitos de CaCO_3 na APANRV, a partir de trabalho em campo. A utilização de *softwares* como *Avenza Maps* e QGIS (v. 3.16.3 *with GRASS* v. 7.8.5) foi essencial para o mapeamento das feições localizadas.

O segundo artigo, intitulado “Caracterização geoquímica e mineralógica de tufas calcárias da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), nordeste de Goiás” (a ser submetido à revista científica), apresenta análises iniciais acerca de tais carbonatos continentais. Os métodos de digestão ácida, perda ao fogo, fusão e difração de raios-X foram utilizados na composição da pesquisa. Os resultados obtidos foram processados em *software PAST* (v. 4.11), buscando sua correlação com outros estudos desenvolvidos na APANRV.

6.1 Identification of calcareous tufa in northeast of the state of Goiás, Brazil

Leonardo MENDES (1), Adivane NOGUEIRA (2), Dandara CALDEIRA (3) & Rogério UAGODA_(4)

(1) Laboratório de Geografia Física, ICC Norte, Bloco 23, Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Brazil, lchaves21@gmail.com (corresponding author)

(2) Laboratório de Geografia Física, ICC Norte, Bloco 23, Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Brazil, adinogueira2010@hotmail.com

(3) Laboratório de Geografia Física, ICC Norte, Bloco 23, Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Brazil, dandara.caldeira2014@gmail.com

(4) Laboratório de Geografia Física, ICC Norte, Bloco 23, Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Brazil, rogeriouagoda@unb.br

Abstract

Studies in calcareous tufas are of great importance for the development of paleoenvironmental reconstructions and understanding of the landscape dynamics. As features originated from areas of occurrence of carbonate rocks, these concretions solidify in different forms and facies, due to the conditions provided by the environment in which they develop. This research seeks to map and describe the calcareous tufa formations in the northeastern portion of the state of Goiás, Brazil. Some areas of occurrence were identified through field work, involving description and extraction of outcrops. Thus, the carbonate deposits were spatialized with the registration of coordinates, inserting them in a Geographic Information System (GIS) environment, using the QGIS v.3.16.3 with GRASS v.7.8.5 software (v.10.6.1). In this sense, the faciological description of the testimonies was possible to be realized, associating them with depositional environments, identifying cascade, waterfall, dam and inter-dam pool tufas, correlated to the facies typology. In addition, cartographic materials of the spatial distribution of such features were generated, in which certain linearity of the occurrence of outcrops, including in areas without active drainage, was found.

1. Introduction

Over high porosity and solubility rocks, karstic terrains develop, known for being systems of constant interaction between water and the geological environment. The northeastern portion of the state of Goiás, Brazil, is encompassed by three main geological groups (BambuÍ, Areado and Uruçuia), associated with the Sanfranciscana Basin. The Lagoa do Jacaré formation, which belongs to the Bambuí, has pelite-carbonated outcrops linked to the regressive erosion of the Serra Geral do Goiás (W-E).

Thus, exuberant features such as caves, lapia, sinkholes, tufas and travertines, appears, generating rich and complex landscapes, which can be considered both open and closed systems (TRAVASSOS, 2019). Typical features of karst areas, such as tufas, occur near or in the bed of rivers that, at any moment, were in direct contact with carbonate rocks. Carbonate deposits are the result of the interaction between CO₂-rich waters and carbonate rocks. The supersaturation benefits the precipitation of calcite, a chemical precipitation mineral that constantly occurs in karstic areas (HILL; FORTI, 1997). The reprecipitation of calcite can be indicated by the equation:



(Calcium carbonate precipitation equation)

A study by Ford & Pedley (1996) demonstrated that the formation of tufas is linked to climatic periods of great humidity and heat. However, other studies have recognized

tufa formations in different environments, such as humid tropical (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006) and semi-arid (MOEYERSONS et al., 2006, ORDÓÑEZ et al., 2005).

For interpretation about fossil tufas, environmental models are used, since weathering and burial complicate the stratigraphic and geomorphic characterization, influenced by biological and climatic aspects (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006, PEDLEY, 2003). These environmental models are understood as conceptual representations, as they have the morphological characterization of the deposit, association of facies and sedimentation environments (PEDLEY, 1990). The need to use models related to regions with similar climatic factors is emphasized.

Calcareous tufas are extremely fragile, as their formation and conservation directly depend on the use of land throughout their area of influence. Thus, considering that the studied area stands out for agricultural production, the conservation of these features can be directly affected, even before they are properly studied to understand different perspectives (climatic, tectonic and anthropic) (FORD; WILLIAMS, 2007; CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; MIRAGAYA, 2014, DABKOWSKI, 2020). Therefore, works containing mappings for the spatialization of these outcrops, as well as the development of scientific research on karst landscapes, are extremely important, as they foment conservation and greater understanding of the dynamics of such rich and vulnerable areas.

2. Materials and methods

This study sought to map and characterize the sedimentation environments of calcareous tufas in the northeastern portion of the state of Goiás, Brazil. In this way, a field visit was carried out during the first half of the second semester of 2021, aiming to verify the areas with occurrence of the features and the prior recognition of the characteristics of depositional environments. In order to verify the internal biological content as well as to carry out further analysis, it was necessary to extract samples from the cores.

In the field work, some testimonies were measured in terms of height and width, with coordinates recorded using the Avenza Maps application on an Android device. Photographs were also stored from available cameras. These cartographic and image data were inserted in a GIS environment (QGIS v.3.16.3 with GRASS v.7.8.5), generating

the spatialization of the observed features. Other data, such as hydrography and contours (30 meters), were extracted, respectively, from the State Geoinformation System (SIEG) and the Alos PALSAR Digital Elevation Model. (DEM) of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) project, both acquired from the United States Geological Survey (USGS). The satellite image applied comes from the Google Satellite Plug-in, available within the aforementioned GIS.

The characterization, both in field and in the observations of the samples in the laboratory, were based on the calcareous tufa model for tropical regions influenced by monsoonal systems (CARTHEW et al., 2006). In this way, aspects such as form, biological material, mineral and the place of deposition were considered in the context of the associated hydrography.

3. Results

The mapping procedure demonstrated the occurrence of fourteen points with tufa outcrops, being identified in the rivers and streams Ventura (area 1), Barreiro (area 2) Chumbada (area 3), and São Vidal (area 4). The highest concentration of occurrences, according to this survey, occurs in the pelite-carbonated Lagoa do Jacaré Formation, which belongs to the Bambuí Group (Figure 1ª A).

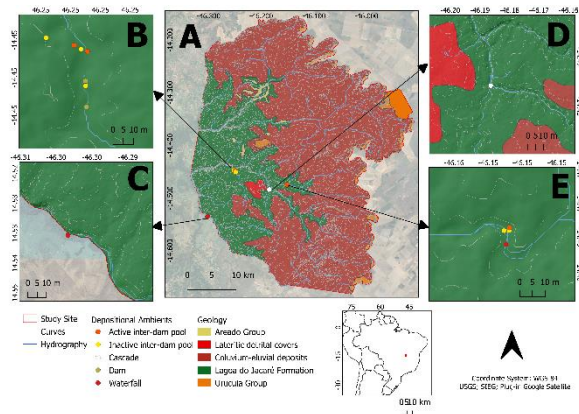


Figure 1^a: A) Spatialization of features; B) Barreiro tufa; C) São Vidal tufa; D) Chumbado tufa; E) Ventura tufa

Through the characterization, it is possible to establish a classification of the types of tufas, which are cascade, waterfall, inter-dam pool and dam. In addition, the classification also encompassed the presence or absence of water activity, as shown in Figure 1^a A, B, C, D, E. In relation to the different depositional environments related to the tufa genesis, in area 1, linked to Ventura, waterfall tufas were analyzed in areas of water spraying, where there was an association of the outcrops with bryophytes (Figure 2^a A) and inter-dam pool, in an area with undergrowth vegetation, such as ferns. Also, tufas with low or no activity were identified (Figure 2^a B, C) in an area associated with what was the drainage gutter in ancient times. Due the proximity to the inter-dam pool area, at a lower ground level, it is inferred that it is part of a system of small waterfalls/cascades. This characteristic is combined with dense laminations in the formation of tufas (Figure 2^a D). As observed in the field, there is a large transport of leaves by rivers, a fact that justifies the marking of incrustations of these in the deposits (Figure 2^a E).

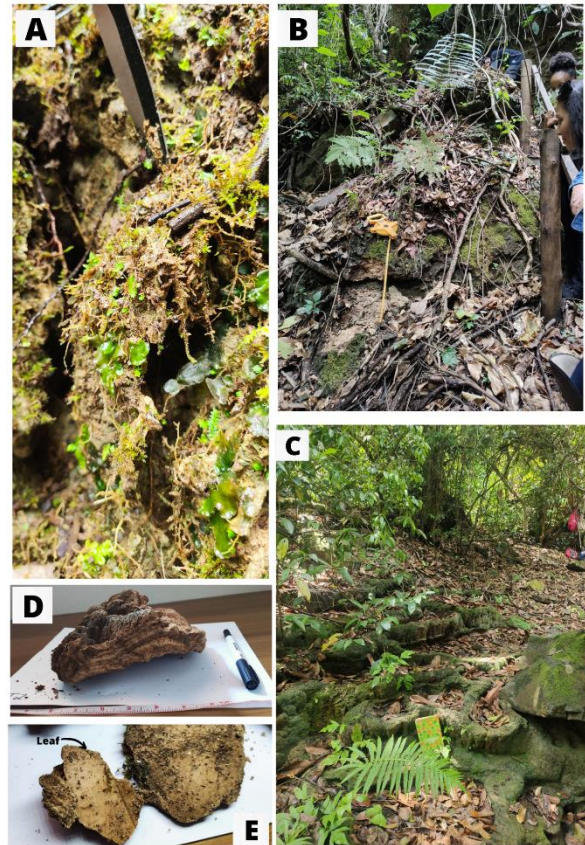


Figure 2^a: A) Funil Waterfall Tufa; B/C) Inter-dam pool tufa; D) Tufa with dense lamination; E) Leaf incrustation on calcareous tufa.

The area 2, linked to the Barreiro stream, presented dam tufas (Figure 3^a A) and an inter-dam pool with stromatolites at the bottom, in a 7-meter U shape, allowing the formation of two pool levels, one measuring 1.70m and the other, 2m wide (Figure 3^a B/D). Its structure shows leaf incrustations. A little further down the same river, there were inactive tufas (Figure 3^a C) of inter-dam pool, possibly forming a foregone large waterfall with a height of 1.93m.

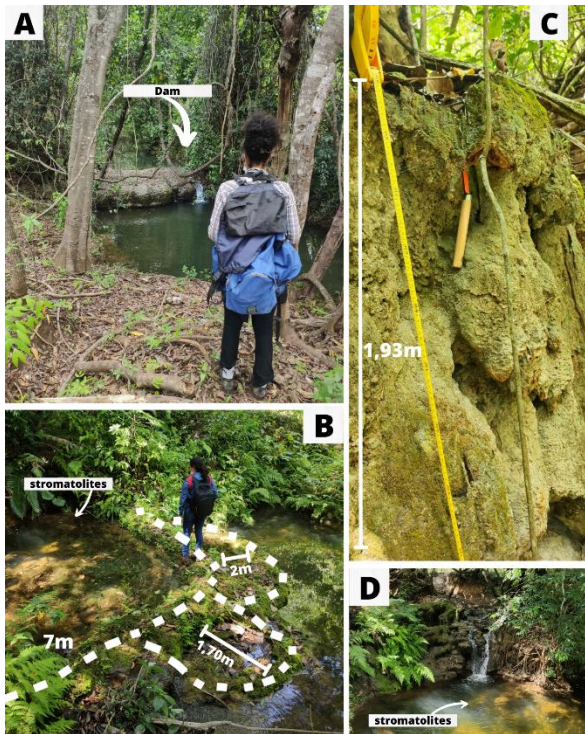


Figure 3^a: A) Dam tufa; B/D) Active inter-dam pool tufa with stromatolites; C) Inactive inter-dam pool tufa formation, possibly an ancient cascade/waterfall.

The Chumbada stream area (area 4) has an environment of tufa formation related to cascades (Figure 4^a A, B). As in the previous cases, the transport of leaves through the river is intense, with the possibility that these plant structures may come to act as supports for calcite. However, no fossil records were found in the collected core. The dimension of the outcrop is 1.70m width by 2.20m height. It is evident that the forming river is in full activity.



Figure 4^a: A) Cascade tufa formation; B) Outcrop measured

Finally, in São Vidal stream (area 4), the outcrops occur originating an active waterfall of large dimensions (Figure 5^a A). Thus, the type of formation environment is predominantly waterfall. The outcrop of the specific extractions, which is 4.17 meters height, is located on the right bank of the waterfall and has a flow variation during the seasons of the year (Figure 5^a B, C).



Figure 5^a A) Paraíso do Cerrado Waterfall tufa; B) Paraíso do Cerrado tufa outcrop; C) Tufa extraction process

4. Discussions

The calcareous tufas of northeastern Goiás in Brazil can be a source of information on climate history correlated by monsoons. It is observed that there is a great variety of types of tufas in active and inactive places, however, well preserved.

The mapping of the tufas allows to observe their distribution in the study area, with a concentration of outcrops in the Barreiro stream, with morphology of altimetric variation along the hydrography, favoring the occurrence of tufa formation of waterfalls, as well as slower flows in flat terrain, with a predominance of dams. The concentration of

abandoned outcrops on the edge of the river allows us to deduce that there was a time when the riverbed expanded due to an increase of water flow or that they are products of a river direction change.

Among the types of sedimentation environments, inter dam pool is the most prevalent type, occurring between two types of sedimentation environments (dam and pool) observed in the field with frequency.

5. Conclusion

The study showed that the concentrations of calcareous tufa outcrops are associated with the Lagoa do Jacaré Formation, belonging to the Bambuí Group. There is a variation of types of environments in which they appear. This identification and the general characterization of the testimonies

demonstrates the potential use for several environmental studies. For this reason, the importance of conserving these carbonate concretions is emphasized, regarding the anthropogenic pressure that directly affects their formation process.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Postgraduate Program in Geography and the Postgraduate Program in Applied Geosciences, both at the University of Brasília (UnB). To CAPES, CNPq, the Postgraduate Deanship of UnB and also the funding obtained by TCCE 01/2018 Vale/ICMBio. We would like to thank Paulo Éder Gouveia e Adelaine Moraes Nogueira for supporting in field works.

References

- CAPEZZUOLI, E.; GANDIN, A.; PEDLEY, M. (2014) Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, v. 61, n. 1, p. 1–21.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. (2006). An environmental model of fluvial tufas in the monsoonal tropics, Barkly karst, northern Australia. *Geomorphology*, v. 73, n. 1–2, p. 78–100.
- DABKOWSKI, J. (2020). The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality? *Quaternary Science Reviews*, v. 230.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. 2. ed. Chichester: Wiley.
- FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, v. 41, n. 3–4, p. 117–175.
- HILL, C. A.; FORTI, P. (1997). *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, p.463.
- MIRAGAYA, J. F. G. (2014). O desempenho da economia na Região Centro-Oeste. Um olhar territorial para o desenvolvimento: Centro-Oeste, p. 424–453, 2014.
- MOEYERSONS, J. et al. (2006). Age and backfill/overfill stratigraphy of two tufa dams, Tigray Highlands, Ethiopia: Evidence for Late Pleistocene and Holocene wet conditions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 230, n. 1–2, p. 165–181.
- ORDÓÑEZ, S.; GONZÁLEZ M, J. A.; GARCÍA DEL CURA, M. A.; PEDLEY, H. M. (2005). Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area: The Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain). *Geomorphology*, [S. l.], v. 69, n. 1–4, p. 332–350.
- PEDLEY, H. M. (1990). Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, v. 68, n. 1–2, p. 143–154.
- TRAVASSOS, L. E. P. (2019). *Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade,
- PEDLEY, M.; GONZÁLEZ MARTÍN, J. A; ORDÓÑEZ DELGADO, S; GARCÍA DEL CURA, M. A. (2003) Sedimentology of quaternary perched springline and paludal tufas: Criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain. *Sedimentology*, v. 50, n. 1, p. 23–44.

6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DE TUFAS CALCÁRIAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO (APANRV), NORDESTE DE GOIÁS

Resumo

Tufas calcárias são depósitos sedimentares surgidos em águas não-termais, pH básico, saturação em íons Ca^{2+} e incrustações de matéria orgânica, como folhas e conchas. Servindo como importantes objetos de estudo para reconstruções ambientais, diversas análises vêm sendo aplicadas nas tufas calcárias, buscando maiores entendimentos acerca das dinâmicas paleoclimática, faunística e florística. O presente estudo busca caracterizar os carbonatos continentais presentes na Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), a partir da utilização de métodos geoquímicos (elementos maiores e menores) e mineralógicos (difratometria de raios-X) em nove amostras. Nota-se que a composição majoritária das tufas é por calcita (CaCO_3) e quartzo (SiO_2), com presença, em algumas delas, de argilominerais. A presença de fosfato também foi considerada, devido sua associação à defensivos agrícolas e fertilizantes, que podem atrapalhar a sedimentação da calcita. Outros estudos correlatos devem ser realizados, buscando um maior entendimento da dinâmica de formação destes carbonatos continentais.

Abstract

Calcareous tufas are sedimentary deposits arising in non-thermal waters, basic pH, saturation in Ca^{2+} ions and incrustations of organic matter, such as leaves and shells. Serving as important objects of study for environmental reconstructions, several analyzes have been applied to calcareous tufas, aiming new understandings of paleoclimatic, faunal and floristic dynamics. The present study aims to characterize the continental carbonates present in the Vermelho River Rising Environmental Protection Area (APANRV), using geochemical (major and minor elements) and mineralogical (X-ray diffractometry) methods in nine samples. Is noticed that the major composition of tufas is calcite (CaCO_3) and quartz (SiO_2), with the presence, in some of them, of clay minerals. The presence of phosphate was also considered, due to its association with pesticides and fertilizers, which can interfere with the sedimentation of calcite. Other related studies should be carried out, aiming a better understanding of the dynamics of formation of these continental carbonates.

INTRODUÇÃO

Tufas calcárias são feições típicas de ambientes carbonáticos continentais, sendo consideradas concreções desenvolvidas em águas não-termais, além das incrustações de matéria orgânica, sob a qual há deposição da calcita (CaCO_3) (PEDLEY, 1990; FORD; PEDLEY, 1996). Tal proposição é consolidada no meio científico, sendo, contudo, uma

simplificação acerca da gênese de tais carbonatos continentais. Estudos geoquímicos, mineralógicos e texturais, por exemplo, são indicativos (e de grande importância) para a classificação e diferenciação entre tufas e travertinos (CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; DABKOWSKI, 2014).

A retirada de vegetação natural, bem como o desenvolvimento de práticas agrícolas e o turismo nas regiões cársticas, estão associadas à redução na sedimentação das tufas calcárias, pela redução do CO₂ na água e o aumento de fosfato diluído (NYSSSEN et al., 2004; CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; DABKOWSKI, 2020). Desse modo, os terrenos cársticos do Brasil-central são extremamente suscetíveis a contaminações por atividades antrópicas, visto que o bioma Cerrado vem sendo amplamente utilizado em práticas agrícolas, especialmente na produção de grãos para exportação (MIRAGAYA, 2014).

Ainda são poucos os estudos acerca das tufas calcárias no Brasil, com a maioria concentrada na bacia do Pantanal. Contudo, com o crescente interesse nas regiões cársticas do Brasil (devido às possibilidades para a realização de estudos voltados ao entendimento da evolução da paisagem) os carbonatos continentais demonstram grande valor enquanto objeto de estudo, pois sua gênese é associada aos cursos d'água, indicando momentos de transição fluviocárstica, alterações hidroquímicas, além de se associar à reconstrução faunística e florística. Isotopia, palinologia, geocronologia, mineralogia e geoquímica estão entre as análises mais difundidas nos estudos das tufas calcárias brasileiras, com destaque para os trabalhos publicados por Oliveira (2009), Sallun Filho et al. (2012), Oste (2017) e Pereira; Oliveira; Bergamaschi (2017).

Deste modo, o presente trabalho se propõe a realizar uma descrição geoquímica e mineralógica acerca dos depósitos de tufas do Brasil central, no bioma Cerrado. O intuito, então, é discutir as diferenças entre as tufas, demonstrando seu ambiente deposicional e seus elementos de formação, buscando correspondência com a dinâmica da paisagem e com o fluxo da drenagem, iniciando, então, os estudos sobre as incrustações formadas no interior do estado de Goiás.

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) (Figura 1-A) é uma Unidade de Conservação (UC) situada no nordeste do estado do Goiás e que compreende os municípios de Simolândia, Sítio D'Abadia, Posse, Alvorada do Norte, Buritinópolis, Damianópolis e Mambaí. Criada no ano de 2001, a APANRV tem como papel a proteção do ecossistema do Cerrado, bem como de seu patrimônio espeleológico.

Esta, também se localiza sobre os Grupos Geológicos Areado, Urucuaia e Bambuí, sendo, os dois últimos, de maior expressividade. O Grupo Areado se associa à Formação Capacetes, pertencente ao Bambuí. É caracterizada por seus arenitos. (NUNES, 2020). O Grupo Urucuaia, por sua vez, é caracterizado por quartzo-arenito *red-bed*, arenitos-feldspáticos, arenitos, argilitos e conglomerados, em duas Formações: Posse e Serra das Araras (OLIVEIRA et al., 2008). Já o Grupo Bambuí, datado do Neoproterozóico, possui sequência pelito-carbonática, onde se desenvolve o carste da região. Tais feições ocorrem sobre calcários oolíticos e pisolíticos, além de siltitos e margas. Sob as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, se desenvolve o relevo cárstico, marcado pela presença de feições como lapiás, dolinas, cânions, cavernas e tufas.

Como características geomorfológicas, a APANRV possui relevo plano a suave ondulado em sua porção sobre a divisa dos estados Goiás e Bahia. Sobre a porção dos rios Corrente e Vermelho, o relevo é altamente ondulado. A APA está situada em um contexto climático tropical, com duas estações definidas – alta pluviosidade nos meses de outubro a março e seca, entre os meses de abril a setembro (MIRANDA, 2006).

As atividades pecuárias são as de maior importância para os assentamentos rurais internos à APANRV. Essas atividades econômicas podem ser prejudiciais aos sistemas cársticos que, por sua fragilidade e intensas trocas com a água, pode ser contaminado, devido aos resíduos sólidos em transporte. Desse modo, outros estudos são necessários para uma maior compreensão acerca de tais ocorrências e sua relação com os processos de contaminação (BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003). As próprias tufas carecem de maiores estudos, já que as práticas agropecuárias (como defensivos agrícolas e fertilizantes) e o próprio turismo predatório, podem vir a causar danos na sedimentação da calcita na forma de carbonatos continentais (CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; DABKOWSKI, 2020).

Figura 1 – Localização e Geologia da APANRV

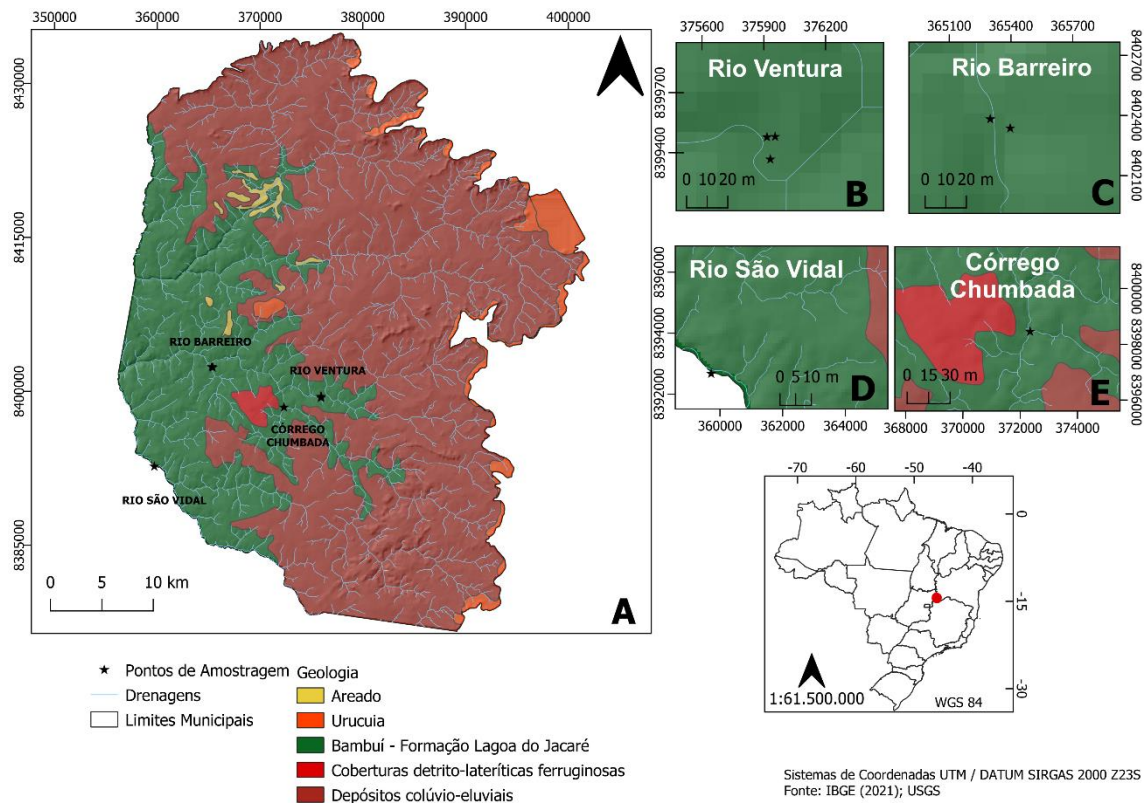


Figura 1 – A) Geologia da APANRV e rios com tufas amostradas; B) Pontos de amostragem do rio Ventura; C) Pontos de amostragem do rio Barreiro; D) Pontos de amostragem do Rio São Vidal; E) Pontos de amostragem do Córrego Chumbada

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização dos elementos químicos constitutivos das tufas coletadas, utilizou-se de equipamento ICP-OES para a leitura das amostras. Foram quantificados elementos maiores e menores. A fim de reconhecer os minerais envolvidos no processo de sedimentação das tufas, as amostras foram lidas em equipamento de difração em raios-x. Para a realização das análises, as amostras de tufas calcárias foram maceradas em almofariz de ágata, sendo utilizada a limpeza com água, álcool 70% e ácido clorídrico (HCl 10%). Os procedimentos para obtenção de elementos maiores e menores foram realizados em sala limpa classe 1000 do Laboratório de Geoquímica e Água, do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (LAGEQ/IG/UnB) e estão descritos adiante. Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada, utilizando dados geoquímicos de amostras coletadas na APANRV (CALDEIRA et al., 2021; NOGUEIRA, em fase de elaboração), juntamente aos dados obtidos pelas análises aqui descritas. As informações

foram normalizadas em software de edição de planilhas e processadas no aplicativo *PAST* (v.4.11).

Amostragem

Para a realização das atividades em campo, utilizou-se de aplicativo para *smartphone* *Avenza Maps*, pois possibilita a coleta de dados de localização a partir de Sistema de Posicionamento Global (GPS). Após a análise visual das feições, foram selecionados sete pontos de coleta, tanto em tufas ativas quanto inativas. As extrações foram realizadas, majoritariamente, pela remoção da camada superficial da tufa. Em alguns casos, especialmente em áreas onde a sedimentação ocorre em camadas verticais, como em cachoeiras, foi necessária a utilização de serra-copo (19cm de comprimento por 3 de diâmetro), acoplada em furadeira elétrica à bateria. Para a nomeação das feições, utilizou-se do código TUF + Número identificador do rio + Número identificador da área de coleta. Quando houve extração dos testemunhos por meio da serra-copo, inseriu-se as letras “a” e “b” ao final do código, caracterizando-as enquanto de maior profundidade de coleta ou de amostragem da área mais externa, respectivamente.

Análises Químicas

Elementos Maiores

Buscando a descrição dos elementos majoritários, fora realizada a limpeza de cadinhos de platina com HCl 10% e água Milli-Q® (Merck®). 0,05g de amostra foram inseridos nos recipientes, sendo homogeneizada com 0,17g do fundente metaborato de lítio (LiBO₂) e aquecida a 950 °C por 30 minutos. Após seu resfriamento, o cadinho foi inserido em béquer (50ml), preenchido com HCl 2M e submetido a agitador magnético, a baixa temperatura, a fim de dissolver a solução vítrea gerada no processo anterior. A solução gerada fora transferida para balão de 100ml, sendo completada com água Milli-Q®.

Para a realização da leitura, as amostras foram diluídas na proporção 1/5, sendo 1ml de amostra, 4ml de água Milli-Q®, em tubos de centrífuga, e inseridas em equipamento ICP-OES (5100 Agilent). Dez amostras foram submetidas ao processo descrito, sendo nove amostras principais e uma amostra de padrão internacional (BHVO, USGS), a fins de comparação.

Elementos Menores

As concentrações de metais nas amostras foram determinadas após a digestão ácida do material analisado. Para isso, aproximadamente 0,2g da amostra macerada foi inserida em recipientes Savillex® PFA, após sua limpeza com água régia (HNO_3+3HCl), HCl 6M e água Milli-Q®. O processo de digestão ácida se deu em 4 etapas (24h a 130°C cada) e entremeadas por etapas de evaporação: (1) aplicação de ácido nítrico (HNO_3) e ácido fluorídrico (HF) misturados, na proporção 5:2; (2) ácido nítrico (HNO_3) e ácido clorídrico (HCl), proporção 1:3; (3) mistura de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ácido nítrico (HNO_3), proporção 2:1. Após a evaporação do ácido remanescente da etapa (3), o material digerido fora redissolvido em 10ml de HCl (2M). Antes da análise em ICP-OES, as amostras foram diluídas na proporção 1:10.

A quantidade de amostras digeridas fora de 12, sendo: nove amostras principais; uma amostra replicada; um padrão internacional de folhas de maçã (NIST 1515) e um padrão internacional de sedimentos (NIST 1646a). Um Savillex® vazio passou pelo processo de digestão para que fosse mensurado o erro do próprio recipiente.

Perda ao Fogo

Buscando mensurar a quantidade de materiais perdidos ou decompostos em um ciclo térmico de aquecimento nas amostras, foi realizada análise de Perda ao Fogo (PF). Para isso, cadinhos de porcelanas foram limpos com HCl 10% e secos em estufa a 200°C por 30 minutos. A amostra macerada foi inserida nos recipientes (aproximadamente 1g), pesada e levada ao forno, a 1000°C por 1h. Após resfriamento em dessecador, houve nova mensuração da massa da amostra. O procedimento foi realizado até que sua estabilidade fosse alcançada ($\text{PF} < 0,01$).

Dados Mineralógicos

Os dados de mineralogia foram gerados a partir do processamento da amostra total em difratômetro de raios-X (XRD), modelo Rigaku® Ultima IV, no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB). Para sua realização, uma pequena quantidade da amostra macerada fora situada em lâmina de vidro e, finalmente, inserida no difratômetro. A análise e interpretação do difratograma se deu a partir da utilização do *software* JADE 9 e dos bancos de dados ICDD pdf-2 e pdf-4.

RESULTADOS

Amostragem

Nove amostras foram coletadas em rios internos à APANRV. As drenagens foram classificadas da seguinte maneira: Rio Ventura (T01); Rio Barreiro (T02); Rio São Vidal (T03) e; Córrego Chumbada (T04) (Figura 1- B/C/D/E) (Tabela 1).

A extração nos afloramentos foi realizada tanto nos ambientes de sedimentação horizontal (T01 e T02) (Figura 2 – A/B/C/D/E) quanto nos verticalizados (T03 e T04) (Figura 2 – F/G/H). Optou-se pela coleta de tufas mais significativas para a área de estudo, apesar da existência de outros depósitos de tufas na APANRV (MENDES et al., 2022).

Nas tufas do Rio São Vida (Figura 2 – G/H) e Córrego Chumbada (Figura 2 - F), de ambiente deposicional Cachoeira/ Cascata, se fez necessária a utilização de serra-copo de 19 cm, para a coleta do material de sedimentação mais profunda, já que ocorre em camadas verticais. Dessa forma, as tufas do sistema T03 e T04 estão classificadas em “a” e “b”, correspondentes à porção do estrato mais interior e mais exterior, respectivamente.

Figura 2 – Ambientes de coleta de Tufas Calcárias na APANRV



Figura 2 - A/B/C: Tufas do Rio Ventura; D/E) Tufas do Rio Barreiro; F) Tufa do Córrego Chumbada; G/H) Tufas do Rio São Vidal

Tabela 1 – Pontos de Amostragem

Drenagem Associada	Amostra	Ambiente Depositional	Coordenadas	Figura
Rio Ventura	T0101	Cachoeira	14°28'31.63"S / 46° 9'4.35"O	Figura 2 – A
	T0102	Piscina-Barragem	14°28'27.84"S / 46° 9'3.48"O	Figura 2 – B
	T0103	Piscina-Barragem	14°28'28.01"S / 46° 9'4.88"O	Figura 2 – C
Rio Barreiro	T0201	Piscina-Barragem	14°26'51.79"S / 46°14'58.92"O	Figura 2 – D
	T0202	Piscina-Barragem	14°26'53.17"S / 46°14'55.49"O	Figura 2 – E
Rio São Vidal	T0301a	Cachoeira	14°32'6.78"S / 46°18'7.33"O	Figura 2 – G/H
	T0301b	Cachoeira	14°32'6.78"S / 46°18'7.33"O	
Córrego Chumbada	T0401a	Cascata	14°29'1.61"S / 46°11'4.86"O	Figura 2 - F
	T0401b	Cascata	14°29'1.61"S / 46°11'4.86"O	

Geoquímica

As análises químicas de digestão ácida demonstram que todas as amostras possuem composição elementar majoritária (Tabela 2) de Óxido de Cálcio (CaO), sendo representante, então, da calcita. Apenas a amostra T0202, inativa, demonstrou uma porcentagem menor de CaO em sua composição. A quantidade de Dióxido de Silício (SiO₂) também se mostra considerável entre as amostras, sendo apresentado em até 23% em alguns casos.

Os resultados obtidos pelo procedimento de Perda ao Fogo possuem extrema relevância para a complementação dos Elementos Maiores (Tabela 2). Percebe-se que a quantidade de perda ao fogo presente nas tufas da APANRV varia entre 32,65 a 44,35%, valores expressivos, já que sua soma à porcentagem de óxido de cálcio varia entre 68 e aproximadamente 100% nas amostras.

Apenas em um caso, o aparelho ICP-OES não conseguiu identificar a quantidade de algum elemento do processo de fusão. O Dióxido de Titânio (TiO₂) da amostra T0103, inativa, apresentou quantidade abaixo do Limite de Detecção (<ld) do método. Em todo caso, a quantidade de TiO₂ em todas as amostras foi baixa, variando entre 0,03 e 0,3%.

Tabela 2 – Elementos Maiores

Amostra	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Perda ao Fogo (%)	Total (%)
T0101	0.67	54.89	0.43	0.34	0.18	0.17	3.01	0.03	43.40	103.13
T0102	2.58	51.70	1.11	0.63	0.29	0.22	23.04	0.15	35.79	115.50
T0103	0.49	57.42	0.15	0.50	0.11	0.23	1.16	<ld	44.35	104.41
T0201	1.72	53.49	0.80	0.58	0.32	0.24	4.89	0.08	41.94	104.07
T0202	6.27	35.42	2.54	1.47	0.64	0.29	22.37	0.30	32.65	101.96
T0301a	1.30	51.77	2.68	0.58	0.14	0.29	3.60	0.06	41.99	102.40
T0301b	1.60	53.50	0.96	0.53	0.15	0.31	3.92	0.07	42.96	103.99
T0401a	3.18	46.40	3.37	1.02	0.43	0.41	12.33	0.17	37.47	104.78
T0401b	2.85	47.32	1.28	0.92	0.41	0.40	12.37	0.15	37.88	103.57
BHVO	16.64	14.57	15.01	1.02	8.55	2.96	59.85	2.90	-	-

Com relação aos elementos menores (Tabela 3), as quantidades de Cádmio (Cd) e Molibdênio (Mo) se mostraram inexistentes na maior parte das amostras apresentadas. Os elementos de maior expressividade localizados nas amostras foram o Manganês (Mn), Fósforo (P) e Estrôncio (Sr).

Tabela 3 – Elementos Menores (mg/kg)

Amostra	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn	Zr			
T0101	1.24	<ld	0.55	2.03	0.75	58.85	<ld	0.98	61.72	<ld	341.48	5.48	8.64	5.88			
T0102	6.71	<ld	2.52	11.10	3.07	101.50	<ld	3.98	92.85	1.81	263.17	17.22	12.41	40.60			
T0103	0.82	<ld	<ld	1.03	1.74	24.58	45.61	<ld	299.80	<ld	330.07	1.27	23.46	1.84			
T0201	2.05	<ld	1.42	7.83	1.82	182.18	<ld	2.55	136.75	1.28	449.14	12.56	9.36	13.61			
T0202	12.50	0.86	8.03	32.79	10.67	349.99	<ld	15.25	379.97	7.03	264.41	51.04	42.11	59.18			
T0301a	5.47	0.86	1.20	6.73	0.94	341.31	<ld	6.43	152.71	1.68	350.26	9.91	8.62	11.18			
T0301b	9.09	<ld	1.82	7.30	1.66	516.63	<ld	2.66	159.65	1.54	402.85	12.02	8.60	13.56			
T0401a	7.28	1.27	3.77	16.43	3.96	850.79	<ld	30.56	318.19	3.16	272.01	25.56	18.86	37.47			
T0401b	9.09	<ld	3.46	13.96	3.93	1547.96	<ld	7.01	299.50	2.70	243.41	22.97	17.95	35.76			
Apple 1646a	2.83	<ld	<ld	<ld	5.70	57.95	<ld	57.94	182.7	1760.39	<ld	<ld	25.85	1750.388	19.91	<ld	25.852
Réplica T0301b	1.30	<ld	1.67	6.84	1.63	498.38	<ld	2.47	167.31	1.60	388.54	11.78	8.62	13.84			
Branco*	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	0.020	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld			

* Resultado em parte por milhão (ppm)

Mineralogia

As tufas agrupadas pelo código inicial T01, são pertencentes ao Rio Ventura. Percebe-se que as concreções T0101 e T0103, ativa e inativa, respectivamente, possuem mineralogia semelhante formadas a partir da combinação de quartzo (SiO_2) e calcita (Tabela 4). No sistema de tufas do Rio Ventura, apenas a amostra T0102 possui Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) em sua composição, além da calcita e quartzo, presentes nas duas anteriores.

Para as amostras correspondentes ao Rio Barreiro, o agrupamento por meio do código inicial T02 fora utilizado. A amostra T0201, ativa, é composta apenas pelos minerais calcita e quartzo. Já a tufa T0202, inativa, apresenta argilominerais em sua composição. Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e Muscovita são minerais associados à gênese deste depósito remanescente.

As amostras coletadas no Rio São Vidal (T03) possuem composição unicamente de quartzo e calcita, independentemente de sua porção mais antiga ou mais recente. O contrário ocorre nas tufas do Córrego Chumbada (T04): tanto a amostra T0401a quanto a T0401b possuem, em sua composição, argilominerais (caulinita e muscovita) juntamente à calcita e quartzo.

A síntese dos minerais que compõem as tufas calcárias, bem como seus ambientes deposicionais, podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição Mineralógica

Amostra	Ambiente Depositional	Atividade	Minerais
T0101	Cachoeira	Ativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃)
T0102	Piscina-barragem	Inativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃) Muscovita (KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂)
T0103	Piscina-barragem	Inativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃)
T0201	Piscina-barragem	Ativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃)
T0202	Piscina-barragem	Inativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃) Muscovita (KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂) Caulinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)
T0301a	Cachoeira	Ativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃)
T0301b	Cachoeira	Ativa	Quartzo (SiO ₂) Calcita (CaCO ₃)
T0401a	Cascata	Ativa	Calcita (CaCO ₃) Quartzo (SiO ₂) Caulinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄) Muscovita (KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂)
T0401b	Cascata	Ativa	Calcita (CaCO ₃) Quartzo (SiO ₂) Muscovita (KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂) Caulinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)

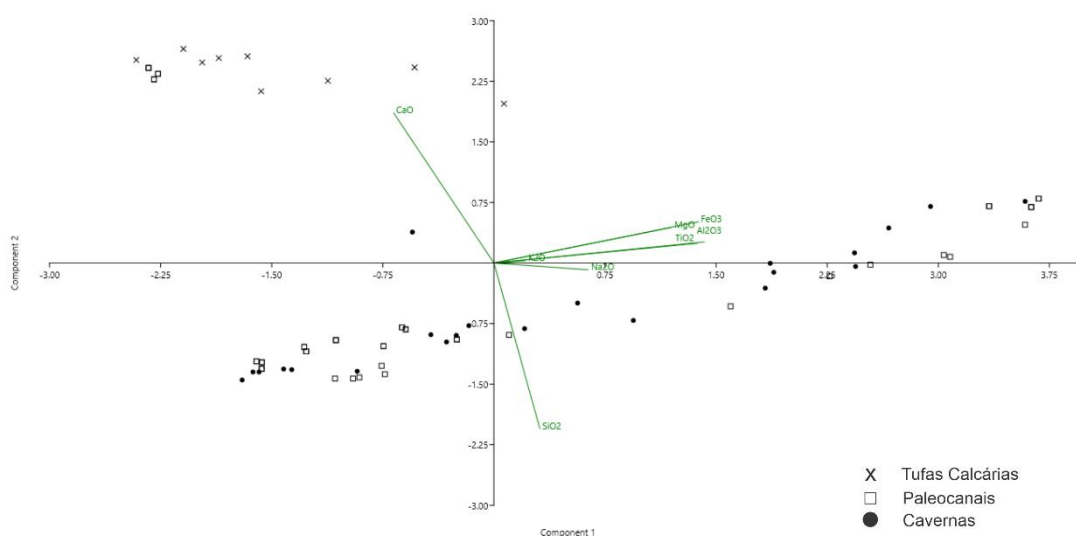
DISCUSSÃO

A gênese de tufas calcárias depende de fatores específicos, como o pH da água (básico) e sua temperatura (entre 10 e 30°C) (OLIVEIRA, 2009; APOLINARSKA et al., 2022). A presença das concreções, então, sugere que, em algum momento, tais condições ambientais foram obedecidas, não tendo sido realizadas análises na água das drenagens associadas.

A análise PCA (Figura 2) dos elementos maiores, associadas aos resultados de óxidos em Caldeira et al. (2021) e Nogueira (em fase de elaboração), apresenta as tufas no campo de

associação principal de CaO, resultado esperado, devido a presença de majoritária de CaCO₃ nas amostras. Uma única amostra (T0202) demonstra correlação não apenas com óxido de cálcio, mas com elementos constituintes de argilominerais, como Ferro, Magnésio e Potássio.

Figura 2 – Análise de Componentes Principais



A sedimentação de tufas calcárias pode ser descrita em três diferentes tipos de ambientes deposicionais, de acordo com Capezzuoli; Gandin; Pedley (2014) e Dabkowski (2020): (1) Proximais, onde há abundância dos íons de cálcio, favorecendo a deposição da calcita; (2) Intermediários, onde a deposição é reduzida devido a ação biológica, bem como a baixa disponibilidade de íons e; (3) Distais, onde há deposição de clastos dos depósitos proximais e intermediários, além do nível (extremamente baixo) de saturação de íons de cálcio na água.

As concreções carbonáticas desenvolvidas em condições semelhantes às de ambiente Intermediário, possuem diferentes argilominerais (DABKOWSKI, 2020), podendo ser consideradas tufas mistas, devido suas impurezas misturadas à calcita. As condições de queimadas e retirada de cobertura vegetal (que promovem mudanças na química do solo, aumento de nitratos e facilitam processos erosivos, que levam materiais detritais para o interior das drenagens) (DABKOWSKI, 2020) são fatores que podem explicar a gênese

de tais tufas mistas. As correlações demonstradas também podem ser aplicadas para o entendimento dos depósitos de tufas calcárias aqui apresentados.

Tufas Ativas

As tufas ativas apresentadas (Tabela 4) apresentam quantidade semelhante de CaO, variando de 46,40% a 54,89% em sua composição total (Tabela 2). Esse elemento é o mais significativo devido ao terreno carbonático ao qual as tufas se desenvolvem.

Outro óxido de grande importância é o SiO₂, que varia entre os valores de 3,01% a 22,37% da composição total das amostras (Tabela 2). Segundo Oste (2017), a presença do Óxido de Sílica nas amostras de tufas ativas está associada a quartzo detrítico (transportado) ou presença de conchas de diatomáceas. Frisa-se também a relação inversamente proporcional entre o Dióxido de Silício e o Óxido de Cálcio, corroborada pela Figura 2.

É válido notar que a sílica presente se associa à argilominerais nas tufas T0401a e T0401b (Tabela 4). A existência de terrígenos na amostra pode ser descrito pelo transporte sedimentar ocorrido pela drenagem associada à feição, especialmente na estação de chuvas, onde há aumento da capacidade do rio (OLIVEIRA, 2009).

A análise de Perda ao Fogo nas tufas de drenagens ativas demonstra linearidade entre a quantidade de materiais perdidos ou decompostos (matéria orgânica, dióxido de carbono e água). A porcentagem da perda de massa variou entre 37,87% e 42,96%.

Apesar da correlação nos valores de tufas ativas, a quantidade de CaO presente nas tufas do Córrego Chumbada (T0401a e T0401b) varia, aproximadamente, de 13% a 15% a menos, quando relacionada à tufa com maior porcentagem do óxido. A quantidade de CaO presente, se correlacionada à própria precipitação de CaCO₃, pode estar interligada a um menor potencial de precipitação do mineral, seja devido à quantidade de íons de Ca²⁺ disponível na água, ou, até mesmo, a seu pH, devido à distância da área fonte (CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; APOLINARSKA et al., 2022).

As tufas ativas associadas à drenagem T04 também possuem os maiores valores de Manganês e Fósforo, possivelmente associados ao solo próximo à área de estudo e às atividades econômicas agrícolas, no caso do fósforo, já que está intimamente ligado à produção de fertilizantes e pesticidas, reduzindo a própria qualidade da água (LEBRÓN; SUÁREZ, 1998; USGS, 2019).

Tufas Inativas

As tufas inativas apresentadas pela Tabela 4, possuem, visivelmente em sua composição, grande quantidade de matéria orgânica incrustada, especialmente folhas, formando camadas de deposição regulares.

As incrustações associadas à drenagem T01 possuem valores semelhantes de CaO. Contudo, o valor associado à porcentagem de quartzo na tufa T0102 é aproximadamente 95% maior do que da amostra T0103. A presença de SiO₂ na amostra pode ser explicada tanto pela presença de material detrítico e de conchas de diatomáceas, como apontado previamente acerca dos depósitos ativos, mas também pelos processos pedogenéticos ocorrentes na tufa (OSTE, 2017). De fato, pequenas raízes podem ser visualizadas na amostra em questão (Figura 2 – A/B/C), um indicador da existência de pedogênese em curso.

A tufa associada à drenagem T02 possui 35,42% de CaO e 22,37% de SiO₂, além de 32,65% de Perda ao Fogo. Os valores são correlatos, especialmente de CaO e PF. A sílica presente no sistema, está associada aos argilominerais encontrados, e pode ser explicada a partir de processos pedogenéticos, já que a vegetação se encontra fixa sobre o depósito estudado. Os estratos de deposição na tufa são visíveis, com mudança de coloração, indicando alternância dos sedimentos concrecionados.

Há considerável quantidade do elemento Estrôncio (Sr) em todas as amostras analisadas, variando de 243,41 a 402,85 mg/kg, de acordo com a Tabela 3. Ritter et al. (2017) afirma que a quantidade de íons de Sr, Bário (Ba) e Magnésio (Mg) inseridas na amostra, especialmente devido ao biofilme presente na concreção, afeta o uso da tufa para reconstrução paleoclimática.

Sobre sua gênese, as tufas inativas associadas à drenagem T01 estão em uma área intermediária a um sumidouro e uma ressurgência. Apesar da não realização de datações nos depósitos apresentados, estudos realizados no paleocanal da drenagem sugerem (NOGUEIRA, em fase de elaboração), a partir da cronologia de um depósito de tufas em trincheira, uma idade de formação de aproximadamente 2090 anos BP. Os depósitos apresentados nesse trabalho se apresentam como mais recentes, já que foram coletados a nível superficial.

Considerações acerca da deposição das tufas calcárias

Sugere-se que as tufas T0101 e T0102 estejam interligadas ao processo de captura da drenagem, sendo a primeira ainda em atividade após a formação do sumidouro e, a segunda, inativa desde o momento da transição fluvial. A amostra T0103 não aparenta compor o sistema do paleocanal devido a morfologia das piscinas formadas, podendo estar ligada ao extravasamento de rio intermitente em períodos de maior pluviosidade.

Sugere-se, para o sistema das tufas associadas à drenagem T02, o abandono do meandro inicial da drenagem (formador da amostra T0202) e consequente formação de novos ambientes deposicionais, próximos a área de coleta da tufa inativa.

Por fim, as drenagens T03 e T04 possuem fluxo contínuo de água (perenes) durante todo o ano. No caso do sistema associado à drenagem T04, sugere-se que esteja associado a um ambiente Intermediário de sedimentação, devido à redução do carbonato concrecionado e consequente aumento de elementos associados a minerais terrígenos. A literatura demonstra que áreas com pequenas cascatas (como a drenagem T04) também podem estar associadas aos ambientes Intermediários (CAPEZZUOLI; GANDIN; PEDLEY, 2014; DABKOWSKI, 2020).

CONSIDERAÇÕES

As tufas calcárias da APANRV se apresentam enquanto objetos de estudo de extrema relevância para a continuidade das pesquisas acerca da evolução da paisagem e das influências antrópicas na mesma.

Percebe-se que as amostras são constituídas, majoritariamente, por calcita e quartzo, contendo, algumas delas, minerais de proveniência do solo. Estudos em tufas de ambientes mistos (de sedimentação intercalada entre calcita e outros minerais) não são muito comuns, sendo interessante o desenvolvimento dos trabalhos acerca de tais ambientes e da dinâmica de deposição de outros minerais em detrimento à calcita.

As tufas calcárias apresentadas possuem teores consideráveis de fósforo em sua composição, o que pode estar associada às atividades de supressão da vegetação natural, queimadas indiscriminadas e utilização de defensivos agrícolas e/ou fertilizantes. A própria gênese das tufas com composição mineralógica diferenciada (possuindo minerais além de CaCO_3 e SiO_2), pode ser associada a esse fato, já que o transporte de solo se mostra mais eficiente em áreas de solo descoberto.

Outros estudos, como geocronologia, isotopia e petrografia, são necessários para um maior entendimento acerca da dinâmica de deposição das tufas, associando-se ao seu desenvolvimento atual. Além disso, análises como palinologia e microscopia, podem compor a pesquisa, auxiliando na compreensão e reconstrução paleoambiental.

O presente trabalho se apresenta enquanto uma pesquisa inicial acerca dos depósitos de tufas da APANRV, e, sobretudo, sobre condições onde a concreção não se dá de forma pura (apenas CaCO_3). Busca, então, subsidiar novas pesquisas, não apenas acerca das concreções carbonáticas de águas não-termais, mas da APANRV como um todo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao ICMBio pelo auxílio às atividades em campo e pelo fomento financeiro concedido por meio do TCCE 01/2018 Vale/ICMBio. Ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsa de Iniciação Científica e de Doutorado, respectivamente. À Adelaine Morais Nogueira e Paulo Éder Gouveia pelo suporte em campo. À Fernando Cavalcante e Myller Tonhá, pelo apoio na realização dos procedimentos laboratoriais. Ao Laboratório de Raios-X. Aos Programas de Pós-Graduação em Geografia e em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.

REFERÊNCIAS

APOLINARSKA, K.; MARZEC, M.; AUNINA, L.; GAŁKA, M. High-resolution record of geochemical , vegetational and molluscan shifts in a Central European spring-fed fen : implications for regional paleoclimate during the early and mid-Holocene. 2022.

BERBERT-BORN, M.; TRINDADE, J. S. Introdução à geomorfologia e espeleologia da região de Mambáí, Goiás. In: MOTTA, J. A. O. (Ed.). "Projeto Cavernas de Mambáí: Caracterização do Ecossistema Cárstico Localizado no Município de Mambáí e Entorno". Goiás: **Ministério do Meio Ambiente - MMA**, 2003. p. 41–76

CALDEIRA, D.; UAGODA, R.; NOGUEIRA, A. M.; GARNIER, J.; SAWAKUCHI, A. O.; HUSSAIN, Y. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. **Quaternary International**, v. 580, n. (2021), p. 22–37, 2021.

CAPEZZUOLI, E.; GANDIN, A.; PEDLEY, M. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. **Sedimentology**, v. 61, n. 1, p. 1–21, 2014.

DABKOWSKI, J. High potential of calcareous tufas for integrative multidisciplinary studies and prospects for archaeology in Europe. **Journal of Archaeological Science**, v. 52, p. 72–83, 2014.

DABKOWSKI, J. The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality? **Quaternary Science Reviews**, v. 230, 2020.

FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. A review of tufa and travertine deposits of the world. **Earth-Science Reviews**, v. 41, n. 3–4, p. 117–175, 1996.

Investigating the effects of historical phosphorus on current river water quality. **USGS**, 2019. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/news/featured-story/phosphorus-and-river-water-quality>>. Acesso em 18 set. 2022.

LEBRÓN, I.; SUÁREZ, D. L. Kinetics and mechanisms of precipitation of calcite as affected by PCO₂ and organic ligands at 25°C. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, n. 3, p. 405–416, 1998.

MIRAGAYA, J. F. G. O desempenho da economia na Região Centro-Oeste. **Um olhar territorial para o desenvolvimento: Centro-Oeste**, p. 424–453, 2014.

OSTE, J. T. Caracterização geoquímica dos depósitos tipo Tufa do Quaternário da Formação Serra da Bodoquena, Membro Rio Formoso-MS. 103 f. **Dissertação (Mestrado em Geologia)** - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MENDES, L.; NOGUEIRA, A.; CALDEIRA, D.; UAGODA, R. Identification of calcareous tufa in northeast of the state of Goiás, Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY (ICS), 18, 2022, Bourget-du-Lac (Savoie). **Proceedings** [...] Bourget-du-Lac : Karstologia Mémoires, 2022, p. 109-112.

MIRANDA, S. A. Morais. Uso e Ocupação do Solo na APA das Nascentes do Rio Vermelho: Conflito Socioambiental em Mambaí – GO. **Monografia**- Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016

NOGUEIRA, A. M. Dinâmica paleoambiental em vales secos da Área de Proteção

- Ambiental Nascentes do Rio Vermelho-APANRV, Mambai-GO. Em fase de elaboração
- NUNES, J. G. DA S. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambai-GO. 110 p. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** - Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- OLIVEIRA, E.C. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS. 149p. **Dissertação (Mestrado em Geociências)** - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- OLIVEIRA, L. T.; LUZ, J. A. G. DA; CAMPOS, J. C. V.; LIMA, O. A. L. DE; LEAL, L. R. B. Comportamento Hidrogeológico do Grupo Urucua: Sub- bacias dos rios Formoso e Arrojado. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, n. 71, p. 1–15, 2008.
- PEDLEY, H. M. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. **Sedimentary Geology**, v. 68, n. 1–2, p. 143–154, 1990.
- PEREIRA, G. DO C. R.; OLIVEIRA, E. C. DE; BERGAMASCHI, S. Continental carbonates from Itaboraí Formation in southeastern, Brazil. **Quaternary International**, v. 437, p. 199–211, 2017.
- RITTER, S. M.; SCHRÖTER, M. I.; SCHRÖDER-RITZRAU, A.; SCHOLZ, C.; FRANK, N. Geochemical Insights Into an Active Calcareous Tufa Depositing System in Southern Germany. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 17, p. 328–331, 2017.
- SALLUN FILHO, W.; SAPIENSA ALMEIDA, L. H.; BOGGIANI, P. C.; KARMANN, I. Characterization of quaternary tufas in the Serra do André Lopes karst, southeastern Brazil. **Carbonates and Evaporites**, v. 27, n. 3–4, p. 357–373, 2012.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As tufas calcárias se mostram objetos de estudo de grande valor para a análise da paisagem. Essa relevância pode ser percebida pelo aumento dos estudos através dos anos, não apenas quantitativamente, mas qualitativamente, a partir da aplicação de novas metodologias e análises aplicadas. O método geoquímico e mineralógico apresenta-se como basilar para a caracterização prévia das feições, demonstrando seus elementos formadores e correlacionando-os tanto à dinâmica atuante quanto pretérita da paisagem. Verifica-se, também, que as pesquisas se concentram no bioma Pantanal, sendo necessárias novas investigações, especialmente no contexto do Cerrado.

Para os mapeamentos de feições, especialmente em países com climas de monção atuante, modelos específicos para a caracterização de ambientes deposicionais podem ser utilizados, observando a forma do acamamento dos sedimentos, a estrutura externa dos depósitos e as incrustações de matéria orgânica sobre as quais a calcita se agrega.

A utilização do modelo de deposição de CaCO_3 por águas não-termais em clima de monção se mostrou útil para a caracterização prévia das feições desenvolvidas na APANRV. Apesar da impossibilidade na realização de uma caracterização faciológica completa, percebe-se que a área de estudos possui extensas áreas de deposição de calcita em formas variadas em pontos de ocorrência de drenagens ativas ou inativas, o que possibilita inferências acerca da dinâmica dos cursos hídricos no carste superficial.

As tufas presentes na APANRV possuem calcita (CaCO_3) e quartzo (SiO_2) como elementos basilares de sua composição. A análise de perda ao fogo, por sua vez, demonstra grande presença de matéria orgânica e/ou água associada às tufas, compondo, em alguns casos, mais de 44% destas.

A presença de argilominerais em alguns depósitos, pode indicar que a carga de materiais detritais pelas drenagens está (ou esteve) se solidificando conjuntamente à calcita, gerando tufas mistas, com menor quantidade de CaCO_3 em sua composição. Esses argilominerais, aliados à quantidade de fosfato na

amostra, podem estar relacionados às atividades antrópicas ocorrentes na APANRV, podendo ser impeditivos para o desenvolvimento dos depósitos.

Outras análises são necessárias para uma melhor compreensão acerca da dinâmica dos cursos hídricos da APANRV, a partir da aplicação de geocronologia, microscopia eletrônica de varredura (MEV), petrografia e isotopia, por exemplo, especialmente em tufas inativas, pois permitem a verificação do último período de deposição e a reconstrução da paisagem pretérita.

Percebe-se que as metodologias aplicadas se mostraram úteis para a finalidade da investigação: a caracterização preliminar das tufas da APANRV. Essa pesquisa, então, pretende abrir novas questões acerca da deposição da calcita no bioma Cerrado, além de servir como subsídio para outros trabalhos desenvolvidos na área de estudo.

8 REFERÊNCIAS

BERBERT-BORN, M.; TRINDADE, J. S. Introdução à geomorfologia e espeleologia da região de Mambaí, Goiás. In: MOTTA, J. A. O. (Ed.). "Projeto Cavernas de Mambaí: Caracterização do Ecossistema Cárstico Localizado no Município de Mambaí e Entorno". Goiás: **Ministério do Meio Ambiente - MMA**, 2003. p. 41–76

CAPEZZUOLI, E.; GANDIN, A.; PEDLEY, M. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. **Sedimentology**, v. 61, n. 1, p. 1–21, 2014.

DABKOWSKI, J. High potential of calcareous tufas for integrative multidisciplinary studies and prospects for archaeology in Europe. **Journal of Archaeological Science**, v. 52, p. 72–83, 2014.

_____. The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality? **Quaternary Science Reviews**, v. 230, 2020.

FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. A review of tufa and travertine deposits of the world. **Earth-Science Reviews**, v. 41, n. 3–4, p. 117–175, 1996.

NUNES, J. G. DA S. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambaí-GO. 110 p. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** - Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

NYSSSEN, J.; POESEN, J.; MOEYERSONS, J.; DECKERS, J.; HAILE, M.; LANG, A. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands — a state of the art. **Earth-Science Reviews**, v. 64, p. 273–320, 2004.

OLIVEIRA, L. T.; LUZ, J. A. G. DA; CAMPOS, J. C. V.; LIMA, O. A. L. DE; LEAL, L. R. B. Comportamento Hidrogeológico do Grupo Urucua: Sub- bacias dos rios Formoso e Arrojado. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, n. 71, p. 1–15, 2008.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. *Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica*. 1 ed. Brasília: ICMBio/IABS, 2019.