



Universidade de Brasília -UnB
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DINÂMICA PALEOAMBIENTAL EM VALES SECOS DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO-APANRV,
MAMBAÍ-GO.**

Adivane Morais Nogueira

Tese de Doutorado

Brasília-DF: Outubro / 2022



Universidade de Brasília -UnB
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DINÂMICA PALEOAMBIENTAL EM VALES SECOS DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO-APANRV,
MAMBAÍ-GO.**

Adivane Moraes Nogueira

Orientador: Rogério Soares Elias Uagoda

Tese de Doutorado

Brasília-DF: Outubro / 2022



Universidade de Brasília -UnB
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**DINÂMICA PALEOAMBIENTAL EM VALES SECOS DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO-APANRV,
MAMBAÍ-GO.**

Adivane Morais Nogueira

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Prof. Dr. Rogério Uagoda, GEA/UnB
(Orientador)

Prof. Dr. José Antonio Ferrari (Instituto Geológico-SP /IGc-USP)
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Fabiano Nascimento Pupim - (Unifesp)
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Luis Felipe Soares (UFG)
(Examinador Externo)

Brasília, DF, outubro de 2022



Universidade de Brasília -UnB
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ADIVANE MORAIS NOGUEIRA

DINÂMICA PALEOAMBIENTAL EM VALES SECOS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO-APANRV, MAMBAÍ-GO, ...p., (UnB – Geografia, Doutor, Gestão Ambiental e Territorial, 2022).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Pós-Graduação em Geografia

- | | | | |
|---|--------------------------|---|-------------|
| 1 | Geomorfologia sedimentar | 2 | Vales Secos |
| 2 | Carste | 3 | Cerrados |

I. UnB. Geografia

II. Título (série)

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Adivane Moraes Nogueira

Dedicatória

Aos meus, família, amigos
e professores dedico esta tese, em especial ao grande conhecedor do carste
Luís Beethoven Piló (*In memoriam*)

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer e saudar Conhecimento. Não somente ao conhecimento da Ciência Geográfica, que eu escolhi, ou ainda a Geomorfologia, que me escolheu, mas do conhecimento da vida, do viver, do autoconhecimento e amadurecimento, que tem acontecido durante o processo de doutoramento. O mundo da pesquisa científica nem sempre é fácil, normalmente não é. Às vezes é assustador, porém outrora encantador. No entanto, diante todos obstáculos e dificuldades, tenho desvendado que nada pode me assustar o bastante para me fazer desistir. Hoje eu sei o porque. Toda minha trajetória me revela. Pois, com certeza não foi a mais difícil, ciente da situação da população brasileira. Todavia foi de muita luta, isso sim, com certeza. Quero deixar aqui registrado e eternizado, principalmente para mim mesma (caso um dia eu volte a me comparar, duvidar da minha capacidade ou sofrer quando não conquistar tudo que almejo), que eu nunca me esqueça de onde vim e o quão longe estou conseguindo ir, pois, já me sinto vencedora hoje. Pois, nem na minha fértil imaginação infantil eu poderia fantasiar a força e determinação que eu teria para conquistar meus sonhos, meu espaço no mundo e construir uma história de diversas batalhas vencidas. Não imaginava que eu, descendente de lavradores analfabetos ou que não puderam concluir o ensino fundamental I, e nascida no interior do interior do Mato Grosso, na zona rural, sem energia elétrica, meio de transporte, estudando em escola do campo, com inúmeras dificuldades, conseguisse chegar tão longe, a cursar uma universidade pública, fazer um mestrado acadêmico e concluir um curso de doutoramento na Universidade de Brasília, capital Federal.

Tenho descoberto nesse período que nem sempre são as facilidades que definem onde chegamos e sim a nossa persistência. Hoje, percebo o que me move, a curiosidade e a autossuperação. Estou superando minhas dificuldades, e o que acredito que tenho aprendido de mais valioso é jamais esquecer nossa história pois só sabemos o real valor da chegada quando lembramos exatamente de onde saímos. No entanto, a real importância não está no fim, mas sim, na trajetória, em cada batalha travada consigo mesmo e superada a cada novo desafio. Gostaria de agradecer profundamente todos que contribuíram ao longo desta descoberta. Ao povo brasileiro que custeia as escolas, universidades, bolsas de assistência estudantil e projetos de pesquisa. Povo esse que muitas vezes lhe foi negada a oportunidade de frequentar tais espaços. Aos professores que ainda seguem acreditando na importância do conhecimento não somente para formação de mão de obra qualificada, mas na importância de participar, socializar nestes universos de pluralidade de ideias e ideais. Ao meu Orientador que acreditou no meu potencial e determinação mesmo diante de um tema de pesquisa novo desafiador, área de estudo e metodologias novas. Aos professores Fabiano Pupim pelo suporte em especial Luís Beethoven Piló (*In memoriam*) que contribuiu grandemente na qualificação da tese. Aos amigos que fiz ou aprofundei laços nessa trajetória, alguns contribuintes que não me deixaram desistir e ainda acreditar na bondade humana. A todos de Mambaí que acompanharam e contribuíram para a realização da pesquisa, que abraçaram a

pesquisa com carinho e confiando na importância da ciência. Aos amigos e amigas dos grupos de pesquisa que compartilham nossos sentimentos voltados ao trabalho acadêmico, em especial Dandara Caldeira, minha amiga para vida que esteve comigo em todas etapas da pesquisa me apoiando incondicionalmente, Maria Rita Fonseca, Leonardo Chaves Mendes, exemplos de que não existe barreiras que impede a ajuda mútua quando se tem determinação, dentre tantos outros. Ao meu esposo Paulo Eder Gouveia que foi minha âncora durante momentos turbulentos, minha família que sempre me incentivou e acreditou no meu potencial. À vida que me permite experimentar situações diversas, mas todas com intuito de despertar o melhor de mim.

Apoio Financeiro

A autora agradece o apoio do TCCE 01/2018 - Vale/ICMBio, processo n° 02667.000110/2017-10: Susceptibilidade, Hidrologia e Geomorfologia Cárstica Aplicadas à Conservação do Patrimônio Espeleológico da Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (DOU n° 99 SEÇÃO 3 de 24/05 de 2018), fornecendo os equipamentos, análises, monitoramento, diárias e logística de campo para o projeto. Ao programa de pós-graduação em Geografia da Universidade de Brasília.

Resumo

DINÂMICA PALEOAMBIENTAL EM VALES SECOS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO-APANRV, MAMBAÍ-GO.

Autora: Adivane Morais Nogueira

Orientador: Rogério Elias Soares Uagoda

O entendimento da dinâmica evolutiva dos sistemas fluviocársticos é fundamental para implementação de medidas para conservação do patrimônio espeleológico. Desta forma, este estudo se propôs em analisar a dinâmica paleoambiental dos vales secos no carste da área de proteção ambiental nascentes do rio vermelho-APANRV em Mambaí-GO. Neste sentido, se fez necessário a aplicação de diversas técnicas de análise como granulometria, morfoscopia, geoquímica (ICP-OES), mineralogia (Difração de Raio-X), isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$), morfologia, análise faciológica, datações (Luminescência Opticamente estimulada –LOE e Carbono 14) além da aplicação de geofísica rasa (GPR). Inicialmente realizou-se uma revisão teórica voltada para o conceito, possibilidades e estudos em vales secos em carste, bem como pesquisas em depósitos fluviais brasileiros que utilizaram métodos de datação (LOE e Carbono 14). Os resultados dos demais artigos demonstraram diversas fases deposicionais com idades que alcançaram no máximo 23 mil anos, no entanto, as transições fluviocársticas com abandono de vales secos ocorreram no Holoceno. Os processos deposicionais ocorreram de forma razoavelmente contínua ao longo do período analisado, com hiatos deposicionais típicos de ambientes fluviais, não indicando uma relação com os eventos climáticos regionais. Logo, indica um controle cárstico nos sistemas deposicionais nos vales secos. A dinâmica deposicional em conjunto com a interpretação na paisagem permitiram propor modelos evolutivos para cada vale seco estudado, demonstrando que as fases deposicionais estão vinculadas ao processo de transição fluviocárstica, a relação entre os sistemas deposicionais as capturas e a evolução da paisagem regional, pois as idades dos sedimentos e o período de captura ocorreram de acordo com a distância da escarpa erosiva da Serra Geral de Goiás. Os perfis de GPR a nível de vale reconheceu os limites do preenchimento dos vales secos com depósitos fluviais. O entendimento da dinâmica evolutiva dos ambientes cársticos perpassa estudo de suas diversas feições típicas, como os vales secos. Desse modo, este estudo visou contribuir para maior conhecimento da evolução complexa das paisagens cársticas, que

possui grande capacidade de resguardar sedimentos que podem ser utilizados em estudos paleoambientais e auxiliar em tomadas de decisões que viabilizem práticas de conservação/ restauração das paisagens cársticas.

Palavras-Chave: Carste, Vales Secos, Sedimentação, depósitos fluviais

PALEOENVIRONMENTAL DYNAMICS IN THE DRY VALLEYS OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA SPRINGS OF THE RIO VERMELHO-APANRV, MAMBAÍ-GO.

Author: Adivane Morais Nogueira

Doctoral Advisor: Rogério Elias Soares Uagoda

Abstract

The understanding of the evolutionary dynamics of fluviokarstic systems is essential for the implementation of modes for the conservation of the speleological heritage. Thus, this study aimed to analyze paleoenvironmental dynamics of dry valleys in the karst of the Vermelho River Rising Environmental Protection Area-APANRV in Mambaí-GO. In this sense, it was necessary to apply several analytical techniques such as granulometry, morphoscopy, geochemistry (ICP-OES), mineralogy (X-ray Diffraction), stable isotopes ($\delta^{13}C$), morphology, faciological analysis, dating (Optically Stimulated Luminescence – OSL, Carbon 14) in addition to the application of near surface geophysics (GPR). Initially, a theoretical review was carried out focused on the concept and studies in dry valleys in karst and its possibilities, as well as studies of Brazilian fluvial deposits that used dating methods (OSL and Carbon 14). The results showed several depositional facies whose ages reached a maximum of 23 thousand years, however the fluviokarstic transitions with abandonment of dry valleys occurred in the Quaternary. The correlation of ages with regional studies showed an intimate relationship between past climatic events and fluviokarstic processes. The depositional dynamics along with the interpretation in the landscape allowed to propose evolutionary models for each dry valley studied, demonstrating the depositional phases linked to the fluviokarstic transitional process. The valley-level GPR profiles demonstrated the limits of filling dry valleys with fluvial deposits. The understanding of the evolutionary dynamics of karst environments goes by the study of their various typical features, such as dry valleys. Thus, this study aimed to contribute to a better understanding of the complex evolution of karst landscapes, which

have a great capacity to protect sediments that can be used in paleoenvironmental studies, allowing understanding possible future scenarios.

Keywords: Karst, Dry Valleys, Sedimentation, fluvial deposits



SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	<u>1411</u>
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	<u>1412</u>
1 INTRODUÇÃO	<u>1513</u>
1.1 OBJETIVOS	<u>1615</u>
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	<u>1615</u>
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	<u>1715</u>
1.3 ÁREA DE ESTUDO.....	<u>1716</u>
2 DESENVOLVIMENTO	<u>2221</u>
2.1 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	<u>2221</u>
3 CAPÍTULO 1 -REVISÃO TEÓRICA.....	<u>2321</u>
3.1 ESTUDOS DE VALES SECOS EM ÁREAS CÁRSTICAS: REVISÃO E POSSIBILIDADES.....	<u>2321</u>
3.2 CRONOLOGIA DE DEPÓSITOS FLUVIAIS BRASILEIROS: UMA REVISÃO.....	<u>4241</u>
4 CAPÍTULO 2 -ARTIGOS DE RESULTADOS.....	<u>5958</u>
4.1 REGISTROS SEDIMENTARES EM VALES SECOS CÁRSTICOS: MAMBAÍ, BRASIL CENTRAL.....	<u>5958</u>
4.2 RECONSTRUÇÃO DA PAISAGEM A PARTIR DE SEDIMENTOS FLUVIAIS DE VALES SECOS ABANDONADOS DEVIDO A DINÂMICA FLUVIOCÁRSTICA NO CERRADO DO BRASIL CENTRAL.....	<u>9188</u>

4.3 O USO DA GEOFÍSICA NA CARACTERIZAÇÃO DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES EM VALES SECOS DE ÁREA CÁRSTICA, CERRADOS DO BRASIL CENTRAL.....	<u>91</u>129
5 CONCLUSÕES GERAIS	<u>153</u>145
ANEXOS	<u>157</u>147

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Configuração geográfica da área de estudo.A) Localização da área de estudo no contexto do bioma do Cerrado brasileiro na América Latina. B) APA no nordeste goiano e o contexto regional. C) Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) no cenário das formações geológicas da região. D) contexto altimétrico dos vales secos 1) rio das Pedras; 2 (a/b) rio Ventura3 Rio Extrema. E) perfil longitudinal altimétrica Fonte: SIG- Goiás-Superintendência de Geologia e Mining SIG (2006)

Figura 2 Configuração geomorfológica regional A) borda do Chapadão Central mirante para superfícies dissecadas B) vale do rio Vermelho em direção ao rio Correntes C) Morros testemunhos da antiga superfície D) rio Extrema passando do ambiente superficial para o cárstico (sumidouro) E) Ressurgência do rio Extrema F) Dinâmica geomorfológica adaptado de (GASPAR; CAMPOS, 2007;CALDEIRA et al., 2021).

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APANRV - Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho

CANIE – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas

14C – Carbono 14

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

LAGEQ – Laboratório de Geoquímica e Água

LALLS – Low Angle Laser Light Scattering

LEGaL - Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência

LOE – Luminescência Opticamente Estimulada

UnB- Universidade de Brasília

A.P. “Antes do Presente” considerando o presente o ano de 1950 A.D.

1 INTRODUÇÃO

Terrenos cársticos são regiões sob rochas que sofreram processos de dissolução pela ação da água superficial e subterrânea, formando feições distintas como depressões, dolinas, sistemas de cavernas dentre outras (KARMANN, 1994). Vales secos (*Dry valleys*) também característicos de regiões cársticas, correspondem aos vales fluviais sem rios em que o fluxo foi capturado por um sistema subterrâneo, ou seja, onde anteriormente havia um rio que atualmente flui em subsuperfície (JOCY; CRUZ, 2019; TRAVASSOS, 2019). A transição (captura) de fluxo superficial ocorre por meio de sumidouros, local onde um rio superficial encontra uma abertura na rocha, podendo demarcar entradas de cavernas. O termo sumidouro é amplamente utilizado para descrever um buraco, fissura ou rachadura tanto em maciços rochosos quanto nos contatos litológicos de uma região cárstica, ou seja, um sumidouro é uma abertura pela qual o rio superficial é capturado para o subterrâneo (JOCY; CRUZ, 2019; TRAVASSOS, 2019). Os sumidouros podem se apresentar horizontalmente ou ainda verticalmente no leito do rio (*pot-holes*) podendo estar associados as fraturas em rochas solúveis (TRAVASSOS, 2019).

Os vales secos podem conter sedimentos que sejam de fato do antigo canal fluvial (paleocanal) com base em evidências como: localização e alinhamento geral do depósito com o percurso anterior do rio, inclinação consistente entre ambos e morfologia transversal do vale antigo (paleovale) similar ao atual. Tais evidências podem levar a conclusão de que o vale seco é de fato um paleovale do rio atual (JERIN; PHILLIPS, 2017). Os processos de transição fluvial para cárstico e vice-versa favorecem a existência de paisagens dominadas pelo carste com ausência quase total de sistemas superficiais, ou ainda, ricas em fluxos superficiais e pobres em carste quando o domínio cárstico é convertido em fluvial. Supõe-se que a competição entre eles seja responsável pela divergência da paisagem e o equilíbrio entre a drenagem fluvial e cárstica é frequentemente dependente das condições ambientais locais (PHILLIPS; WALLS, 2004).

Estudos de sedimentos contidos em paleovales de áreas cársticas podem ser utilizados como próxies ambientais diversos, para o entendimento erosivo deposicional em ambiente cárstico, registros paleoclimáticos, evolução da paisagem dentre outros (JAILLET et al., 2004; JERIN; PHILLIPS, 2017; PHILLIPS et al., 2004; PHILLIPS; WALLS, 2004; WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015; BAI et al., 2013;

BENAC et al., 2013; DE WAELE et al., 2012; GIOIA et al., 2011; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; PHILLIPS; WALLS, 2004).

Portanto, esta pesquisa envolve a dinâmica fluvio cárstica com uso de sedimentos contidos em vales secos localizados no nordeste goiano, na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) integrando-se o projeto de “Susceptibilidade, Hidrologia e Geomorfologia Cárstica Aplicadas à Conservação do Patrimônio Espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho” (Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica- TCCE nº 01/2018/ICMBIO). O mesmo é coordenado pelo professor Dr. Rogério Uagoda, que também é orientador no âmbito do projeto de doutorado, no programa de pós-graduação em Geografia-UnB.

Esta pesquisa permeia no campo da geomorfologia cárstica e fluvial, com suporte em cartografia, sedimentologia, geocronologia, geoquímica, mineralogia, isótopos estáveis e demais técnicas relativas à temática. A área da APANRV não dispõe de informações acerca dos mecanismos de controle da evolução fluvio cárstica, tão pouco da história sedimentar anterior as transições fluvio cársticas. A investigação se justifica principalmente pela ausência de informações a respeito do carste da APANRV e os resultados da pesquisa integram o conjunto de informações úteis ao planejamento e gestão da APA, resultantes do projeto maior citado.

O problema da pesquisa baseia-se em como as transições fluviais por meio de sumidouros oferecem registros sedimentares contidos nos paleovales que permitem reconstruir cenários paleoambientais anteriores, durante e depois do processo de transição fluvio cárstica, passagem do rio superficial para o ambiente subterrâneo. Inclusive podem ocorrer de forma repentina gerando grandes transformações na paisagem. Vale ressaltar que a pesquisa se desenvolveu orientando-se por algumas hipóteses, como demonstrar por meio do estudo que os vales abandonados eram de fato oriundos dos determinados rios que foram capturados, bem como evidenciar a participação dos fenômenos estruturais e climáticos no processo evolutivo, além de entender melhor a evolução da paisagem local e regional. Diante da problemática foram propostos os seguintes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a dinâmica paleoambiental dos depósitos fluviais contidos em vales secos originários do sistema fluvio cárstico, utilizando análise multiparâmetro para

interpretação dos níveis deposicionais, a fim de propor modelos evolutivos das áreas dos vales estudados na APANRV.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Construir um arcabouço teórico sobre sedimentos fluviais e vales secos em áreas cársticas, incluindo uma revisão sobre a cronologia de depósitos fluviais no Brasil;
- 2- Identificar os vales secos com sedimentos fluviais originários a partir de transições fluviais superficiais para o sistema cárstico por meio de sumidouros;
- 3 – Entender o processo e dinâmica fluviocárstica com a caracterização das fases deposicionais presentes em cada perfil sedimentar dos vales secos por múltiplas análises;
- 4- Propor um modelo evolutivo para as áreas de transições fluviocársticas analisadas correlacionando as características dos sistemas deposicionais dos vales secos juntamente com a geomorfologia cárstica envolvida;
- 5- Reconhecer as formas deposicionais dos vales com uso de radar de penetração do solo (GPR).

1.3 ÁREA DE ESTUDO

A APANRV está localizada no cerrado do Brasil central (Figura 1-A) no nordeste goiano entre os municípios de Mambaí, Damianópolis, Buritinópolis e Posse, a 230 km de Brasília-DF (Figura 1-B/C). Esta unidade de conservação foi criada em 2001, com o objetivo principal da conservação de seu patrimônio espeleológico (PORTARIA Nº 116, DE 12 DE FEVEREIRO DE 2020 - ICMBio processo SEI nº 02070.001144/2020-37). Na área estudada afloram dois conjuntos litológicos principais: calcários e arenitos. A maior parte da unidade de conservação está sobre arenitos avermelhados e friáveis do Grupo Urucua (Neocretáceo), responsáveis pelos maiores desníveis da área, escarpas retraídas no setor oriental. A parte superior é de plana a suavemente ondulada, chegando a escarpada quando próxima à Serra Geral de Goiás, na divisa de Goiás com a Bahia. Nesse setor pode-se vislumbrar a porção ocidental, constituída por calcários da Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí (Neoproterozóico), onde se localizam as cavernas e o fluviocarste em que se assentam as bacias dos rios Corrente e Vermelho (Figura 1-C/E). No geral, as áreas de calcários são topograficamente mais deprimidas e dissecadas pela rede de drenagem, com afloramentos calcários com intercalações de folhelhos, correlacionados à Formação Lagoa do Jacaré (CRUZ, 2012a) (Figura 1-D/E).

Na região, o relevo cárstico está associado às rochas carbonáticas (Neoproterozóicas) do Grupo Bambuí, que apresenta sequência pelítico-carbonatada depositados em ambiente de sedimentação exclusivamente marinho, compreendendo da base para o topo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (CRUZ, 2012b). A Formação Lagoa do Jacaré, que aflora na

região é composta por estratos que correspondem a uma associação de rochas pelito-carbonáticas compostas por calcários oolíticos e psolíticos, cinza escuros, fétidos, siltitos e margas (ALVARENGA et al., 2007; CRUZ, 2012b) (Figura 1-C).

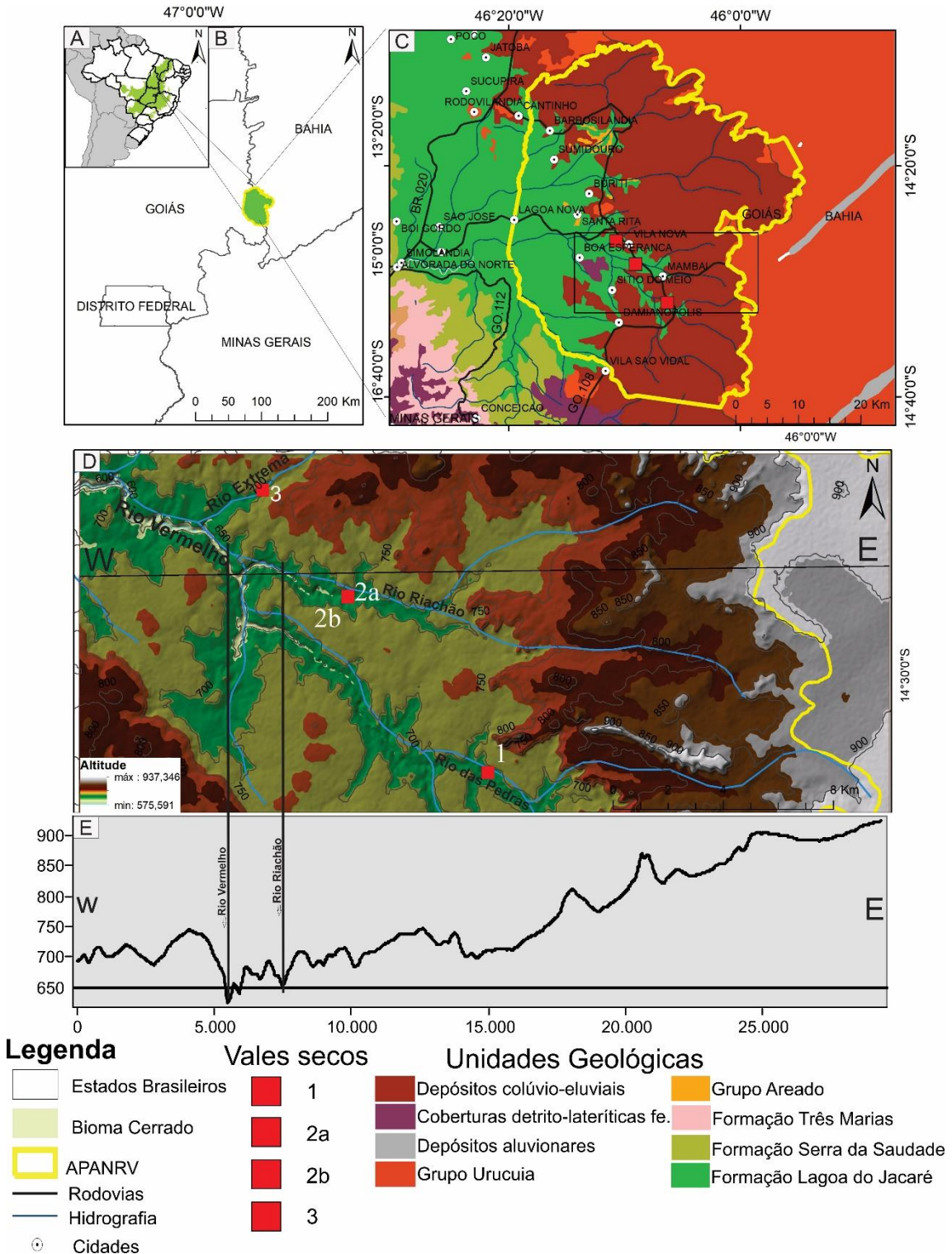


Figura 1-Configuração geográfica da área de estudo. A) Localização da área de estudo no contexto do bioma do Cerrado brasileiro na América Latina. B) APA no nordeste goiano e o contexto regional. C) Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) no cenário das

formações geológicas da região. D) contexto altimétrico dos dos vales secos 1) rio das Pedras; 2 (a/b) rio Ventura³ Rio Extrema. E) perfil longitudinal altimétrica Fonte: SIG- Goiás-Superintendência de Geologia e Mining SIG (2006)

A área estudada apresenta diversas feições cársticas e fluviocársticas, definidas pela ocorrência de vales escarpados profundos. Ao longo das drenagens menores, o recuo dos vales também tende à verticalidade com afloramentos laterais descontínuos, presença de segmentos de vale cego e vale seco abandonado, múltiplos pontos de sumidouro e ressurgências (MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003) (Figura 2-D/E). Como a Formação Lagoa do Jacaré nessa porção possui intercalações com unidades pelíticas é formado um carste coberto, seja na relação pelito/calcário ou arenito/calcário quando em contato com o Grupo Urucuia.

As principais feições geomorfológicas da região são evidenciadas por morfoesculturas climáticas, dando origem a formas dissecadas e rebaixadas, interpostas as formas conservadas, que representam remanescentes da topografia mais antiga, sendo drenada pelo rio Correntes, afluente do Rio Tocantins (MIRANDA, 2016) (Figura 2-F).

No contexto geomorfológico (Figura 2) a paisagem é composta de uma cuesta denominada Serra Geral de Goiás (Figura 2-A), gerada principalmente pela erosão regressiva (CHEREM; VARAJÃO, 2014). Configurando uma porção superior (Chapadão Central) estrutura remanescente dos arenitos do Grupo Urucuia e a porção inferior (Vão do Paranã) que se trata dos resquícios nas antigas superfícies sobre as rochas do Grupo Bambuí (Figura 2-B), entremeio ambas se dispõem de depósitos colúvio-eluvionares gerados a partir da regressão dos arenitos. Morros residuais se destacam na paisagem testemunhando a regressão da escarpa (Figura 2-C).

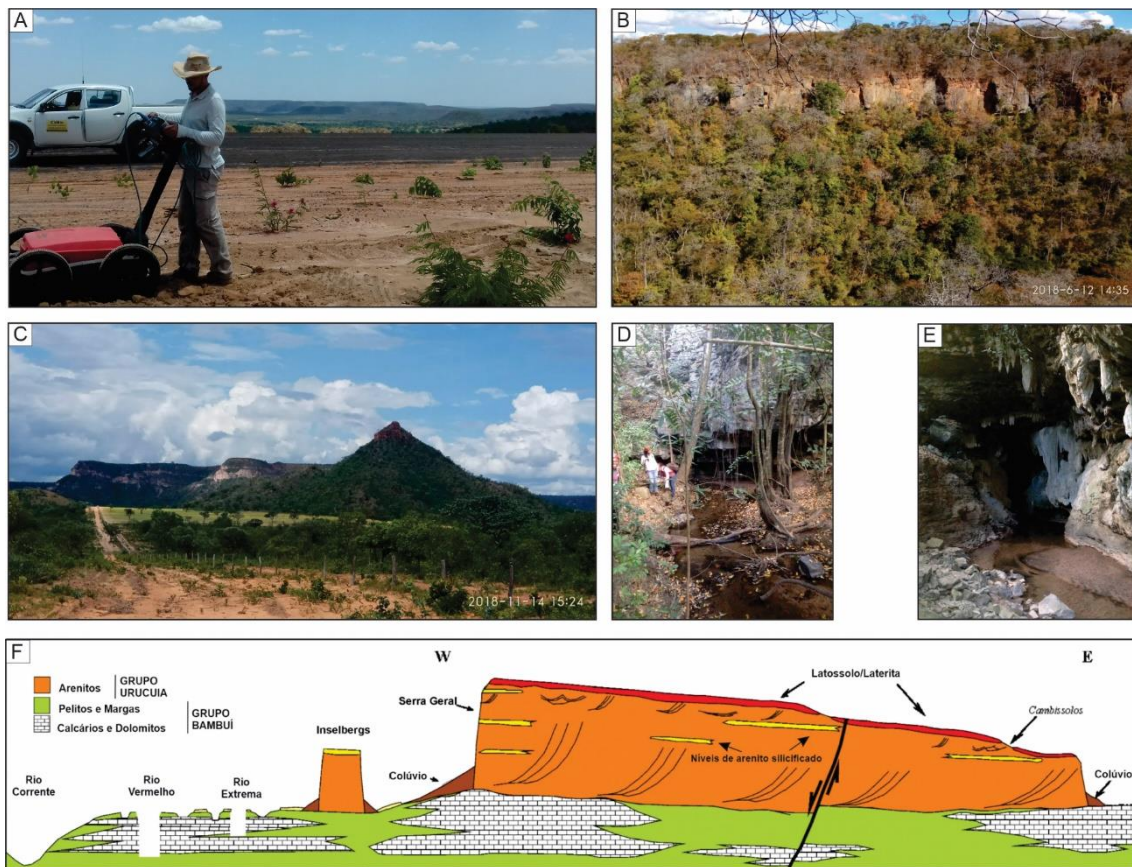


Figura 2 Configuração geomorfológica regional A) borda do Chapadão Central mirante para superfícies dissecadas B) vale do rio Vermelho em direção ao rio Correntes C) Morros testemunhos da antiga superfície D) rio Extrema passando do ambiente superficial para o cárstico (sumidouro) E) Ressurgência do rio Extrema F) Dinâmica geomorfológica adaptado de (GASPAR; CAMPOS, 2007; CALDEIRA et al., 2021)

A litologia juntamente com demais condicionantes ambientais permitem a formação de solos como os cambissolos que podem estar associados a diversas litologias da região descritos em arenitos do Grupo Urucuiá e também em rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Os chernossolos estão associados as rochas da Formação Lagoa do Jacaré, relevos planos ou suave ondulado. Os latossolos fazem-se presente principalmente em relevo plano das chapadas. A concentração dos organossolos ocorrem nas regiões de drenagens, associados a Formação Posse, e relevos que variam de plano a suave ondulado. Os neossolos quartzarênicos são formados com base em duas litologias da Formação Posse e Grupo Areado, enquanto o relevo varia de plano a ondulado. Por fim, os neossolos litólicos estão associados a relevos dissecados e íngremes ligados aos siltitos da Formação Lagoa do Jacaré (HUSSAIN et al., 2020; NUNES, 2020).

A paisagem cárstica tem sido considerada como uma região frágil e peculiar devido a ocorrência de transferência de fluxo superficial para o subterrâneo, tais fluxos podem de maneira mais rápida potencializar a propagação de possíveis poluentes atingindo o aquífero cárstico. Além disso podem se estender muito além desses limites das bacias hidrográficas. As alterações em tais ambientes também comprometem a vida endêmica (PILÓ; AULER, 2019). A ocupação antrópica é caracterizada por pequenas propriedades e assentamentos fundiários, cuja atividade econômica predominante é a pecuária. Algumas atividades humanas têm sido potencialmente nocivas aos ambientes cársticos, principalmente em se tratando da fonte de carga sólida em rios, causando prejuízos aos ambientes que ainda carecem de estudos para sua compreensão, comprometendo o patrimônio natural, cultural e científico (MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A pesquisa está organizada em artigos acadêmicos, envolvendo revisões teóricas e artigos de resultados. O primeiro artigo teórico, publicado na revista *Caminhos de Geografia*, volta-se diretamente ao ambiente cárstico, pois trata de um levantamento de estudos sobre vales secos em áreas cársticas e possibilidades de análises. Eles foram levantados junto a Plataforma *Web Of Science*, assim, vislumbrando possibilidades de estudos em vales secos no Brasil, uma vez que dispõe de diversas áreas cársticas, principalmente nos Cerrados do Brasil Central.

O segundo encontra-se em fase de revisão na Revista do Departamento da USP, baseou-se na compilação de artigos publicados e disponíveis na Plataforma *Web Of Science* com datações de radiocarbono e Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) em depósitos superficiais fluviais no Brasil, agrupados por biomas. A partir da identificação de tais estudos possibilitou organizar as idades em períodos climáticos conhecidos.

Os artigos de resultados foram construídos de acordo com a proposta/objetivos da pesquisa. O primeiro trata-se dos: Registros sedimentares em vales secos cársticos: Mambaí, Brasil central, já fora traduzido submetido na revista *Journal of South American Earth Sciences*.

. O segundo trata-se da Reconstrução da paisagem a partir de sedimentos fluviais de vales secos abandonados devido a dinâmica fluviocárstica no Cerrado do Brasil central submetido a revista *Geomorphology*. O terceiro busca o reconhecimento das formas deposicionais, a nível de vale com uso do GPR: O uso da geofísica na caracterização de depósitos sedimentares em vales secos de área cárstica, cerrados do Brasil central, submetido a revista *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.

3 CAPÍTULO 1 -REVISÃO TEÓRICA

3. 1 ESTUDOS DE VALES SECOS EM ÁREAS CÁRSTICAS: REVISÃO E POSSIBILIDADES

REVISTA CAMINHOS DE GEOGRAFIA
<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>

ISSN 1678-6343
DOI:<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/59090>

ESTUDOS DE VALES SECOS EM ÁREAS CÁRSTICAS: REVISÃO E POSSIBILIDADES

Adivane Morais Nogueira
Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Pós-Graduação em Geografia, DF, Brasil
adinogueira2010@hotmail.com

Rogério Uagoda
Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Pós-Graduação em Geografia, DF, Brasil
rogeriouagoda@unb.com.br

Dandara Caldeira
Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, DF, Brasil
dandara.caldeira2014@gmail.com

RESUMO

O carste apresenta regiões de conexões entre os sistemas fluviais e cársticos o fluviocarste, dispondo de feições típicas, como os vales secos. Tais feições vêm sendo estudadas de diversas formas para contribuir no entendimento da dinâmica geomorfológica do carste. Este estudo visa fazer uma revisão sobre vales secos em sistemas cársticos, tendo em vista observar o potencial científico destas áreas para diversas aplicabilidades. A revisão utilizou como principal forma de busca a plataforma *Web Of Science* (todas as bases), abrangendo o período entre 1945-2020, que abordavam sobre tais feições, com o uso das seguintes palavras-chave: *karstic valley, dry valleys, blind valley, relict valley, ancient valley, fossil valley, solution valley, paleovalley e paleokarst valley*, resultando em vinte e sete trabalhos, com diversas propostas de análise, evidenciando os fatores envolvidos na dinâmica fluviocárstica. O levantamento permite observar que são poucos estudos considerando a extensão de ocorrência de rochas carbonáticas no mundo, havendo concentração das pesquisas no continente europeu. No Brasil, apesar de dispor de regiões carbonáticas e das várias áreas mapeadas com ocorrência de cavernas, principalmente no bioma Cerrado, não há pesquisas sobre o tema, mesmo que viabilizem a identificação dos fatores que influenciam evoluções dos sistemas fluviocársticos.

Palavras-chave: Revisão. Carste. Vales. Depósitos Fluviais. Cerrado.

STUDIES OF PALEOVALLEYS IN KARSTIC AREAS: REVIEW AND POSSIBILITIES

ABSTRACT

The karst presents regions of connections between the fluvial and karstic systems the fluviocarst, having typical features, such as dry valleys. Such features have been studied in different ways to contribute to the understanding of the geomorphological dynamics of karst. This study aims to review dry valleys in karst systems, in order to observe the scientific potential of these areas for different applications. The review used the *Web Of Science* platform (*all bases*) as the main form of search, covering the period between 1945-2020, which addressed these features, using the following keywords: *karstic valley, dry valleys, blind valley, relict valley, ancient valley, fossil valley, solution valley, paleovalley and paleokarst valley*, resulting in twenty-seven studies, with several proposals for analysis, highlighting the

factors involved in fluviocartic dynamics. The survey shows that there are few studies considering the extent of occurrence of carbonate rocks in the world, with a concentration of research on the European continent. In Brazil, despite having carbonate regions and the various areas mapped with the occurrence of caves, mainly in the cerrado biome, there is no research on the topic, even if they make it possible to identify the factors that influence the evolution of fluviocartic systems.

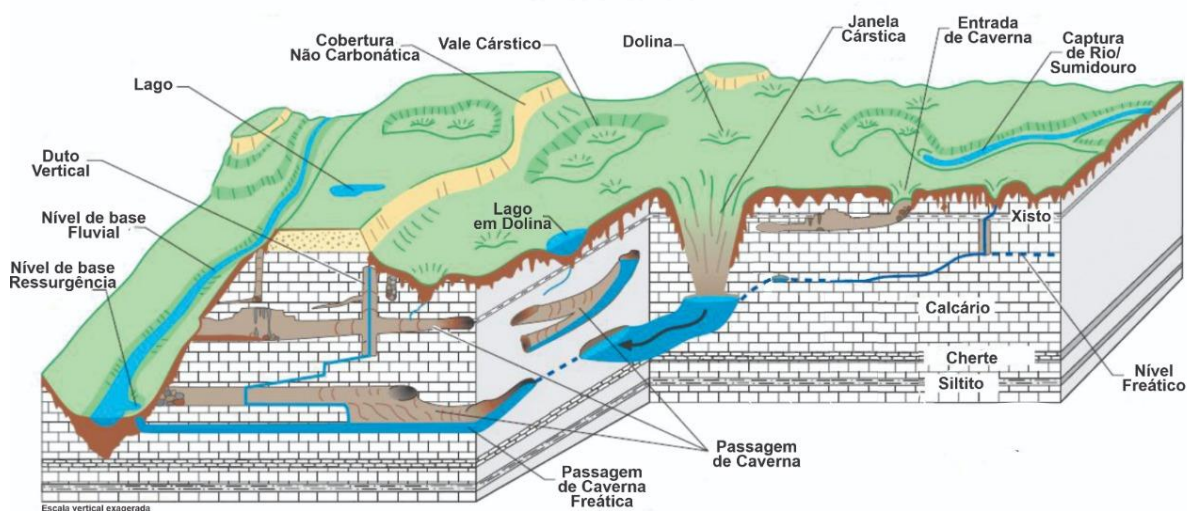
Keywords: Review. Karst. Valleys. Fluvial Deposits. Cerrado.

INTRODUÇÃO

As paisagens cársticas possuem um sistema geomorfológico diferente das outras devido ao papel da dissolução química do calcário (Figura 1) (FORD e WILLIAMS, 2007). O grau de desenvolvimento cárstico varia de região para região como resultado de condições climáticas, geológicas e do relevo. São áreas conhecidas por dispor de formas características a estes ambientes, contendo redes de drenagem subterrâneas e cursos sub-superficiais, normalmente com grande número de dolinas, *canyons* profundos, cursos de água allogênicos, sumidouros, cavernas, vales secos e outros (FORD e WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007).

A carstificação é o processo de infiltração da água e dissolução da rocha, principalmente por mecanismos químicos, envolvendo a presença de água e ácido carbônico (HARMAND et al., 2017). Tais ambientes apresentam uma evolução geológica e geomorfológica complexa e fascinante, devido à dificuldade para entender todos os fatores que influenciam seu desenvolvimento como as conexões irregulares e complexas entre a superfície e o subsolo e fluxo de águas aparente (BENAC et al., 2013; BOČIĆ; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; FORD e WILLIAMS, 2007; WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015).

Figura 1. Modelo ilustrativo da dinâmica fluviocárstica demonstrando diversas formas de conexão do sistema fluvial superficial e cárstico.



Fonte: Taylor e Greene, (2008)

O ambiente cárstico engloba características morfológicas e hidrológicas, superficiais e subterrâneas, que estão relacionadas ao processo de dissolução de rochas solúveis, como carbonatos e evaporitos, permitindo a ocorrência de formas típicas destes ambientes (GUTIÉRREZ et al., 2014). A conexão direta entre a superfície e os aquíferos subjacentes de alta permeabilidade torna os aquíferos cársticos extremamente vulneráveis à poluição apresentando problemas de instabilidade do solo. A falta de planejamento e gestão adequada levam à ocupação inapropriada destas áreas, gerando graves problemas ambientais (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Regiões de transição morfológica que conjugam características fluviais e cársticas foram denominadas por White (1988) como fluviocársticas em que os cursos dos rios estão em parte superficiais e parte subterrâneos, podendo originar-se do carste ou não. Nos casos das áreas cársticas quando há ocorrência de sumidouro e o fluxo superficial fluvial é transferido para o subterrâneo, o antigo vale torna-se seco.

A importância de estudos voltados a sedimentos fluviais contidos em vales secos está na capacidade de oferecer informações sobre a dinâmica fluvio cárstica local e a evolução geomorfológica regional, permitindo que tais conhecimentos viabilizem a conservação destes ambientes por meio da elaboração de um gerenciamento seguro e sustentável das regiões cársticas. Diante disso, observou-se a necessidade de reunir os trabalhos realizados em tais feições, ressaltando a capacidade dos vales secos enquanto geoarquivos naturais capazes de resguardar sedimentos, os quais permitem entender a evolução dos paleoambientes e paisagens.

O estudo de vales secos abandonados em áreas cársticas é fundamental para o entendimento da dinâmica evolutiva destas paisagens. Desta forma, esta pesquisa busca reunir os artigos disponíveis na plataforma de busca *Web Of Science* (todas as bases de dados) que abordam a temática atingindo, assim, um período fornecido pela plataforma entre os anos 1945-2020, em todo o mundo. As palavras-chave de busca utilizadas foram: *Dry valleys, karst, sediments, fluvial, deposit, sink, terraces, river, paleodrainage, abandoned, sinkhole, paleochannels, knickpoint, blind valley, relict valley, ancient valley, fóssil valley, solution valley, paleovalley e paleokarst valley*. Tais termos foram buscados individualmente e em grupo, sendo checados todos os artigos que os contivessem.

Dessa maneira, foi possível reunir vinte e sete trabalhos sobre vales em área cárstica. Paralelamente, foram consultadas as referências existentes nos próprios artigos para identificar outros trabalhos e incorporados ao grupo. Demais trabalhos, principalmente os mais antigos, não se encontravam disponíveis para acesso eletronicamente não sendo, portanto, considerados.

O propósito deste estudo é revisar os tipos de denominações de vales em áreas cársticas reunindo os trabalhos existentes além de abordar os fatores influenciadores da dinâmica fluvio carstica. Por fim, apresentar possibilidades de estudos em fluvio carste do território brasileiro uma vez que dispõe de vastas áreas de ocorrência de rochas carbonáticas, possibilitado a existência de vales secos.

O bioma Cerrado destaca-se neste cenário apresentando as maiores áreas carbonáticas com potencial de estudo, que viabilize analisar as condições ambientais associadas a dinâmica fluvio cárstica. De forma complementar, fora realizado um levantamento acerca dos registros climáticos no Cerrado do Brasil central durante o Holoceno Superior. Esta revisão faz parte do arcabouço teórico do projeto de doutoramento que está em desenvolvimento sobre vales secos no Cerrado do Brasil central.

TIPOLOGIAS DE VALES ASSOCIADOS AO SISTEMA FLUVIO CÁRSTICO

Processos de dissolução, erosão, incisão e aspectos estruturais das rochas carbonáticas levam a desvios de fluxo e transições de forma de relevo, entre fluxos de superfície canalizada (fluvial) e de subsolo concentrado (conduto cárstico) (PHILLIPS, 2018). Os desvios ocorrem por meio de sumidouros ou *ponor (sinkhole)*, gerando a passagem (conexão) do sistema fluvial para o subterrâneo, que pode ocorrer de forma repentina (abrupta) ou lentamente. Com a carstificação sucessiva, a rede hidrográfica superficial se fragmenta com reorganização no subsolo. Formas que geram pontos de descarga do aquífero oferecendo água para os cursos superficiais são denominados surgências e ressurgências (TRAVASSOS, 2019). A captura de um canal superficial para o sistema subterrâneo também é denominada pirataria de fluxo (*flow piracy*). A compreensão de seus mecanismos pode levar a um melhor entendimento do registro geológico. O reconhecimento de que a pirataria de fluxo ocorreu no passado é comumente baseado em observações de vales secos, córregos decapitados (*beheaded*) e cotovelos de captura (PEDERSON, 2001; PHILLIPS, 2017).

A dinâmica fluvio cárstica permite a formação de diversas feições associadas. Dentre eles destacam-se os tipos de vales que são depressões topográficas alongadas, abertas, inclinadas em uma determinada direção em toda a sua extensão, que pode ser ou não ocupada por água (TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015). De acordo com Travassos; Rodrigues; Timo (2015) vale cárstico é um vale fluvial escavado em regiões cársticas. Devido à elevada permeabilidade são, como regra, denominados vales secos ou vales cegos.

Vale cego (*Blind valleys*) trata-se de um vale fluvial que se fecha abruptamente à jusante, pelo fato de ocorrer uma barreira natural que, no entanto, não represa a água, mas sim a captura por meio de um sumidouro ou *ponor*. Neste caso toda água é drenada e desaparece durante todo o ano (TRAVASSOS, 2019; TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015). Já o oposto do que ocorre em um

vale cego, ou seja, um vale escavado por um rio que seja alimentado por uma nascente ou surgência, é denominado vale fechado (*Pocket valleys*) (TRAVASSOS, 2019).

Vales secos (*Dry valleys*) são os vales fluviais sem rios, devido à água ter sido capturada para o sistema subterrâneo (Figura 3). Em alguns casos podem apresentar água intermitente em determinadas épocas do ano (BOCIC, 2003; BOČIĆ e BAČURIN, 2004; BOCIC; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; TRAVASSOS, 2019). De acordo com Bauer (2008) seu *layout* e forma são, portanto, “herdados” de outra época. Desse modo, os vales secos representam vestígios da antiga rede fluvial de superfície, ou seja, um traço morfológico do antigo fluxo de superfície (BOČIĆ e BAČURIN, 2004). Para Jennings (1985), Piló (2000), White, (1988) vales secos configuram testemunhos de antigo vale fluvial em que o curso atual ocorre no subterrâneo.

Vales secos sem cursos superficiais são umas das formas de relevo características de terrenos cársticos (BOCIC; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; WARWICK, 1964). Os vales cársticos também são referidos como: vale seco, vale relíquia (remanescente), vale antigo, vale fóssil, vale de solução, paleovale e ainda vale paleocarste (ÖZTÜRK, 2020; ŞENER e ÖZTÜRK, 2019).

Em relação ao conceito de paleodrenagem, Conti (2012) evidencia que mudanças em grande escala nas características fluviais devem estar relacionadas a processos ambientais mais amplos que podem alterar a própria natureza do sistema de bacias. Conceitos como paleovale (*Paleovalley*) e paleocanal (*Paleochannel*) frequentemente são atribuídos a variações locais no sistema de drenagem (pequena escala).

Vales relíquias estão fortemente relacionados e são formados por uma combinação de processos cársticos e fluviais em que as fases tectônicas juntamente com o desenvolvimento fluvial e mudanças climáticas são os principais fatores que explicam a morfologia atual de acordo com estudos de Košutnik (2007), Sauro (2013), Şener e Öztürk (2019); Öztürk (2020). Phillips (2017) afirma existirem formas que representam captura ou desvio de fluxo superficial para condutos incluindo vales secos cársticos e paleovales que são resultantes da pirataria cárstica. Pesquisas de reconhecimento são necessárias para compor evidências de que o vale nas proximidades da captura fluvial é de fato o paleovale do rio em questão, considerando fatores como: localização, alinhamento geral do depósito consistentes com o caminho anterior do rio; inclinação do depósito de acordo com os gradientes de inclinação do rio e a morfologia transversal (vale) consistente com o vale atual (JERIN e PHILLIPS, 2017).

O resultado deste processo de captura é o rebaixamento do nível de base do rio, causando, portanto, mudanças bruscas no gradiente de um perfil longitudinal, podendo formar uma queda d'água (*knickpoint*). A migração de nível de base geralmente afeta o processo na evolução do relevo e o desenvolvimento das cavernas, uma vez que os componentes dos sistemas fluviais e cársticos, e a drenagem regional estão ligados aos mesmos controles de nível de base (FABEL et al., 1996; FORD e WILLIAMS, 2007). Sendo assim, a compreensão dessas transições não é apenas relevante para os processos da evolução da paisagem fluvio-cárstica em si, mas também para a evolução da paisagem de forma mais ampla. No entanto, os processos geomórficos e os fluxos hidrológicos não são bem compreendidos em riachos controlados por leito de rocha ou em sistemas cársticos, em comparação com riachos aluviais e sistemas de águas subterrâneas não cársticas (PHILLIPS, 2017).

Transições fluviais superficiais para o domínio cárstico e subsuperficial (FC), e as transformações de carste para fluvial (CF) documentadas identificam várias mudanças nesse sistema (JAILLET et al., 2004; PHILLIPS et al., 2004; PHILLIPS e WALLS, 2004; WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015; JERIN e PHILLIPS, 2017; ŞENER e ÖZTÜRK, 2019). Desta forma, paleovales secos, redes paleo-hidrográficas e suas relações com outras formas cársticas podem ser usadas para diversos tipos de estudos, dentre eles a reconstrução da evolução cárstica (PHILLIPS e WALLS, 2004; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; GIOIA et al., 2011; DE WAELE et al., 2012; BAI et al., 2013; BENAC et al., 2013).

A incisão do rio resulta no abandono das superfícies erosivas da planície de inundação, e as passagens das cavernas podem se desenvolver inclusive durante os períodos de estabilidade do nível de base, podendo resultar na formação de terraços vinculados à migração de *knickpoint*, pois, formas antigas são exemplos que caracterizam a estabilidade na paisagem com baixas taxas de incisão. O sistema de drenagem subterrânea pode resultar na diminuição ou cessação do fluxo sobre os vales abandonados reduzindo as taxas de recuo. A estagnação dos *knickpoints* neste local significa que

eles estão bem preservados e relativamente ajustados aos terraços fluviais preservados com os quais são geneticamente conectados (FABEL et al., 1996).

Ao longo do tempo foram compiladas características comuns que confirmam a ocorrência de capturas fluviais como os cotovelos de captura (*elbows of capture*), variedades de seixos rolados (*fluvial gravels*) existentes em seu vale e interrupções no perfil longitudinal do rio (*river profile*). Em algumas regiões, o desenvolvimento de terraços está associado a captura fluvial onde os rios podem ter sido os responsáveis pela deposição de material grosseiro em seu vale e podem oferecer pistas sobre a origem destes cascalhos, isto é, sua área fonte, no caso de uma captura fluvial. Terraços também dão excelentes pistas para reconhecer mudanças no fluxo do rio. As inclinações dos depósitos do terraço refletem a direção do fluxo quando os sedimentos foram depositados. Se a direção dos depósitos do terraço diferir do canal atual, isto pode indicar uma captura fluvial. Se um depósito fluvial contém tipos de rochas não compatíveis com o rio atual, isto pode indicar que uma captura fluvial ocorreu anteriormente (ZAPROWSKI; EVENSON; EPSTEIN, 2002).

ESTUDOS DE VALES EM ÁREAS CÁRSTICAS

Registros aluviais apresentam um grande desafio, uma vez que a natureza da atividade fluvial determina que apenas fragmentos dos componentes depositados sobrevivem para posterior interpretação (MACKLIN; JOHNSTONE; LEWIN, 2005). No ambiente cárstico esta dificuldade pode ser superada uma vez que registros sedimentares podem ser resguardados em vales abandonados de acordo com a captura da rede de drenagem por meio de sumidouros ou dolinas.

Em seguida, dispomos do quadro contendo as pesquisas acessadas e a principal dinâmica envolvida na formação dos vales (Quadro 1).

Quadro 1. Pesquisas realizadas sobre vales em áreas cársticas.

Estudos em paleovales em áreas cársticas					
Cód	Estudos	Tipo de Feição	Local	Objetivo	Dinâmica envolvida
1	(FABEL et al., 1996)	Vale Seco, Vale Cego	Buchan, Austrália	migração de <i>knickpoint</i> e desenvolvimento de cavernas	litologia e estrutura
2	(PHILLIPHS et al, 2004)	Vales abandonados, paleocanais	Kentucky Central-EUA	evolução divergente em paisagens fluviocarste de Kentucky Central	parâmetros hidráulicos de energia
3	(MONOD et al., 2006)	Vales abandonados, Vales Secos, Vales Fósseis, paleovales, paleodrenagem	Touro Ocidental, Turquia	reconstrução de rede fluvial	eventos tectônicos e falhas
4	(KOŠUTNIK, 2007)	Vale Seco	Kras, Eslovênia	formação de vale seco e a origem do paleovale abandonado	erosão fluvial
5	(BENAC et al., 2013)	vales cársticos secos, rede fluvial (palaeo), vale cego	Ilha de Krk, Norte Adriático, Croácia	erosão fluvial na formação do sistema cárstico	atividade tectônica recente e condições climáticas variáveis
6	(BOČIĆ et al., 2015)	vales secos, paleodrenagem, paleovale, vale relíquia, vale cego	Korana, Croácia	evolução dos planaltos cársticos e a transição de uma paleodrenagem superficial para superfície cárstica	tectonismo
7	(WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015)	vale cego	Kentucky, EUA	Diferenciar as áreas de colapso de cavernas do entalhamento natural do sistema	eventos climáticos

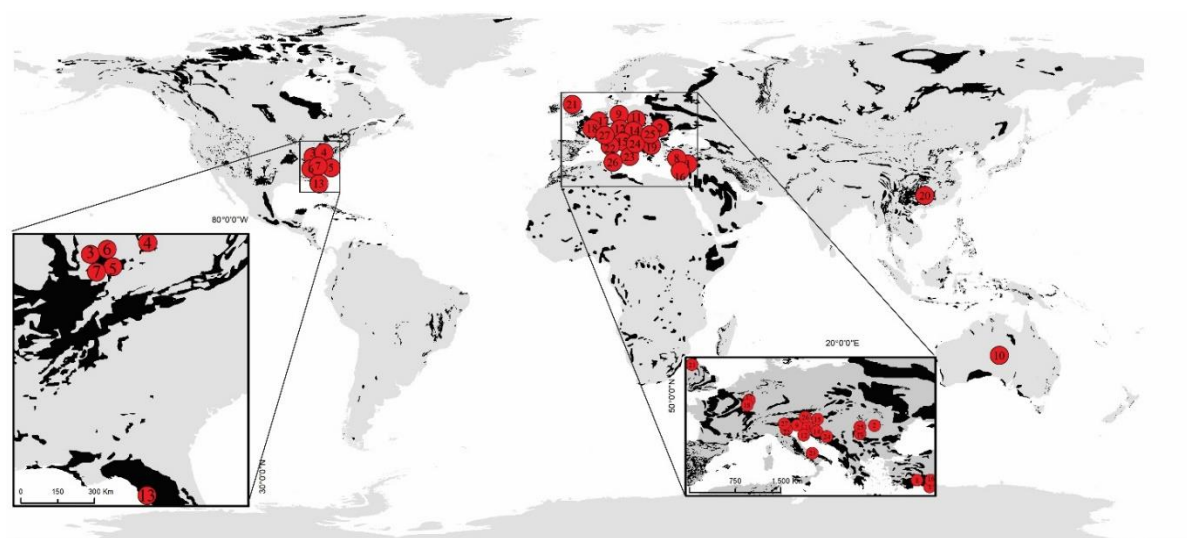
8	(BAHTIJAREVIĆ e FAIVRE, 2016)	vales e terraços cársticos	Flórida, EUA	características morfométricas do relevo fluvial e cárstico e denudação por processos morfogenéticos	condições climáticas
9	(TÎRLĂ et al., 2016)	vales secos íngremes (SDVs)	Cárpatos Meridionais, Romênia	análise geomorfológica e estrutural combinada de vales secos íngremes, evolução e morfologia	tectonismo
10	(JERIN e PHILLIPS, 2017)	paleovale, paleocanal, vale seco, canal abandonado	Condado de Mercer, Centro de Kentucky, EUA	princípio de seleção de eficiência a nível local na escolha de caminhos mais eficientes em uma escala mais ampla	climático
11	(PHILLIPS, 2017)	vale seco, paleovale, paleocanais	Bluegrass Interior de Kentucky	identificação das formas terrestres associadas a transições fluvial a cársticas (vice-versa)	dissolução em canais e incisão geral
12	(PHILLIPS, 2018)	vales cársticos, vales de bolso	Centro de Kentucky, EUA	A contingência histórica na evolução de paisagens fluviocársticas	nível de base, heranças de períodos anteriores e controles ambientais
13	(ÖZTÜRK, 2020)	vales secos, vales relíquias, vales antigos, vales fósseis, vales de solução, paleovales e vales paleocarste	Central Taurus, Turquia	Evolução fluviocárstica	tectônicos e climáticos
14	(BOCIC, 2003)	vales cegos e secos (fósseis)	Planalto de Slunj, Croácia	Reconstrução da rede de paleodrenagem no Monte Miroc. (Sérvia Oriental)	influência neotectônica
15	(KOVAČIČ, 2006)	vale seco	Aldeia Zagorje, Croácia	Mapeamento dos processos de transformação do relevo no Pleistoceno	processos climáticos
16	(ŞENER e ÖZTÜRK, 2019)	paleovale, vale relíquia, vale seco	Taurus, Turquia	Mapeamento e distribuição de vales relíquias ou não; e efeitos nas propriedades morfométricas das depressões	tectônica
17	(CORDIER et al., 2006)	vale relíquia, paleovale, vales secos	Taurus Central, Turquia	Evolução dos sistemas de terraço fluvial	clima e forças tectônicas
18	(CORDIER et al. 2006)	terraço em vale	Paris, França	Sistemas de terraço e a influência climática em sua formação.	mudanças climáticas
19	(PETROVIĆ; ČALIĆ; GAJOVIĆ, 2016)	vales secos, relíquias, paleodrenagem	Monte Miroč, Sérvia Oriental	Análise morfológica dos vales secos e relíquias para interpretar a evolução morfológica	tectônica erosão fluvial
20	(ZENG et al., 2011)	vale fluvial	Bacia de Tarim, Oeste da China	Reconhecimento de paleocavernas colapsadas em escala sísmica	episódios de movimentos tectônicos
21	(WARWICK, 1964)	vales secos	Pennines, Inglaterra	Vales secos	climático

22	(SAURO, 2013)	vale cego, vale seco	Alpes Venezaianos, Itália	Formas de relevo da superfície cárstica a partir de uma perspectiva geomorfológica	climático e tectônico
23	(ROGLIC, 1964)	vale seco, vale cego, vale cárstico	Croácia	Revisão sobre o uso de vale carstico para indicar vales secos, e sugerir a descontinuar o uso do termo "vale cárstico"	climático
24	(PARISE, 2011)	vales cársticos	Apulia, Itália	Características morfológicas das características cársticas de superfície e subsuperfície	tectônico
25	(POVARĂ e CONOVICI, 2013)	vales relíquias, secos	Montanhas Mehedinti, Sul da Romênia	Descrever as formas de relevo cársticas notáveis por sua particularidade, aspectos genéticos e morfológicos	climático e tectônico
26	(MIHEVC, 2007)	vale cego, vale seco	Eslovênia	Reconstruir a evolução e estimar a idade da paisagem cárstica	climático e tectônico
27	(SAURO, 2002)	vale seco, vale relíquia, paleovale	Monti Berici, Alpes Do Sul	Morfo-unidades cársticas	climático e tectônico

Fonte: WEB OF SCIENCE, 2020

Com a compilação das pesquisas levantadas foi possível espacializar os estudos em conjunto com as áreas de ocorrência de rochas carbonáticas no mundo (Figura 2), por meio da metodologia aplicada, permite observar pouca quantidade de estudos, havendo certa concentração dos mesmos em algumas regiões do globo, como na América do Norte, especificadamente em Kentucky, Flórida (Estados Unidos), mas também na Croácia, Eslovênia na Europa Oriental e na Turquia (Leste da Europa) e, somente um estudo na Austrália e na China.

Figura 2 -Espacialização dos estudos realizados em vales em áreas Cársticas.



Legenda

- Estudo com Vales em áreas cársticas
- Ocorrência de Rochas Carbonáticas no Mundo

Sistema de Coordenadas: Sirgas2000
Web of Science (2020)
http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/#karst6

Fonte: WEB OF SCIENCE, 2020; WILLIAMS e TING,2010

FATORES INFLUENCIADORES DA DINÂMICA FLUVIOCÁRSTICA

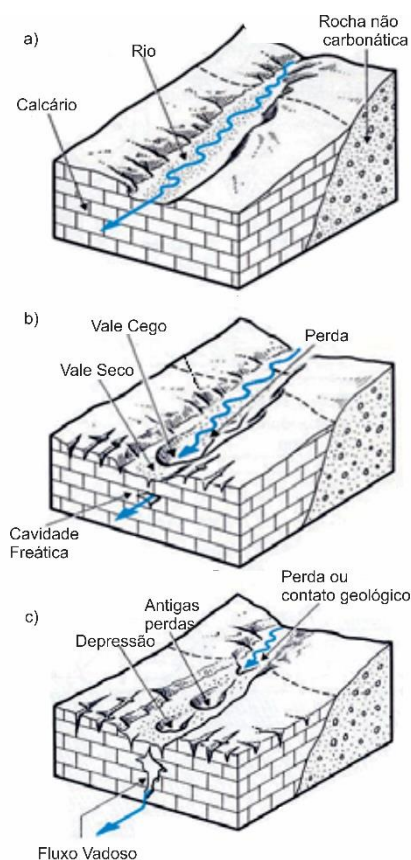
O sistema fluviocárstico é influenciado por forças externas (clima, tectônica), que iniciam mudanças nos regimes fluviais, carstificação, declives regionais e nível da base. Os controles como litologia, estrutura e vegetação também são relevantes. Devido a perda de fluxo da superfície para rotas subterrâneas, existem ambientes que apresentam áreas ricas em carste com poucos canais fluviais e áreas ricas em canais e menos cársticas (PHILLIPS e WALLS, 2004).

Os planaltos cársticos geralmente apresentam uma evolução geológica e geomorfológica complexa. É amplamente aceito que seu desenvolvimento requer uma denudação cárstica duradoura por um período tectônico relativamente estável (FORD e WILLIAMS, 2007).

A litologia carbonática quando em clima úmido predispõe a paisagem à dissolução e carstificação, com alargamento irreversível dos condutos, embora possa ocorrer algum entupimento (reversível) por sedimentos depositados. Depois que os condutos e as cavidades subterrâneas são formados é inevitável algum colapso da superfície. Gradientes topográficos localmente íngremes associados à dolinas, etc., combinados com o clima úmido e solos finos e argilosos, provocam escoamento superficial, levando à modificação da topografia superficial por erosão de encostas (PHILLIPS, 2018).

Um modelo de formação do relevo cárstico foi proposto por David Drew (1985) ilustrando que o fenômeno se desenvolve quando águas e seus componentes químicos circulam por fraturas de rochas solúveis. Esculpindo primeiramente as rochas superficiais e se infiltrando profundamente, criando redes de condutos subterrâneos. A dissolução é o principal processo de intemperismo químico, tornando-se fundamental para explicar o carste (Figura 3).

Figura 3. Exemplo de evolução vale cárstico



Fonte: David Drew (1985).

As características de drenagem dependem da espessura e da distribuição espacial das litologias solúveis, e frequentemente os cursos de drenagem subterrânea estão presentes em uma mistura chamada fluvio-carste. Paisagens dominadas por carste são convertidas para domínios fluviais à medida que os condutos subterrâneos ficam obstruídos. Com a remoção da rocha solúvel na bacia hidrográfica ou com a dissecção fluvial, ocorre a captura que exuma a drenagem subterrânea. Paisagens dissecadas fluvialmente em áreas propensas ao carste podem ser transformadas gerando formas, como dolinas, que capturam a drenagem da superfície a partir da solução dentro dos canais. O equilíbrio entre a drenagem fluvial e cárstica é frequentemente dependente das condições ambientais locais (PHILLIPS e WALLS, 2004).

Desta forma, apresentamos a seguir as explicações sobre o desenvolvimento fluvio-cársticos abordados nos estudos levantados, agrupando-os de acordo com a influência tectônica com 7 estudos, climática com 13 e por fim com ambas 9.

Estudo de sedimentos contidos em paleovales, no Touro ocidental da Turquia, com rastreamento de seixos, permitiu que Monod; Kuzucuoğlu; Okay (2006) observassem que grandes eventos tectônicos resultaram em uma série de falhas que influenciaram o sistema de drenagem. Tais eventos foram responsáveis pela extensa circulação cárstica atual, que deixou abandonados relictos da antiga morfologia da cadeia cárstica.

Bočić; Pahernik; Mihevc (2015) observaram que o desenvolvimento da rede de drenagem superficial no carste do planalto de Una-Korana (Croácia) está atrelado ao baixo gradiente hidráulico em relação ao nível da base erosional na bacia, e a existência de sedimentos impermeáveis. Devido ao gradiente hidráulico associado a tectônica, os rios começaram a cortar a paisagem levando a diminuição no nível do lençol freático. A rede de drenagem ativa passou gradualmente para uma rede seca e depois para uma rede de descarga sendo gradualmente substituída por dolinas. A área fluvial carstificada passou a ser drenada no subsolo.

Vales secos cársticos foram analisados por Tîrlă; Mirea; Vijulie (2016) no Cárpatos Meridionais (Romênia) a fim de estimar o controle geomórfico na evolução do regime, demonstrando que o controle estrutural na base morfológica da escarpa, concluindo que a distribuição espacial e o desenvolvimento dos vales secos, bem como o processo de recuo da escarpa, são controlados por lineamentos tectônicos.

O estudo desenvolvido por Košutnik (2007) afirma que o paleovale estudado em Mali Dol, Kras (Eslovênia) foi gerado por meio de erosão fluvial e a área de meandros exclui sua origem tectônica. Tal fato permitiu que o vale, no passado ativo, atualmente esteja seco.

Horn Hollow, um vale fluvio-carste localizado no nordeste do Kentucky, Estados Unidos, estudado por Woodside; Peterson; Dogwiler (2015), permitiu observar que os eventos climáticos como os glaciais podem favorecer a ocorrência de períodos de rápido entrenchamento e flutuações no fluxo dos rios rebaixando o nível da base nas áreas de cavernas, uma vez que a água normalmente busca caminhos mais rápidos para o novo nível de base. A água pode ter acompanhado as fraturas na rocha subjacente, expondo-as a maior dissolução, resultando na formação de cavernas. Tais eventos contribuíram drasticamente com a morfologia transformando-a em algo semelhante ao atual na área estudada.

Um estudo na Flórida (Estados Unidos) realizou análises geomorfológicas comparativas de dois diferentes relevos (fluvial/cárstico) com base em parâmetros morfométricos (elevação, contornos, declives, aspecto, áreas endorréicas), considerando a suposição de estabilidade relativa das condições tectônicas. O resultado indicou que o relevo fluvial apresenta valores gerais mais altos dos parâmetros morfométricos comparado ao relevo cárstico. Sendo consequência de taxas duas vezes mais altas de desnudação fluvial em comparação com as taxas de desnudação cárstica. Dessa forma, demonstra-se que o processo fluvial pode ser mais eficaz que os respectivos processos cársticos, sob as mesmas condições climáticas. As taxas de desnudação do carste demoram a ser refletidas nos parâmetros morfométricos devido à resposta morfológica mais lenta (BAHTIJAREVIC e FAIVRE, 2016).

Estudo em terraços de Cordier et al., (2006) em Paris, França na área do vale resultante do processo de junção do Alto Morselle ao Vale Mosa e mais tarde capturado pelo Paleo-Meurthe (LOSSON e

QUINIF, 2001) demonstrou que o modelo de resposta fluvial obtido se aproxima dos descritos na Europa, no qual as transições climáticas (quente-frio e secundariamente frio-quente) estão associadas a fases erosivas.

Fabel et al. (1996) mostraram que a litologia e a estrutura afetam significativamente o alinhamento dos rios e suas formas de vales no carste Buchan, sudeste da Austrália. Phillips e Walls (2004) em Kentucky (Estados Unidos) também observaram que uma pequena variação na litologia, estrutura, microclima etc. podem causar evolução divergente do sistema fluviocárstico. Concluíram que o desenvolvimento de características cársticas vs. fluviais é sensível às variações locais muito pequenas que implicam na evolução em direção ao domínio cárstico ou fluvial.

Benac et al. (2013) avalia dois vales cársticos secos com áreas litologicamente similares em Taurus (Turquia). No entanto, com diferentes tipos de relevo cárstico pois uma apresenta massa rochosa intensamente deformada devido a presença de atividade tectônica recente mais evidente do que a outra. As condições climáticas variáveis também influenciaram a morfologia final do relevo. O baixo nível do mar durante a última era glacial, juntamente com um clima úmido, poderia ter causado a reativação do processo fluvial nas partes íngremes a jusante dos vales cársticos.

O desenvolvimento de sistemas fluviais e cársticos é governado por princípios que podem ser abrangidos pelo princípio de seleção de eficiência (rotas de fluxo mais eficientes tendem a ser preferencialmente selecionadas e aprimoradas). Contudo, uma violação aparente desse princípio, ou seja, um caminho mais curto e mais íngreme foi trocado por um canal mais longo e menos acentuado, como constatado no estudo de Jerin e Phillips (2017) em Kentucky (Estados Unidos). Os autores explicam que aparentemente isso ocorreu devido à captura do fluxo por um conduto cárstico subsuperficial que foi posteriormente exumado. Tal situação ilustra a natureza local da seleção de eficiência e o papel da contingência histórica na evolução geomórfica, ou seja, a herança de características de períodos anteriores de formação ou conjuntos de controles ambientais condicionalidade e instabilidade dinâmica (PHILLIPS, 2018).

Phillips (2017) ressalta que a dissolução em canais de córregos controlados por leito rochoso é a causa mais comum que leva às transições fluviais para cársticas, enquanto a incisão geral gerada pela redução do rio é o principal responsável pelas transições de carste para fluvial. A evolução fluviocárstica analisada foi entendida como um reforço mútuo, em que a dissecação fluvial pode ser intensificada devido às características cársticas e a carstificação é reforçada pela incisão do fluxo. Tal equilíbrio indica que mudanças locais e condições que alterem as condições de umidade, alívio local, capacidade de transporte de canal ou declives hidráulicos, provavelmente persistirão e crescerão, resultando em transições hidrogeomórficas.

Diante do exposto sobre os principais fatores influenciadores da dinâmica do sistema fluviocárstico, observa-se que o clima e tectonismo são forças que interferem diretamente nos regimes fluviais da carstificação, nos declives regionais e no nível da base.

Na maioria dos estudos prevalecem como principais influenciadores da evolução fluviocárstica processos de erosão, dissolução e incisão fluvial. Processos tectônicos influenciam especificadamente em determinadas áreas que não estão relativamente estáveis (FORD e WILLIAMS, 2007). Em áreas com estabilidade tectônica, a evolução fluviocárstica sofre influências de litoestruturas e do clima que são expressos no padrão da sedimentação fluvial.

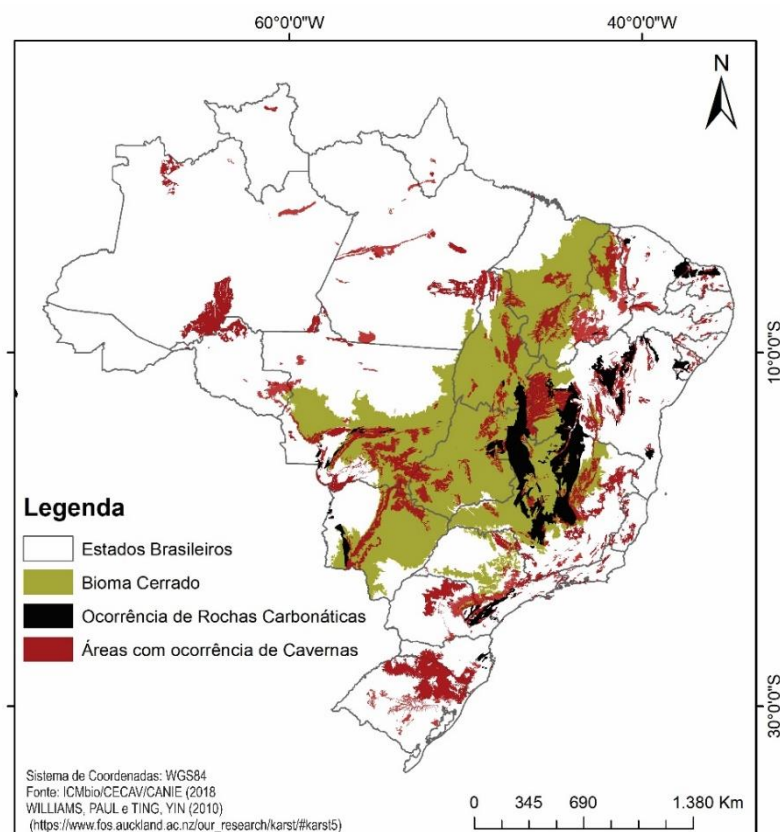
Períodos climáticos mais úmidos podem adicionar energia para o sistema à medida que a recarga aumentada faz com que os níveis de água subterrânea subam, acelerando a pirataria de fluxo (PEDERSON, 2001).

POSSIBILIDADES DE ESTUDOS ESTRATIGRÁFICOS EM FLUVIOCARSTES DO CERRADO BRASILEIRO.

Por meio do levantamento efetuado, observou-se que depósitos fluviais em vales secos correlacionados ao sistema fluviocárstico podem ser importantes geoarquivos ambientais para estudos com diversos enfoques. A Figura 4 conta com a espacialização das áreas de ocorrência de cavernas no Brasil, de acordo com ICMBio, CECAV e CANIE (2018) além de áreas de rochas carbonáticas (FORD e WILLIAMS, 2007), ou seja, áreas suscetíveis a presença de vales secos devido a captura subterrânea. No entanto, considerando os critérios do levantamento realizado não foi

possível identificar estudos no território brasileiro, mesmo possuindo relevantes áreas cársticas com diversos estudos em outros enfoques do carste (AULER e SMART, 2001; PILÓ et al., 2005 AULER, et al., 2009; LAUREANO et al., 2016; NOVELLO et al., 2019; CALDEIRA, et al., 2021 dentre outros.), além de dolinas, conforme demonstra Ferreira (2019); Ferreira e Uagoda (2020).

Figura 4. Contexto geográfico brasileiro e do bioma com as áreas de ocorrência de cavernas e carbonáticas



Fonte: ICMBio; CECAV; CANIE (2018); WILLIAMS e TING (2010)

Oliveira (2010), faz uma revisão sobre capturas fluviais no Brasil, identificando dez estudos e, nenhum deles, no carste. O estudo ressalta que tais eventos fluviais podem ser resultantes de eventos climáticos, geomorfológicos e geológicos, tendo a água como fenômeno acelerador da erosão e das capturas fluviais e podendo incidir em diversas escalas. Nas linhas de drenagem preservadas é possível identificar e traçar a evolução do relevo local. As capturas fluviais são peças chave para o entendimento da evolução do relevo e, ainda hoje, são pouco estudadas por pesquisadores brasileiros e estrangeiros.

Dispondo dos bancos de dados sobre ocorrência de áreas cársticas no Brasil, observa-se que o bioma Cerrado no Brasil central dispõe de boa parte destas áreas com destaque para as ocorrências emersas do Grupo Bambuí. Desta forma, há grande potencial para desenvolver estudos envolvendo vales secos. De acordo com Auler et al. (2009) em áreas tectonicamente estáveis, como o Cráton São Francisco, eventos climáticos podem afetar cavernas alimentadas com dolinas por vários ciclos climáticos antes que o local se torne inativa.

O bioma Cerrado dispõe de uma extensão territorial com cerca de 2 milhões de km², sendo o segundo maior bioma dos neotrópicos, abrigando cabeceiras das principais bacias hidrográficas do país: Paraná; Paraguai; Amazônica; Parnaíba e São Francisco (CASSINO et al., 2020). Apesar disso, o Cerrado dispõe de raros estudos de sedimentos fluviais superficiais, que buscam a interpretação da evolução do relevo com base em condições paleo-hidrológicas (TURCQ et al., 1997).

Estudo dos depósitos permitem estabelecer a história evolutiva dos climas atuantes no intervalo de tempo identificado (STEVANUX, 2000). As condições paleo-hidrológicas também permitem analisar a

geologia e geomorfologia para reconstruir a história ambiental (VALENTE e LATRUBESSE, 2012). A determinação do ambiente deposicional fornece dados para interpretação da evolução dos terraços fluviais, o que permite correlacioná-los com oscilações climáticas (DIAS e PEREZ FILHO, 2015). Depósitos fluviais podem também fornecer respostas sobre a capacidade do homem potencializar os processos até então ditos naturais, interpretando as transformações ocasionadas pela ação antrópica nos canais fluviais (VALÉZIO e PEREZ FILHO, 2015).

O clima é um dos principais influenciadores da dinâmica do sistema fluviocárstico, uma vez que determina a disponibilidade hídrica que está diretamente relacionada com processos de dissolução das rochas carbonáticas. Depósitos fluviais em vales secos, portanto, podem contribuir como arquivos paleoclimáticos além de permitirem interpretar a evolução do fluviocarste, quando vistos regionalmente.

De acordo com Conti (2009), variações dos padrões de drenagem em sistemas a montante estão relacionadas às mudanças climáticas, e sua associação com processos e os padrões de construção de terraço marginal em períodos glaciais (em contraste aos processos de incisão em períodos interglaciais). As condições climáticas não afetam apenas o regime hidrológico, mas também atuam em fatores como a cobertura vegetal, processos de intemperismo (disponibilidade de sedimentos) e transporte de sedimentos. Dessa forma, estudo de sedimentos fluviais resguardados em vales secos podem contribuir substancialmente para compreender a relação climática com processos de evolução da paisagem no sistema fluviocárstico. Pois, as formas fluviocársticas se desenvolvem principalmente nos primeiros estágios da carstificação em áreas de chuvas intensas, quando a descarga em um sistema cárstico excede a capacidade do sistema de condutos (DREYBRODT e GABROVŠEK, 2003).

Estudos de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) foram realizados no Cerrado do Brasil Central utilizando pólenes depositados em sedimentos lacustres e turfeiras. Os estudos têm tido dificuldade em caracterizar o clima referente aos últimos três mil anos antes do presente (A.P) no Cerrado. Isso pode ser observado em Cromínia (GO) que não apresenta registros dos últimos 3.500 anos (FERRAZ-VICENTINI e SALGADO-LABOURIAU, 1996), da mesma forma em Salitre (GO) (LEDRU, 1993), São José (MG) e Lagoa Feia (GO) (CASSINO et al., 2020).

Nas veredas de Águas Emendadas, Distrito Federal, Barberi et al. (2000); Lagoa do Caçó (MA) (LEDRU et al., 2006), identificou-se a ocorrência de um clima quente e semi-úmido, semelhante ao atual que se instalou em 8.000 anos cal. AP e permaneceu até o presente. Tal padrão foi confirmado por Behling (2002) na Lagoa do Confusão (TO).

Demais estudos de Cassino e Meyer (2013) tem caracterizado a segunda metade do Holoceno como relativamente mais úmido, conforme demonstra a Vereda Laçador (MG) a partir de 2.000 anos cal A.P. No mesmo sentido estudo na Serra do Espinhaço (MG) mostra queda da umidade e das temperaturas por volta de 2.900 anos A.P (HORÁK-T et al., 2018). No Lago do Pires (MG), condições úmidas prevaleceram durante a segunda metade do Holoceno e entre 2.900 anos cal A.P e o presente, com condições ainda mais úmidas (BEHLING, 1995). Tais características são corroboradas com o registro de Lagoa Nova (MG) (BEHLING, 2003). Em Carajás (PA), observou-se que a fase seca prevaleceu até 3.100 anos A.P, posteriormente estabelecendo vegetações que ocorrem atualmente (ABSY et al., 1991). Na Lagoa de Serra Negra (MG) é comprovado que a partir de 1.200 anos cal AP, se instalou um clima mais úmido semelhante ao atual. Outro registro palinológico diz respeito a Lagoa Santa (MG) que demonstra, entre 3.600 e 1.700 anos cal AP a instalação de um clima mais úmido com aumento da umidade a partir de 5.500 anos cal AP (PARIZZI; SALGADO-LABOURIAU; KOHLER, 1998).

No geral os estudos têm demonstrado condições mais úmidas durante a segunda metade do Holoceno, semelhante ao atual. Meyer et al. (2014) identificou aumento da umidade a partir de 5 mil anos por meio da junção de estudos anteriores. No entanto, no sítio Lagoa dos Mares, região de Belo Horizonte/MG, foram achados indícios de um clima mais sazonal (com uma estação seca mais pronunciada) entre aproximadamente 4.000 e 2.700 anos cal. AP (RACZKA et al., 2013).

Registros isotópicos de espeleotemas em cavernas localizadas no Cerrado do Brasil central identificaram no norte de Minas Gerais (Lapa Grande / Lapa Sem Fim) durante o Holoceno, eventos abruptos de aumento de precipitação centrados em 3,7, 3,1, 2,7, 2,3 e 1,7 mil anos A.P (STRÍKIS, 2015; NOVELLO et al., 2017, 2019). Stríkis (2011) sugere que diferentes mecanismos climáticos dos eventos do Holoceno associados ao contexto climático do glacial são substituídos por condições do interglacial, explicando essa variação.

Ainda no Norte de Minas Gerais, na Lapa dos Anjos, uma estalagmite cobre um intervalo de 5.8 mil anos. Esse intervalo até então não foi explorado nas reconstituições da paleoprecipitação do Brasil central, podendo oferecer maior detalhamento dos últimos 3 mil anos. Sendo possível referenciar os intervalos compreendidos pela Anomalia Climática Medieval (ACM) e a Pequena idade do Gelo (LIA, da sigla em inglês para *Little Ice Age*) ficando definido para a LIA o intervalo de tempo entre 1450 – 1740 EC e, para a ACM, o intervalo entre 975 – 1130 EC. Parte da LIA corresponde ao Bond 1 (1,1-1,5 mil anos A.P), que integram aos “eventos Bond” períodos de resfriamento abrupto (BOND et al., 1997). Esse respondeu de forma acentuada com uma fase úmida identificada na região centro-leste e parte central da Bahia (NOVELLO et al., 2012).

Ainda no Holoceno identificaram-se eventos quentes como a ACM existente entre os anos 950 e 1,250 AP. Descreve-se um aquecimento no qual as temperaturas da Europa atingiram os níveis mais quentes dos últimos 4000 anos (MANN et al., 2009; STRÍKIS e NOVELLO, 2014).

Diante do exposto sobre os registros climáticos do Brasil Central, é ressaltada a relevância de se estudar sedimentos fluviais resguardados em vales secos de diversas idades nessa região, que podem demarcar períodos específicos de variações climáticas que influenciam a dinâmica fluvio cárstica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento dos estudos envolvendo vales secos em áreas cársticas demonstrou que ainda são poucas as pesquisas que exploram essas feições, que ocorrem em diversas áreas da superfície terrestre. Os estudos analisados deixam claro o potencial de tais feições para serem alvos de diversas análises geomorfológicas tanto em escala local, envolvendo o entendimento da dinâmica fluvio cárstica, quanto em escala regional para compreensão da evolução na paisagem. O abandono repentino destes vales permite que eles resguardem sedimentos que vinham sendo transportados até o momento da captura do rio. A proposta também evidencia os fenômenos que influenciam a dinâmica fluvio cárstica e condições associadas ao tectonismo e o clima. Em cenários de tectonismo inexistente, o fator clima e estruturas, neste caso, podem ter mais influências. Dados paleoclimáticos podem oferecer subsídios para evidenciar as contribuições do clima nos processos de evolução da paisagem. De acordo com este levantamento, a maioria dos estudos evidenciaram influências climáticas.

Estudos envolvendo caracterização climática e vegetação têm sido desenvolvidos nas vastas áreas carbonáticas localizadas nos Cerrados do Brasil central. Essas pesquisas, porém, têm demonstrado dificuldade para estabelecer registros das condições climáticas durante o Holoceno Superior. Portanto, diante da capacidade de resguardar sedimentos em vales secos nas áreas cársticas, pode-se trazer novos dados necessários para cobrir tais reconstruções paleoambientais por meio do conhecimento da dinâmica climática de eventos correlatos ao período do Holoceno Superior, bem como suas influências na dinâmica da paisagem.

A construção de uma pesquisa científica se consolida a luz das obras anteriores com o levantamento minucioso acerca da temática, em plataformas robustas dispendo das palavras-chave que permitem a compilação, bem como o entendimento fundamental para interpretações e discussões dos resultados alcançados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB) que forneceu estrutura para a realização da pesquisa. Agradecem também ao fomento obtido pelo TCCE 01/2018 Vale/ICMBio.

REFERÊNCIAS

ABSY, M; CLEEF, A; VAN DER HAMMEN, T; FOURNIER, M; MARTIN, L; SERVANT, M; SIFEDDINE, A; FERREIRA DA SILVA, M; SOUBIES, F; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, **Sciences de La Terre**, 312(6), 673–678, 1991.

- AULER, A. S; SMART, P. L. Late quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, 55(2), 159–167, 2001. <https://doi.org/10.1006/qres.2000.2213>
- AULER, A. S; SMART, P. L; WANG, X; PILÓ, L. B; EDWARDS, R. L; CHENG, H. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. **Geomorphology**, 106(1–2), 142–153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.020>
- BAHTIJAREVIC, A; FAIVRE, S. Quantitative comparative geomorphological analysis of fluvial and karst relief of Florida. **Environmental Earth Sciences**, 75(428), 2–20, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5397-8>
- BAI, X; ZHANG, X; LONG, Y; LIU, X; SIYU, Z. Use of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pbex measurements on deposits in a karst depression to study the erosional response of a small karst catchment in Southwest China to land-use change. **Hydrological Processes**, 27(6), 822–829, 2013. <https://doi.org/10.1002/hyp.9530>
- BARBERI, M; SALGADO-LABOURIAU, M. L; SUGUIO, K. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 13(3), 241–254, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00022-5)
- BAUER, J. Un peu de karsto pour les spéléos. **Info EFS**, 16(2), 16-26, 2008.
- BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lagoa do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, 14, 253–268, 1995.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeo**, 177, 19–27, 2002.
- BEHLING, H. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. **Vegetation History and Archaeobotany**, 12(4), 263–270, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00334-003-0020-9>
- BENAC, Č; JURAČIĆ, M; MATIČEC, D; RUŽIĆ, I; PIKELJ, K. Fluviokarst and Classical Karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia). **Geomorphology**, 184, 64–73, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.016>
- BOCIC, N. Relation between karst and fluviokarst relief on the slunj plateau (croátia). **Acta Carsologica**, 11, 137–146, 2003.
- BOČIĆ, N; BAĆURIN, Ž. Geomorphological conditions of the genesis of the ponor jovac cave (Croatia). **Acta Carsologica**, 6(33/2), 107–113, 2004.
- BOCIC, N; PAHERNIK, M; MIHEVC, A. Geomorphology Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una – Korana plateau , Dinaric karst , Croatia. **Geomorphology**, 247, 55–65, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.028>
- BOND, G; SHOWERS, W; CHESEBY, M; LOTTI, R; ALMASI, P; PRIORE, P; CULLEN, H; HAJDAS, I; BONANI, G. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. **Science**, 278, 1997. <https://doi.org/10.1126/science.278.5341.1257>
- 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**, 580, 22–37, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.01.012>
- CASSINO, R. F LEDRU, M. P; SANTOS, R. DE A; FAVIER, C. Vegetation and fire variability in the central Cerrados (Brazil) during the Pleistocene-Holocene transition was influenced by oscillations in the SASM boundary belt. **Quaternary Science Reviews**, 232, 106-209, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106209>

CASSINO, R. F; MEYER, K. E. B. Reconstituição paleoambiental do chapadão dos gerais (Quaternário tardio) a partir da análise palinológica da vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 16(1), 127–146, 2013. <https://doi.org/10.4072/rbp.2013.1.10>

CONTI, L. A. Paleodrenagens na plataforma continental da região de São Sebastião (Litoral Norte do estado de São Paulo). São Paulo: **Revista Brasileira de Geomorfologia** – v.10 n.2, 45–55, 2009.

CONTI, L. A. Paleodrainage Systems. In: JAVAID, M. S. **Drainage Systems**. São Paulo: Escola de Artes Ciências e Humanidades – USP (3–20) 2012.

CORDIER, S; HARMAND, D; FRECHEN, M; BEINER, M. Fluvial system response to Middle and Upper Pleistocene climate change in the Meurthe and Moselle valleys (Eastern Paris Basin and Rhenish Massif). **Quaternary Science Reviews**, 25(13–14), 1460–1474, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.11.007>

DE WAELE, J; FERRARESE, F; GRANGER, D; SAURO, F. Landscape evolution in the Tacchi area (Central-East Sardinia, Italy) based on karst and fluvial morphology and age of cave sediments. **Geografia Fisica e Dinâmica Quaternária**, 35(2), 119–127, 2012. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2012.35.11>

DIAS, R. L; PEREZ FILHO, A. Geocronologia de terraços fluviais na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí-SP a partir de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16(2), 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i2.644>

DREW, D. **Karst Processes and Landforms**. Londres: Macmillan Education, 1985.

DREYBRODT, W; GABROVŠEK, F. Basic processes and mechanisms governing the evolution of karst. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**. 115–154, 2003.

FABEL, D; HENRICKSEN, D; FINLAYSON, B. L; WEBB, J. A. Nickpoint recession in karst terrains: An example from the Buchan Karst, Southeastern Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, 21(5), 453–466, 1996.

FERRAZ-VICENTINI, K. R; SALGADO-LABORIAU, L. M. L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 9(3–4), 207–209, 1996.

FERREIRA, C. F; UAGODA, R. Tipologias do carste e classificações de dolinas: uma revisão. **Caminhos de Geografia**, 20(70), 519–537, 2019.

FERREIRA, C. F; UAGODA, R. E. S. Um Panorama Sobre Mapeamentos de Dolinas no Brasil, Feições Elementares do Carste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 02, 133–139, 2020.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. Second ed. Chichester: Wiley, 2007. 562p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>

GIOIA, D; SABATO, L; SPALLUTO, L; TROPEANO, M. Fluvial landforms in relation to the geological setting in the “Murge Basse” karst of apulia (Bari metropolitan Area, Southern Italy). **Journal of Maps**, 7, 148–155, 2011. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1136>

GUTIÉRREZ, F; PARISE, M; WAELE, J. DE; JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth Science Reviews**, 138, 61–88, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>

HARMAND, D; ADAMSON, K; RIXHON, G; JAILLET, S; LOSSON, B; DEVOS, A; HEZ, G., CALVET, M; AUDRA, P. Relationships between fluvial evolution and karstification related to climatic, tectonic and eustatic forcing in temperate regions. **Quaternary Science Reviews**, 166, 38–56, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.02.016>

HORÁK-T, I; SCHELLEKENS, J; HORÁK-TERRA, I; BUURMAN, P; CHRISTÓFARO, A. Holocene vegetation and fire dynamics in central-eastern Brazil: Molecular records from the Pau de Fruta peatland

Organic Geochemistry Holocene vegetation and fire dynamics in central-eastern Brazil: Molecular records from the Pau de Fruta peatland. **Organic Geochemistry**, 77, 32–42, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2014.08.011>

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

JAILLET, S; PONS-BRANCHU, E; BRULHET, J; HAMELIN, B. Karstification as geomorphological evidence of river incision: The karst of Cousance and the Marne valley (eastern Paris Basin). **Terra Nova**, 16(4), 167–172, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2004.00544.x>

JENNINGS, J. N. **Karst Geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell, 1985. 293p.

JERIN, T; PHILLIPS, J. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. **Geomorphology**, 282, 119–130, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.013>

KOŠUTNIK, J. Questions of dry valleys in Karst: Case study of Mali dol, Kras (Slovenia). **Acta Carsologica**, 36(3), 425–431, 2007. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i3.176>

KOVAČIČ, G. Relief evolution in the hinterland of the Pivka river, **Acta Geographica Slovenica**, v. 46, n. 1, p. 33–55, 2006.

LAUREANO, F. V; KARMANN, I; GRANGER, D. E; AULER, A. S; ALMEIDA, R. P; CRUZ, F. W; STRÍCKS, N. M; NOVELLO, V. F. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. **Geomorphology**, 273, 63–77, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.009>

LEDRU, M. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, 39(90–89), 9, 1993.

LEDRU, M. P; CECCANTINI, G; GOUVEIA, S. E. M; LÓPEZ-SÁEZ, J. A; PESSENDA, L. C. R; RIBEIRO, A. S. Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Reviews**, 25(9–10), 1110–1126, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.10.005>

LOSSON, B; QUINIF, Y. La capture de la Moselle. Nouvelles données chronologiques par datations U/Th sur spéléothèmes. **Karstologia. Revue de Karstologie et de Spéléologie Physique**, 37(1), 29–40, 2001. <https://doi.org/10.3406/karst.2001.2469>

MACKLIN, M. G; JOHNSTONE, E; LEWIN, J. Pervasive and long-term forcing of Holocene river instability and flooding in Great Britain by centennial-scale climate change. **Holocene**, 15(7), 937–943, 2005 <https://doi.org/10.1191/0959683605hl867ft>

MANN, M. E; ZHANG, Z; RUTHERFORD, S; BRADLEY, R. S; HUGHES, M. K., SHINDELL, D; AMMANN, C; FALUVEGI, G; NI, F. Global signatures and dynamical origins of the little ice age and medieval climate anomaly. **Science**, 326(5957), 1256–1260, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1177303>

MEYER, K. E. B; CASSINO, R. F; LORENTE, F. L; RACZKA, M; PARIZZI, M. G. Paleoclima e paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises palinológicas. **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**, 397–413, 2014

MIHEVC, A. The age of karst relief in west Slovenia. **Acta Carsologica**, 36(1), 35–44, 2007. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i1.206>

MONOD, O; KUZUCUOĞLU, C; OKAY, A. I. A miocene palaeovalley network in the western Taurus (Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, 15(1), 1–23, 2006.

NOVELLO, V. F; CRUZ, F. W; KARMANN, I; BURNS, S. J; STRÍKIS, N. M; VUILLE, M; CHENG, H; LAWRENCE EDWARDS, R; SANTOS, R. V; FRIGO, E; BARRETO, E. A. S. Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. **Geophysical Research Letters**, 39(23), 1–6, 2012. <https://doi.org/10.1029/2012GL053936>

NOVELLO, V. F; CRUZ, F. W; VUILLE, M; STRÍKIS, N. M; EDWARDS, R. L; CHENG, H; EMERICK, S; PAULA, M. S. DE; LI, X; BARRETO, E. D. S; KARMANN, I; SANTOS, R. V. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Nature Publishing Group**, 1–8, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep44267>

NOVELLO, V. F; CRUZ, F. W; MCGLUE, M. M; WONG, C. I; WARD, B. M; VUILLE, M; SANTOS, R. A; JAQUETO, P; PESSENDA, L. C. R; ATORRE, T; RIBEIRO, L. M. A. L; KARMANN, I; BARRETO, E. S; CHENG, H; EDWARDS, R. L; PAULA, M. S; SCHOLZ, D. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. **Earth and Planetary Science Letters**, 524, 115–717, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115717>

OLIVEIRA, D. de. Capturas fluviais como evidências da evolução do relevo: uma revisão bibliográfica. São Paulo: **Revista Do Departamento de Geografia-USP**, 20, 37–50, 2010. <https://doi.org/10.7154/rdg.2010.0020.0003>

ÖZTÜRK, M. Z. Fluvio-karstic evolution of the Taşeli Plateau (Central Taurus, Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, 29(5), 733–746, 2020. <https://doi.org/10.3906/yer-1908-1>

PALMER, A. N. **Cave Geology**. Dayton: Cave Books, 2007.454p.

PARISE, M. Surface and subsurface karst geomorphology in the Murge (Apulia, Southern Italy). **Acta Carsologica**, 40(1), 79–93, 2011 <https://doi.org/10.3986/ac.v40i1.30>

PARIZZI, M. G; SALGADO-LABOURIAU, M. L; KOHLER, H. C. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. **The Holocene**, 8(3), 311–321, 1998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1191/095968398670195708>

PEDERSON, D. T. Stream Piracy Revised: A groundwater - Sapping Solution. **Department of Geosciences**, 4–10, 2001.

PETROVIĆ, A. S; ČALIĆ, J; GAJOVIĆ, V. Paleodrainage network reconstruction on Miroč Mt. (Eastern Serbia). **Revista de Geomorfologie**, 18(1), 69–76, 2016. <https://doi.org/10.21094/rq.2016.119>

PHILLIPS, J. D. Landform transitions in a fluviokarst landscape. **Zeitschrift für Geomorphologie** v..61 1, 109–122, 2017. <https://doi.org/10.1127/zfg/2017/0452>

PHILLIPS, J. D. Historical contingency in fluviokarst landscape evolution. **Geomorphology**, 303, 41–52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.11.015>

PHILLIPS, J. D; MARTIN, L. L; NORDBERG, V. G; ANDREWS, W. A. Divergent evolution in fluviokarst landscapes of central Kentucky. **Earth Surface Processes and Landforms**, 29(7), 799–819, 2004. <https://doi.org/10.1002/esp.1070>

PHILLIPS, J. D; WALLS, M. D. Nonlinear Processes in Geophysics Flow partitioning and unstable divergence in fluviokarst evolution in central Kentucky. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 11, 371–381, 2004.

PILÓ, L. B. Morfologia cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 1(1), 88–102, 2000.

PILÓ, L. B; AULER, A. S; NEVES, W. A; WANG, X; CHENG, H; EDWARDS, R. L. Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic Late Pleistocene/Early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. **Geoarchaeology**, 20(8), 751–764, 2005. <https://doi.org/10.1002/gea.20081>

POVARĂ, I; CONOVICI, M. Tectono-karst depressions in the central-western area of the Mehedinți Mountains (SW Romania). *Travaux de l'Institut de Spéologie "Émile Racovitza"*, LII, 37–49, 2013.

RACZKA, M. F; OLIVEIRA, P. E; BUSH, M; MCMICHAEL, C. H. Two paleoecological histories spanning the period of human settlement in southeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, 28(2), 144–151, 2013. <https://doi.org/10.1002/jqs.2597>

ROGLIC, J. 'Karst Valleys' in the Dinaric Karst. *Erdkunde*, 18(2), 1964. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.1964.02.06>

SAURO, U. The Monti Berici: A Peculiar Type of Karst in the Southern Alps. *Acta Carsologica*, 31(3), 2002. <https://doi.org/10.3986/ac.v31i3.382>

SAURO, U. Landforms of mountainous karst in the middle latitudes: Reflections, trends and research problems. *Acta Carsologica*, 42(1), 5–16, 2013. <https://doi.org/10.3986/ac.v42i1.629>

ŞENER, M. F; ÖZTÜRK, M. Z. Relict drainage effects on distribution and morphometry of karst depressions: A case study from central Taurus (Turkey). *Journal of Cave and Karst Studies*, 81(1), 33–43, 2019. <https://doi.org/10.4311/2018ES0111>

STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. *Quaternary International*, 72, 73–85, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00023-9)

STRÍKIS, N. M. Paleopluviosidade no norte de Minas Gerais durante o glacial tardio e Holoceno com base em registros de espeleotemas. *Dissertação* (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) São Paulo: Instituto de Geociências IGc /USP, 2011.

STRÍKIS, N. M. Atividade do Sistema de Monção Sul-americana na porção central do Brasil durante o último período glacial a partir da aplicação de isótopos de oxigênio em espeleotemas. *Tese* (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). São Paulo: Instituto de Geociências IGc/USP, 2015

STRÍKIS, N. M; NOVELLO, V. F. Evolução hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno. *Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas*, 335-343, 2014.

TAYLOR, C. J; GREENE, E. A. Hydrogeologic Characterization and Methods Used in the Investigation of Karst Hydrology. In D. O. R. e J. W. LaBaugh (Ed.), *Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water* (pp. 75–114), 2008. USGS.

TÎRLĂ, L; MIREA, I; VIJULIE, I. Geomorphological and structural patterns of the scarp-related steep dry valleys in limestone ridges: A case study from South Carpathians, Romania. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 22(4), 399–408, 2016. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11528>

TRAVASSOS, L. E. P. Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. *Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio*, 2019

TRAVASSOS, L. E. P., RODRIGUES, B. D., & TIMO, M. B. Glossário Conciso e Ilustrado de Termos Cársticos e Espeleológicos. Belo Horizonte: **PUC Minas**, 65 p, 2015.

TURCQ, B; PRESSINOTTI, M. M. N; MARTIN, L; ORSTOM. Paleohydrology and Paleoclimate of the Past 33, 000 Years at the Tamandua River, Central Brazil. *Quaternary Research*, 294(47), 284–294, 1997. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1880>

VALENTE, C. R; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 356–357, 62–74, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.10.002>

VALÉZIO, E. V; PEREZ FILHO, A. Dinâmica antrópica no canal fluvial do córrego Tucum - São Pedro, São Paulo (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 4, 1–8, 2015

WARWICK, G. T. Dry vallies of the southern Peninnes, England. **Erdkunde**, 18(2), 116–123, 1964.

WEB OF SCIENCE 2020. Todas as bases de dados. Disponível em: https://apps-webofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&SID=5Agtg6TQpxUlwyUO9je&search_mode=GeneralSearch Acesso em: 20 de março de 2021.

WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. Oxford: Oxford University Press, 1988. 464p.

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

WOODSIDE, J; PETERSON, E. W; DOGWILER, T. Longitudinal profile and sediment mobility as geomorphic tools to interpret the history of a fluviokarst stream system. **International Journal of Speleology**, 44, 197–206, 2015.

ZAPROWSKI, B. J; EVENSON, E. B; EPSTEIN, J. B. Stream piracy in the Black Hills: A geomorphology lab exercise. **Journal of Geoscience Education**, 50(4), 380–388, 2002. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-50.4.380>

ZENG, H; LOUCKS, R; JANSON, X; WANG, G.; XIA, Y; YUAN, B; XU, L. Three-dimensional seismic geomorphology and analysis of the Ordovician paleokarst drainage system in the central Tabei Uplift, northern Tarim Basin, western China. **AAPG Bulletin**, 95(12), 2061–2083, 2011. <https://doi.org/10.1306/03111110136>

3.2 CRONOLOGIA DE DEPÓSITOS FLUVIAIS BRASILEIROS: UMA REVISÃO

Cronologia de depósitos fluviais brasileiros: uma revisão

Chronology of the brazilian fluvial deposits: a review

Resumo- Estudos que envolvem a cronologia de depósitos fluviais associados a análises como estratigrafia, geofísica dentre outros, têm crescido substancialmente, visando o entendimento e reconstrução da paisagem, contribuindo para a compreensão da dinâmica terrestre relacionados com uso da terra, tectonismo, mudanças climáticas e demais abordagens. Este artigo se propõe rever o estado atual do conhecimento das análises de depósitos fluviais no Brasil, envolvendo a cronologia trazendo a discussão acerca das influências dos períodos glaciais e interglaciais na evolução das paisagens. O levantamento considerou artigos nacionais e internacionais publicados e disponibilizados no banco de dados da plataforma *Web of Science*. A espacialização das pesquisas desenvolvidas neste enfoque demonstra que os estudos vêm crescendo, considerando a extensão do território brasileiro. No entanto, a maioria das áreas de pesquisas estão concentradas na região Norte e Sudeste. A partir da organização das idades demonstradas nos trabalhos levantados, observou-se a predominância referente aos Estágios Isotópicos Marinheiros (EIM) 3 e 2, respectivamente. A ampliação de pesquisas permite uma compreensão integradora dos processos de evolução da paisagem, bem como, das mudanças climáticas, conhecimento fundamental para gestão dos ambientes.

Palavras -chave: datação, eventos climáticos, sedimentos.

Abstract- The applications of chronology combined with stratigraphic and geophysical techniques for the study of the fluvial deposits have increased greatly. These studies aiming at the understanding of landscape dynamics through the comprehension and reconstruction landscape evolutionary processes, that are linked with the land use, tectonism, climate change and other phenomena. The present study aiming at providing a review of the current state of knowledge on the chronology of river deposits in Brazil, bringing the discussion about the influence of glacial and interglacial periods on the evolution of landscapes. Here, the information documented in the already published (*Web of Science*) national and international articles is used for the analysis. It is concluded that through the studies are growing on the subject matter, however, there is still need of the extension over Brazil where studies are concentrated in the North and Southeast regions. From the organization of the ages demonstrated in the works, it was observed the predominance referring to the Marine Isotopic Stages (EIM) 3 and 2, respectively. The broadening of research allows an integrated understanding of the evolutionary processes of the landscape along with the knowledge of climatic variations is fundamental for the management of the environments.

Keywords: dating, climatic events, sediments.

1 Introdução

Os sistemas fluviais são importantes agentes no processo de evolução geomorfológica da superfície continental emersa. Parte dos sedimentos gerados a partir de rochas e solos são transportados e depositados em diversas formas e locais nas bacias hidrográficas, conhecidos como leques aluviais, terraços, planícies, barras de canal, vales secos, dentre outros, estando, dessa forma, envolvidos na dinâmica relacionada aos eventos passados (CHORLEY, 1962;

HUGGET, 2007; RO CHARLTON, 2008). Quando bem preservados, tais sedimentos são considerados importantes registros para estudos em diversas abordagens como ambientes deposicionais, eventos climáticos, tectônicos e impactos humanos na paisagem, favorecendo interpretações paleoambientais (BAKER, 2008; BRIDGLAND; WESTAWAY, 2008; CHORLEY, 1962; DE OLIVEIRA et al., 2008; DOTTERWEICH, 2008; GUTIÉRREZ et al., 2017a; PHILLIPS, 2017).

Diversas técnicas integradas são utilizadas para análises destes depósitos, como vem sendo aplicadas no território brasileiro a partir de sequências pedostratigráficas, dados geomorfológicos, sedimentológicos, micromorfológicos, isotópicos, palinológicos, dentre outros. Apesar da baixa resolução para a maioria dos registros sedimentares continentais, os depósitos superficiais são tidos como bons indicadores de sensibilidade da paisagem às mudanças ambientais, principalmente quando suportadas por dados de próxios independentes (ASSINE et al., 2014; CELARINO; LADEIRA, 2017; PAISANI et al., 2013). Principalmente as técnicas estratigráficas e geocronológicas são amplamente empregadas para a proposição de modelos de reconstrução paleoambiental.

Em Lang (2008) pode se encontrar informações gerais sobre as diferentes técnicas de datação em sedimentos fluviais. Os avanços em técnicas cronológicas podem oferecer subsídios no estabelecimento da correspondência de processos, permitindo a correlação da resposta fluvial às mudanças climáticas, tectônicas ou da ocupação humana, considerando testes e hipóteses, necessários como informação de base para metas significativas de gestão ambiental. A compreensão da variabilidade climática milenar de transições glaciais e interglaciais na América do Sul ainda é um fato a ser alcançado (NOVELLO et al., 2017a). Diante disso, o estudo cronológico dos depósitos superficiais, conforme observamos, pode contribuir na reconstrução paleoclimática, uma vez que registram os eventos climáticos passados (BERTANI et al., 2015).

Os métodos mais utilizados para estimar idades de depósitos fluviais têm sido o radiocarbono (^{14}C) e a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). Arnold; Libby (1949) demonstraram a facilidade de usar o radiocarbono como ferramenta de datação, uma vez que se baseia no decaimento da radioatividade do ^{14}C que possui meia-vida de 5.730 anos, tendo sido amplamente usado para estudos do Quaternário. O que melhorou sua sensibilidade foi o advento da técnica de espectrometria em massa com aceleradores (AMS). No entanto, há possibilidade de o material superar o intervalo cronológico do método, visto que o radiocarbono se torna ineficiente a partir de 50ka (CONSTANTIN D. ATHANASSAS, 2016), ou ainda quando não há material para datação.

Para o estabelecimento de idades superiores há possibilidade de utilizar a técnica de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) ou Termoluminescência (TL), que alcançam até cerca de 1Ma. Tais métodos se fundamentam na análise das propriedades ópticas de minerais, tais como o quartzo e o feldspato, que são expostos à radiação ambiental (NOLLER et al., 2000; SALLUN; SUGUIO, 2010). Portanto, uma técnica de rápido desenvolvimento que fornece cronologias absolutas para sedimentos clásticos do Quaternário. Apesar de Wallinga et al.(2001) apontar a existência de problemas potenciais na técnica, SAWAKUCHI et al. (2016) salientam que os sedimentos Quaternários geram idades precisas e confiáveis.

Diante da capacidade dos depósitos fluviais como registradores episódicos da história deposicional, viabilizando o planejamento ambiental futuro, este estudo objetiva contextualizar as pesquisas envolvendo a cronologia da paisagem, com enfoque

paleoclimático, das publicações que utilizaram métodos geocronológicos ^{14}C e LOE. Tais técnicas são consagradas e empregadas atualmente em sequências estratigráficas do Quaternário e utilizadas como recorte técnico para essa revisão.

Como metodologia de pesquisa o estudo considerou obras clássicas para a construção geral do texto. Porém, o levantamento dos artigos foi obtido por meio do banco de dados da *Web of Science (1945-2021/1)* por tópicos, inserindo a combinação das palavras chave *dating, optically stimulated luminescence (OSL), radiocarbon, Brazil, river, fluvial deposit*. Desta forma, a busca totalizou 600 datações em 59 artigos, que foram tabulados e espacializados no território brasileiro utilizando os softwares Google EarthPRO (7.3.3.7786) e ArcGIS (10.1). As idades e profundidades foram extraídas diretamente dos perfis ou de tabelas sendo que os estudos que não ofertavam tais informações foram automaticamente descartados. Posteriormente, todas as idades de radiocarbono foram calibradas no programa OxCal (4.3) a título de comparação das idades.

Vale ressaltar que o emprego desta metodologia tem crescido ultimamente pelo fato de ser replicável, permitindo checagem, além de considerar publicações contidas nas plataformas restritas a periódicos de alto impacto. A seleção despreziosa de monografias, dissertações e teses não garante que todas as disponíveis tenham sido, de fato, encontradas. Ressalta-se que nem todos esses tipos estão disponíveis eletronicamente.

1.1 Mudanças climáticas – períodos glaciais e interglaciais

Nas variações climáticas de escala milenar destacam-se os eventos do Último Glacial Máximo (UGM), período extremamente instável e interrompido por cerca de 24 eventos distintos de aquecimento e resfriamento, tais como apresentados a seguir.

Eventos Heinrich (HS1 14.800 - ~17.730 AP/ HS2 23.800-24.700 AP) são fenômenos que ocorrem quando *icebergs* são separados das geleiras deslocando-se para o Atlântico Norte. Desta forma caracterizam-se por episódios de frio extremo que vêm ocorrendo durante os últimos cinco períodos glaciais e sendo bem registrados no decorrer da última época glacial (HODELL et al., 2008; MENG et al., 2015; NOVELLO et al., 2017a; STRÍKIS; NOVELLO, 2014).

Os eventos *Dansgaard-Oeschger* (DO) são mais proeminentes nos registros do gelo da Groenlândia, onde consistem em um aquecimento abrupto das condições interestaduais seguidas por um resfriamento mais gradual e rápido para condições estaduais muito frias. Tais fenômenos também são registrados nos núcleos de gelo da Antártida, mas as amplitudes térmicas são menores e os aquecimentos são graduais, em contraste com os aquecimentos abruptos nos núcleos da Groenlândia (HODELL et al., 2008)

O *Younger Dryas* (YD 11.600-12.900 AP) é considerado um evento de frio extremo equivalente ao que seria o Heinrich 0, que terminou como uma das maiores mudanças abruptas do clima, com ocorrência frequente durante a maior parte dos últimos 100.000 anos. Encontra-se bem documentado no registro sedimentar da América do Norte e Europa (ALLEY, 2000).

O *Bølling-allerød* (BA 12.900-14.700 AP) refere-se ao aumento abrupto da temperatura no Hemisfério Norte e o recomeço da circulação meridional do Atlântico em seu início, encontra-se entre os eventos deglaciais mais dramáticos, mas suas causas não são esclarecidas. Segundo Thiagarajan et al. (2014), a liberação de calor de águas quentes no profundo oceano Atlântico Norte, provavelmente desencadeou o aquecimento e revigoramento de *Bølling-Allerød* da circulação meridional do Atlântico.

As variações climáticas decenais a centenas do Holoceno, têm registrado vários eventos climáticos frios com duração de centenas de anos, como os conhecidos por Pequena Idade de Gelo (LIA) e o 8.2 ka. Desta forma, atualmente, integram os eventos Bonds, sendo identificados a partir da ocorrência de estratos sedimentares, contendo material desprendido pelo derretimento de geleiras no Hemisfério Norte, que são atribuídos a fases de expansão para sul, da zona de ocorrência de *icebergs* durante períodos de frio mais acentuado. Foram identificados seis eventos tipo Bond: Bond 1 (1.1-1.5 mil anos AP), Bond 2 (2.6-3.4 mil anos AP), Bond 3 (3.9 – 4.6 mil anos AP), Bond 4 (5.1 – 6.0 mil anos AP), Bond 5 (7.2 – 7.8 mil anos AP) e Bond 6 (9.2 – 9.5 mil anos AP). Estes influenciaram na dinâmica climática de regiões do Brasil e na intensidade das monções (NOVELLO et al., 2017a; STRÍKIS; NOVELLO, 2014).

Além dos eventos climáticos temos os Estágios como é o caso da série temporal de variação do O18, que indica alternância de períodos mais frios e mais quentes, o Estágio Isotópico Marinho (EIM), que formam uma base de dados fundamental para a compreensão de climas passados. Sendo utilizados para as estimativas dos isótopos de oxigênio e de carbono, acabam gerando uma rede global de registros, possibilitando reconhecimento em quase todos os núcleos de gelo e sendo utilizados como ferramenta de correlações climáticas de escala global. A sincronia dos eventos climáticos conhecidos possibilita estabelecer uma escala de tempo numérica para estas mudanças climáticas, ou seja, um esquema deposicional estratigráfico estável baseado em isótopos (WRIGHT, 1947).

Cada EIM corresponde a um intervalo de tempo, em cujos períodos podem ocorrer diversos eventos climáticos. Geralmente entende-se que períodos de resfriamento global da atmosfera (estágios glaciais) implicariam em clima mais seco (árido) nas áreas tropicais e subtropicais. Enquanto isso, os períodos de aquecimento global (estádios interglaciais e interestadiais) implicariam em clima mais úmido. No entanto, esta regra não necessariamente pode ser aplicada a todas as situações (OLIVEIRA et al., 2006).

O período considerado EIM 3 corresponde ao último máximo interglacial ~ 30.000-60.000 kyr cal. AP, ou seja, durante o final do Pleistoceno, quando ocorreu o último período de aquecimento global, em detrimento de regime climático úmido e relativamente frio (LONG; STOY, 2013; PAISANI et al., 2017a) . O período EIM 2 corresponde ao Último Glacial Máximo (UGM 17.800 - 27.970–AP), sendo que em todo hemisfério sul este período decorreu em regime climático marcado pela redução máxima das temperaturas e umidade, com fase de flutuação para mais úmido (PAISANI et al., 2017b) . Embora haja uma falta geral de informações paleoclimáticas para o período, os dados de uma estalagmite no sul do Brasil indicam que um regime de monções poderia ter estado em vigor na Amazônia (WANG et al., 2008).

Os registros de espeleotemas do Brasil subtropical indicaram que os períodos de maior abundância de chuvas de monções coincidem com alta insolação no verão, nos ciclos de Milankovitch (CRUZ et al., 2009) com períodos frios no hemisfério norte durante os eventos de Heinrich e estágio EIM 4 a 2 (CRUZ et al., 2006; WANG; JINLING; XIADON, 2003) . Ambos fatores afetam positivamente a localização média e/ou a atividade convectiva do sistema de Monção de verão da América do Sul (SASM), resultando no aumento do transporte de umidade da bacia Amazônica para o sudeste e sul do Brasil (CRUZ et al., 2007)

É importante ressaltar que as respostas ambientais durante cada evento são distintas dependendo da localidade, principalmente quando se trata dos Hemisférios. Desse modo, para caracterização e/ou correlação se faz necessário um aporte de registros regionais.

2 Levantamento dos estudos de depósitos fluviais no Brasil

Os depósitos fluviais, enquanto arquivos de reconstrução geológica ambiental, vêm sendo investigados em diversas partes do mundo. Estudos no Brasil permitem observar que a geocronologia dos depósitos fluviais é utilizada, principalmente, para análises envolvendo o tectonismo e abordagem paleoclimática. Apresentamos a seguir (**Figura 1**) o levantamento realizado no Brasil, que envolveu a geocronologia dos depósitos fluviais, espacializados no território, com os respectivos artigos (**Tabela 1**).

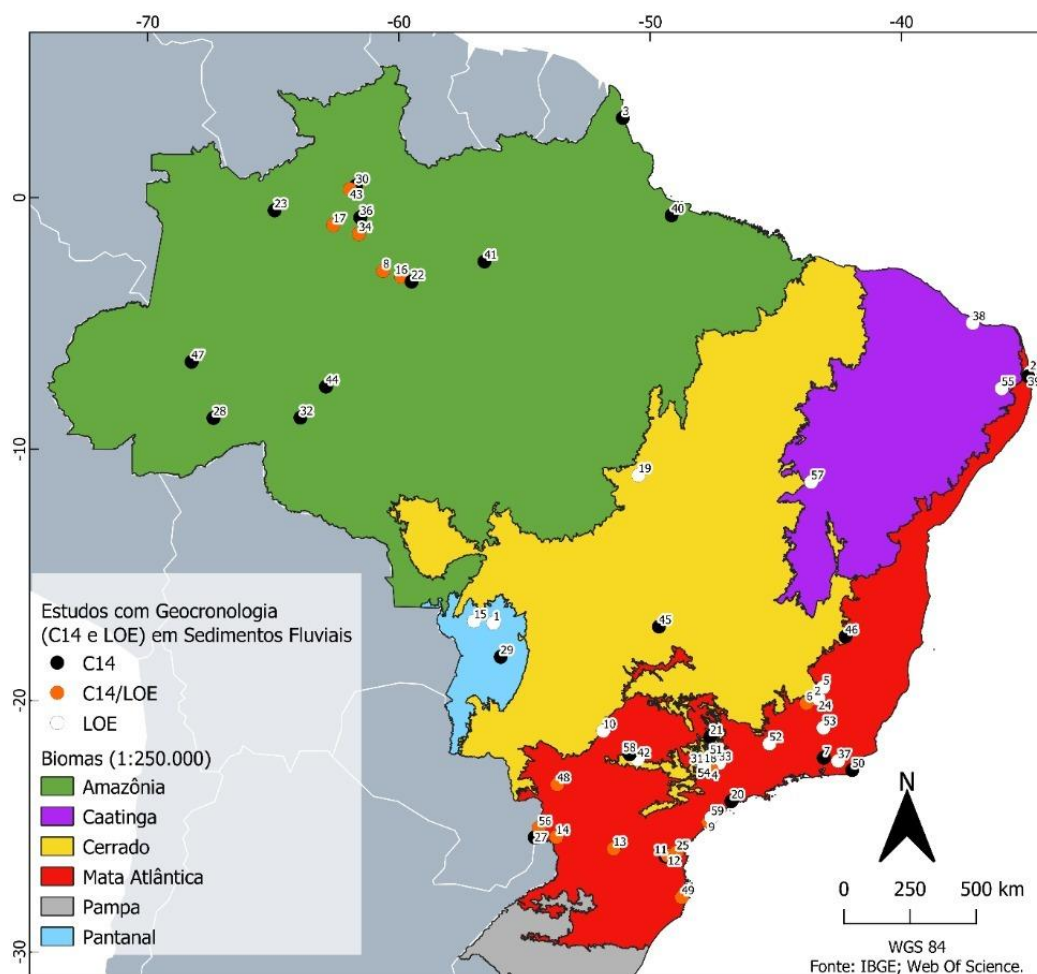


Figura 1: Estudos dos depósitos fluviais no Brasil com geocronologia de radiocarbono e ou LOE Fonte: Web of Science (2021/1)

Código	Autor /Ano	Método	Código	Autor /Ano	Método
1	(ASSINE et al., 2014)	LOE	31	(VALÉZIO; PEREZ FILHO, 2015)	LOE
2	(BARROS; MAGALHÃE	LOE	32	(BERTANI et al., 2015)	C14

	S, 2013)				
3	(SOMMERFELD; NITTROUER; FIGUEIREDO, 1995)	C14	33	(STORANI; PEREZ FILHO, 2015)	LOE
4	(BARROS et al., 2016)	C14 e LOE	34	(CREMON et al., 2016)	C14 e LOE
5	(CELARINO et al., 2013)	LOE	35	(DIAS; PEREZ FILHO, 2015a)	LOE
6	(CELARINO; LADEIRA, 2017)	C14 e LOE	36	(SILVA et al., 2018)	C14
7	(COHEN et al., 2014)	C14	37	(MARÇAL et al., 2015)	LOE
8	(GONÇALVES JÚNIOR et al., 2016)	LOE	38	(MOURA-LIMA et al., 2011)	LOE
9	(LELI; STEVAUX; ASSINE, 2018)	C14	39	(MIRANDA; ROSSETTI; PESSENDA, 2009)	C14
10	(MAGALHÃES JUNIOR et al., 2011)	LOE	40	(ROSSETTI; VALERIANO; THALES, 2007)	C14
11	(DE OLIVEIRA et al., 2008)	C14 e LOE	41	(ROSSETTI et al., 2014)	C14
12	(PAISANI et al., 2014)	C14	42	(ROSSETTI et al., 2015)	LOE
13	(PAISANI et al., 2017b)	C14 e LOE	43	(ROSSETTI et al., 2017)	C14 e LOE
14	(PAISANI et al., 2013)	C14	44	(ROSSETTI; ALVES; VALERIANO, 2017)	C14
15	(PUPIM; ASSINE; SAWAKUCHI, 2017)	LOE	45	(SALGADO- LABOURIAU et al., 1997)	C14

16	(FIORE et al., 2014)	LOE	46	(BEHLING; LICHTTE, 1997)	C14
17	(SOARES; TATUMI; RICCOMINI, 2010)	LOE	47	(KRONBERG; FRALICK; BENCHIMOL, 1998)	C14
18	(SOUZA; PEREZ FILHO, 2018)	LOE	48	(MORAIS et al., 2016)	LOE
19	(VALENTE; LATRUBESS E, 2012)	C14 e LOE	49	(ALVES; ROSSETTI, 2016)	C14 e LOE
20	(PESSENDA et al., 2009)	C14	50	(CUNHA et al., 2017)	C14
21	(TURCQ et al., 1997)	C14	51	(DIAS; PEREZ FILHO, 2015b)	LOE
22	(LATRUBESS E; FRANZINELLI, 2002)	C14	52	(MARQUES NETO; PEREZ FILHO, 2013)	LOE
23	(LATRUBESS E; FRANZINELLI, 2005)	C14	53	(OLIVEIRA et al., 2014)	LOE
24	(MAGALHÃES et al., 2012)	LOE	54	(SOUZA; PEREZ FILHO, 2018)	LOE
25	(DE OLIVEIRA; BEHLING; PESSENDA, 2008)	C14 e LOE	55	(FONSÊCA et al., 2020)	LOE
26	(ROSSETTI et al., 2011)	LOE	56	(LELI; STEVAUX; ASSINE, 2021)	C14 e LOE
27	(STEVAUX, 2000)	C14	57	(MESCOLOTTI et al., 2021)	LOE
28	(LATRUBESS E; KALICKI, 2002)	C14	58	(MORAIS et al., 2020)	C14
29	(MAKASKE et al., 2012)	C14	59	(SOUZA et al., 2020)	LOE

30	(ROSSETTI et al., 2012)	C14	
----	-------------------------	-----	--

Tabela 1. Artigos analisados com respectivos métodos Fonte: Web of Science (2021/1)

Ao reunir as principais contribuições envolvendo geocronologia de sedimentos fluviais, espalhadas nos biomas brasileiros, observamos certo aumento na quantidade de trabalhos na última década, sendo, contudo, pouco representativo se considerado a dimensão do território brasileiro, havendo grandes vazios geográficos (**Figura 1**). Cientes da disparidade observada no território, constatou-se os seguintes quantitativos de datações por biomas: Amazônico com 233, Mata Atlântica com 251, enquanto o Pantanal apresenta 35, o Cerrado 32 e a Caatinga 49.

Verifica-se, também, que não há diferença significativa na porcentagem quanto ao uso das técnicas geocronológicas (**Figura 2A**). Dessa forma, 24 foram os artigos localizados com datações unicamente em radiocarbono (40,7%). Os que possuíam apenas LOE como metodologia, correspondem a 42,4% (25 artigos), enquanto os estudos que utilizam ambas as metodologias estão presentes em 16,9% dos textos encontrados (10 trabalhos).

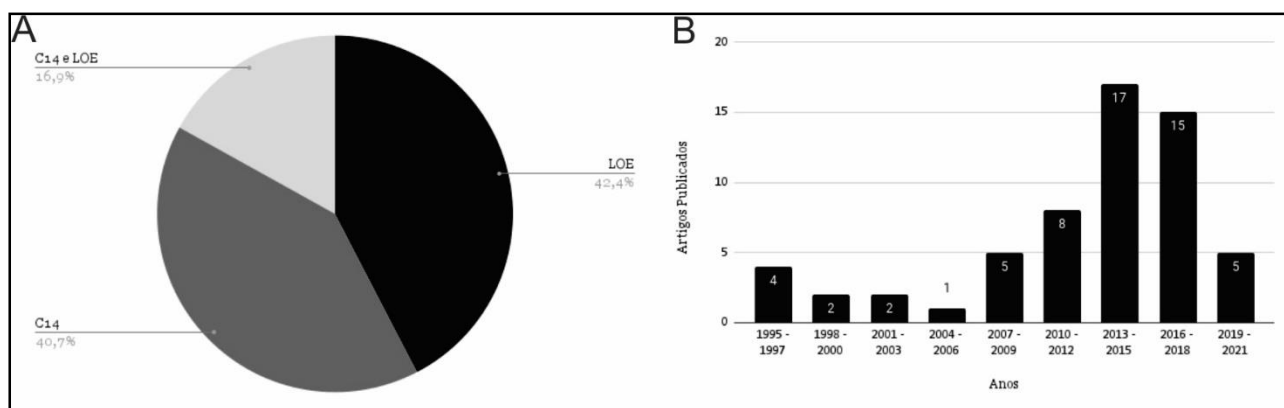


Figura 2: 3A-Metodologias utilizadas para datações em sedimentos fluviais 3B- Estudos publicados entre 1995 e 2021 (a cada 3 anos) Fonte: Web of Science (2021/1)

Outro aspecto de grande importância refere-se a ampliação da quantidade de publicações ao longo dos anos. A **Figura 2B** demonstra a ascendência de estudos no intervalo de 3 anos. O período com maior número de publicações é entre 2013 e 2015, compreendendo 17 estudos. Dessa forma, entende-se que a ampliação de pesquisas sobre a temática demonstra sua importância para as reconstruções paleoambientais e áreas correlatas.

Aplicando a metodologia de busca escolhida não foram encontrados estudos referentes ao bioma Pampa brasileiro. As datações presentes nos estudos puderam ser reunidas e associadas aos estágios e eventos climáticos conhecidos, conforme a **Figura 3**. Assim, foi possível demonstrar de forma mais abrangente os estágios e eventos climáticos dos quais estão inseridas as idades apresentadas nos estudos levantados durante o recorte temporal que esta pesquisa estabeleceu.

A partir da síntese e tabulação dos dados (**Figura 3**) pode-se, assim, verificar que a maior parte das datações em sedimentos fluviais apresentadas nas pesquisas são correspondentes aos eventos BONDS, totalizando 187 datações, e recente (< 1000 anos), com 116 datações. A seguir demonstra-se as idades correspondentes aos Estágios Isotópicos Marinheiros (EIM) 1, com 43, EIM 2 com 48, EIM 3 (71) e EIM 5 (43). Houve datações em menor quantidade

correspondentes aos estágios EIM 4 (10); EIM 6 (15); EIM 7 (6); EIM 9 (5); EIM 10 (2), EIM 11 (2), HS1 (15), HS2 (6), BA (10) e por fim YD com duas datações. Além disso, algumas datações se inserem entre 2 ou mais períodos: EIM 1/YD (2), EIM 2/3 (4) e, finalmente, EIM 3/4 (13).

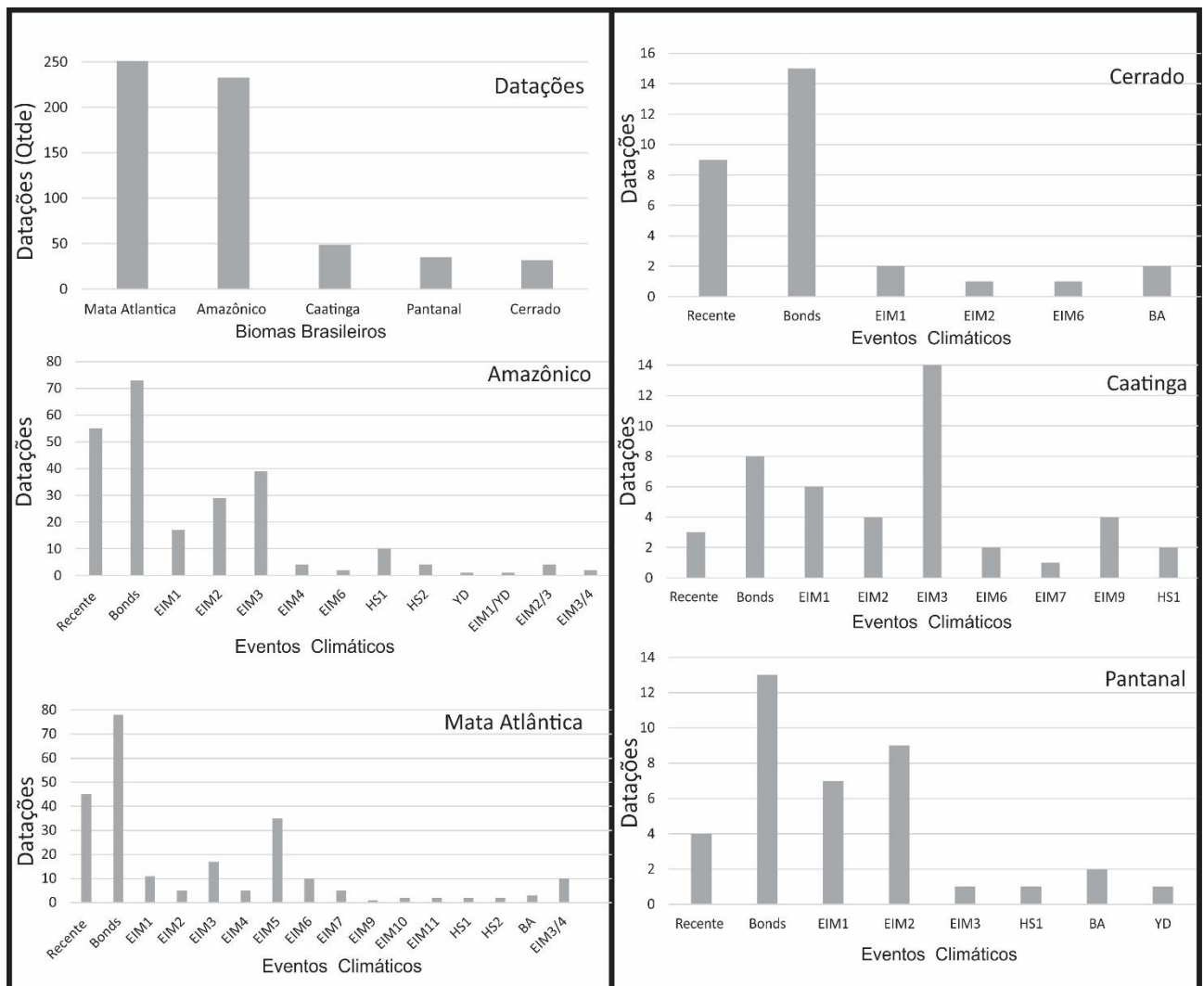


Figura 3: Gráficos datações/Idades associadas aos períodos climáticos de acordo com os biomas brasileiros. Fonte: Web of Science (2021/1)

Este estudo evidencia que, de fato, a dinâmica dos sistemas fluviais associadas aos fatores climáticos dificulta a preservação dos depósitos superficiais fluviais brasileiros, uma vez que grande parte dos depósitos datados são recentes. Eventos episódicos frios no Hemisfério Norte, como os Eventos Bond, aumentam a atividade convectiva do SMSA, resultando em maior quantidade de precipitação na América do Sul (STRÍKIS, 2011; STRÍKIS; NOVELLO, 2014; VIANA, 2012). Ou seja, os estudos identificaram idades e sedimentos depositados sob sistema possivelmente úmido.

Considerando os estágios EIM 2 e 3, há períodos durante o UMG (EIM2) com ocorrência de máxima insolação no Hemisfério Sul e mínima no Hemisfério Norte, de acordo com o ciclo de insolação de Milankovitch. Registros do norte de Minas Gerais e centro da Bahia apontam para um período de seca prolongada (BARRETO, 2010), com extensão máxima do

Cerrado (Savana) até mesmo na região Amazônica (HAMMEN; HOOGHIEMSTRA, 2000; LATRUBESSE, 2003).

Em Lagoa Bonita Águas Emendadas-DF (BARBERI, 2001; SALGADO-LABORIAU et al., 1997) e em Cromínia-GO (SALGADO-LABORIAU et al.1997) dados palinológicos indicam que condições frias e relativamente úmidas existiam em torno de 26–22 ka AP. No entanto, o clima tornou-se, mais seco e mais frio de 22 para 13 ka AP, no entanto, um pouco mais quente e seco do que antes, até 7 ka AP (BARBERI, 2001; SALGADO-LABORIAU et al., 1997).

O evento mais identificado, quando agrupado, nas idades levantadas nos estudos, foi o EIM correspondendo a 225 idades, destacando-se os estágios EIM 2 e 3. Desse modo, estes últimos foram caracterizados conforme sua atuação nas áreas correspondentes aos biomas brasileiros. O bioma da Mata Atlântica no sul do país demonstrou ser um ambiente influenciado por relativo superávit de umidade, mesmo durante o Último Máximo Glacial, após 15 ka AP, ou seja, EIM 2, quando ocorreu um período de provável aumento da umidade atmosférica (OLIVEIRA et al.,2006). Demais registros locais apontam para ambientes relativamente úmidos, onde zonas rasas, saturadas de água do solo, contribuíram para a erosão e sedimentação durante períodos de mudanças climáticas, como durante a transição entre EIM 2 e 1 (DE OLIVEIRA et al., 2008).

Na região amazônica, neste período, o clima tornava-se predominantemente mais frio e seco (CREMON et al., 2016). Hammen; Hooghiemstra, (2000), considerando a história da vegetação e do clima da Amazônia, estimaram que as chuvas durante o UMG podem ter reduzido em 30-50%, levando a uma substancial retração das florestas pluviais úmidas e à formação de refúgios florestais úmidos, separados por tipos mais secos de vegetação. Em estudos publicados da Amazônia e no Brasil Central, não há sedimentos presentes e abundantes correspondentes a este período, apresentando um hiato de vários milhares de anos, o que pode indicar climas mais secos (LEDRU; SALGADO-LABOURIAU; LORSCHETTER, 1998). Estudo atual de isótopos estáveis em estalagmites demonstram que durante o glacial, a bacia Amazônica apresenta condições secas e vegetação menos densa (NOVELLO et al., 2019).

Na região do Brasil central, dados cronológicos, geomorfológicos, sedimentológicos e as características do sistema fluvial do Araguaia, estão de acordo com as condições gerais que indicam sedimentação aluvial durante parte substancial do UMG. A área sofreu um clima fortemente sazonal, com tendência a processos de degradação e avulsão ativos na ilha do Bananal (VALENTE; LATRUBESSE, 2012). Durante este período (EIM 2), a vegetação de savana provavelmente atingiu sua máxima extensão, substituindo parte da floresta da região amazônica (HAMMEN; HOOGHIEMSTRA, 2000; LATRUBESSE, 2003). Este cenário indica o prevaletimento de clima mais seco. Estudos baseados em dados palinológicos existentes no bioma Cerrado (BARBERI; SALGADO-LABOURIAU; SUGUIO, 2000; SALGADO-LABORIAU et al., 1997) indicam que o clima se tornou mais seco e mais frio, de 22 a 13 ka AP.

Estudos no mega leque do rio Cuiabá na região do Pantanal indicam que ocorreu uma fase de degradação durante o último período glacial, sugerindo deposição no estágio inicial do estágio isotópico marinho (EIM2), ocorrendo evidência clara da atividade fluvial durante o UMG (~ 20 ka) (PUPIM; ASSINE; SAWAKUCHI, 2017). Os autores comentam que em outras terras baixas da América do Sul houve evidências de condições mais secas e frias durante o UMG. As variações morfológicas do leque fluvial Cuiabá corroboram estudos

anteriores que apresentam situações indicativas de condições climáticas mais secas durante o UMG. Após seu fim houve aumento abrupto da precipitação com desenvolvimento de uma cobertura vegetal mais densa durante o período deglacial (PUPIM; ASSINE; SAWAKUCHI, 2017).

O EIM 3, nos trópicos da América do Sul, apresentou temperaturas médias anuais mais baixas, intensa sazonalidade e precipitações (LATRUBESSE, 2003). No bioma Amazônico, registros fluviais indicam sedimentação aluvial no período (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005). O Pleniglacial Médio apresentou um clima úmido na Amazônia causando sedimentação fluvial extensa na área. O clima estava mudando, as temperaturas eram um pouco mais altas do que durante o Pleniglacial Superior. No entanto, houve um intervalo muito frio e seco em torno de 40 ka. As temperaturas das planícies podem ter sido iguais ou superiores às do Pleniglacial Superior (HAMMEN; HOOGHIEMSTRA, 2000). Um clima com alternância de fases fria e úmida, foi proposto para esta região durante o estágio isotópico EIM 3 (MAGALHÃES JUNIOR et al., 2011).

No sul do Brasil estudo da evolução de um paleovale, identificou um sinal de redução de umidade no final do EIM 3 (41.000 a 24.850 anos AP) (PAISANI et al., 2013). Oliveira et al. (2006) verificaram um período de clima mais frio e mais úmido durante período correlacionável ao interestádio do EIM 3. Este período, também no alto rio Paraná no Brasil e no rio Uruguai, também indica sedimentação aluvial (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005; STEVAUX, 2000 entre outros).

No Pantanal, Pupim; Assine; Sawakuchi, (2017) evidenciaram uma deposição fluvial do mega leque do rio Cuiabá durante o EIM 3. Tal situação também foi reconhecida em mega leques do Taquari (ZANI; ASSINE, 2011) e São Lourenço (ASSINE et al., 2014). Da mesma forma, foi identificado em outros sistemas fluviais subtropicais e tropicais da América do Sul, onde consideram que a ocorrência de temperatura mais baixa, aumento da sazonalidade das chuvas e baixa cobertura vegetal levariam a regimes fluviais torrenciais, com alta produção de sedimentos em áreas de captação e ampla disseminação durante a última glaciação, antes do UMG (LATRUBESSE, 2003; STEVAUX, 2000; VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

O sistema fluvial da Ilha do Bananal, neste período, demonstrou-se muito ativo, com transporte de sedimentos abundantes e com o próprio rio sofrendo vários episódios de avulsão na planície durante o Pleniglacial Médio (VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

Nos Cerrados do Planalto Central, análises palinológicas em Cromínia (FERRAZ-VICENTINI; SALGADO-LABORIAU, 1996; VICENTINI, 1993) datam do final do Pleniglacial Médio, com características de condições de um clima mais úmido e frio que o atual. Na região do Distrito Federal evidenciou-se alterações significativas na cobertura vegetal (BARBERI, 2001; FERRAZ-VICENTINI, 1999; VICENTINI, 1993). Naporção centro-sul do estado de Goiás, durante o Pleniglacial Médio, há indicação de maior diversidade em relação ao conjunto registrado no Holoceno e respostas mais acentuadas da vegetação às oscilações nos parâmetros de umidade e temperatura (CARMO; BARBERI; RUBIN, 2003).

3 Considerações

As pesquisas analisadas demonstraram a grande capacidade dos sedimentos fluviais enquanto geoarquivos que permitem a realização de estudos com diversos enfoques, seja em relação a cenários climáticos, geomorfológicos dentre outros. Por meio do levantamento

realizado em depósitos fluviais brasileiros pode-se observar que apesar do crescimento do número de pesquisas, verifica-se clara concentração na região norte e sudeste, fato que dificulta a compilação de dados para uma abordagem mais integradora de evolução da paisagem, considerando a extensão territorial do país. Apesar disso, esse aumento nas pesquisas e na utilização das técnicas de datação de sedimentos fluviais durante os anos, demonstra sua importância no subsídio às reconstruções paleoambientais, por exemplo. A metodologia aplicada para o levantamento tem se destacado atualmente, uma vez que permite, por meio da inserção de palavras chave em plataformas de buscas, filtrar estudos relevantes publicados nas revistas indexadas. Além disso, permite o estabelecimento espaço-temporal pretendido. O aumento de pesquisas abrangendo o território nacional se faz cada vez mais necessária para compreensão dos estágios e eventos paleoclimáticos, que oferecem subsídios relevantes no entendimento das mudanças climáticas, sendo evidenciadas devido a ocorrência eventos extremos, causando perdas humanas, ecológicas e econômicas.

4 Agradecimentos

Os autores agradecem à ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB) que forneceu estrutura para a realização da pesquisa. Agradece também ao fomento obtido pelo TCCE 01/2018 Vale/ICMBio.

5 Referências

ALLEY, R. B.. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. **Quaternary Science Reviews** v.19 p. 213-226, 2000.

ANKJÆRGAARD, C.; GURALNIK, B.; BUYLAERT, J. P.; REIMANN, T.; YI, S. W.; WALLINGA, J.. Violet stimulated luminescence dating of quartz from Luochuan (Chinese loess plateau): Agreement with independent chronology up to ~600 ka. **Quaternary Geochronology**, v. 34, p. 33–46, 2016. DOI: 10.1016/j.quageo.2016.03.001.

ASSINE, M. L.; CORRADINI, F. A.; PUPIM, F. N.; MCGLUE, M. M.. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. **Sedimentary Geology**, v. 301, p. 172–184, 2014. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2013.11.007.

BAKER, V. R.. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. **Geomorphology**, v. 101, n. 1–2, p. 1–13, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.05.016.

BARBERI, M.. **Mudanças Paleoambientais na Região dos Cerrados do Planalto Central durante o Quaternário Tardio: O estudo da Lagoa Bonita, DF**. São Paulo:IGc-USP, 2001.

BARBERI, M.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; SUGUIO, K.. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 3, p. 241–254, 2000. DOI: 10.1016/S0895-9811(00)00022-5.

BARRETO, E. A. S.. **Reconstituição da pluviosidade da chapada diamantina (ba) durante o quaternário tardio através de registros isotópicos (o e c) em estalagmites**. São Paulo: IGc-USP, p. 110, 2010.

BERTANI, T. C.; ROSSETTI, D. F.; HAYAKAWA, E. H.; COHEN, M. C. L.. Understanding Amazonian fluvial rias based on a Late Pleistocene-holocene analog. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 3, p. 285–292, 2015. DOI: 10.1002/esp.3629.

BRIDGLAND, D.; WESTAWAY, R.. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon. **Geomorphology**, v. 98, n. 3–4, p. 285–315, 2008. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2006.12.032.

CARMO, F. P. Do; BARBERI, M.; RUBIN, J. C. R. De. Análise Palinológica De Sedimentos Do Quaternário Tardio, a Partir De 44.000 Anos Ap, Na Região Centro-Sul Do Estado De Goiás, Brasil. **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, p. 5, 2003.

CELARINO, A. L. de S.; LADEIRA, F. S. B.. How fast are soil-forming processes in Quaternary sediments of a tropical floodplain? A case study in southeast Brazil. **Catena**, v. 156, n. October 2016, p. 263–280, 2017. DOI: 10.1016/j.catena.2017.04.002.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **US Geological survey professional paper 500-B**, p. B1–B10, 1962.

D. ATHANASSAS, C. ; WAGNER, G. A.. Geochronology Beyond Radiocarbon: Optically Stimulated Luminescence Dating of Palaeoenvironments and Archaeological Sites. **Elements**, v. 12, n. 1, p. 17–32, 2016.

CREMON, É. H.; ROSSETTI, D. de F.; SAWAKUCHI, A. de O.; COHEN, M. C. L.. The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. **Geomorphology**, v. 271, p. 22–39, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.07.030.

CRUZ, F. W.; BURNS, S. J.; KARMANN, I.; SHARP, W. D.; VUILLE, M. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 248, n. 1–2, p. 494–506, 2006. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.06.019.

CRUZ, F. W.; BURNS, S. J.; JERCINOVIC, M.; KARMANN, I.; SHARP, W. D.; VUILLE, M.. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 71, n. 9, p. 2250–2263, 2007. DOI: 10.1016/j.gca.2007.02.005.

DE OLIVEIRA, M. A. T.; BEHLING, H.; PESSENDA, L. C. R.; DE LIMA, G. L.. Stratigraphy of near-valley head quaternary deposits and evidence of climate-driven slope-channel processes in southern Brazilian highlands. **Catena**, v. 75, n. 1, p. 77–92, 2008. DOI: 10.1016/j.catena.2008.04.003.

DOTTERWEICH, M.. Geomorphology The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe : Deciphering the long-term interaction between humans and the environment — A review. **Geomorphology**, v. 101, p. 192–208, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.05.023.

FERRAZ-VICENTINI, K. R.; SALGADO-LABORIAU, L. M. L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 9, n. 3–4, p. 207–209, 1996.

FERRAZ-VICENTINI, K. R.. **História do Fogo no Cerrado: Uma Análise palinológica**. Brasília: Universidade de Brasília, 1999.

GUTIÉRREZ, F.; ZARROCA, M.; CASTAÑEDA, C.; CARBONEL, D.; GUERRERO, J.; LINARES, R.; ROQUE, C.; LUCHA, P.. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. **Quaternary Research**, v. 88, n. 1, p. 71–88, 2017. DOI: 10.1017/qua.2017.23.

HAMMEN, T. V. D; HOOGHIEMSTRA, H.. Neogene and Quaternary history of vegetation , climate , and plant diversity in Amazonia. **Quaternary Science Reviews** v. 19 p. 725-742, 2000.

HODELL, D. A.; CHANNELL, J. E. T.; CURTIS, J. H.; ROMERO, O. E.. Onset of “ Hudson Strait ” Heinrich events in the eastern North Atlantic at the end of the middle Pleistocene transition (≈ 640 ka)? **Paleoceanography**, v. 23, p. 1–16, 2008. DOI: 10.1029/2008PA001591.

HUGGET, R. J.. **Fundamentals of Geomorphology**. 2. ed. New York: Routledge, 2007. DOI: 10.1177/0192623310385829.

LANG, A. Recent advances in dating and source tracing of fluvial deposits. **Sediment Dynamics in Changing Environments**, v.325, p. 3–12, 2008.

LATRUBESSE, E. M. The Late-Quaternary Palaeohydrology of Large South American Fluvial Systems. **Palaeohydrology: understanding global change**, v.12 p. 194-212, 2003.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E.. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v. 70, n. 3- 4 p. 372–397, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.02.014.

LEDRU, M. P.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; LORSCHUITTER, M. L.. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, n. 2, p. 131–142, 1998. DOI: 10.1016/S0034-6667(97)00049-3.

LONG, J. A.; STOY, P. C.. Quantifying the periodicity of Heinrich and Dansgaard – Oeschger events during Marine Oxygen Isotope Stage 3. **Quaternary Research**, v. 79, n. 3, p. 413–423, 2013. DOI: 10.1016/j.yqres.2013.02.003.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; CHEREM, L. F. S.; BARROS, L. F. de P.; SANTOS, G. B. Dos.. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. **Geomorphology**, v. 132, n. 3–4, p. 187–194, 2011. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.05.008.

MENG, C.; CHAO, L. I.; LIAN, Z.; SHUCHENG, X. I. E.. Mo marine geochemistry and reconstruction of ancient ocean redox states. **Science China: Earth Sciences** n.58 p.1-11, 2015. DOI: 10.1007/s11430-015-5177-4.

NOLLER, J. S.; SOWERS, J. M.; COLMAN, S. M.; PIERCE, K. L. Introduction to Quaternary geochronology. In NOLLER, J.S. et al. (Eds.). **Quaternary Geochronology: Applications in Quaternary Geology**, p. 671-682, 1999.

NOVELLO, V. F., CRUZ, F. W., VUILLE, M., STRÍKIS, N. M., EDWARDS, R. L., CHENG, H., EMERICK, S., DE PAULA, M. S., LI, X., BARRETO, E. D. S., KARMANN, I., & SANTOS, R. V. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1–8, 2017. DOI: 10.1038/srep44267.

NOVELLO, V. F., CRUZ, F. W., MCGLUE, M. M., WONG, C. I., WARD, B. M., VUILLE, M., SANTOS, R. A., JAQUETO, P., PESSEDA, L. C. R., ATORRE, T., RIBEIRO, L. M. A. L., KARMANN, I., BARRETO, E. S., CHENG, H., EDWARDS, R. L., PAULA, M. S., & SCHOLZ, D. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 524, p. 115717, 2019. DOI: 10.1016/j.epsl.2019.115717.

OLIVEIRA, M. A. T. De; PESSEDA, L. C. R.; BEHLING, H.; LIMA, G. L. De; FERREIRA, G. M. dos S. S.. Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte Catarinense (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 474–487, 2006.

PAISANI, J. C.; CALEGARI, M. R.; PONTELLI, M. E.; PESSEDA, L. C. R.; CÔRREA, A. C. B.; PAISANI, S. D. L.; RAITZ, E.. O Papel Das Mudanças Climáticas Do Quaternário Superior Na Dinâmica Evolutiva De Paleovale De Segunda Ordem (Sul Do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 103–116, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i1.413.

PAISANI, J. C.; OSTERRIETH, M. L.; PONTELLI, M. E.; FUJITA, R. H.. Dinâmica de rampa de colúvio na superfície de palmas / água doce durante o quaternário tardio – bases para compreender a evolução das encostas no planalto das araucárias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, 2017. a. DOI: 10.20502/rbg.v18i4.1247.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; PEREIRA, J. S.; CAVAZINI, A. J.. PEDOGÊNESE E MORFOGÊNESE NO MÉDIO VALE DO RIO MARRECA DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO - SUL DO BRASIL. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 40, p. 177–194, 2017. b. DOI: 10.5380/raega.

PHILLIPS, J. D.. Historical contingency in fluviokarst landscape evolution. **Geomorphology**, v. 303, n. 2, p. 41–52, 2018. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.11.015.

POLYMERIS, G. S.; ŞAHINER, E.; MERIÇ, N.; KITIS, G.. Thermal assistance in TA - OSL signals of feldspar and polymineral samples; comparison with the case of pure quartz. **Radiation Measurements**, v. 81, p. 270–274, 2015. DOI: 10.1016/j.radmeas.2014.12.013.

PUPIM, F. N.; ASSINE, M. L.; SAWAKUCHI, A. O. Late Quaternary Cuiabá megafan,

Brazilian Pantanal: Channel patterns and paleoenvironmental changes. **Quaternary International**, v. 438, p. 108–125, 2017. DOI: 10.1016/j.quaint.2017.01.013.

RO CHARLTON. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. 1. ed. New York: Routledge, 2008. DOI: 10.1111/j.1475-4762.2009.883_5.x.

ŞAHINER, E.; MERİÇ, N.; POLYMERIS, G. S.. Thermally assisted OSL application for equivalent dose estimation; comparison of multiple equivalent dose values as well as saturation levels determined by luminescence and ESR techniques for a sedimentary sample collected from a fault gouge. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 392, p. 21–30, 2017. DOI: 10.1016/j.nimb.2016.12.001.

SALGADO-LABORIAU, M. L.; CASSETI, V.; FERRAZ-VICENTINI, K. R.; MARTIN, L.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Cerrado and palm swamp from Central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 128, n. 1 997, p. 215–226, 1997.

SALLUN, A; SUGUIO, K. Quaternary colluvial episodes. Upper Paraná River Hydrographic Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, p. 701–715, 2010.

SAWAKUCHI, A. O., MENDES, V. R., PUPIM, F. DO N., MINELI, T. D., RIBEIRO, L. M. A. L., ZULAR, A., GUEDES, C. C. F., GIANNINI, P. C. F., NOGUEIRA, L., SALLUN FILHO, W., & ASSINE, M. L. Optically stimulated luminescence and isothermal thermoluminescence dating of high sensitivity and well bleached quartz from Brazilian sediments: from Late Holocene to beyond the Quaternary? **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 1, p. 209–226, 2016. DOI: 10.1590/2317-488920160030295.

STEVAUX, J. C.. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, p. 73–85, 2000. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00023-9.

STRÍKIS, N. M.. **Paleopluviosidade no norte de Minas Gerais durante o glacial tardio e holoceno com base em registros de espeleotemas**. São Paulo: IGc- USP, 2011.

STRÍKIS, N. M.; NOVELLO, V. F.. Evolução Hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno. **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**, p. 335–343, 2014.

THIAGARAJAN, N.; SUBHAS, A. V.; SOUTHON, J. R.; EILER, J. M.; ADKINS, J. F.. Circulation changes in the deep ocean. **Nature**, v. 511, n. 7507, p. 75–78, 2014. DOI: 10.1038/nature13472.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M.. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 356–357, p. 62–74, 2012. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.10.002.

VIANA, J. C. C.. **Mudanças e variabilidades climáticas nos últimos dois mil anos no**

nordeste brasileiro: lagoa do boqueirão - RN. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2012.

VICENTINI, K. R. C. F.. **Análise palinológica de uma vereda em Cromínia - GO.** Brasília: Departamneto de Ecologia -UNB, 1993.

WALLINGA, J.; MURRAY, A. S.; DULLER, G. A. T.; TÖRNQVIST, T. E.. Testing optically stimulated luminescence dating of sand-sized quartz and feldspar from fluvial deposits. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 193, n. 3–4, p. 617–630, 2001. DOI: 10.1016/S0012-821X(01)00526-X.

WANG, W.; JINLING, L.; XIADON, Z.. Climate indexes of phytoliths from Homo erectus? cave deposits in Nanjing. **Chinese Science Bulletin**, v. 48, n. 18, p. 2005–2006, 2003. DOI: 10.1360/02wd0447.

WRIGHT, J. D.. **Global Climate Change in Marine Stable Isotope Records.** Orono: Department of Geological Sciences and Institute for Quaternary Studies, University of Maine, 1947.

ZANI, H.; ASSINE, M. L.. Paleocanais no megaleque do rio Taquari: mapeamento e significado geomorfológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 37–43, 2011.

4 CAPÍTULO 2 -ARTIGOS DE RESULTADOS

4.1 REGISTROS SEDIMENTARES EM VALES SECOS CÁRSTICOS: MAMBAÍ, BRASIL CENTRAL

RESUMO

A área cárstica no cerrado do Brasil central apresenta importantes facies erosivas e deposicionais nos sistemas de vales secos abandonados associados a dinâmica fluviocárstica. Os vales possuem características distintas, podendo oferecer registros sedimentares de eventos passados e, inclusive recentes, do sistema fluviocárstico. O propósito da pesquisa envolve o reconhecimento e caracterização dos pacotes sedimentares resguardados em vales secos depositados até o processo de transição fluviocárstica, permitindo assim que tais sedimentos possam ser relacionados a estágios e eventos climáticos passados. O estudo se baseia em uma combinação com múltiplas técnicas como observações geomórficas, análise estratigráficas, geoquímica, mineralogia, geocronologia, isótopos estáveis e granulometria em três vales secos (rios Pedras, Ventura e Extrema) que compõe a bacia do Rio Vermelho no nordeste goiano. Os vales contêm depósitos fluviais remanescentes ao abandono devido a transição do fluxo fluvial superficial para o sistema cárstico subterrâneo, alcançando até quatro metros de profundidade, os perfis apresentaram fases deposicionais arenosas com estratificação plano-paralelas e seixos arredondados e sub-arredondados e além ocorrência de tufa calária com fósseis de carapaças de moluscos. Os registros fornecem uma visão geral dos estágios deposicionais resguardados até o período das capturas fluviais, em termo de morfologia, dinâmica e arquitetura dos sedimentos. A geocronologia resultou em idades a partir de 23 mil anos, até os processos de captura, e os demais dados foram correlacionados aos estágios e períodos climáticos reconhecidos e caracterizados na região. As deposições ocorreram de forma razoalmente contínua principalmente nos últimos 3500 anos, tanto em eventos considerados relativamente mais secos como mais úmidos, com hiatos deposicionais típicos de ambientes fluviais. Dessa forma, não apresentou relação entre as deposições com eventos climáticos.

Palavras-Chave: Fluviocarste, Vales Secos, Depósitos Sedimentares, Cerrado

SEDIMENTARY RECORDS IN KARSTIC DRY VALLEYS: MAMBAÍ, CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT

The karst area in the cerrado of central Brazil presents important erosive and depositional facies in the systems of abandoned dry valleys associated with fluvio-karstic dynamics. The valleys have different characteristics, being able to offer sedimentary records of past and even recent events of the fluvio-karstic system. The purpose of the research involves the recognition and characterization of sedimentary packages sheltered in dry valleys deposited until the fluvio-karstic transition process, thus allowing that such sediments can be related to past climatic stages and events. The study is based on a combination of multiple techniques such as geomorphic observations, stratigraphic analysis, geochemistry, mineralogy, geochronology, stable isotopes and granulometry in three dry valleys (Rives Pedras, Ventura and Extrema) that make up the Rio Vermelho basin in northeast Goiás. The valleys contain fluvial deposits remaining abandoned due to the transition from the superficial fluvial flow to the underground karst system, reaching up to four meters in depth, the profiles showed sandy depositional phases with plane-parallel stratification and rounded and sub-rounded pebbles and in addition to the occurrence of calaria tufa with mollusc shell fossils. The records provide an overview of the depositional stages preserved until the period of river captures, in terms of morphology, dynamics and architecture of the sediments. The geochronology resulted in ages from 23,000 years until the capture processes, and the other data were correlated with the recognized and characterized climatic stages and periods in the region. The depositions occurred in a reasonably continuous way, mainly in the last 3500 years, both in events considered relatively drier and more humid, with depositional gaps typical of fluvial environments. Thus, there was no relationship between depositions and climatic events.

Keywords: Fluvio-karst, Dry Valleys, Sedimentary Deposits, Cerrado

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado dispõe de uma extensão territorial com cerca de 2 milhões de km², sendo o segundo maior bioma dos neotrópicos, abrigando cabeceiras das principais bacias hidrográficas do país: Paraná, Paraguai, Amazônica Parnaíba e São Francisco (CASSINO et al., 2020). A vegetação dos Cerrados é classificada como uma savana úmida que abrange as savanas abertas, bosques de savanas, pastagens e pastagens arbustivas, florestas secas e florestas ribeirinhas (FURLEY, 1999) ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 1-A](#)).

Estudos realizados em sedimentos fluviais no Cerrados do Brasil central têm focado na história evolutiva das condições paleo-hidrológicas da paisagem que permitem analisar a geologia e geomorfologia e reconstrução paleoambiental e relações com oscilações climáticas (DIAS; PEREZ FILHO, 2015b; STEVAUX, 2000; VALENTE; LATRUBESSE, 2012). Sedimentos lacustres e turfeiras têm permitido analisar características evolutivas das espécies do Cerrado e suas correlações com as variabilidades climáticas históricas. No entanto, há dificuldades para se obter registros deposicionais principalmente dos últimos três mil anos, devido à baixa resolução (CASSINO et al., 2020; FERRAZ-VICENTINI; SALGADO-LABORIAU, 1996; LEDRU, 1993).

Registros isotópicos de espeleotemas na região dos Cerrados do Brasil central também identificaram eventos abruptos de aumento de precipitação (STRÍKIS, 2011, 2015; STUMPF, 2019). O evento mais recente, Anomalia Climática Medieval (ACM) na América do Sul, registrou reduções de chuvas verificadas também na região central da Bahia (BIRD et al., 2011; NOVELLO et al., 2012).

Depósitos fluviais conservados em vales secos abandonados devido aos processos de transição fluvial para cavernas podem oferecer registros deposicionais recentes no sistema fluvio cárstico permitindo estabelecer correlações com condições climáticas, considerando próxies regionais de alta resolução com estudos em espeleotemas. A ocorrência de tufa calcária no perfil, também é considerada um importante arquivo para estudos paleoambientais, e tem sido utilizada em estudos climáticos regionais (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006; MELÓN; ALONSO-ZARZA, 2018).

A área se insere a oeste do cráton São Francisco e sua litologia regional está associada ao Grupo Bambuí (Neoproterozóico), que representa sequência pelítico-carbonatada, permite que o nordeste goiano disponha de uma importante área cárstica com diversas feições típicas de tais ambientes. Dentre elas destacam-se os vales secos que representam

componentes importantes do sistema cárstico, pois os depósitos resultam de processo de transição fluviocárstica. Eles foram identificados como importantes armadilhas de sedimentos, devido ao alto potencial de preservação, fornecendo um valioso arquivo sedimentar. Sua formação e evolução estão intimamente ligadas a geomorfologia, litologia carbonática, regime hidrológico dos rios e as características dos sedimentos fluviais. Os sedimentos modernos apesar de não oferecer registros sedimentares a longo prazo podem indicar fatores geológicos e geomorfológicos pelas condições climáticas e processos recentes que atuam no sistema fluviocárstico (DINIS et al., 2020; GARZANTI; RESENTINI, 2016).

Estudos de sedimentos fluviais em vales secos cársticos apresentam grandes possibilidades de análise como identificação de material de origem (MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006), entendimento dos processos de formação dos paleovales e o papel da erosão fluvial nos sistemas fluviocársticos (BENAC et al., 2013b). Considerando que registros sedimentares fluviais em áreas não cársticas estão em constante transformação, enquanto, os sedimentos presentes em vales secos em áreas cársticas são na maioria das vezes preservados a partir do abandono do vale. Tais áreas não vem sendo objeto de pesquisa a ser explorado no Brasil, havendo grande ocorrência de áreas cársticas principalmente no cerrado do Brasil central. Dessa forma, este estudo se propõe a conhecer a dinâmica fluviocárstica com base na análise dos paleoambientes deposicionais fluviais contidos em vales secos cársticos, bem como os processos envolvidos na formação dos vales.

CONFIGURAÇÕES GEOGRÁFICAS

A área de estudo está localizada na bacia do rio Vermelho, no nordeste Goiano/Cerrado do Brasil central, constituindo um grande ecossistema de savana neotropical. O rio Vermelho pertence a bacia do rio Corrente, afluente da bacia do Tocantins. Os rios estão situados na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 1-B), que dispõe de uma área cárstica associada às rochas do Grupo Bambuí (Neoproterozóicas), são representadas pela sequência pelítico-carbonatada depositados em ambiente de sedimentação exclusivamente marinho, compreendendo da base para o topo as Formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (CRUZ, 2012b).

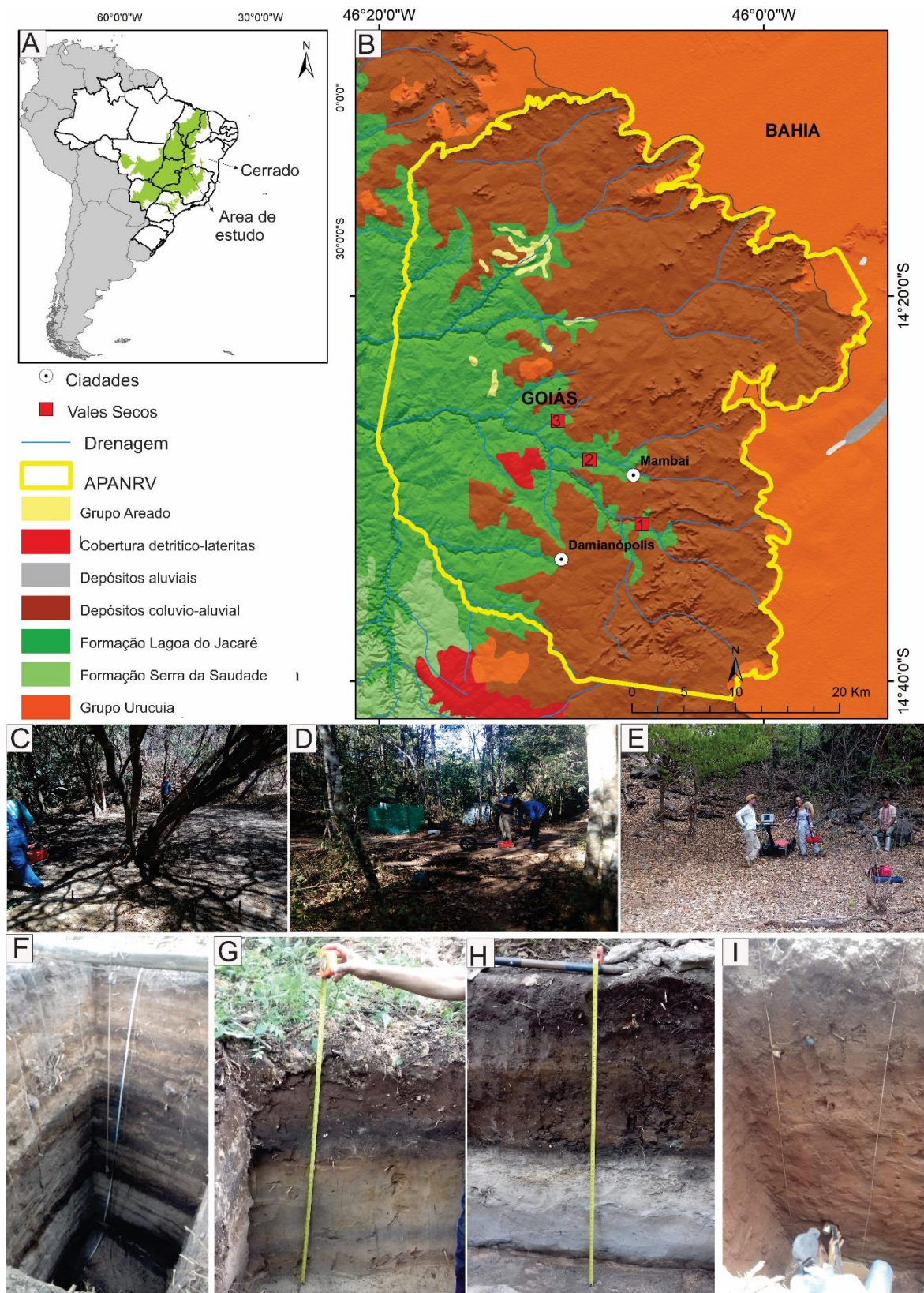


Figura 31 Configuração geográfica da área de estudo. A) Localização da área de estudo no contexto do bioma do Cerrado brasileiro na América Latina. B) APANRV e as formações geológicas da região. C) vale seco do rio das Pedras (1) D) vale seco do rio Ventura (2) E) vale seco do rio Extrema (3) F) perfil sedimentar do Rio das Pedras G) perfil sedimentar do rio Venturaa H) perfil sedimentar do rio Venturaa I) perfil sedimentar do Rio Extrema

O Grupo Bambuí é recoberto discordantemente pelos arenitos avermelhados finos a médios do Grupo Urucuia, que ocorrem na forma de morros testemunhos. Sedimentos arenosos também são atribuídos à Formação Chapadão, facies essencialmente composta por sedimentos arenosos inconsolidados de natureza detrítica e mais localmente laterítica com amplas áreas recobrendo todas as rochas descritas anteriormente. Os colúvios, elúvios e alúvios arenosos correspondem aos materiais espalhados a partir da erosão regressiva dos arenitos do Grupo Urucuia (CRUZ, 2012b). Os vales secos estão associados aos afluentes do lado direito (jusante-montante) do Rio Vermelho sendo os rios das Pedras (1) ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 1-C](#)), Ventura(2) ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 1-D](#)) e rio Extrema ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 1-E](#)) que iniciam na borda do planalto do Grupo Urucuia (arenito) drenando em direção a Formação Lagoa do Jacaré (calcário). Os ambientes de sedimentação permanecem quase inalterados pela configuração dos vales secos resultantes da dinâmica fluvio cárstica que se manifesta devido aos fatores de erosão e dissolução das rochas carbonáticas. Os vales secos encontram-se preenchidos de sedimentos até o início da encosta e são visíveis na paisagem. Os vales secos são oriundos do processos de transição do sistema superficial para o subterrâneo por meio de sumidouro em seguida pode ocorrer a ressurgência, ambas feições estão relacionadas ao depósito do rio das Pedras (Figura 1-F). No vale seco do rio Ventura(Figura 1-G/H) o sumidouro por onde o fluxo é capturado do sistema superficial para o subterrâneo ocorre a formação de uma cachoeira. O depósito do rio Extrema (Figura 1-I) também é um vale associado ao sistema de transição fluvio cárstica.

O clima é conhecido por apresentar uma forte estação seca, normalmente de quatro a seis meses e estação chuvosa nos demais meses sendo influenciado pela atividade do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) do inglês *South American Summer Monsoon-SASM*) (SILVA; KOUSKY, 2012). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) são feições de extrema importância na modulação do regime climático e para o desenvolvimento do SMAS (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; REBOITA et al., 2015). Desta forma a SMAS é extremamente importante quando se trata da intensidade e distribuição da precipitação no território brasileiro e na distribuição dos biomas, bem como influencia diretamente na recarga hidrográfica superficiais e subterrânea (GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI, 2004).

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na estação da cidade de Posse (GO), a mais próxima da área de estudo, os meses de maior precipitação são dezembro, com 19% da chuva, posteriormente janeiro (16%), março (15%), novembro (15%) e fevereiro (14%). Sendo assim, 80% da precipitação local acontece na estação de chuvas associadas à atividade da ZCAS, nos meses de NDJFM. Quanto as temperaturas se tratam-se de médias mensais que variam entre 22 e 26° C, uma vez que as temperaturas mais elevadas concentradas no período chuvoso (STUMPF, 2019).

AMOSTRAGEM E MÉTODOS ANALÍTICOS

O estudo centrou-se em depósitos sedimentares em vales secos formados pela transição de rios da superfície para a subsuperfície. Foram analisados três depósitos fluviais em quatro perfis, totalizando 94 amostras granulométricas, coletadas de 10 em 10 cm, e 28 amostras de geoquímica e mineralogia, separadas por estratos. Quatorze amostras geocronológicas foram realizadas sendo quatro de radiocarbono, três efetuadas por meio de fragmentos de carvão e uma utilizando das carapaças de moluscos encontradas na tufa calcária, e as demais submetidas ao método de datação Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE).

Descrição de facies

A definição das facies sedimentares se deram com base em características como litologia, granulometria, idade, cor, estruturas sedimentares, textura e presença de matéria orgânica, fragmentos de carvão e fósseis (Allen, 1982, Miall, 1977, Miall, 1985). Para caracterização dos sistemas de tufas são normalmente utilizados modelos ambientais que são representações conceituais de sistemas de tufas com base nas sequências, morfologia deposicional, associação de fácies, condições hidráulicas e flora e fauna (PEDLEY, 1990). Em tais modelos podem considerar as configurações hidrológicas, como rios, lagos, nascentes e pântanos (FORD; PEDLEY, 1996a). A definição das facies geomórficas de tufa e estruturas sedimentares contou com o modelo ambiental de tufas fluviais para regiões tropicais (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006), bem como a classificação de facies de ambientes sedimentares de (MIALL, 1985) [Erro! Fonte de referência não encontrada.](#) (Tabela 1).

Tabela 1- Facies identificadas a partir das classificações utilizadas (Miall, 1985; Carthew et al., 2006)

Fácies (Códigos)	Fácies	Interpretação
<i>Sh</i>	areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação	fluxo planar (crítico)
<i>C</i>	carvão; argilas orgânicas; plantas, filmes de argila, lama carbonática	depósitos de brejos
<i>Fl</i>	areia, silte, argila; laminação fina, ripples muito pequena	depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente (waning floods)
<i>Fsm</i>	silte, argila; maciço	depósitos de canais abandonados ou brejos
<i>Fm</i>	argila, silte; maciço, gretas de dessecação	canais abandonados ou depósitos de cobertura
<i>Gh</i>	cascalho suportado pelos clastos e toscamente estratificado; estratos horizontais, imbricamento dos seixos	formas de leito longitudinais; depósitos residuais
SWZ FLZ	fácies de concha tufa autóctone que ocorre em associação com a camada radicular macrofítica ou fácies microdetrital	contêm conchas de moluscos em posição vital, ocorrem em piscinas e poços.
SWZ	Facies de jangada de calcita: consiste em delgado crostas de calcita flutuantes Fácies microdetrital compreende lama micrítica, provavelmente produzida por cianobactérias, podendo conter jangadas de calcita afundadas.	são restritas a zonas de água parada em piscinas e poços, comuns na estação seca, pois as inundações removem as jangadas de superfície e lama da base do canal.

Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)

A datação por LOE foi realizada em grãos de areia de quartzo no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGaL) no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). A preparação das alíquotas de quartzo envolveu: 1- Peneiramento a úmido para aquisição da fração 180-250 μm ; 2- ataque com H_2O_2 para eliminação de matéria orgânica, ataque com HCl 10% para eliminação de carbonatos; 3- separação densimétrica de minerais pesados e leves ($\text{LMT} = 2.75 \text{ g/cm}^3$) e separação de quartzo ($\text{LMT} = 2.62 \text{ g/cm}^3$); 4- ataque com HF 38% por 40 min para eliminação da camada externa dos grãos de quartzo e feldspatos remanescentes. Em seguida foram realizadas as medições em leitores Risø TL/OSL DA-20 equipados com fonte de radiação beta ($^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$) com taxas de dose de 0.0756 e 0.118 Gy/s. Doses equivalentes foram obtidas através do protocolo SAR (*Single-Aliquot Regenerative-Dose*) desenvolvido por Murray e Wintle (2000), em alíquotas multigrãos de quartzo.

Foi realizado um teste de recuperação da dose com seis alíquotas de quartzo, com temperatura de pré-aquecimento de 200 ° C e uma dose dada de 6,7 Gy. Apenas alíquotas com valores de razão de reciclagem entre 0,90 e 1,10, recuperação inferior a 5% e sinal insignificante de feldspato testado por estimulação infravermelha foram usadas nos cálculos

de dose equivalente (MURRAY; WINTLE, 2000b, 2003). Doses equivalentes foram calculadas usando o modelo de idade central (GALBRAITH et al., 1999).

As concentrações de radionuclídeos para os cálculos da taxa de dose foram determinadas por espectrometria de raios gama, usando um detector de germânio de alta pureza (HPGe) que tinha uma eficiência relativa de 55% e resolução de energia de 2,1 keV e envolto em um escudo de fundo *ultralow* (Canberra Industries). Cada amostra foi seca e embalada em recipientes de plástico selados e armazenada por pelo menos 28 dias para permitir que o rádio alcance o equilíbrio com seus radionuclídeos originais antes da medição da espectrometria gama. As taxas de dose de radiação beta e gama foram determinadas utilizando as concentrações de radionuclídeos (U, Th e K) e fatores de conversão (GUÉRIN; MERCIER; ADAMIEC, 2011). A saturação da água foi determinada pela razão entre o peso da água e o peso seco da amostra. A contribuição da taxa de dose cósmica foi calculada usando a profundidade, elevação, latitude e longitude da amostra, conforme descrito por (PRESCOTT; HUTTON, 1994).

Geocronologia de Radiocarbono

A datação de radiocarbono (^{14}C) fora realizada em fragmentos de carvão extraídos e com as carapaças de moluscos encontrados nos perfis, encaminhados para o Laboratório *Beta Analytic* em Miami na Flórida, que utilizou o método espectrometria de massas com aceleradores (AMS). Neste método, o conteúdo de carbono 14 é diretamente medido em relação ao carbono 12 e carbono 13 presentes. Além disso, não conta partículas beta, mas o número de átomos de carbono presentes na amostra e a proporção dos isótopos. A calibração dos resultados conta com o método matemático que ajusta a idade convencional por radiocarbono, para então refinar, estatisticamente, a “probabilidade” de uma faixa de calibração em relação a outra dentro das probabilidades de 95,4 e 68,2 %. Esse método é conhecido como o método de faixa de densidade de alta probabilidade (*HPD – high-probability density*).

Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada em amostras coletadas de dez em dez centímetros nos perfis. Para determinar a areia grossa e média, se fez necessária a pré-preparação das porções envolvendo primeiramente a separação de 10 gramas das amostras para passar em peneiras de 20cm de diâmetro e malhas de 2mm e 1mm (terra fina seca ao ar - TFSA), destorroando as amostras manualmente na peneira. O restante do material de

tamanho inferior a 1mm foi submetido a técnica de Difração Laser utilizando LALLS – *Low Angle Laser Light Scattering* - equipamento *Betterzise ST* (YANG et al., 2015).

As amostras separadas para o processamento no Granulômetro foram submetidas ao procedimento de eliminação da Matéria Orgânica (MO), com adição de água destilada para umedecer a amostra e acréscimo 05 ml de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂). Para acelerar o processo de queima da matéria orgânica, ocorreu o aquecimento das amostras em meio líquido, em placa aquecedora a 50°C, até cessar a reação. Quando finalizada, adicionou-se o dobro do volume em água destilada e aqueceu-se a amostra à 100°C, no intuito de eliminar o peróxido de hidrogênio. Para dispersar os sedimentos em cada amostra, acrescentou-se 6mg do dispersante Pirofosfato de Sódio (Na₄P₂O₇) e se cobriu a amostra com água. Fez-se necessário, a inserção das amostras na banheira de ultrassom em meio líquido por 1 hora a 50W e, por fim, depositadas no granulômetro *Bettersize ST*. Tais procedimentos foram realizados no Laboratório de Geoquímica e Água (LAGEq) na Universidade de Brasília-UnB.

Os resultados obtidos pela granulometria foram tabulados para geração na diagrafia dos perfis. Para a classificação granulométrica (diâmetro maior) dos fragmentos de sedimentos clásticos, dos mais finos para os mais grossos, foi utilizada a escala logarítmica de Wentworth, Argila <0,004, Silte 0,004-0,062, Areia 0,062-2,0 e Grânulo >2,0.

Geoquímica (ICP-OES)

As análises químicas foram realizadas para determinação da porcentagem correspondente aos óxidos existentes (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, Mn₂O₄, P₂O₅ e perda ao fogo-PF) por espectrometria de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), com intuito principal de caracterizar os minerais primários e secundários. As análises químicas foram realizadas em cooperação com o Laboratório de Geoquímica e água/IG/UnB. As leituras foram realizadas através do espectrômetro de modelo ICP-OES *dualview 5100* AGILENT.

A preparação física das amostras envolveu a secagem (naturalmente), seguida da moagem dos sedimentos com auxílio do moinho de ágata. Cada uma fora devidamente identificada e armazenada em recipientes individuais de modo a obter uma amostra para estudo geoquímico.

Mineralogia (Difração de raios X)

A composição mineralógica dos sedimentos foi medida por Difractometria de Raio X (DRX) no laboratório Difractometria de Raio X da Universidade de Brasília. As análises

foram feitas em amostra total (em pó) correspondentes a cada estrato dos perfis, tendo sido em um porta amostras de vidro próprio do difratômetro com o auxílio de uma lâmina de vidro simples em seguida inseridas no slot de porta amostras do difratômetro. Os procedimentos foram realizados no equipamento difratômetro um *Rigaku Última IV*, utilizando os parâmetros de análise: Intervalo de 2 à 60°; Velocidade de 5°/min Passo de 0,05°. Para análise e interpretação do difratograma utilizou-se o software JADE 9 com banco de dados ICDD pdf-2 e pdf-4. Esta técnica permite identificar os minerais presentes nas frações analisadas.

Análise Isótopos Estáveis ($\delta^{13}\text{C}$)

As amostras de sedimentos foram preparadas utilizando entre 1 – 100 mg de sedimento em cada cápsula de estanho (dependendo do tipo de sedimento). Cada amostra foi medida no sistema EA-IRMS do LARA-UFF, de fabricação da *Thermo Fisher Scientific Co.* Este é composto de um FlashEA2000, um amostrador automático modelo MAS200R com capacidade de 32 amostras, uma interface universal ConFlo IV, que conecta ao IRMS modelo DELTA V *Advantage*.

A fim de retirar o carbono inorgânico, foi feito um tratamento químico da amostra acidificando com HCl. O procedimento foi acidificar 3g de amostra com 5ml de HCl (10%), descansar 24 horas, adicionar mais 2ml de HCl (10%), caso ainda esteja borbulhando, repete-se a primeira parte. Caso não esteja mais borbulhando, a amostra é lavada 3 vezes utilizando água deionizada e centrifugando a 3000 rpm por 10 min. Após isso, a amostra é seca à 60°C. Com as amostras secas, ocorre a pesagem e encapsulamento em cadinho de estanho para a análise. Os dados reportados são as medidas de porcentagem de carbono e $\delta^{13}\text{C}$ de cada amostra, bem como seu erro associado a medida. Das amostras apresentadas, apenas 3 delas (FA50, FA60 e FA80), precisaram passar pela descarbonatação 3 vezes.

Medidas que apresentaram sinal abaixo do limite de confiabilidade ou muito acima do sinal de referência foram reanalisadas, a fim de proporcionar melhor confiabilidade dos resultados.

Para a certificação das medidas e correção do valor isotópico, foram usados os seguintes materiais de referência: Cafeína (IAEA-600) e Grafite (USGS24), fornecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Como controle de qualidade, foi utilizado um sedimento (IVA33802174) com nome Soil (Low Organic). A análise no EA-IRMS seguiu a seguinte ordem: 1 Padrão de controle interno; 2 Capsula de estanho vazia; 3 Padrões Internacionais; 4 Controle de qualidade; 5 Primeiro grupo de amostras; 6 Controle

de qualidade;7 Segundo grupo de amostras; 8 Controle de qualidade; 9 Padrões internacionais

O EA-IRMS foi configurado para gerar valores de $\delta^{13}\text{C}$ comparando os picos do gás de referência com a amplitude gerada pela amostra. Porém, esse valor é corrigido a partir da reta de calibração originada dos materiais de referência. Estes materiais são selecionados para que seus dados de $\delta^{13}\text{C}$ compreendam os respectivos valores a serem determinados para as amostras de óleo. Levando em consideração o desvio padrão encontrado na matriz das amostras, temos que o erro das medidas é ± 0.20 .

RESULTADOS

Geomorfologia e dinâmica fluviocárstica

A dinâmica do sistema fluviocárstico e o desenvolvimento dos vales secos foram analisados por meio de diversos dados conforme explicitado anteriormente. Os locais foram identificados em imagens de satélite, modelo numérico de elevação e trabalhos de campo. Os vales estudados representam setores fósseis dos setores ativos da drenagem atual, e possuem tamanhos suficientes para acomodar o canal dos respectivos rios. Estes possuem suas cabeceiras na escarpa erosiva do Grupo Urucuaia (arenito) e as capturas ocorrem na Formação Lagoa do Jacaré (pelito carbonatada). Os formatos côncavos dos vales com afloramento de calcário nas bordas facilitam o confinamento dos sedimentos fluviais.

A pesquisa de reconhecimento das áreas dos vales secos e adjacências forneceu evidências da existência do registro do paleocanal no local da transição. Assim, determinou-se que os sedimentos de fato são dos respectivos rios antes das capturas. Considerando as seguintes evidências abordadas por (Jerin; Phillips, 2017) a localização e o alinhamento geral do depósito consistentes com o caminho anterior do rio; a inclinação do depósito de acordo com os gradientes de inclinação do rio; a morfologia transversal (vale) consistente com o vale atual; e a única origem plausível do depósito fluvial. A geocronologia estabelecida foi essencial para a interpretação da dinâmica fluviocárstica ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Tabela 2](#), [Erro! Fonte de referência não encontrada.Tabela 3](#)).

Amostras	Elev. (m)	Prof. (m)	U (ppm)	Th (ppm)	K%	Taxa de dose Cosmica (Gy/Ka)	Sat. por água (%)	Taxa de Dose Total (Gy/Ka)	Dose equivalente (Gy)	Nº alíquotas	Dispersão OD (%)	Idade LOE (Ka)
P-02	679	2.3	0.38 ± 0.02	1.08 ± 0.06	0.21 ± 0.01	0.157 ± 0.036	0.00	0.54 ± 0.05	0.8 ± 0.1	21/24	79	1488 ± 232
P-01	679	3.9	0.82 ± 0.04	3.85 ± 0.16	0.36 ± 0.02	0.13 ± 0.019	0.01	0.95 ± 0.07	3 ± 0.2	24/24	25	3146 ± 322
P-03	679	0.7	0.45 ± 0.03	1.63 ± 0.09	0.18 ± 0.01	0.194 ± 0.139	0.00	0.59 ± 0.14	0.3 ± 0	18/24	70	504 ± 121
V2-01	673	0.2	1.71 ± 0.07	13.92 ± 0.46	1.65 ± 0.07	0.207 ± 0.519	0.18	2.74 ± 0.55	0.4 ± 0	22/24	29	146 ± 29
V2-02	673	0.8	0.39 ± 0.02	1.60 ± 0.08	0.15 ± 0.01	0.191 ± 0.120	0.02	0.54 ± 0.12	1.1 ± 0.1	19/24	23	2023 ± 497
E-50	692	1.8	223 ± 0.085	12.49 ± 0.407	1.22 ± 0.052	0.169 ± 0.048	0.09	2.57 ± 0.20	60.1 ± 2.4	25/30	18.9	23381 ± 2024
E-190	692	0.4	1.66 ± 0.066	9.46 ± 0.321	0.71 ± 0.031	0.202 ± 0.253	0.10	1.8 ± 0.28	1.8 ± 0.1	20/20	25.8	1000 ± 166
V-02	673	1.4	0.24 ± 0.237	0.34 ± 0.054	0.03 ± 0.005	0.176 ± 0.065	0.03	0.26 ± 0.06	0.6 ± 0	19/20	17.6	2269 ± 557
V-01	673	1.5	0.39 ± 0.03	1.17 ± 0.08	0.09 ± 0.01	0.175 ± 0.059	0.02	0.44 ± 0.06	0.9 ± 0	19/21	14.7	2049 ± 299
V-06	673	0.5	2.34 ± 0.09	16.49 ± 0.53	2.03 ± 0.09	0.199 ± 0.199	0.28	3.05 ± 0.28	0.49 ± 0.04	23/24	36.7	161 ± 19

Tabela 2- Geocronologia LOE das amostras dos perfis: Rio das Pedras (P); Rio Ventura, Depósito 2a (F) e Depósito 2b (F2); e amostras do Rio Extrema (E) .

Table 3

¹⁴C datação

Depósitos Fluviais	Tipo de análise	Prof. (m)	Idade radiocarbono convencional	Idade Calibrada aos Anos Calendário (cal AP)
1	AMS	4	2220 ± 30 AP	2311 – 2094
3	AMS	1,25	11270 ± 30 AP	13162 – 13029
2b	AMS	0,95	1350 ± 30 AP	1296 – 1180
2a	AMS	1,2	2090 ± 30 AP	2095 – 1926

Vale seco do rio das Pedras (1)

O vale abandonado em forma de meandro pelo rio das Pedras (1) ocorre devido a captura do fluxo por uma abertura em que o rio adentra para o subterrâneo. O sumidouro (*sinkhole*) responsável é do tipo *ponor*, ou seja, quando ocorrem em superfícies calcárias horizontais (TRAVASSOS, 2019) de modo que o rio normalmente busca um caminho mais eficiente (Jerin ; Phillips, 2017; Phillips, 2018). Assim, permite o abandono de parte do vale com uma média de 200 metros de comprimento e 30 metros de largura. Após a passagem pelo interior da caverna o rio retorna à superfície e ao seu curso anterior. A caracterização

do ambiente deposicional permitiu identificar estratos típicos de ambientes fluviais com diferentes facies deposicionais que ocorreram anterior ao momento da transição fluvicárstica.

O preenchimento e a espessura dos pacotes sedimentares variam em relação aos vales, possuindo características individuais e, neste caso, o do rio das Pedras (1) obteve uma profundidade de quatro metros ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 2](#)). Embora a base rochosa não tenha sido atingida com a trincheira, foi efetuada uma tradagem na base que atingiu mais 60cm de profundidade sem alteração sedimentar. Assumimos que esse limite representa o antigo leito do canal antes da transição atual. Foram estabelecidas três fases principais, organizadas na base para o topo.

A primeira fase identificada (I) cuja espessura totaliza 1.30 metro, coloração predominante marrom muito escuro (10YR2/2), textura arenosa majoritariamente fina e média (facie-Sh), conforme pode-se observar na Figura 3 (granulometria), sem estruturas sedimentares visíveis, baixa porosidade, com fragmentos de carvão, mancha laranja de material oxidado. Ao se tratar do carbono orgânico total observamos que esta fase apresenta algumas diminuições em estratos. O $\delta^{13}\text{C}$ apresenta valores relativos ao tipo de plantas C3, que estão relacionadas a plantas arbóreas arbustivas. Quanto a mineralogia se destaca a presença de minerais resistentes ao intemperismo.

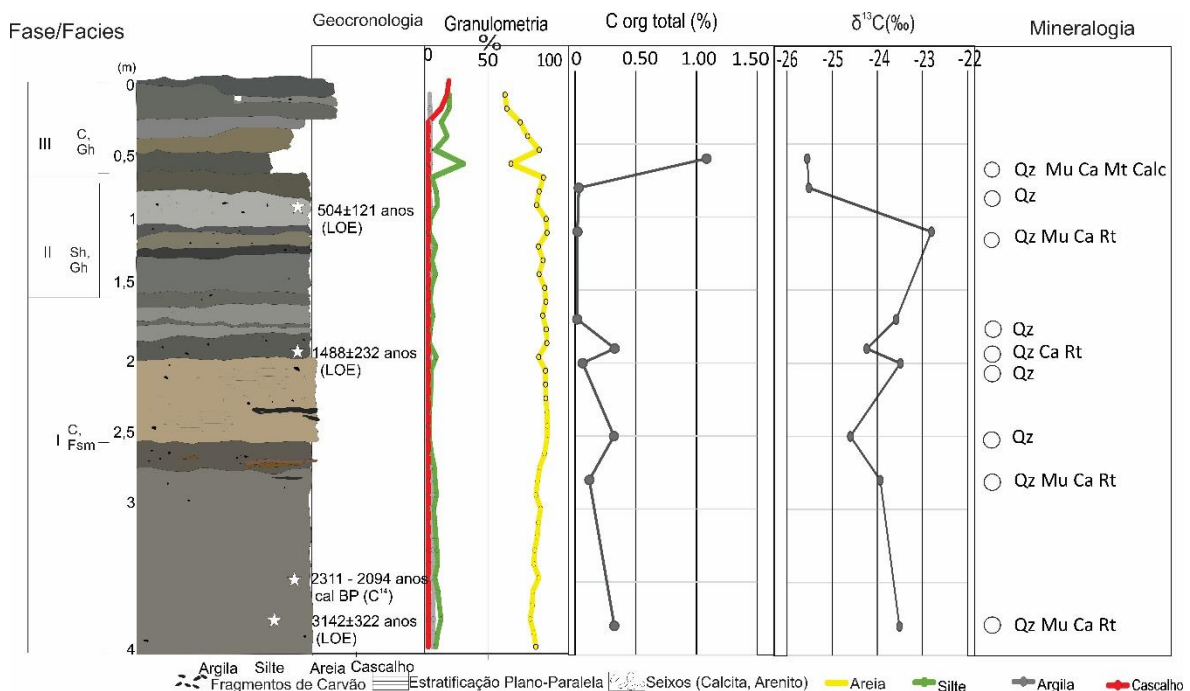


Figura 42- Perfil estratigráfico Depósito rio das Pedras com as respectivas fáceis sedimentares, geocronologia, granulometria carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ Hematita (He), Quartzo (Qz), Rutilo (Rt), Gibsita (Gb), Caulinita (Ca), Montmorilonita (Mt), Goethita (Gt), Calcita (Calc), Anatasio (An) e Muscovita (Mu).

A fase II possui 2 metros de espessura no qual permanece a textura arenosa com as facies Sh, Gh. No entanto, se destaca por oscilações de estratos marrom escuro (10YR3/3), marrom-amarelado (10YR5/4) e castanho amarelado escuro (10YR3/4), bem como, presença de material claro (10YR8/2) essencialmente arenoso (fina, média), contendo seixos arredondados e sub-arredondados de arenito e calcita. Apresenta maior porosidade além de estratificações plano-paralelas, presença de fragmentos de carvão e um estrato mais argiloso, porém pouco espesso. O carbono orgânico total sofre uma importante queda em direção a base desta fase, relacionado ao estrato essencialmente arenoso quase unicamente formado por quartzo como retrata a mineralogia. O $\delta^{13}\text{C}$ demonstra um leve aumento, porém permanece com valor relativo ao tipo de plantas C3, que estão relacionadas a plantas arbóreas arbustivas.

A unidade III, com 60cm de espessura, é composta pelas facies C e Gh sem estruturas sedimentares visíveis. Destaca-se pela ocorrência de um nível siltoso e presença de grânulos de calcário, proveniente de rejeito de mineração de uma área de extração próxima. Raízes e restos abundantes de plantas e madeira foram encontrados na sequência de ambas as fases (III e II). Os estratos indicam transições rítmicas levemente distintas (contatos abruptos e gradual), com faixas alternadas de castanho muito pálido (10YR7/3), sem alteração significativa na textura. Esta fase pode ser considerada recente pois, obteve cerca de 500 anos. A porcentagem do carbono orgânico total sobe consideravelmente nesta fase, os minerais presentes em estratos da fase I reaparece, e apesar da diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ não ocorre mudança quanto aos tipos vegetacionais.

O vale seco do rio Ventura (2)

O vale seco abandonado do rio Ventura(2) foi identificado a jusante de um sumidouro do tipo *pot-holes*, pois, se apresenta verticalmente no leito do rio, podendo estar associado a fraturas (TRAVASSOS, 2019). O sumidouro na calha do rio transferiu o fluxo para o interior de uma caverna pela qual o rio percorre atualmente. Assim, formou-se o vale seco a jusante com cerca 30 metros de largura e 50 metros de comprimento. O depósito é limitado por um declive acentuado, cuja mudança do nível de base possivelmente formava *knickpoint* antes da captura do rio pelo sumidouro, tendo em vista a ressurgência do rio a 100 metros de distância desse local. O canal é sub-horizontal, respeitando o acamamento da rocha. O vale suspenso abandonado conseguiu resguardar sedimentos anteriores ao evento que foi

observado por meio da caracterização do ambiente deposicional do terraço. Este depósito fluvial está associado à Cachoeira do Funil (dolina), ponto turístico da região.

Nos registros dos depósitos 2 do rio Ventura a espessura total encontrada foi de 1,5 metro (2a) e ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 3](#)) 1 metro (2b) (Figura 4) No depósito 2a a fase I possui cerca de 20cm de espessura, composta por material de textura arenosa (Sh) com duas distintas colorações, sendo castanho (10YR3/2) e castanho muito pálido (10YR7/4). Sem estruturas visíveis com porosidade média, contendo raízes e pequenos fragmentos de carvão ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 3](#)).. Quanto aos minerais possui parte dos identificados na fase superior, porém com a calcita provavelmente migrada da tufa calcária acima. O $\delta^{13}\text{C}$ apresenta valores relativos ao tipo de plantas C3, relacionadas a plantas arbóreas arbustivas.

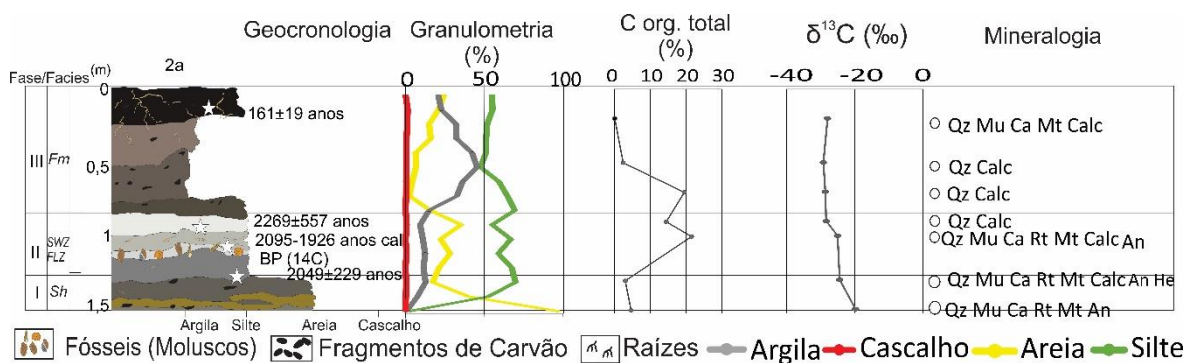


Figura 53- Perfil estratigráfico Depósito rio Ventura(2a) com as respectivas facies sedimentares, geocronologia, granulometria carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ e mineralogia Hematita (He), Quartzo (Qz), Rutilo (Rt), Gibsita (Gb), Caulinita (Ca), Montmorilonita (Mt), Goethita (Gt), Calcita (Calc), Anatasio (An) e Muscovita (Mu).

A fase II possui cerca de 80cm de espessura com estratos de formação de tufa calcária trazendo estratos de cores cinzenta (10YR6/1) e cinza claro (10YR7/2), de textura siltosa. Possui estruturas com marcas de ondulações, com porosidade alta no estrato de tufa calcária e baixa nos demais estratos adjacentes ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 3](#)). A tufa é composta com materiais orgânicos em diversos estágios de decomposição e impregnação de carapaças/ conchas de moluscos ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 4](#)). O estrato de tufa calcária é um produto da precipitação de carbonato de cálcio sob um regime de água fria (temperatura ambiente) e contém tipicamente restos de micro e macrófitas, invertebrados e bactérias (FORD; PEDLEY, 1996b).

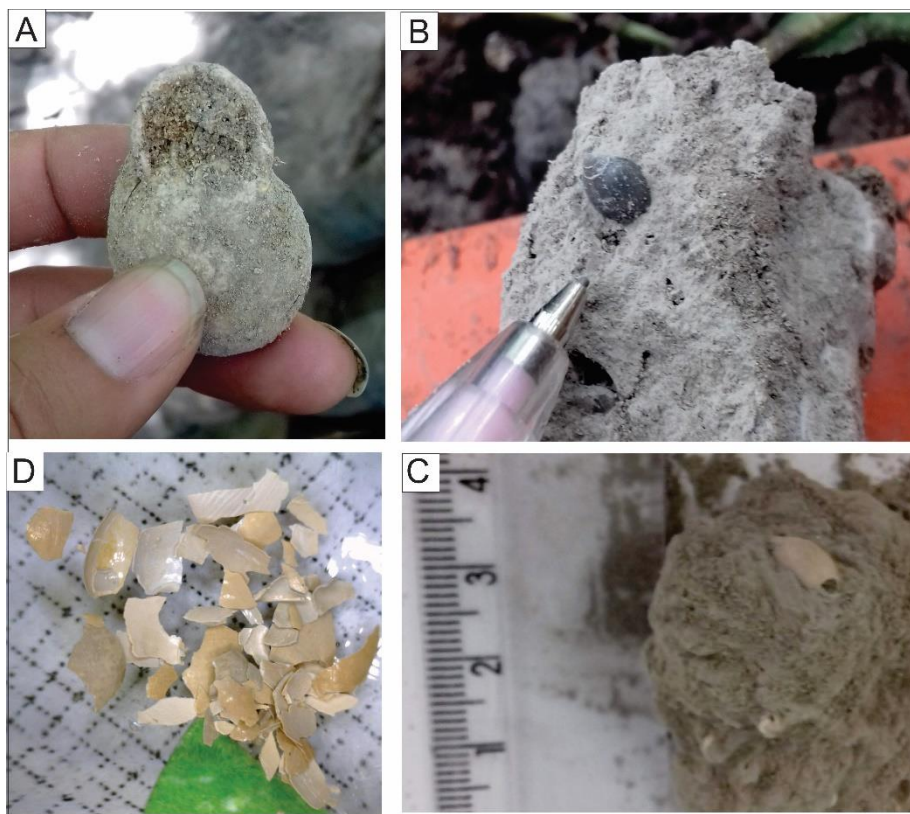


Figura 64- Conchas de gastrópodes encontradas na tufa calcária

As facies da tufa podem ser melhores explicadas quando relacionada ao modelo de classificação proposta por Carthew et al., (2006). Desta forma, no sistema deposicional de formação de tufa pode ser identificado três tipos de facies a de jangada de calcita (SWZ) que consiste em finas crostas de calcita flutuantes, facies microdetrital compreende a lama micrítica que é provavelmente produzida por cianobactérias (Pedley, 1990), além das facies de tufa autóctone que normalmente ocorre em associação com a camada de raiz macrofítica ou facies microdetrital. Estas facies contêm conchas de moluscos articuladas em posição de vida, o que permite diferenciá-la das conchas quebradas de depósitos potencialmente alóctones.

As datações de luminescência e radiocarbono estimaram idades por volta de 2 mil anos. A diferenciação das idades na tufa calcária sendo que a mais recente se encontra em maior profundidade, pode ser interpretada como relacionada a recristalização de carbonato ou a absorção de matéria orgânica após a formação de tufas. Sendo estas responsáveis pelas idades de radiocarbono mais jovens em comparação com idades de quartzo que são as melhores estimativas para o tempo de deposição inicial também constatado em Ribeiro et al., (2015). Nessas facies ocorrem um significativo aumento do carbono orgânico total por

conta da tufa. No caso dos minerais são predominantes o quartzo e a calcita, não havendo mudança quanto ao $\delta^{13}\text{C}$.

A fase III a superficial com cerca de 50cm de espessura com dois estratos possui mudança na coloração sendo predominante, marrom muito escuro (10YR2/2) e posteriormente castanho amarelado escuro (10YR4/4). A textura da base é argilosiltosas (Fm) em direção ao topo mais siltosa. Não foram observadas estruturas sedimentares, apresenta baixa porosidade, e fragmentos de carvão além de raízes. Foi estabelecida geocronologia por volta de 150 anos (Figura 3). Nessa fase ocorre considerável diminuição do carbono orgânico total e aumento do $\delta^{13}\text{C}$, mas, no entanto, continua relacionado o tipo de plantas C3. Apresenta a maior variedade de minerais comparado as demais fases.

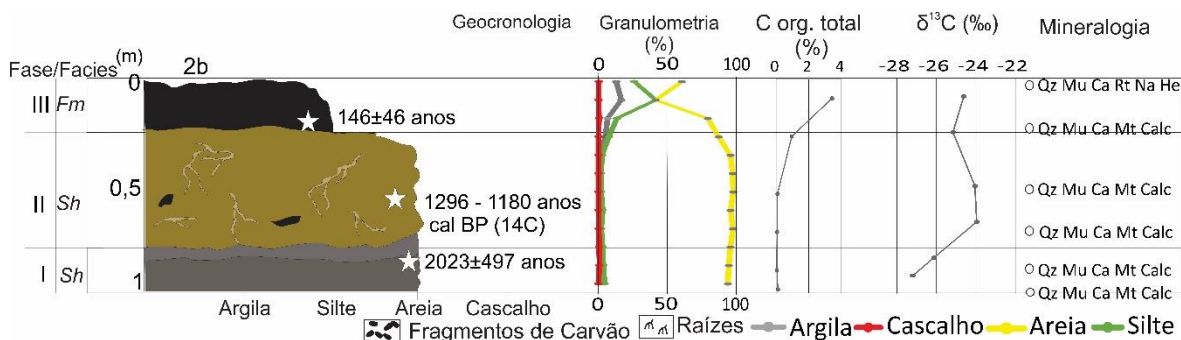


Figura 75- Perfil estratigráfico Depósito rio Ventura (2b) com as respectivas facies sedimentares, geocronologia, granulometria carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ Hematita (He), Quartzo (Qz), Rutilo (Rt), Gibsita (Gb), Caulinita (Ca), Montmorilonita (Mt), Goethita (Gt), Calcita (Calc), Anatasio (An) e Muscovita (Mu).

O perfil 2b (Figura 5) também referente ao rio Ventura apresenta três principais fases deposicionais a primeira fase (I) na base do perfil possui em torno de 20cm espessura, a cor predominante é castanha (10YR3/2), a textura é essencialmente arenosa (fina a média) facies Sh, sem estruturas vivíveis, porosidade média, com idade deposicional por volta de 2 mil anos. Possui baixa porcentagem de carbono orgânico total e o valor de $\delta^{13}\text{C}$ está relacionado ao tipo de plantas C3, ou seja, arbustos e arbustivas.

A segunda fase (II) é mais espessa com cerca de 50cm, a cor é castanha muito pálido (10YR7/4), textura arenosa (Sh) sem estruturas visíveis, porosidade média e com fragmentos de carvão datados por volta de 1200 anos. A concentração de carbono orgânico total permanece mínima, porém ocorre aumento de $\delta^{13}\text{C}$ porém sem mudança do tipo vegetacional, sem mudança nos minerais já presentes.

A terceira fase (III) possui espessura com cerca de 20cm a coloração predominante é marrom muito escuro (10YR2/2), arenosiltosa (Sh) sem estruturas deposicionais aparentes, baixa

porosidade, contém fragmentos de carvão e raízes. Com idade deposicional por volta de 140 anos apresenta acentuado aumento de carbono orgânico total, sem mudança significativa no $\delta^{13}\text{C}$, dispondo de novos minerais como hematita, rutilo e ausência de calcita.

Vale seco do rio Extrema (3)

O terraço vinculado ao rio Extrema ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 6](#)) localizado ao lado da captura por meio do sumidouro do tipo *ponor*, que permite a entrada do fluxo superficial para o interior da caverna. O depósito possui limite na encosta com afloramento de calcários. A forma do vale permite a deposição de sedimentos associados ao processo de captura superficial.

A fase deposicional (I) é composta principalmente pela facies Fm possui cerca de 10cm de espessura; de coloração amarelada (7.5YR9/6) textura argilosa, sem estrutura aparente e baixa porosidade. A segunda fase (II) também é composta principalmente pela facies Sh possui 80cm de espessura inicia um uma fase mosqueada e posteriormente a coloração majoritária é próxima ao vermelho óxido (10YR3/6) de textura arenosiltosa, estrutura maciça e baixa porosidade, dispondo de fragmentos carvão e de rocha (calcário, arenito) angulosos. A idade deposicional estimada foi de cerca de 23 mil anos. O carbono orgânico total aumenta em direção a superfície e, apesar do aumento do $\delta^{13}\text{C}$, não ocorre mudança quanto a vegetação, apresentando variedades de minerais.

A fase III possui cerca de 1.20 metros de espessura coloração caramelo (2,5YR4/8), de textura arenosa (Sh), estrutura maciça com presença de fragmentos de carvão, baixa porosidade e contato gradual com as demais fases. Quanto a idade deposicional obteve-se cerca de 13 mil anos. Apresenta aumento do carbono orgânico sem mudança significativa no $\delta^{13}\text{C}$, ou seja, permanece o tipo de plantas C3.

A fase IV superficial contém uma espessura por volta de 20cm, e coloração marrom (5YR4/4) na textura ocorre aumento significativo de silte e diminuição da areia, contém estrutura maciça, baixa porosidade e grande quantidade de raízes e sem mudança significativa quanto a composição dos minerais. Esta fase obteve cronologia por volta de 1000 anos.

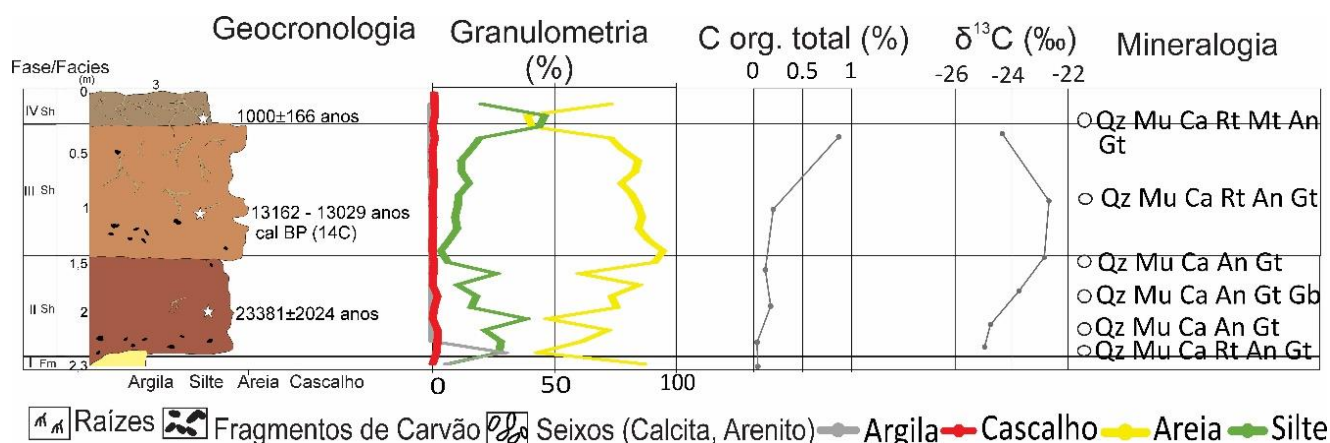


Figura 86- Perfil estratigráfico Depósito rio Extrema com as respectivas facies sedimentares, geocronologia, granulometria carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ e mineralogia Hematita (He), Quartzo (Qz), Rutilo (Rt), Gibsita (Gb), Caulinita (Ca), Montmorilonita (Mt), Goethita (Gt), Calcita (Calc), Anatasio (An) e Muscovita (Mu).

DISCUSSÃO

Ambientes deposicionais e a dinâmica paleoclimática

Os vales secos estudados na área são vales dos rios correspondentes, de acordo com a localização, morfologia e alinhamento além dos depósitos serem consistentes com a origem fluvial. Os afloramentos de rocha e a inclinação lateral inviabilizam uma possível migração lateral, no qual são raras as avulsões em correntes controladas por rochas. Portanto, algum tipo de evento cárstico e estrutural ou um conjunto somatório deles resultou na mudança. O sistema fluvio-cárstico é influenciado por forças externas, como clima, e internas, como tectônica, que iniciam mudanças nos regimes fluviais, carstificação, declives regionais e mudança no nível de base. Controles como litologia, estrutura e vegetação também são relevantes, devido a ocorrência de perda de fluxo da superfície para rotas subterrâneas (PHILLIPS; WALLS, 2004). Nenhum perfil indicou mudança de vegetação, assim, o clima atual pode ter atuado durante todo o período, com as variabilidades que apresenta em sua normal climática.

A dinâmica cárstica é a única forma plausível responsável pela formação dos vales secos, pois a área não possui registros de ocorrências de outros fenômenos análogos como fluxo de detritos. Os vales secos analisados recebem fluxos de água episódicos nos períodos chuvosos, advindos diretamente do escoamento superficial ou quando há represamento de água nos sumidouros em regimes intensos.

Capturas de fluxos superficiais para o sistema subterrâneo por meio de sumidouros e consequentemente abandono de vales secos são processos naturais envolvidos na evolução

dos sistemas cársticos. Esta evolução é influenciada por diversos fatores (SORIANO; SIMÓN, 1995), podendo ser distinguidos em três grupos principais, fatores físicos (solubilidade do substrato; litologia e características de cobertura; planos de estratificação; descontinuidades estruturais, como fissuras, diáclases e fraturas) hidrológicos (infiltração da água; gradiente hidráulico; profundidade e variação sazonal do nível freático; composição química das águas dos aquíferos); além desses a ação antrópica (irrigação, construção e dutos). Os fatores físicos influenciam a penetração e modificação por dissolução ou precipitação pela circulação de águas subterrâneas ao longo do tempo. Desta forma, determinam consideravelmente a variedade de formas e comportamentos que ocorrem no sistema (FORD; WILLIAMS, 2007).

Em áreas tectonicamente estáveis, como é o caso do cráton São Francisco, os eventos climáticos podem afetar cavernas alimentadas com dolinas por vários ciclos climáticos antes que o local se torne inativo. Desta forma, pode-se entender que em regiões tectonicamente estáveis a estrutura e o sistema hidrológico estão diretamente ligados a geomorfologia cárstica (AULER et al., 2009). Nos períodos com tectonismo relativamente estáveis, atua a desnudação cárstica duradoura como controle geomorfológico (FORD; WILLIAMS, 2007). O clima úmido favorece a dissolução e carstificação, viabilizando a formação de espaços subterrâneos e colapsos, potencializando o escoamento fluvial subsuperficial modificando a topografia (PHILLIPS, 2018).

Diante do exposto, os resultados alcançados revelam mudanças significativas nos períodos identificados. No intervalo dos últimos 23 mil anos se inicia o processo de deposição dos sedimentos fluviais até a ocorrência das transferências dos sistemas superficiais para o interior das cavernas. A sedimentação possivelmente está vinculada principalmente a um sistema climático mais úmido, de acordo com o previsto na região durante os estágios eventos correspondentes a idades estimadas, considerando os estudos regionais realizados com dados de alta resolução em espeleotemas (STRÍKIS, 2011, 2015; STUMPF, 2019).

O paleovale do rio das Pedras (1) possui um registro sedimentar com cerca de quatro metros e meio até a base rochosa em que a ruptura deposicional fluvial ocorreu por volta de 500 anos, estando assim associada ao abandono do vale. Anteriormente, houve diversos fluxos deposicionais, iniciando na base com sedimentos arenosos escuros com expressivos fragmentos de carvão além de certa quantidade de material fino (silte), indicando uma deposição de fluxo mais lento. Esta fase deposicional, tanto por LOE quanto por ^{14}C , estimou

idades de 3146 ± 322 anos e $2311 - 2094$ anos cal AP, sendo o primeiro corresponde ao evento climático BOND 2. Os dados de $\delta^{13}\text{C}$ indicam ocorrência de plantas do tipo C3, caracterizando espécies arbustivas e arbóreas. Neste período, registros isotópicos no Cerrado do Brasil central (NOVELLO et al., 2017b, 2019; STRÍKIS, 2011, 2015), identificaram, durante o Holoceno Superior, eventos abruptos de aumento de precipitação em 3.7, 3.1, 2.7, 2.3 e 1.7 mil anos. Estudo recente corrobora com tais dados, pois registra clima úmido, com crescimento contínuo dos espeleotemas durante os eventos BONDS (e mais proeminentes em 3.2 mil anos) em local próximo à área de estudo, na região do Parque Estadual de Terra Ronca-PETER (STUMPF, 2019). Barberi (2001) sugere a instalação das condições climáticas semelhantes as atuais neste período, coincidente com um patamar do perfil de carbono da (STUMPF, 2019).. Os eventos BONDS correlacionados com eventos úmidos ou de maior intensidade da monção foi observada para o Holoceno na Lapa Grande, norte de Minas Gerais (STRÍKIS et al., 2011) e também na caverna São Mateus no PETER (STUMPF, 2019). A similaridade dos valores isotópicos entre as séries temporais permitiu a Stumpf, (2019) sugerir que respondem à mesma variabilidade climática, apresentando um comportamento praticamente neutro durante todo o Holoceno.

A segunda fase deposicional sofre variações abruptas entre estratos escuros orgânicos e outros essencialmente arenosos presenciando seixos, além de estratificações plano-paralelas, que indicam um fluxo mais intenso e maior capacidade de transporte. Nos estratos essencialmente arenosos, a mineralogia registrou ocorrência unicamente de quartzo. Nesta etapa, estimou-se que a deposição ocorreu por volta de 1488 ± 232 anos cuja parte corresponde ao BOND 1. Este período, foi estabelecido com intervalo de tempo entre 1450 – 1740 anos por registros isotópicos na região do Cerrado, respondendo de forma acentuada com uma fase úmida identificada na região centro-leste da Bahia (NOVELLO et al., 2012). No norte de Minas Gerais, estudo de Stríkis, (2011) identificou que os períodos de aumento de precipitação apresentaram boa relação com os eventos BONDS em geral. Durante o Holoceno Superior, há ocorrência de eventos pluviais abruptos de curta duração (entre 50 e 100 anos), como o de 2.7 mil anos. Na área aqui estudada, até por volta de 500 anos, continuou um cenário de fluxos de deposição arenosa até a ocorrência da captura fluvial, que cessou a deposição sedimentar. Não foi observada nenhuma anomalia de $\delta^{18}\text{O}$ durante a LIA no PETER, somente houve maior atividade biológica no solo neste período (STUMPF, 2019). No entanto, no norte de Minas, o período durante o evento LIA registrou ambiente mais úmidos (STRÍKIS, 2015) correspondentes então ao período de captura. .

No depósito do rio Ventura 2, os dados sugerem que a deposição se trata dos sedimentos arenosos que vinham sendo transportados pelo rio por volta de 2023 ± 497 , 2269 ± 557 e 2049 ± 299 anos. Acima do estrato arenoso do Perfil 2a, há uma concentração, por volta de 60%, de óxido de cálcio com ocorrência do processo de formação da tufa calcária, com carapaças de moluscos datadas por volta de 2.095 – 1.926 anos. De acordo com Carthew et al., (2006) as tufas de regiões tropicais se diferenciam de acordo com os ambientes de formação, sendo ambas as facies identificadas neste estudo restritas a zonas de água parada em piscinas e poços. Embora comuns durante a estação seca, as inundações da estação chuvosa removem as jangadas de superfície e enxaguam quaisquer jangadas de calcita afundadas e lama acumuladas na base do canal. A presença de outras facies, como a jangada de calcita autóctone e o microdetrital, também pode fornecer informações úteis, pois sua preservação está inversamente relacionada aos eventos de inundação.

De acordo com o modelo ambiental de tufas fluviais para regiões tropicais de Carthew et al., (2006) a preservação das fáceis de tufas estão relacionadas a intensidade das monções que quando fortes há abundância de indicadores de inundação, como as facies fitoclástica, litoclástica e intraclástica alóctone. Por outro lado, as evidências de monções fracas ou uma ausência prolongada de inundações podem incluir oncóides, jangadas de calcita e acumulações espessas de sedimentos carbonáticos finos.

A deposição das tufas da Formação Serra da Bodoquena no Mato Grosso do Sul indicou que a deposição mais intensa representa um período de clima mais úmido, que se alterou a partir de 2700 anos. quando se estabeleceram condições próximas à atual (SALLUN FILHO et al., 2009). Identificaram também tufas micríticas ricas em conchas fósseis de gastrópodes de ambientes de baixa energia, com alto teor de carbonato de cálcio (OLIVEIRA, 2009). Utida, (2016) aborda na região não são encontrados fósseis de gastrópodes em áreas de queda de água, e sim em represas e alguns em margens de rios, ou seja, formados em águas lóticicas, e correntes de água lentas.

A ocorrência abundante dos macrofósseis vegetais em tufas carbonáticas depositadas às margens do rio Salitre, norte do estado da Bahia, sugerem condições de alta umidade, atribuídas à expansão de florestas úmidas para a região hoje ocupada pela Caatinga durante eventos milenares frios durante a última glaciação (CRISTALLI, 2006).

No perfil 2b na borda do sumidouro a deposição continua um pouco mais de 1296 – 1180 anos cal AP até a ocorrência da transição fluvial superficial total para cárstica

subterrânea. Os minerais em geral são resistentes ao intemperismo, mesmo havendo calcita derivada do calcário.

Entende-se que os resultados mostram dois momentos da transição superficial-cárstica no caso do rio Ventura, uma vez que no perfil no meio do vale (2a), o estrato arenoso possui apenas 20cm de espessura, e sobre ele a formação de tufa calcária, o que indica uma possível mudança de energia do fluxo. O registro 2b, mais próximo da captura (sumidouro) possui estratos arenosos que somam 80cm de deposição, até cessar a deposição. Desta forma, pode-se considerar a possibilidade de dois momentos de captura: uma inicial transferindo somente parte da drenagem para o interior da caverna e em outro momento finalmente a captura completa. Desta forma, independente da ocorrência do aumento de fluxo, que poderia gerar inundações o que dificultaria a formação do tipo de tufa identificada, com boa parte do fluxo drenada o do vale se manteria um fluxo reduzido que permite a formação de tufas.

Os vales secos formados pela ocorrência de sumidouros também apresentam ressurgências relativamente próximas (~200m), uma vez que prevalecido o domínio cárstico subterrâneo passa a ser fluvial novamente à medida que os condutos subterrâneos ficam obstruídos. Com a remoção da rocha solúvel na bacia hidrográfica ou como a dissecação fluvial ocorre a captura que exuma a drenagem subterrânea. Por conta disso, os processos de transição fluvial-cárstico ou cárstico-fluvial favorecem a existência de paisagens pobres em rios superficiais em maior ou menor grau. O equilíbrio entre a drenagem fluvial e subterrânea é frequentemente dependente das condições ambientais locais (PHILLIPS; WALLS, 2004).

De acordo com as análises e interpretações realizadas, o depósito do rio Extrema trata-se de um terraço fluvial construído no processo de captura do fluxo superficial para o interior da caverna. A estratigrafia demonstra três fases partir da rocha base (I) na qual a fase (II) retrata uma deposição em ambiente mais lento e água tranquila. No entanto, dispõe da presença de blocos angulosos possivelmente trazidos de áreas fontes próximas ou até mesmo das encostas. A geocronologia estimou para essa fase cerca de 23 mil anos, sendo correspondente ao estágio EIM 2 (17800/ 27970 anos) e no evento HS2. Porém, os dados de isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$) obtiveram valores relacionados a ciclos fotossintéticos do tipo C3 (plantas arbóreas e arbustivas), ou seja, em contexto de clima úmido.

A terceira fase (III) apresenta características de um ambiente de maior fluxo comparado a anterior, são apresentadas maiores concentrações de carbono orgânico total e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) voltados para predominância de plantas C3 (arbóreas e arbustivas)

remetendo a um clima mais úmido. A amostra de ^{14}C coletada neste nível apresentou idade 13162 - 13029 anos cal AP pode ser correspondente aos períodos climáticos Bølling-Allerød (BA 12900-14700 anos AP) ou *Younger Dryas* (YD 13000 a 11200 anos AP). O período de 14.7 e 13.4 mil anos AP foi correlacionado às fases mais secas na porção norte de Minas Gerais (STRÍKIS, 2011). Registros de isótopos estáveis na região do PETER, também retratam B.A como uma fase seca (STUMPF, 2019).

A fase (IV) corresponde a camada superficial rica em matéria orgânica e argilo-siltosa, cuja datação constatou idade de 1000 ± 166 anos. Estudos com idades mais próximas destaca-se Azevedo et al. (2019) mostraram uma mudança consistente no regime hidrológico durante o ACM no Cerrado, caracterizada por uma transição substancial de úmido para condições mais secas durante o início (925-1150 anos) para o final ACM (1150-1350 anos). Os registros de Terra Ronca apresentam um período mais seco por volta de 1150 anos, durante a ACM, que foi caracterizada por dois eventos de seca, separados por um evento úmido proeminente que ocorre em 1250 anos (STUMPF, 2019).

A relação das idades com os estágios e eventos climáticos está representada no gráfico da [Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 7.](#)

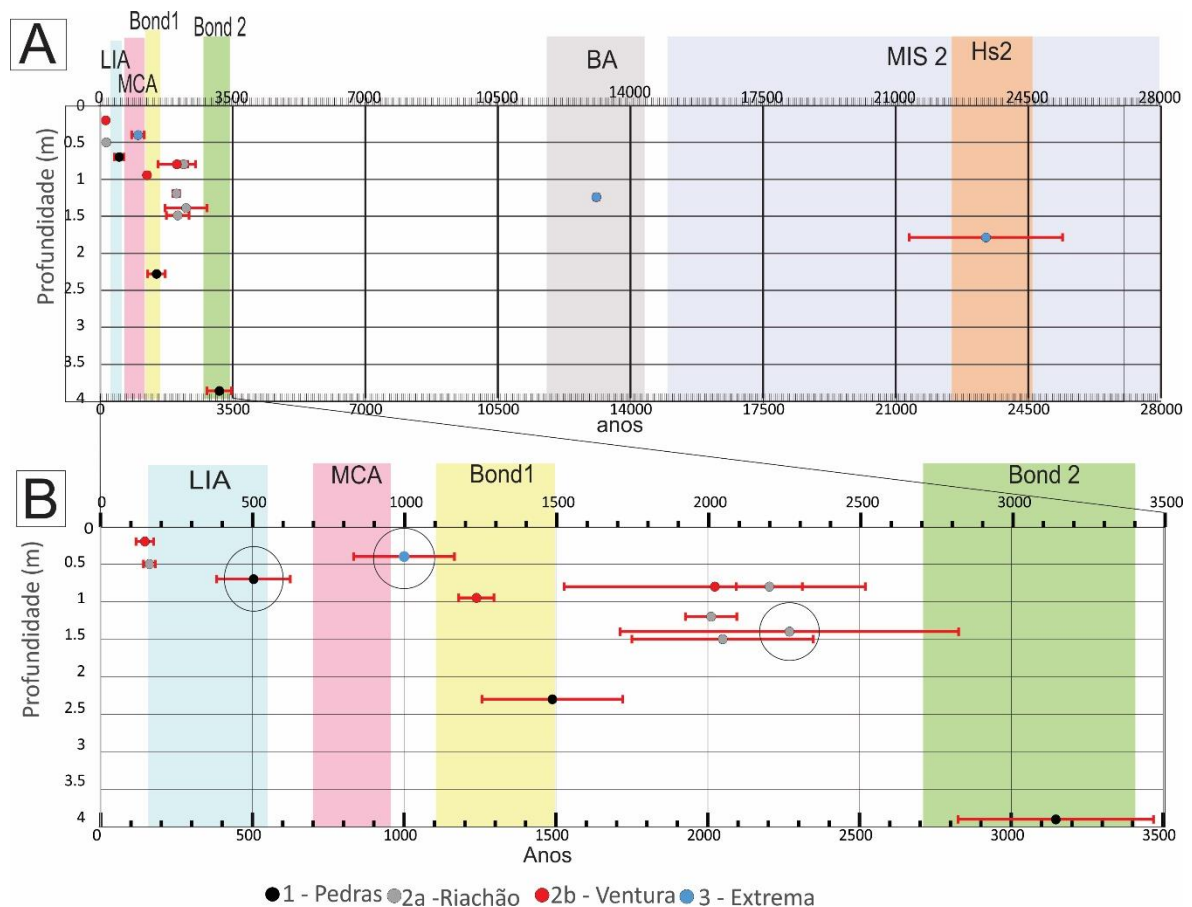


Figura 97 - Distribuição das idades (X) encontradas de acordo com a altura dos perfis (y) e os estágios e eventos climáticos referências para delimitação dos estágios e eventos: LIA (550-250 anos AP), Bølling-Allerød B-A (14.700 a 13000 anos) (STUMPF, 2019) MCA (1150 -600 cal AP) (OMUOMBO; WILLIAMSON; OLAGO, 2020) Bond 1 (1.1-1.5 mil anos AP), Bond 2 (2.6-3.4 mil anos AP), Bond 3 (3.9 – 4.6 mil anos AP) (STRÍKIS, 2015) MIS/EIM 2 (27000- 148000 anos A.P) (STRÍKIS, 2011) *Younger Dryas* (12.89-11.7 mil anos A.P.) *HSI* (18-14.69 mil anos A.P.) (WANG et al., 2004).

Os depósitos obtiveram idades até 23 mil anos, no entanto a maior concentração de idades ocorre no intervalo dos últimos 3500 anos ([Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura 7](#)). No período considerado Neo-Holoceno (de 4 a 0 ka), estudo de alta resolução com uso de espeleotemas no PETER apresentou durante este período os maiores valores de $\delta^{18}\text{O}$ ao longo do Holoceno, indicando um enfraquecimento do SMAS durante o Holoceno, evidenciando uma semelhança do registro e Terra Ronca com os registros da região do nordeste brasileiro (STUMPF, 2019). Eventos úmidos são observados sincronicamente ao registro da Lapa Grande, Norte de Minas Gerais (STRÍKIS, 2011) e de acordo com os eventos Bond 0, 1, 2 e 3, eventos úmidos mais proeminentes ocorrem em 3.2 e 0.7 ka (STUMPF, 2019). Nas áreas mais elevadas do planalto central Barberi (2001) sugere que a partir de 3.2 ka, instala-se condições climáticas semelhantes as atuais.

CONSIDERAÇÕES

Os processos envolvidos nas transições fluvio cársticas com abandono de vales secos analisados ocorreram no Quaternário. Os diversos dados utilizados apontam para deposições fluviais caracterizados por fluxos mais lentos, deposição arenosa com matéria orgânica e formação de tufa calcária, e fluxos mais intensos com transporte de seixos. Os dados geocronológicos contribuíram para a demarcação das fases deposicionais que ocorreram de forma razoavelmente contínua, principalmente desde os últimos 3500 anos, com hiatos deposicionais típicos de ambientes fluviais. Dessa forma, as deposições ocorreram tanto em períodos considerados realivamente mais secos e nos mais úmidos, ou seja, sem relação entre as deposições e os eventos climáticos. A geocronologia demarca os períodos da ocorrência das capturas fluviais durante o Holoceno, mais precisamente nos últimos 3 mil anos, em que estudos regionais sugerem a instalação de condições climáticas semelhantes a atual. Somente uma captura foi correspondente parcialmente a um evento climático (LIA), no caso o rio das Pedras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem imensamente o apoio dos órgãos ambientais Instituto Chico Mendes (ICMBio), Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB). Projeto 014/18 Compensação Espeleológica TCCE ICMBio / Vale Projeto “Susceptibilidade, hidrologia e geomorfologia cárstica aplicadas à conservação do patrimônio espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho - APANRV

REFERÊNCIAS

Allen, J.R.L., 1982. Sedimentary structures their character and physical basis, 2nd Ed, Clinician's Handbook Of Adult Behavioral Assessment. ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, New York.

Auler, A.S., Smart, P.L., Wang, X., Piló, L.B., Edwards, R.L., Cheng, H., 2009. Cyclic Sedimentation In Brazilian Caves: Mechanisms And Palaeoenvironmental Significance. *Geomorphology* 106, 142–153. Doi:10.1016/J.Gemorph.2008.09.020

Barberi, M., 2001. Paleoenvironmental Changes In The Cerrado Region Of The Central Plateau During The Late Quaternário: The Study Of Lagoa Bonita, DF, University Of São Paulo. Sao Paulo.

Benac, Č., Juračić, M., Matičec, D., Ružić, I., Pikelj, K., 2013. Fluviokarst And Classical Karst: Examples From The Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia). *Geomorphology* 184, 64–73. Doi:10.1016/J.Gemorph.2012.11.016

Bird, B.W., Abbott, M.B., Vuille, M., Rodbell, D.T., Stansell, N.D., Rosenmeier, M.F., 2011. A 2,300-Year-Long Annually Resolved Record Of The South American Summer Monsoon From The Peruvian Andes. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America* 108, 8583–8588. Doi:10.1073/Pnas.1003719108

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, 78–100. Doi:10.1016/J.Gemorph.2005.07.007

Carvalho, L.M.V., Jones, C., Liebmann, B., 2004. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, And Relationships With Intraseasonal To Interannual Activity

And Extreme Rainfall. *Journal Of Climate* 17, 88–108. Doi:10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2

Cassino, R.F., Ledru, M.P., Santos, R. De A., Favier, C., 2020. Vegetation And Fire Variability In The Central Cerrados (Brazil) During The Pleistocene-Holocene Transition Was Influenced By Oscillations In The SASM Boundary Belt. *Quaternary Science Reviews* 232, 106209. Doi:10.1016/J.Quascirev.2020.106209

Cristalli, S. P., 2006. Macrofitofosseis IN QUATERNARY LIMESTONE TUFTS OF NORTHERN BAHIA AS PALEOCLIMATIC INDICATORS. UNIVERSIDADE DE SAO PAULO.

Cruz, B.A.'S, 2012. Detailing The Geology Of The Carbonate Units Of The Bambuí Group In The Alvorada Do Norte Region, Goiás. UNIVERSITY OF BRASILIA.

Dias, R.L., Perez Filho, A., 2015. Geochronology Of River Terraces In The Corumbataí-Sp River Basin From Optically Stimulated Luminescence (OSL). *Brazilian Journal Of Geomorphology* 16. Doi:10.20502/Rbg.V16i2.644

Dinis, P.A., Garzanti, E., Hahn, A., Vermeesch, P., Cabral-Pinto, M., 2020. Weathering Indices The Climate Proxies. A Step Forward Based On Congo And SW African River Muds. *Earth-Science Reviews* 201, 103039. Doi:10.1016/J.Earscirev.2019.103039

Ferraz-Vicentini, K.R., Salgado-Laboriau, L.M.L., 1996. Palynological Analysis Of A Palm Swamp In Central Brazil. *Journal Of South American Earth Sciences* 9, 207–209.

Ford, D., Williams, P., 2007. *Karst Hydrogeology And Geomorphology*, 2nd Ed. Wiley, Chichester.

Ford, T.D., Pedley, H.M., 1996. A Review Of Tufa And Travertine Deposits Of The World. *Earth-Science Reviews* 41, 117–175. Doi:10.1016/S0012-8252(96)00030-X

Furley, P.A., 1999. The Nature And Diversity Of Neotropical Savanna Vegetation With Particular Reference To The Brazilian Cerrados. *Global Ecology And Biogeography* 8, 223–241. Doi:10.1046/J.1365-2699.1999.00142.X

Galbraith, R.F., Roberts, R.G., Laslett, G.M., Yoshida, H., Olley, J.M., 1999. Optical Dating Of Single And Multiple Grains Of Quartz From Jinmium Rock Shelter, Northern Australia: Part I, Experimental Design And Statistical Models. *Archaeometry* 41, 339–364. Doi:10.1111/J.1475-4754.1999.Tb00987.X

Gan, M.A., Kousky, V.E., Ropelewski, C.F., 2004. The South America Monsoon Circulation And Its Relationship To Rainfall Over West-Central Brazil. *Journal Of Climate* 17, 47–66. Doi:10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2

Garzanti, E., Resentini, A., 2016. Provenance Control On Chemical Indices Of Weathering (Taiwan River Sands). *Sedimentary Geology* 336, 81–95. Doi:10.1016/J.Sedgeo.2015.06.013

Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, G., 2011. Dose-Rate Conversion Factors: Update. *Ancient TL* 16, 37–50.

Jerin, T., Phillips, J., 2017. Local Efficiency In River Systems: Lessons From Icicle Bend. *Geomorphology* 282, 119–130. Doi:10.1016/J.Geomorph.2017.01.013

Ledru, M., 1993. Late Quaternary Environmental And Climatic Changes In Central Brazil. *Quaternary Research* 39, 9.

Melón, P., Alonso-Zarza, A.M., 2018. The Villaviciosa Tufa: A Scale Model For An Active Cool Water Tufa System, Guadalajara (Spain). *Facies* 64, 1–16. Doi:10.1007/S10347-017-0517-9

Miall, A.D., 1977. A Review Of The Braided River Depositional Environment. *Earth-Sciences Reviews* 13, 1–62.

Miall, A.D., 1985. Architectural-Element Analysis: A New Method Of Facies Analysis Applied To Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews Elsevier Science Publishers B.V* 22, 261–308. Doi:10.1016/0012-8252(85)90001-7

Monod, O., Kuzucuoulu, C., Okay, A.I., 2006. A Miocene Palaeovalley Network In The Western Taurus (Turkey). *Turkish Journal Of Earth Sciences* 15, 1–23.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000a. Luminescence Dating Of Quartz Using An Improved Single-Aliquot Regenerative-Dose Protocol. *Radiation Measurements* 32, 57–73.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000b. Luminescence Dating Of Quartz Using An Improved Single-Aliquot Regenerative-Dose Protocol. *Radiation Measurements* 32, 57–73. Doi:10.1016/S1350-4487(99)00253-X

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The Single Aliquot Regenerative Dose Protocol: Potential For Improvements In Reliability. *Radiation Measurements* 37, 377–381. Doi:10.1016/S1350-4487(03)00053-2

Novello, V.F., Cruz, F.W., Karmann, I., Burns, S.J., Strís, N.M., Vuille, M., Cheng, H., Lawrence Edwards, R., Santos, R. V., Frigo, E., Barreto, E.A.S., 2012. Multidecadal Climate Variability In Brazil's Northeast During The Last 3000 Years Based On Speleothem Isotope Records. *Geophysical Research Letters* 39, 1–6. Doi:10.1029/2012GL053936

Novello, V.F., Cruz, F.W., Vuille, M., Stríkis, N.M., Edwards, R.L., Cheng, H., Emerick, S., Paula, M.S. De, Li, X., Barreto, E.D.S., Karmann, I., Santos, R. V, 2017. A High-Resolution History Of The South American Monsoon From Last Glacial Maximum To The Holocene. *Nature Publishing Group* 1–8. Doi:10.1038/Srep44267

Novello, V.F., Cruz, F.W., Mcglue, M.M., Wong, C.I., Ward, B.M., Vuille, M., Santos, R.A., Jaqueto, P., Pessenda, L.C.R., Atorre, T., Ribeiro, L.M.A.L., Karmann, I., Barreto, E.S., Cheng, H., Edwards, R.L., Paula, M.S., Scholz, D., 2019. Vegetation And Environmental Changes In Tropical South America From The Last Glacial To The Holocene Documented By Multiple Cave Sediment Proxies. *Earth And Planetary Science Letters* 524, 115717. Doi:10.1016/J.Epsl.2019.115717

Oliveira, E.C. Oliveira, E.C. Master's Thesis 1–149.

Pedley, H.M., 1990. Classification And Environmental Models Of Cool Freshwater Tufas 68, 143–154.

Phillips, J.D., 2018. Historical Contingency In Fluviokarst Landscape Evolution. *Geomorphology* 303, 41–52. Doi:10.1016/J.Gemorph.2017.11.015

Phillips, J.D., Walls, M.D., 2004. Nonlinear Processes In Geophysics Flow Partitioning And Unstable Divergence In Fluviokarst Evolution In Central Kentucky. *Nonlinear Processes In Geophysics* 11, 371–381.

Prescott, J.R., Hutton, J.T., 1994. Cosmic Ray Contributions To Dose Rates For Luminescence And ESR Dating: Large Depths And Long-Term Time Variations. *Radiation Measurements* 23, 497–500. Doi:10.1016/1350-4487(94)90086-8

Reboita, M.S., Krusche, N., Ambrizzi, T., Rocha, R.P. Da, 2015. Understanding The Weather And Climate In South America. *Terrae Didatica* 8, 34. Doi:10.20396/Td.V8i1.8637425

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. Doi:10.1016/J.Quaint.2014.11.029

Sallun Filho, W., Karmann, I., Boggiani, P.C., Petri, S., Cristalli, P.D.S., Utida, G., 2009. The Deposition Of Quaternary Tufas In The State Of Mato Grosso Do Sul: Proposal For The Definition Of The Serra Da Bodoquena Formation. *Geology USP - Scientific Series* 9, 47–60.

Silva, V.B.S., Kousky, V.E., 2012. The South American Monsoon System: Climatology And Variability. *Modern Climatology* 123-152,. Doi:10.5772/38565

Soriano, M.A., Simón, J., 1995. Alluvial Dolines In The Central Ebro Basin, Spain: A Spatial And Developmental Hazard Analysis. *Geomorphology* 11, 295–309. Doi:10.1016/0169-555X(94)00066-Z

Stevaux, J.C., 2000. Climatic Events During The Late Pleistocene And Holocene In The Upper Parana River: Correlation With NE Argentina And South-Central Brazil. *Quaternary International* 72, 73–85. Doi:10.1016/S1040-6182(00)00023-9

Strikis, N.M., 2011. Paleopluviosity in the north of minas gerais during the late glacial and holoceno based on speleotemas records. University of São Paulo.

Strikis, N.M., 2015. Activity Of The South American Monsoon System In The Central Part Of Brazil During The Last Glacial Period From The Application Of Oxygen Isotopes In Speleothemes. Institute Of Geosciences -USP, São Paulo.

Strikis, N.M., Cruz, F.W., Cheng, H., Karmann, I., Edwards, R.L., Vuille, M., Wang, X., Paula, M.S. De, Novello, V.F., Auler, A.S., 2011. Abrupt Variations In South American Monsoon Rainfall During The Holocene Based On A Speleothem Record From Central-Eastern Brazil. *Geology* 39, 1075–1078. Doi:10.1130/G32098.1

Stumpf, C.F., 2019. Variability Of The Monão System Of South America During The Late Pleistocene And Holocene From Speleothemes Of The St. Matthew Cave (PETER-GO). University Of Brasilia-Unb.

Travassos, L.E.P., 2019. Principles Of Kartology And Karst Geomorphology. Chico Mendes Institute For Biodiversity Conservation, Brasília.

Utida, G., 2016. Paleoenvironmental And Paleoclimatic Variations During The Holocene In Rio Grande Do Norte From The Study Of Geochemical Records Of Sediments Of Lakes And Caves 184.

Valente, C.R., Latrubesse, E.M., 2012. Fluvial Archive Of Peculiar Avulsive Fluvial Patterns In The Largest Quaternary Intracratonic Basin Of Tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 356–357, 62–74. Doi:10.1016/J.Palaeo.2011.10.002

Yang, X., Zhang, Q., Li, X., Jia, X., Wei, X., Shao, M., 2015. Determination Of Soil Texture By Laser Diffraction Method. *Soil Science Society Of America Journal* 79, 1556–1566. Doi:10.2136/Sssaj2015.04.0164

4.2 RECONSTRUÇÃO DA PAISAGEM A PARTIR DE SEDIMENTOS FLUVIAIS DE VALES SECOS ABANDONADOS DEVIDO A DINÂMICA FLUVIOCÁRSTICA NO CERRADO DO BRASIL CENTRAL

RESUMO

Este estudo buscou por meio da dinâmica deposicional analisada em vales secos resultantes da transição fluviocárstica, conhecer a dinâmica evolutiva e deposicional dos vales secos no sistema cárstico da Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho. Os sedimentos foram submetidos a diversas análises como estratigrafia, geoquímica, mineralogia, granulometria, isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$), além de geocronologia com radiocarbono e LOE. Três vales foram analisados, apresentando evidências de que são de fato os vales pertencentes aos rios capturados por meio de sumidouros para o ambiente subterrâneo, exibindo sedimentos típicos de ambientes fluviais, com intercalação deposicional de acordo com as características ambientais. Uma proposta evolutiva paisagem foi construída para cada área, considerando seus processos deposicionais, sendo que no vale do rio das Pedras foi dividido em três fases: 3 mil anos quando o rio percorria o vale com indícios de fluxo lântico, uma segunda fase com fluxo com maior capacidade de transporte em 1.500 anos e a última fase a 500 anos com menos capacidade de transporte e marca o final da deposição fluvial. O rio Ventura também apresentou três fases deposicionais, o primeiro, por volta 2 mil anos, maior fluxo e capacidade de transporte, a segunda fase com depósito de tufa calcária típica de ambiente lântico, possivelmente parte do fluxo havia sido capturado, e o último estágio a partir de 1200 anos com a captura total. A reconstrução do vale do rio Extrema obteve a primeira fase deposicional, 23 mil anos, com fluxo provavelmente lântico, porém com alguns eventos extremos, a segunda, entorno de 13 mil anos permanece características de fluxo lento e por fim, em mil anos a transição fluvial e o abandono do vale. Percebeu-se que existem diferenças significativas das fases deposicionais nos perfis analisados e que as idades dos depósitos e das capturas estão de acordo com a distância dos vales da escarpa erosiva da Serra Geral de Goiás.

Palavras –Chave: depósitos fluviais; vales secos; carste, paisagem

LANDSCAPE RECONSTRUCTION FROM FLUVIAL SEDIMENTS OF ABANDONED DRY VALLEYS DUE TO FLUVIOCHARSTIC DYNAMICS IN THE CERRADO OF CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT

This study sought, through the dynamics of positioning in dry valleys resulting from the fluviocharstic transition, to know the evolutionary and depositional dynamics of dry valleys in the karst system of the Nascentes do Rio Vermelho Environmental Protection Area (APANRV). Several sets of geochronology with radiocarbon stratigraphy, mineralogy, granulometry, as well as geochronology with radiocarbon C14 and LOE were selected. Three valleys were analyzed, presenting studies of characteristics such as the valleys belonging to the rivers inserted for the environment of intercalary environment according to environmental characteristics typical of fluvial environments. A landscape was built for each area, considering its flows of ideas, a second evolutionary phase in three phases: 3 thousand years when the lentic flow valleys it with the flow processes with the greatest transport capacity in 1,500 years and the last phase at 500 years with less transport capacity and marks the end of the river position. The flow of the Ventura River presented three phases, the, for three 2,000-year loops, the largest and the first phase with transport capacity, the second limestone phase typical of the school environment, possibly part of the deposit flow, and the last stage it was also from 1200 years old with full capture. Years of years of the Extrema river valley, 23 thousand years, with occurrence of extreme flow, however, with some extreme flow events of 13 thousand, flow characteristics remain and end of second, in thousand, the fluvial transition and abandonment of the valley. There are significant differences in the depositional phases in the analyzed analyzes and the ages of deposits and captures according to the distance from the valleys of the erosive escarpment of Serra Geral de Goiás.

Key words: fluvial deposits; dry valleys, karst, landscape

INTRODUÇÃO

A transição Pleistoceno-Holoceno tem sido foco de muitas pesquisas, pois permite conhecer importantes estágios, eventos climáticos, biológicos, extinções e a dispersão do homem sobre a superfície terrestre (STRÍKIS E NOVELLO, 2014). Compreender a dinâmica da Terra e, principalmente, de sua paisagem, se mostra como tarefa complexa, devido aos diversos fatores que agem ao longo do tempo sobre as diferentes formas. Deste modo, estudos se mostram necessários para ampliar essa compreensão, principalmente quando relacionada às áreas com dinâmica complexa, como as cársticas.

A região cárstica estudada apresenta condições ideais para estudo do sistema fluviocárstico e mudanças paleoambientais. A evolução dos sistemas cársticos envolve diversos fatores como a litologia e estrutura das rochas envolvidas e o clima (DE WAELE; PLAN; AUDRA, 2009). Podendo ainda ser classificados em três grupos principais, sendo os físicos (solubilidade; litologia, estruturas) hidrológicos, além desses a ação antrópica (Soriano; Simón, 1995). Dentro do grupo físico encontra-se o contexto estrutural que é de suma importância no desenvolvimento do sistema cárstico, pois, em busca do melhor direcionamento a dissolução ocorre ao longo dos caminhos providos pela estrutura (Ford; Williams, 1989).

Esta inter-relação fluviocárstica permite o abandono de vales quando ocorre a captura do rio, desviando o fluxo superficial para o sistema cárstico (PHILLIPS e WALLS, 2004). Desta forma, os vales onde percorria o rio anteriormente possuem capacidade de resguardar os sedimentos fluviais do período anterior ao colapso, demonstrando as características do paleocanal. Estudos de paleocanais e depósito em terraços, devido à ocorrência de sumidouros ou colapsos, têm demonstrado que estes depósitos podem ser arquivos valiosos para estudo de eventos passados (SOARES et al., 2010; GUTIÉRREZ et al., 2017b).

A interpretação de registros aluviais apresenta um grande desafio, pois a natureza da atividade fluvial determina que apenas fragmentos dos componentes depositados sobrevivem para posterior interpretação (LEWIN E MACKLIN, 2003). No entanto, o ambiente cárstico pode oferecer formas de arquivos que resguardam sedimentos passíveis de inferir idades e que possibilitam interpretar a dinâmica da paisagem (GUTIÉRREZ et al., 2017a).

Tais formas vêm sendo consideradas arquivos referentes à estágios e eventos passados, relacionados as dinâmicas deposicionais, climáticas, tectônicas, além da interferência humana nos ambientes terrestres. Pertencente a geomorfologia fluvial, os

paleocanais são depósitos de antigos sistemas fluviais que podem estar parcialmente ou totalmente soterrados por sedimentos mais recentes.

A identificação de tais feições no ambiente cárstico perpassa o reconhecimento do sistema de drenagem e seu entorno, que fornecem evidências da existência de possíveis paleocanais adjacentes. Desta forma, pode-se determinar que os vales são de fato correspondentes aos antigos canais dos rios, se baseia nas seguintes evidências: localização, alinhamento geral e as características consistentes com um caminho anterior do rio. Este último demonstra que o vale está claramente alinhado ao longo do eixo a jusante e que é inciso no substrato rochoso dissecado pelos rios nesta formação (JERIN; PHILLIPS, 2017).

Nesta pesquisa, realizou-se uma investigação sistemática que consiste primeiramente no reconhecimento de tais formas com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) e visitas técnicas, seguida da geração de dados sedimentológicos, ou seja, descrições morfológicas detalhadas de perfis estratigráficos, com base na litologia, estrutura e conteúdo fóssil (ROSSETTI; GÓES, 2008). Ademais realizou-se análise geocronológica compreendendo datação por radiocarbono (^{14}C) e Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), bem como granulometria, morfoscopia, isótopos estáveis e geoquímica.

Este estudo buscou por meio da análise da dinâmica deposicional dos vales secos resultantes da transição fluvio cárstica, conhecer a dinâmica evolutiva do sistema fluvio cárstico relacionado com a evolução regional da paisagem.

Configurações Geográficas

Os vales secos abandonados estudados estão inseridos geograficamente na área cárstica no cerrado do Brasil central, a oeste do cráton São Francisco mais precisamente na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) (Figura 1-A). Os vales estão associados aos rios das Pedras (1), Ventura (2) e Extrema (3), que pertencem bacia do Rio Vermelho, que por sua vez pertence a bacia hidrográfica do rio Corrente afluente do rio Tocantins (Figura 1-B).

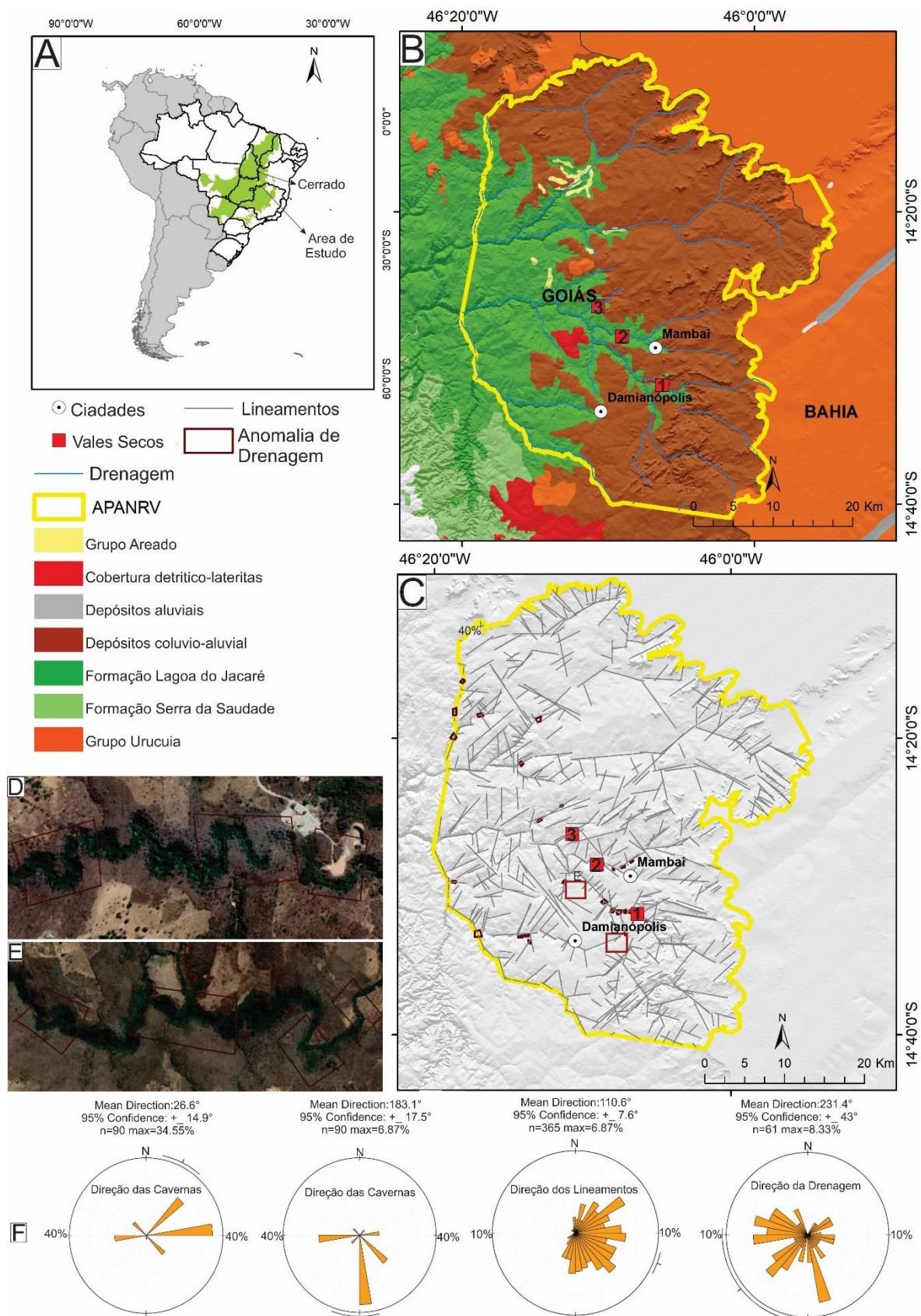


Figura 104— A) Localização da área de estudo no contexto da América do Sul. Configuração geológica da área de B) 1) Paleovale Rio das Pedras 2) Paleovale do Rio Ventura 3) Paleovale do Rio Extrema. C) Contexto dos

lineamentos estruturais. D e E) Anomalias de drenagem da área. F) direção preferencial das cavernas lineamentos e drenagem

Fonte: SIG- Goiás-Superintendência de Geologia e Mining SIG (2006) Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Goiás Escala 1:500.000

A figura (1 C) retrata os lineamentos estruturais da área que foram correlacionadas com o direcionamento preferencial das cavernas e da rede de drenagem (Figura 1 F). Na APANRV é possível observar por meio de imagens de satélite anomalias de drenagem (Figura 1 D/E), ou seja mudanças bruscas no direcionamento dos rios como cotovelo de drenagem (PANIZZA; FONSECA, 2011). Fatores como a litologia, estrutura das rochas e o clima estão diretamente relacionados a evolução dos sistemas cársticos (DE WAELE; PLAN; AUDRA, 2009; FORD; WILLIAMS, 2007; SORIANO; SIMÓN, 1995). Neste sentido, ressalta-se que o relevo cárstico está associado as rochas carbonáticas (Neoproterozoicas) do Grupo Bambuí, que representa sequência pelítico-carbonatada depositados em ambiente de sedimentação exclusivamente marinho, compreendendo da base para o topo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (CRUZ, 2012b). A Formação Lagoa do Jacaré, principal unidade aflorante na área, apresenta calcários, dolomitos, margas e siltitos. Seus estratos correspondem a uma associação de rochas pelito-carbonáticas compostas por calcários oolíticos e psolíticos, cinza escuros, fétidos, siltitos e margas (ALVARENGA et al., 2007; CRUZ, 2012b).

Os sedimentos do Grupo Bambuí são recobertos discordantemente pelos arenitos avermelhados finos a médios do Grupo Urucuia, que ocorre na forma de morros testemunhos. Apesar de não haver bons afloramentos, pode-se afirmar que se trata de arenitos da Formação Posse, a partir da observação de estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, estruturas de queda e avalanche de grãos, bimodalidade granulométrica e presença de grãos esféricos e polidos. Sedimentos arenosos também são atribuídos à Formação Chapadão, unidade essencialmente composta por sedimentos arenosos inconsolidados de natureza detrítica e mais localmente laterítica, além de amplas áreas recobrimdo todas as rochas descritas anteriormente. Correspondem à colúvios, elúvios e alúvios arenosos, desestruturados, não coesos e sem cimentos. A oeste da Serra Geral de Goiás esta unidade corresponde aos materiais arenosos espalhados a partir da erosão regressiva dos arenitos do Grupo Urucuia (CRUZ, 2012b) (Figura 1-B)

A geologia local permite a ocorrência de feições cársticas, e o fluviocarste está definido pela ocorrência de vales escarpados profundos onde muitas vezes os fluxos fluviais

tornam-se subterrâneos. Ao longo das drenagens menores, o recuo dos vales também tende à verticalidade, com afloramentos laterais descontínuos com a presença de segmentos de vale cego e vale abandonado, múltiplos pontos de sumidouro e ressurgências (MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

Para entender melhor as relações entre a dinâmica cárstica se faz necessário a observância do contexto estrutural, considerando a identificação dos lineamentos identificados no terreno ou imagens de sensores remotos, podendo estar associados estruturas de subsuperfície, principalmente nas linhas de fraqueza (LEONARDI BRICALLI, 2016). O estudo sobre a rede de drenagem é uma das principais formas de indicar anomalias vinculo estrutural e de origem tectônica (RO CHARLTON, 2008). De acordo com Gontijo, (1999) essas mudanças bruscas nos canais, ou seja, anomalias locais de drenagem além de ser uma das feições que apontam possíveis controles tectônicos. Podendo ser considerados anomalias os cotovelos de drenagem; captura fluvial; mudança brusca do padrão do canal; drenagem muito retilínea sobre provável fratura e; meandro local são alguns dos tipos de anomalias de drenagem. As anomalias podem ser relacionadas com a orientação da rede de drenagem, lineamentos, afim de analisar a influência na neotectônica e morfotectônica e conseqüentemente na evolução do relevo (COX, 1994; HOLBROOK; SCHUMM, 1999; HOWARD, 1967; SUMMERFIELD, 1991).

O clima da região é considerado como tropical semi-úmido com características sazonal, dessa forma possui um período chuvoso que ocorre normalmente de outubro a março e dos meses de abril a setembro corresponde ao período seco (MOTTA, 2003). De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação da cidade de Posse mais próxima da área de estudo. A região os meses de junho, julho e agosto corresponde ao inverno a precipitação é inferior a 15 mm. No entanto no verão, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro ocorrem os maiores índices pluviométricos, superando os 700 mm de chuva média mensal (STUMPF, 2019). O clima úmido favorece a dissolução e carstificação, viabilizando a formação de espaços subterrâneos e colapsos, potencializando o escoamento superficial e fluvial modificando a topografia (PHILLIPS, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Mapeamento dos depósitos superficiais fluviais

Inicialmente para identificação dos paleovales foi construído um banco de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (*SIGs*), permitindo comparar imagens

provenientes de *Softwares* como ArcGis 10.1 (*World Imagery*) e Google Earth. Isso possibilitou observar imagens em diferentes escalas e em diversas épocas, para acompanhar presença de vegetação associada à hidrografia e padrões do relevo. A fim de interpretar as imagens de satélite, contamos com os dados disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) como imagem de radar (*Alos Palsar*) permitindo elaborar o Modelo Digital de Elevação (MDE) das áreas e ainda gerar curvas de nível, mapas de declividade e altitude. Observou-se certas inconformidades de altitudes ao longo das redes de drenagem, indicando ocorrências de formas cársticas.

Utilizando as técnicas descritas identificou-se oito vales secos abandonados que num segundo momento foram verificados em campo para checagem de dados com auxílio do *software Avenza Maps*. A seleção dos vales com potencial de estudos geocronológicos e reconstrução paleoambiental considerou critérios como: o sistema possivelmente envolvido na formação dos depósitos, a geração dos sedimentos considerando a vazão do curso d'água e a capacidade local de resguardá-los, além da distribuição homogênea na APANRV. Desta forma foi possível selecionar três vales secos demonstrados a seguir (Figura 2-1/2/3), que serão referidos como: vale do rio das Pedras -1, vale do rio Ventura 2(a, b), e vale 3 do rio Extrema.

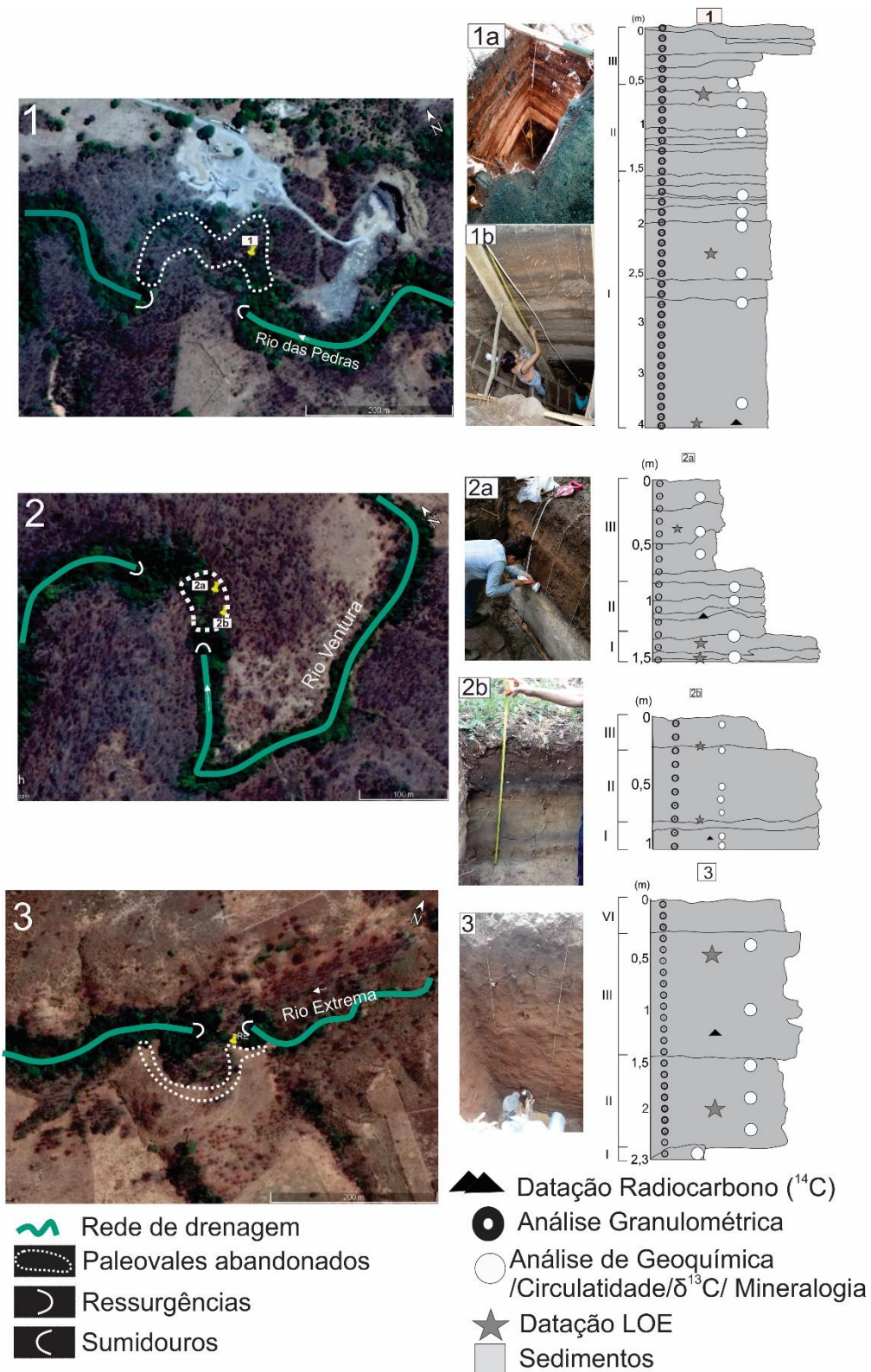


Figura 112 - Delimitação das áreas dos vales secos, fotos e representação dos perfis e coleta 1) rio das Pedras (a/b). 2) rio Ventura (a/b), e 3) rio Extrema 1a) fotografia de cima da trincheira do rio das Pedras a 1b) trata-se da descrição do perfil. 2a) registro fotográfico da descrição do perfil e 2b) demonstração da espessura do segundo perfil próximo ao sumidouro. 3) fotografia do perfil no momento da coleta para análise LOE. Ao lado os perfis contendo a localização de cada análise realizada.

Trabalhos de campo e Amostragens

Foram realizados três trabalhos de campo entre 2018 e 2019. A partir da segunda expedição, definiu-se os vales secos a serem estudados - (1) rio das Pedras, (2) rio Ventura (3) rio Extrema, características deposicionais foram descritas e amostradas através de trincheiras abertas nos vales fluviais abandonados em sessões denominadas 1, 2a 2b e 3 (Figura 2). As amostras passaram por pré-tratamento no Laboratório de Geoquímica/IG/UnB para evitar a contaminação e garantir a precisão das análises laboratoriais (TRUMBORE, 2000). Para investigar os sedimentos ligados ao sistema fluvio cárstico na APANRV, foram analisados três depósitos fluviais em quatro perfis, totalizando 94 amostras granulométricas, coletadas de 10 em 10 cm, e 28 amostras de geoquímica, mineralogia, morfoscopia, índice de circularidade e $\delta^{13}\text{C}$ separadas por estratos. Dez amostras geocronológicas foram realizadas sendo três de radiocarbono efetuadas em fragmentos de carvão e carapaças de moluscos encontrados nos perfis, e as demais submetidas ao método de datação Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). Para obter amostras representativas da transição fluvio cárstica, foram efetuadas coletas em perfis nos vales abandonados existentes em três rios importantes pertencentes a bacia do rio Vermelho.

A análise faciológica baseou-se na classificação de facies sedimentares do Miall, (1985) e as fácies de tufa calcária e os ambientes de sedimentação considerou os modelos ambientais propostos por Carthew; Taylor; Drysdale, (2006), os tipos de facies identificadas foram apresentadas a seguir.

Fácies (Códigos)	Fácies	Interpretação
<i>Sh</i>	areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação	fluxo planar (crítico)
<i>C</i>	carvão; argilas orgânicas; plantas, filmes de argila, lama carbonática	depósitos de brejos
<i>Fl</i>	areia, silte, argila; laminação fina, ripples muito pequena	depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente (waning floods)
<i>Fsm</i>	silte, argila; maciço	depósitos de canais abandonados ou brejos
<i>Fm</i>	argila, silte; maciço, gretas de dessecação	canais abandonados ou depósitos de cobertura
<i>Gh</i>	cascalho suportado pelos clastos e toscamente estratificado; estratos horizontais, imbricamento dos seixos	formas de leito longitudinais; depósitos residuais
<i>SWZ</i> <i>FLZ</i>	fácies de concha tufa autóctone que ocorre em associação com a camada radicular macrofítica ou fácies microdetrital	contêm conchas de moluscos em posição vital, ocorrem em piscinas e poços.
<i>SWZ</i>	Fácies de jangada de calcita: consiste em delgado crostas de calcita flutuantes Fácies microdetrital compreende lama micrítica, provavelmente produzida por cianobactérias, podendo conter jangadas de calcita afundadas.	são restritas a zonas de água parada em piscinas e poços, comuns na estação seca, pois as inundações removem as jangadas de superfície e lama da base do canal.

Quadro: Modelos de fácies propostos por Miall, (1985) e por Carthew; Taylor; Drysdale, (2006).

Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)

A datação por LOE foi realizada em grãos de areia de quartzo no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGaL) no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). A preparação das alíquotas de quartzo envolveu: 1- Peneiramento a úmido para aquisição da fração 180-250 μm ; 2- ataque com H_2O_2 para eliminação de matéria orgânica, ataque com HCl 10% para eliminação de carbonatos; 3- separação densimétrica de minerais pesados e leves ($\text{LMT} = 2.75 \text{ g/cm}^3$) e separação de quartzo ($\text{LMT} = 2.62 \text{ g/cm}^3$); 4- ataque com HF 38% por 40 min para eliminação da camada externa dos grãos de quartzo e feldspatos remanescentes. Em seguida foram realizadas as medições em leitores Risø TL/OSL DA-20 equipados com fonte de radiação beta ($^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$) com taxas de dose de 0.0756 e 0.118 Gy/s. Doses equivalentes foram obtidas através do protocolo SAR (*Single-Aliquot Regenerative-Dose*) desenvolvido por Murray e Wintle (2000), em alíquotas multigrãos de quartzo.

Foi realizado um teste de recuperação da dose com seis alíquotas de quartzo, com temperatura de pré-aquecimento de 200 ° C e uma dose dada de 6,7 Gy. Apenas alíquotas com valores de razão de reciclagem entre 0,90 e 1,10, recuperação inferior a 5% e sinal insignificante de feldspato testado por estimulação infravermelha foram usadas nos cálculos de dose equivalente (MURRAY; WINTLE, 2000b, 2003). Doses equivalentes foram calculadas usando o modelo de idade central (GALBRAITH et al., 1999).

As concentrações de radionuclídeos para os cálculos da taxa de dose foram determinadas por espectrometria de raios gama, usando um detector de germânio de alta pureza (HPGe) que tinha uma eficiência relativa de 55% e resolução de energia de 2,1 keV e envolto em um escudo de fundo ultralow (Canberra Industries). Cada amostra foi seca e embalada em recipientes de plástico selados e armazenada por pelo menos 28 dias para permitir que o rádio alcance o equilíbrio com seus radionuclídeos originais antes da medição da espectrometria gama. As taxas de dose de radiação beta e gama foram determinadas utilizando as concentrações de radionuclídeos (U, Th e K) e fatores de conversão (GUÉRIN; MERCIER; ADAMIEC, 2011). A saturação da água foi determinada pela razão entre o peso da água e o peso seco da amostra. A contribuição da taxa de dose cósmica foi calculada usando a profundidade, elevação, latitude e longitude da amostra, conforme descrito por (PRESCOTT; HUTTON, 1994).

Geocronologia de Radiocarbono

A datação de radiocarbono (^{14}C) fora realizada em fragmentos de carvão extraídos em cada um dos perfis e encaminhados para o Laboratório Beta Analytic em Miami na Flórida, que utilizou o método espectrometria de massas com aceleradores (EMA). Neste método, o conteúdo de carbono 14 é diretamente medido em relação ao carbono 12 e carbono 13 presentes. Além disso, não conta partículas beta, mas o número de átomos de carbono presentes na amostra e a proporção dos isótopos. A calibração dos resultados conta com o método matemático que ajusta a idade convencional por radiocarbono, para então refinar, estatisticamente, a “probabilidade” de uma faixa de calibração em relação a outra dentro das probabilidades de 95,4 e 68,2. Esse método é conhecido como o método de faixa de densidade de alta probabilidade (*HPD – high-probability density*).

Morfoscopia

A morfoscopia para obter a forma e esfericidade dos grãos foi realizada junto a ACILWEBER laboratório analítico, com uso do equipamento Bettersizer S3PLUS e aplicação do método de análise *Fraunhofer* – Imagem, que consiste em seis etapas: 1. Inserir os dados da amostra; 2. Medir o valor do branco (Observar a obstrução e verificar os lasers); 3. Adicionar a amostra diretamente na cuba analítica, com agitação de 1600rpm e ultrassom (50W); 4. Acionar as câmeras (0,5x e 10x) para maior faixa analítica; 5. Aguardar por 2 minutos a coleta de imagens; 6. Após a análise, gerar relatórios pedidos – Tamanho de partícula e Circularidade.

Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada nas amostras coletadas de dez em dez centímetros nos perfis. Para determinar a areia grossa e média, se fez necessária a pré-preparação das porções envolvendo primeiramente a separação de 10 gramas das amostras para passar em peneiras de 20cm de diâmetro e malhas de 2mm e 1mm (terra fina seca ao ar - TFSA), destorroando as amostras manualmente. O restante do material de tamanho inferior a 1mm foi submetido a técnica de Difração Laser utilizando LALLS – *Low Angle Laser Light Scattering* - equipamento *Betterzise ST* (YANG et al., 2015).

As amostras separadas para o processamento no Granulômetro foram submetidas ao procedimento de eliminação da Matéria Orgânica (MO), com adição de água destilada para umedecer a amostra e acréscimo 05 ml de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2). Para acelerar o processo de queima da matéria orgânica, ocorreu o aquecimento das amostras em meio líquido, em placa aquecedora a 50°C , até cessar a reação. Quando finalizada, adicionou-se o

dobro do volume em água destilada e aqueceu-se a amostra à 100°C, no intuito de eliminar o peróxido de hidrogênio. Para dispersar os sedimentos em cada amostra, acrescentou-se 6mg do dispersante Pirofosfato de Sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e se cobriu a amostra com água. Fez-se necessário, a inserção das amostras na banheira de ultrassom em meio líquido por 1 hora, no mínimo, a 50W e, por fim, depositadas no granulômetro *Bettersize* ST. Tais procedimentos foram realizados no Laboratório de Geoquímica e Água (LAGEq) na Universidade de Brasília-UnB.

Os resultados obtidos pela granulometria foram tabulados para geração na diagrafia dos perfis. Para a classificação granulométrica (diâmetro maior) dos fragmentos de sedimentos clásticos, dos mais finos para os mais grossos, foi utilizada a escala logarítmica de *Wentworth*: Argila <0,004, Silte 0,004-0,062, Areia 0,062-2,0 e Grânulo >2,0.

Geoquímica

As análises químicas foram realizadas para determinação da porcentagem correspondente aos óxidos existentes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , Mn_2O_4 , P_2O_5 e perda ao fogo-PF) por espectrometria de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), com intuito principal de caracterizar os minerais primários e secundários. As análises químicas foram realizadas em cooperação com o Laboratório de Geoquímica e água/IG/UnB. As leituras foram realizadas através do espectrômetro de modelo ICP-OES *dualview* 5100 AGILENT.

A preparação física das amostras envolveu a secagem delas (naturalmente), seguida da moagem dos sedimentos com auxílio do moinho de ágata. Cada uma fora devidamente identificada e armazenada em recipientes individuais de modo a obter uma amostra para estudo geoquímico.

Os dados geoquímicos foram analisados utilizando a técnica Análise de Componentes Principais (ACP) ou do inglês *Principal Component Analysis* (PCA) que consiste na técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância baseada nas combinações lineares das variáveis originais. Ademais, é normalmente utilizada para analisar inter-relações entre um conjunto de variáveis explicando-as em termos de suas dimensões inerentes (componentes). Tendo em vista agrupar informações das variáveis em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com menor perda possível de informações (HONGYU; JORGE; JUNIOR, 2015; MOURA et al., 2006).

Mineralogia (raio-x)

A composição mineralógica dos sedimentos foi medida por Difractometria de Raio X (DRX) no laboratório Difractometria de Raio X da Universidade de Brasília em análise de amostra total (em pó) correspondentes a cada estrato dos perfis foram compactadas em um porta amostras de vidro próprio do difratômetro com o auxílio de uma lâmina de vidro simples em seguida inseridas no slot de porta amostras do difratômetro. Os procedimentos foram realizados no equipamento difratômetro um *Rigaku* Ultima IV, utilizando os parâmetros de análise: Intervalo de 2 à 60°; Velocidade de 5°/min Passo de 0,05°. Para análise e interpretação do difratograma utilizou-se o software JADE 9 com banco de dados ICDD pdf-2 e pdf-4. Esta técnica permite identificar os minerais presentes nas frações analisadas.

Análise Isótopos Estáveis ($\delta^{13}\text{C}$)

As amostras de sedimentos foram preparadas utilizando entre 1 – 100 mg de sedimento em cada cápsula de estanho (dependendo do tipo de sedimento). Cada amostra foi medida no sistema EA-IRMS do LARA, de fabricação da *Thermo Fisher Scientific Co.* Este é composto de um FlashEA2000, um amostrador automático modelo MAS200R com capacidade de 32 amostras, uma interface universal ConFlo IV, que conecta ao IRMS modelo DELTA V *Advantage*.

A fim de retirar o carbono inorgânico, foi feito um tratamento químico da amostra acidificando com HCl. O procedimento foi acidificar 3g de amostra com 5ml de HCl (10%), descansar 24 horas, adicionar mais 2ml de HCl (10%), caso ainda esteja borbulhando, repete-se a primeira parte. Caso não esteja mais borbulhando, a amostra é lavada 3 vezes utilizando água deionizada e centrifugando a 3000 rpm por 10 min. Após isso, a amostra é seca à 60°C. Com as amostras secas, ocorre a pesagem e encapsulamento em cadinho de estanho para a análise. Os dados reportados são as medidas de porcentagem de carbono e $\delta^{13}\text{C}$ de cada amostra, bem como seu erro associado a medida. Das amostras apresentadas, apenas 3 delas (FA50, FA60 e FA80), precisaram passar pela descarbonatação 3 vezes.

Medidas que apresentaram sinal abaixo do limite de confiabilidade ou muito acima do sinal de referência foram reanalisadas, a fim de proporcionar melhor confiabilidade dos resultados.

Para a certificação das medidas e correção do valor isotópico, foram usados os seguintes materiais de referência: Cafeína (IAEA-600) e Grafite (USGS24), fornecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Como controle de qualidade, foi

utilizado um sedimento (IVA33802174) com nome Soil (Low Organic). A análise no EA-IRMS seguiu a seguinte ordem: 1 Padrão de controle interno; 2 Capsula de estanho vazia; 3 Padrões Internacionais; 4 Controle de qualidade; 5 Primeiro grupo de amostras; 6 Controle de qualidade; 7 Segundo grupo de amostras; 8 Controle de qualidade; 9 Padrões internacionais

O EA-IRMS foi configurado para gerar valores de $\delta^{13}\text{C}$ comparando os picos do gás de referência com a amplitude gerada pela amostra. Porém, esse valor é corrigido a partir da reta de calibração originada dos materiais de referência. Estes materiais são selecionados para que seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ compreendam os respectivos valores a serem determinados para as amostras de óleo. Levando em consideração o desvio padrão encontrado na matriz das amostras, temos que o erro das medidas é ± 0.20 .

RESULTADOS

Caracterização dos depósitos sedimentares

A dinâmica dos rios estudados que são importantes afluentes do Rio Vermelho fora avaliada observando imagens históricas de satélite, de mapas de altitude, declividade, geologia, estrutural além da morfologia e as características deposicionais locais. Nestes cenários, apresentam formas típicas de vales fluviais, no entanto, sem fluxo d'água. A disponibilidade de sedimentos contidos nesses vales possibilitou a aplicação de um estudo com múltiplas análises, cujos resultados revelaram mudanças significativas entre os sistemas deposicionais nos vales com períodos distintos de transição fluvio cárstica, ou seja, quando os rios deixaram de ser superficiais e passaram para o sistema subterrâneo por meio de sumidouros. Apesar da ocorrência de águas pluviais durante períodos de alta precipitação com recebimento de materiais coluvionais, os vales conseguiram resguardar sedimentos fluviais anteriores a captura dos rios.

O abandono de vales devido à ocorrência de sumidouros que capturam redes de drenagem superficial transferindo para o sistema subterrâneo - são comuns em ambientes cársticos. Desta forma, com utilização dos dados cartográficos associados aos trabalhos de campo foi possível a identificação de vales secos, que resguardavam sedimentos fluviais dos paleocanais.

O vale abandonado pelo rio das Pedras ocorre em razão da formação de uma passagem (abertura) para o interior de uma caverna que atualmente encontra com parte exposta na superfície, permitindo a transferência do fluxo superficial para subterrâneo, uma

vez que o rio normalmente busca um caminho mais eficiente (JERIN; PHILLIPS, 2017; PHILLIPS, 2018). Assim, permite o abandono de parte do vale com uma média de 200 metros de comprimento e 30 metros de largura. Após a passagem, o rio retorna novamente ao seu curso superficial anterior após 130 metros. Devido a entrada restrita do sumidouro, quando há aumento no volume de água, ocorre um desvio de parte do fluxo pelo curso anterior. A caracterização do ambiente deposicional permitiu identificar estratos típicos de ambientes fluviais com diferentes fases que ocorreram até o momento da transição fluvicárstica.

O segundo vale abandonado estudado foi identificado a montante de uma dolina, que se formou na calha do rio Ventura, cujo colapso transferiu o fluxo para o interior de uma caverna pela qual o rio percorre atualmente. Desta forma, formou-se o paleovale abandonado com cerca 30 metros de largura e 50 metros de comprimento, que termina por conta da existência de um declive acentuado, cuja mudança do nível de base possivelmente formava uma cachoeira antes da captura do rio pelo sumidouro, tendo em vista a ressurgência do rio a 100 metros de distância desse local. O vale suspenso abandonado, apesar de possuir praticamente o mesmo nível de base do rio atual, conseguiu resguardar sedimentos anteriores ao evento que foi observado por meio da caracterização do ambiente deposicional do terraço. Este depósito fluvial está associado à Cachoeira do Funil (dolina), ponto turístico da região.

O terceiro paleovale, próximo ao rio Extrema, trata-se de uma área cuja morfologia indica ser o antigo percurso do fluxo do rio antes da transição fluvicárstica, contendo cerca de 230 metros de extensão. Atualmente, o rio se desvia para o interior da caverna e após aproximadamente 70 metros, ressurge.

As transições fluvicársticas promovem mudanças na paisagem, pois retrabalha parte do material existente no novo trajeto do fluxo. Enquanto os sedimentos que outrora foram transportados são deixados nos vales abandonados. Dessa forma, os últimos podem oferecer informações acerca da dinâmica da paisagem e fatores que interferem nas relações fluvicársticas.

Análise crono-estratigráfica

A descrição detalhada dos perfis em campo permitiu a construção de modelos representativos com distribuições dos elementos tal como encontrado em campo conforme pode se observar na figura 3. A estratigrafia (Figura 3) juntamente com outros dados revelaram nuances significativas dos sistemas deposicionais existentes nos vales.

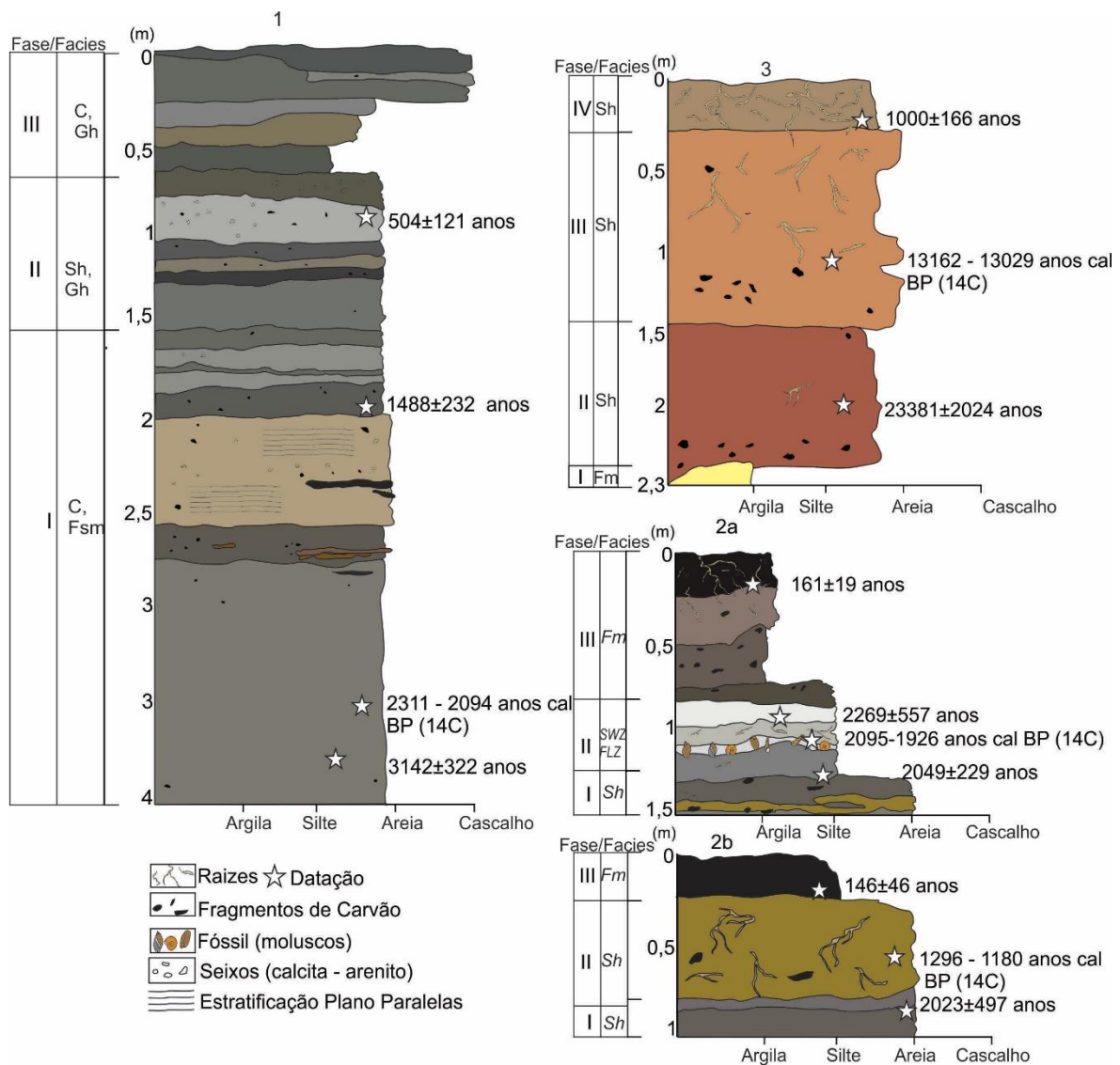


Figura 123- Perfis estratigráficos 1) rio das Pedras 2) a/b rio Ventura 3) rio extrema

Os perfis foram realizados nos depósitos contidos nos vales secos formados em período anterior a da captura das redes de drenagens devido a dinâmica fluvio cárstica. A geocronologia de LOE (Tabela 1) e radiocarbono (Tabela 2) trazem as idades e principais informações acerca das análises expostas a seguir:

Amostras	Elev. (m)	Prof. (m)	U (ppm)	Th (ppm)	K%	Taxa de dose Cosmica (Gy/Ka)	Sat. por água (%)	Taxa de Dose Total (Gy/Ka)	Dose equivalente (Gy)	Nº alíquotas	Dispersão OD (%)	Idade LOE anos
P-02	679	2.3	0.38 ± 0.02	1.08 ± 0.06	0.21 ± 0.01	0.157 ± 0.036	0.00	0.54 ± 0.05	0.8 ± 0.1	21/24	79	1488 ± 232
P-01	679	3.9	0.82 ± 0.04	3.85 ± 0.16	0.36 ± 0.02	0.13 ± 0.019	0.01	0.95 ± 0.07	3 ± 0.2	24/24	25	3146 ± 322
P-03	679	0.7	0.45 ± 0.03	1.63 ± 0.09	0.18 ± 0.01	0.194 ± 0.139	0.00	0.59 ± 0.14	0.3 ± 0	18/24	70	504 ± 121
V2-01	673	0.2	1.71 ± 0.07	13.92 ± 0.46	1.65 ± 0.07	0.207 ± 0.519	0.18	2.74 ± 0.55	0.4 ± 0	22/24	29	146 ± 29
V2-02	673	0.8	0.39 ± 0.02	1.60 ± 0.08	0.15 ± 0.01	0.191 ± 0.120	0.02	0.54 ± 0.12	1.1 ± 0.1	19/24	23	2023 ± 497
E-50	692	1.8	223 ± 0.085	12.49 ± 0.407	1.22 ± 0.052	0.169 ± 0.048	0.09	2.57 ± 0.20	60.1 ± 2.4	25/30	18.9	23381 ± 2024
E-190	692	0.4	1.66 ± 0.066	9.46 ± 0.321	0.71 ± 0.031	0.202 ± 0.253	0.10	1.8 ± 0.28	1.8 ± 0.1	20/20	25.8	1000 ± 166
V-02	673	1.4	0.24 ± 0.237	0.34 ± 0.054	0.03 ± 0.005	0.176 ± 0.065	0.03	0.26 ± 0.06	0.6 ± 0	19/20	17.6	2269 ± 557
V-01	673	1.5	0.39 ± 0.03	1.17 ± 0.08	0.09 ± 0.01	0.175 ± 0.059	0.02	0.44 ± 0.06	0.9 ± 0	19/21	14.7	2049 ± 299
V-06	673	0.5	2.34 ± 0.09	16.49 ± 0.53	2.03 ± 0.09	0.199 ± 0.199	0.28	3.05 ± 0.28	0.49 ± 0.04	23/24	36.7	161 ± 19

Tabela 21- Geocronologia LOE das amostras dos perfis 1) rio das Pedras Depósito 2) do Rio Ventura sendo perfil 2a e 2b), e 3) refere-se as amostras do Rio Extrema

Depósitos Fluviais	Tipo de análise	Prof. (m)	Idade radiocarbono convencional	Idade Calibrada aos Anos Calendário (cal AP)
1	AMS	4	2.220 ± 30 AP	2.311 – 2.094
3	AMS	1,25	11.270 ± 30 AP	13.162 – 13.029
2b	AMS	0,95	1.350 ± 30 AP	1.296 – 1.180
2a	AMS	1,2	2.090 ± 30AP	2.095 – 1.926

Tabela 32- Geocronologia estimada por ¹⁴C 1) depósito do rio das Pedras 2) depósito do rio Ventura (perfil a/b) 3) depósito do rio Extrema

Depósito 1- rio das Pedras

O ambiente deposicional existente no paleovale rio das Pedras (Figura 4), possui três fases principais. Predominantemente composta por material arenoso, e de coloração castanho muito pálido (10YR7/3) a primeira fase (I) na base do perfil possui espessura de 1,30 metros, é composta pelas fácies C, Fsm. Apesar de arenosa possui certa quantidade de silte, além de apresentar coloração escura (marrom muito escuro 10YR2/2), com quantidade expressiva de fragmentos de carvão. Desta forma, indica um ambiente mais lântico para tal deposição orgânica. Os grãos apresentam máxima circularidade com diminuição na

circularidade média e mínima em direção a base. Nesta fase estimou-se a idade de 2.311 – 2.094 anos cal AP por radiocarbono e 3.146 ± 322 anos com LOE.

Na fase (I) há certa mudança na presença de óxidos em relação a todo restante do perfil, uma vez que há uma queda daqueles que possuem maiores quantidades e aumento dos que possuem menores porcentagem (Tabela 3) entre 300 a 400cm no perfil (Figura 3). Na profundidade de 420cm existe certa concentração de magnésio, ferro, potássio e fósforo. Os principais minerais que compõem esta unidade são o quartzo, muscovita, caolinita e rutilo. O carbono orgânico total aumenta substancialmente em direção a base, enquanto o $\delta^{13}\text{C}$ encontra-se em média -23 ‰.

Fase	Espessura (camada) (m)	Fácies (Codigos)	Geocronologia	Granulometria % média	C org.total (%)	Isótopos Estáveis $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Mineralogia de argila
III	0.60	C,Gh	504 ± 121 anos (LOE)	Argila: 1.4 Silte: 14.3 Areia: 78.1 Cascalho: 6.2	0.32 0.12	-23.51 -23.93	Qz, Mu, Ca, Mt, Calc)
II	2.0	Sh,Gh	1488 ± 232 anos (LOE)	Argila: 0.5 Silte: 3.1 Areia: 96.4	0.32 0.06 0.33 0.02 0.02 0.03	-24.60 -23.49 -24.23 -23.58 -22.79 -25.52	Qz, Calc Qz, Mu, Ca, Rt Qz Qz, Ca, Rt, Qz Qz
I	1.30	C, Fsm	2.311 – 2.094 anos cal BP (14C) 3146 ± 322 anos (LOE)	Argila: 3.3 Silte: 6.9 Areia: 89.7	1.08	-25.56	Qz, Mu, Ca, Rt Qz, Mu, Ca, Rt

Figura 134 -Depósito 1 rio das Pedras, espessura de cada fase deposicional, fácies, geocronologia, granulometria, carbono orgânico total, isótopos estáveis de delta carbono 13 e mineralogia de argila

A segunda fase (II), composta por fácies Sh, Gh possui espessura de 2 metros com camadas arenosas mais escuras marrom muito escuro (10YR2/2) e colorações composta por areia lavada (branca 10YR8/2) com estratificação linear plano-paralela concordante ao fluxo atual, indicando um fluxo mais intenso onde encontra-se seixos de calcita e arenito, arredondados e sub-arredondados, com alta esfericidade dispersos em meio a estrutura arenosa (matriz suportada), que não foram registrados na granulometria pois possuem tamanhos entre 4 a 6 cm. Em meio a essa fase, existem finos estratos com picos de silte, material castanho amarelado escuro (10YR3/4) e com maior número de fragmentos de carvão, indicando fluxos mais lentos similar ao nível a seguir. Essa unidade deposicional se inicia a partir de aproximadamente 500 anos até um pouco mais de 1500 anos. Possui contato abrupto com a fase anterior (I). Os grãos desta fase foram majoritariamente classificados

com circularidade máxima, havendo uma diferenciação entre 280 a 250cm com aumento da circularidade média e mínima. Nesta unidade estimou-se por meio de LOE idade de 1488 ± 232 anos e corresponde ao final da deposição fluvial antes da captura da rede de drenagem demonstrando um ambiente com fluxo mais expressivo que transporta material arenoso e grânulos.

Nesta fase destacam-se os óxidos de potássio, cálcio, ferro, alumínio e dióxido de silício respectivamente (Tabela 3). A análise de raio-x identificou fases essencialmente arenosas compostas basicamente por quartzo, momento em que ocorre aumento de $\delta^{13}\text{C}$ para -23‰ . No entanto, nesta fase ocorre picos de carbono total nas fases mais escuras que além de quartzo possui montmorillonita, caulinita e rutilo.

A fase (III) possui 60cm de espessura, é composta pelas fácies C, Gh e se caracteriza-se por sedimentos mais diversos próximos a superfície, parte mais argilosa (avermelhada), e presença de grânulos quando próximo do topo provenientes da região do entorno onde ocorre extração de calcário (cinza), sem estrutura visível. Após o material superficial coluvionar, tem um contato abrupto para os sedimentos mais arenosos com presença de seixos que provavelmente os sedimentos que vinham sendo transportados no momento anterior a transição fluvio cárstica que foram resguardados, cuja geocronologia estabeleceu idade deposicional por volta de 500 anos. (Figura 1 e 2). Foram identificados os minerais quartzo, muscovita, caolinita, montmorillonita e calcita, com concentração de sílica acima de 80% (Tabela 3). O $\delta^{13}\text{C}$ possui o valor mais baixo do perfil com -25‰ (partes por mil).

DEPÓSITO 2a - RIO VENTURA

No paleovale do rio Ventura foram analisados dois perfis. O primeiro (Figura 3) apresenta fases heterogêneas, a unidade I com cerca de 20cm de espessura composta pela facie Sh, pois trata-se de deposição presente sobre a rocha, com uma camada essencialmente arenosa com diferenciação de cor marrom acinzentado escuro (10YR4/2) e castanho (10YR3/2) e castanho muito pálido (10YR7/4) e transição abrupta para fase superior siltoso (cinza). Não possui estruturas visíveis além de algumas raízes e fragmento de carvão. Esta fase foi associada ao material transportado pelo rio no momento anterior a captura, em um ambiente que permitia maior fluxo. A datação LOE apresentou idade deposicional 2.049 - 299 anos cal B.P, nessa unidade arenosa (Tabela 2 e 3).

Os óxidos presentes nesta fase são os mesmos de todo perfil, porém com maior porcentagem. Os minerais que a compõe são quartzo, muscovita, caolinita, montmorillonita e calcita. O $\delta^{13}\text{C}$ vai de -29‰ da primeira fase para -19‰ nesta fase.

Fase	Espessura (camada) (m)	Fácies (Codigos)	Geocronologia	Granulometria % média	C org. total (%)	Isótopos Estáveis ^{13}C (‰)	Mineralogia de argila
III	0.80	Fm	161± 19 anos (LOE)	Argila: 31.0	4.69	-19.77	Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
				Silte: 56.1	3.07	-24.43	Qz, Calc
				Areia: 12.4	21.6	-25.04	Qz, Calc
				Cascalho: 0.5	14.5	-28.38	
II	0.50	SWZ FLZ SWZ	2269± 557 anos (LOE) 2.095 – 1.926 anos cal BP(14C) 2049± 299 anos (LOE)	Argila: 11.3	19.5	-28.63	Qz, Calc
				Silte: 63.6		-29.20	Qz, Mu, Ca, Rt, Mt, Calc, An
				Areia: 24.8			Qz, Mu, Ca, Rt, Mt, Calc, An, He
				Cascalho: 0.3			Qz, Mu, Ca, Rt, Mt, An
I	0.20	Sh		Argila: 4.1	2.50	-27.97	
				Silte: 27.7	0.15		
III	0.20	Fm	146 ± 29 anos (LOE)	Argila: 12.1	3.43	-24.62	Qz, Mu, Ca, Rt, Na, He
				Silte: 27.0	0.96	-25.17	
				Areia: 60.6			Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
				Cascalho: 0.3			
II	0.50	Sh	1.296 – 1.180 anos cal BP (14C)	Argila: 0.6	0.08	-24.05	
				Silte: 2.3	0.06	-23.96	Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
				Areia: 97.1			Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
I	0.20	Sh	2023 ± 497 anos (LOE)	Argila: 1.0	0.05	-26.14	
				Silte: 3.7	0.11	-27.21	Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
				Areia: 94.9			Qz, Mu, Ca, Mt, Calc
				Cascalho: 0.4			Qz, Mu, Ca, Mt, Calc

Figura 145 - Depósito 2a e 2b rio Ventura, espessura de cada fase deposicional, fácies, geocronologia, granulometria, carbono orgânico total, isótopos estáveis de delta carbono 13 e mineralogia de argila

A unidade (II) é composta pelas fácies SWZ, FLZ possui 50cm de espessura, contato abrupto com a fase abaixo e gradual acima, sendo composta majoritariamente por material siltoso (Marrom acinzentado escuro 10YR4/2 e cinza claro 10YR7/2), que indica uma deposição que requer um ambiente lântico, o que permitiu ainda a formação de tufa calcária próximo ao meio do perfil. Pois a tufa formada possui em sua estrutura conchas de moluscos. A estrutura presente ocorre em forma de ondulações, de acordo com a classificação de tufas em áreas tropicais os tipos de fácies como Jangada de calcita (SWZ) consiste em finas crostas de calcita flutuantes, fácies microdetrital compreende a lama micrítica que é provavelmente produzida por cianobactérias (Pedley, 1990) e além da fácies de tufa autóctone que normalmente ocorre em associação com a camada de raiz macrofítica ou fácies microdetrital (FLZ). Estas fácies contém conchas de moluscos articuladas em posição de vida, o que permite diferenciá-la das conchas quebradas de depósitos potencialmente alóctones (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006). A circularidade mínima diminui nesta fase em direção a base, mas a maioria dos grãos são de média e máxima circularidade. A

geocronologia estimou idades de 2.095-1.926 anos cal AP (^{14}C) e 2.269 ± 557 anos (LOE) (Figura 2 e 3). Nesta fase (II) os minerais identificados foram o quartzo e a calcita (Figura 18-2a). Os óxidos que se destacaram são o de potássio e cálcio, além do teor elevado de perda ao fogo (PF) ou seja, aumento de material orgânico (Figura 5), que é evidenciado pelo aumento do carbono orgânico total. E a diminuição do $\delta^{13}\text{C}$.

Por fim, a fase (III) com 80cm de espessura, possui fácies Fm, em estruturas visíveis e de coloração marrom muito escuro (10YR2/2, castanho amarelado escuro 10YR4/4 e marrom escuro 10YR3/3) composta por material siltoso, contando, no entanto, com presença significativa de argila e material orgânico (escuro). O contato com a fase abaixo é gradual. A maioria dos grãos apresentou máxima circularidade, enquanto as médias e mínimas aumentam em direção a base, nessa fase. De acordo a datação com LOE, esta unidade estimou 161 ± 19 anos., podendo ser associada ao material coluvionar que se depositou acima dos sedimentos fluviais. Os principais óxidos presentes nesta fase (III) são os de potássio, cálcio, ferro, alumínio e óxido de silício respectivamente (Tabela 3). Os principais minerais que compõem este ambiente são quartzo, muscovita, caulinita, rutilo, montmorillonita, anatásio, calcita e hematita. O $\delta^{13}\text{C}$ demonstra diminuição em direção a base. (Figura 5).

DEPÓSITO 2b- RIO VENTURA

O segundo perfil (Figura 5) expressa um cenário diferenciado do primeiro, mesmo estando a poucos metros de distância. A primeira fase (I) com cerca de 20cm de espessura é predominantemente arenosa (Sh) porém mais escura (castanho 10YR3/2) encobrendo a rocha na base. Não foi observado estruturas, somente alguns fragmentos de carvão e seixos. O pacote arenoso indica um fluxo parecido com o atual referente ao período da captura. Os grãos passam de circularidade mínima para máxima, foram estimados, pela geocronologia, contendo 2.023 ± 497 anos na base desta unidade.

Na terceira unidade não há mudança quanto aos minerais da última unidade descrita, apesar de mais escurecida a concentração de carbono orgânico total continua diminuindo e o $\delta^{13}\text{C}$ aumenta.

A fase II compreende uma deposição de 50cm de espessura textura essencialmente arenosa (Sh) com fragmentos de carvão, de coloração castanho muito pálido (10YR7;4), sem estruturas visíveis contato gradual para a camada inferior. Esta deposição foi vinculada ao período em que parte do fluxo foi capturado e outra parte percorria o vale, pois, esse perfil

está na borda do sumidouro fato que justifica a formação do banco de areia. A circularidade máxima dos grãos permanece alta nesta fase. No entanto ocorre diminuição na taxa deposicional em direção a base. A datação verificou 1.296-1.180 anos cal AP. A terceira fase (III) composta por material siltoso-arenoso (Fm) de coloração marrom muito escuro (10YR 2/2) com cerca de 20cm de espessura. Sem estruturas visíveis, rica em material orgânico e raízes contato abrupto com a próxima camada. A maioria dos grãos apresentaram circularidade mínima e a geocronologia (LOE) aplicada estimou a deposição por volta de 146 ± 29 anos, indicando que se trata possivelmente do material coluvionar que encobriu o depósito sedimentar fluvial. Esta fase possui maiores concentrações dos óxidos de potássio, ferro, alumínio e dióxido de silício (Tabela 3, 4 e 5). Tais óxidos sofrem aumento expressivo nas demais fase em direção a base. A mineralogia demonstra mudança apenas na camada superficial (fase III) que dispõe dos minerais quartzo, muscovita, caolinita, rutilo, anatásio e hematita (Figura 5). A concentração de carbono orgânico total aumenta em direção da superfície e o $\delta^{13}\text{C}$ vai de -24‰ para -25‰. (Figura- 5).

DEPÓSITO 3 -RIO EXTREMA

No paleovale do rio Extrema pode-se distinguir quatro unidades deposicionais. A primeira (I) trata-se da rocha base. A segunda (II) está sobreposta à rocha base, constitui uma camada arenosa com picos de silte, indicando uma deposição em ambiente lântico, com água tranquila. No entanto, apresenta um estrato com certa quantidade de fragmentos de rocha (calcário, arenito, calcita) que podem ter sido transportados por evento episódico intenso. Os grãos permanecem majoritariamente classificados como máxima esfericidade. Esta unidade alcançou a maior idade estimada dentre todos os depósitos estudados, chegando a 23.381 ± 2.024 anos cal AP por meio da A unidade IV refere-se a parte da rocha que foi exposta, no qual a diagrafia mostra o pico de aumento de argila nesta fase.

Os minerais que compõem a unidade (I) são quartzo, muscovita, caolinita, rutilo, anatásio e goethita. Em relação à geoquímica destaca-se a presença de SiO_2 com mais de 50%, seguido dos demais óxidos, mas com quantidades bem inferiores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O e perda ao fogo (PF) (Figura 7). Enquanto o $\delta^{13}\text{C}$ nesta fase obteve valores de -22 e -23‰.

A segunda fase (II) é mais espessa com 1.20m, de coloração caramelo (2,5YR4/4) é delimitada pelo aumento da quantidade de areia (Sh), além de apresentar quantidade significativa de fragmentos de carvão, apresenta estruturas visíveis. E destaca-se a

circularidade máxima dos grãos, possuindo, no entanto, diminuição acentuada da circularidade média nesta unidade, contatos graduais. A amostra de ^{14}C coletada neste nível apresentou idade 13.162-13.029 anos cal AP. Na fase (II) s principais minerais encontrados são quartzo, muscovita, caolinita, anatasio, goethita e gibbsita. Os óxidos com maiores índices de porcentagem são de potássio, ferro, alumínio e dióxido de silício (Tabela 3), destacando a concentração de magnésio e alumínio (Tabela 4 e 5). Em relação ao carbono orgânico total em direção a base do perfil, e diminuição do $\delta^{13}\text{C}$.

Fase	Espessura (camada) (m)	Fácies (Codigos)	Geocronologia	Granulometria % média	C org,total (%)	Isótopos Estáveis ^{13}C (‰)	Mineralogia de argila
IV	0.20	Sh	1000± 166 anos (LOE)	Argila: 11.8 Silte: 20.5 Areia: 63.6 Cascalho:1.9	0.04	-24.97	
III	1.20	Sh	13.162 – 13.029 anos cal BP ^{14}C	Argila: 0.0 Silte: 14.1 Areia: 79.1 Cascalho:0.3	0.03 0.17 0.12	-24.76 -23.74 -22.84	Qz, Mu, Ca, Mt, An, Gt Qz, Mu, Ca, Rt, An, Gt
II	0.80	Sh	23381± 2024 anos (LOE)	Argila: 0.0 Silte: 21.8 Areia: 69.6 Cascalho:0.4	0.20 0.87	-22.67 -24.34	Qz, Mu, Ca, An, Gt Qz, Mu, Ca, An, Gt, Gb Qz, Mu, Ca, An, Gt Qz, Mu, Ca, Rt, An, Gt
I	0.10	Fm		Argila: 0.0 Silte: 20.4 Areia: 72.7 Cascalho:0.6			

Figura 156 -Depósito 3 rio Extrema, espessura de cada fase deposicional, fácies, geocronologia, granulometria, carbono orgânico total, isótopos estáveis de delta carbono 13 e mineralogia de argila

Por fim, a unidade (IV) possui espessura de 20cm, cor marrom (5YR4/4) a camada superficial de textura arenosa (Sh), sem estruturas sedimentares visíveis, porosa e rica em matéria orgânica, contato gradual entre as camadas. Próximo a 30cm de profundidade, a datação constatou idade de 1000 ± 166 anos cal AP. período em que ocorre a Anomalia Climática Medieval (~900 a 1100 anos). A fase (IV) é composta pelos minerais quartzo, muscovita, caolinita, rutilo, anatase e goethita. O resultado de $\delta^{13}\text{C}$ demonstrou dados entre 22 a -24‰ para essa fase.

Análise de Componentes Principais (ACP)

No rio das Pedras com a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), observou-se que os óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , Mn_2O_4 , P_2O_5 , PF) do rio das Pedras, obtiveram a variância total estimada acumulada em 75,636 % na primeira componente principal (PC1), e 11,396% na segunda (PC2). A PC1 destaca com maiores índices de pesos positivos P_2O_5 , Al_2O_3 e MgO , e negativo SiO_2 enquanto na PC2 destaca-se os pesos positivos Na_2O , PF e CaO , e negativos K_2O , TiO_2 e Fe_2O_3 .

No depósito do rio Ventura, a variância da primeira componente alcança 62,727 % e a segunda, 28,395%, de forma que as duas juntas obtêm 91% da variância total (Figura 7). A partir da primeira principal componente, identifica-se as relações entre as variáveis analisadas que apresenta os maiores pesos positivos relacionados as variáveis SiO₂, TiO₂ e Al₂O₃ e o maior peso negativo nas variáveis K₂O, PF e CaO. Na segunda componente principal, os maiores pesos são observados nas variáveis TiO₂, Mn₂O₄, P₂O₅, tendo como negativos K₂O, PF e CaO. O gráfico gerado explicita as diferenças existentes entre os estratos, demonstrando que nas profundidades de 100 e 140cm do perfil são mais semelhantes que as demais, pois abrangem justamente a área da tufa calcária com alto índice de óxido de cálcio e perda ao fogo pela riqueza orgânica (Figura 7).

O segundo perfil associado ao rio Ventura (Figura 7-2b) obteve 83,915% da variância total na primeira componente e 11,653% na segunda. Na primeira componente principal, os maiores pesos positivos são compostos por Al₂O₃, MgO e TiO₂, e os negativos são CaO, Na₂O e SiO₂. Dentre a segunda componente, os positivos destacados são Na₂O, Mn₂O₄ e K₂O. O gráfico mostra que o maior vetor corresponde ao Na₂O eixo positivo do componente 2 (Figura. 7-2b).

No depósito do rio Extrema, em relação aos principais óxidos, a primeira componente explica 68,008% da variância total dos dados, enquanto a segunda 23,873% (Tabela 3, 4 e 5). Na primeira, os maiores pesos positivos são os das variáveis MgO, K₂O e Al₂O₃ e o maior peso negativo é observado apenas nas variáveis Mn₂O₄, P₂O₅ e SiO₂. A segunda componente principal possui como maiores pesos as variáveis TiO₂, Mn₂O₄, P₂O₅ (Figura 7).

As proporções dos óxidos por camadas refletem as diferenças também encontradas em campo, principalmente em se tratando da camada de tufa calcária do rio Ventura (1a), mas também em relação ao depósito do rio Extrema que apresentou maiores índices de Óxido de Alumínio (Al₂O₃), Ferro (Fe₂O₃) e de Sódio (Na₂O), indicando uma possível diferença do material de origem dos sedimentos transportados. As características geoquímicas juntamente com as demais análises forneceram mais dados sobre as fases e os depósitos e a evolução fluvio-carstica.

Óxidos (%)	Prof (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₄	P ₂ O ₅	PF
1	60	87.3	1.9	0.8	1.163	0.16	0.151	5.081	0.001	0	0.021	2.23
1	80	85.8	3.6	1.1	0.737	0.221	0.357	7.314	0.222	0.044	0.039	4.51
1	110	87.4	2.8	1	0.306	0.146	0.157	5.050	0.218	0.026	0.027	2.08
1	170	90.6	0.6	0.2	0.145	0.035	0.142	5.880	0.037	0.005	0.013	0.43
1	190	80.7	2.8	0.5	0.422	0.097	0.149	6.414	0.122	0.017	0.023	3.59
1	200	86.9	0.5	0.2	0.212	0.027	0.148	7.292	0.033	0.003	0.01	0.44
1	250	86.6	0.4	0.1	0.442	0.029	0.153	6.699	0.033	0.005	0.014	0.68
1	280	61.8	15	6	1.095	0.784	0.238	9.537	0.912	0.073	0.084	3.51
1	380	80.1	4.4	1	0.457	0.135	0.149	6.691	0.217	0.028	0.036	2.47
2a	20	77.2	3.7	1	0.276	0.139	0.245	1.869	0.241	0.029	0.027	15.84
2a	50	60.8	13.1	6	2.436	0.746	0.235	8.134	0.924	0.086	0.094	13.96
2a	70	60.4	14.4	6.6	1.880	0.804	0.215	7.800	0.944	0.052	0.093	13.5
2a	90	1.1	0.3	1.1	50.172	0.069	0.132	6.003	0.012	0.019	0.042	44.25
2a	100	3	0.9	0.4	47.839	0.1	0.132	6.226	0.038	0.025	0.06	44.41
2a	130	3	0.5	0.7	49.349	0.103	0.144	6.254	0.04	0.02	0.09	43.27
2a	150	85.4	1.3	0.4	2.455	0.096	0.16	6.440	0.103	0.007	0.022	3.81
2b	10	63.5	12.9	6.1	0	0.687	0.533	3.190	0.937	0.136	0.079	11.43
2b	30	83.3	4.8	1.2	0	0.271	0.489	1.507	0.303	0.022	0.086	7.9
2b	60	95.4	1.3	0.3	0	0.099	0.493	0.985	0.099	0.004	0.018	1.01
2b	70	93.8	1.2	0.3	0	0.082	0.558	1.070	0.099	0.004	0.018	1.68
2b	80	93.7	0.9	0.3	0	0.072	0.505	0.972	0.076	0.006	0.012	2.08
2b	100	93.6	1.5	0.4	0	0.127	0.587	1.197	0.114	0.041	0.026	1.9
2b	110	89.3	1.6	0.4	0	0.151	0.571	1.241	0.098	0.008	0.018	3.67
3	40	81.1	6.1	3.4	0	0.307	0.655	2.014	0.668	0.12	0.072	6.11
3	100	74.5	10.8	4.8	0	0.44	0.633	2.532	0.531	0.06	0.051	7.77
3	150	72.2	12.5	5.1	0	0.509	0.618	2.659	0.511	0.037	0.049	7.86
3	180	71.2	13.1	5.5	0	0.546	0.727	3.351	0.63	0.048	0.043	8.32
3	210	62.7	14.6	7.6	0	0.646	0.736	3.948	0.734	0.1	0.053	10.56
3	230	69.9	12.7	5.3	0	0.598	0.735	3.594	0.612	0.025	0.049	8.15

Tabela 43- Concentração de óxidos (%) por unidades 1) rio das Pedras 2a/2b) rio Ventura3) rio extrema

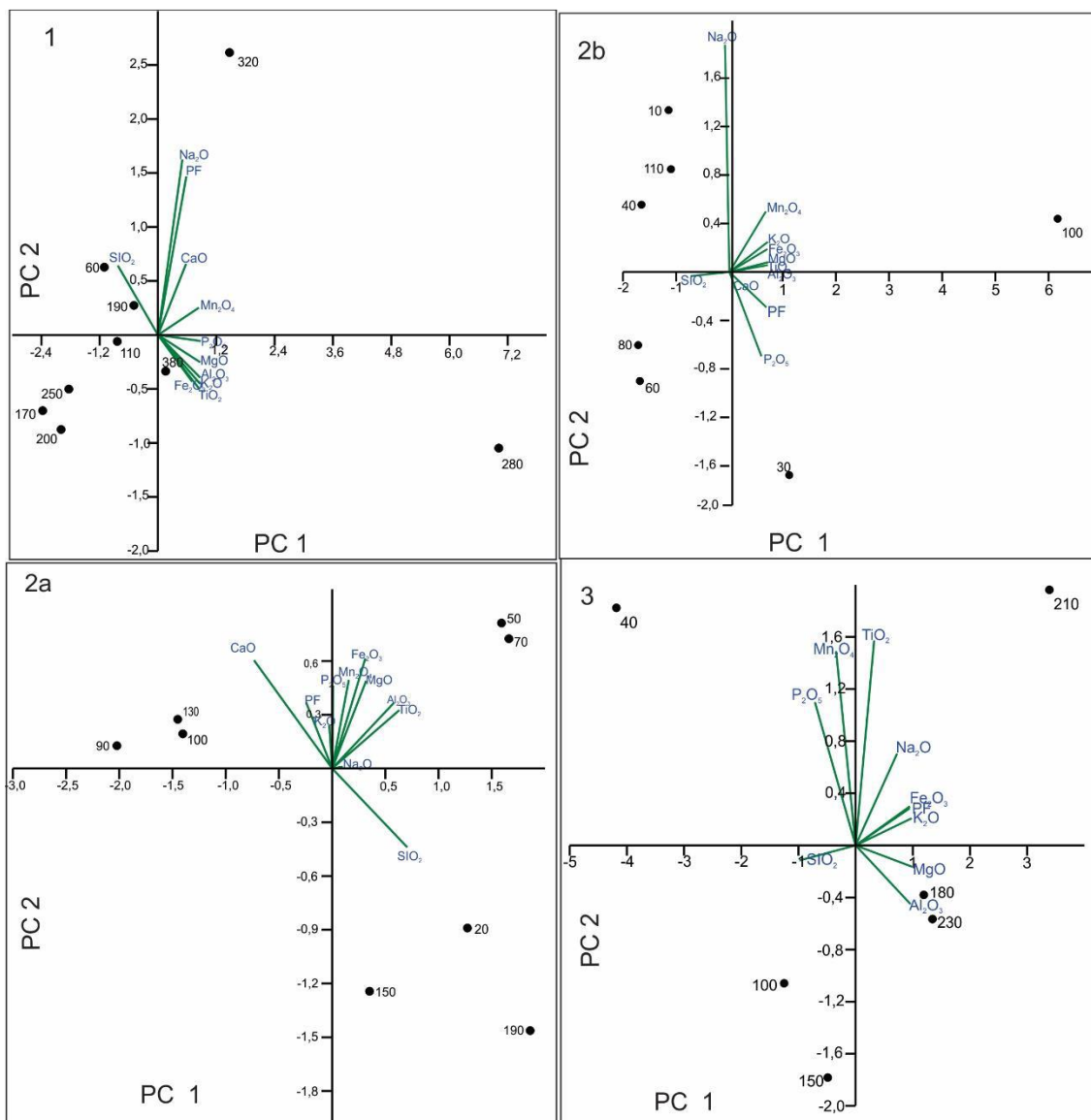


Figura 167– Gráficos resultantes na análise de principais componentes (ACP), os pontos demonstrados tratam-se das amostras cujos números correspondem a profundidade dos perfis. 1- rio das Pedras; 2a/2b –rio Ventura; 3–rio Extrema

Tabela 4- Variância de cada componente principal

PC-1	Auto valor	% variância	PC-2b	Auto valor	% variância
1	8.3	75.6	1	8.4	83.9
2	1.3	11.4	2	1.2	11.7
3	0.8	6.9	3	0.4	3.5
4	0.4	3.6	4	0.1	0.8
5	0.2	2.2	5	0.0	0.1
6	0.0	0.2	6	0.0	0.0
PC-2a	Auto valor	% variância	PC-3	Auto valor	% variância
1	2.5	75.7	1	6.80	68.01
2	0.6	18.2	2	2.39	23.87

3	0.1	4.2	3	0.68	6.79
4	0.1	1.5	4	0.12	1.18
5	0.0	0.3	5	0.02	0.15
6	0.0	0.1			

Tabela 5 Componentes e suas respectivas variancia de acordo com os eixos

1	PC 1	PC 2	2b	PC 1	PC 2
P2O5	0.344	-0.022	Al2O3	0.345	0.001
Al2O3	0.340	-0.154	MgO	0.344	0.038
MgO	0.339	-0.098	TiO2	0.343	0.027
TiO2	0.336	-0.176	K2O	0.341	0.118
Fe2O3	0.334	-0.196	Fe2O3	0.338	0.089
Mn2O4	0.329	0.099	PF	0.330	0.138
K2O	0.274	-0.168	Mn2O4	0.325	0.237
PF	0.228	0.573	P2O5	0.285	0.330
CaO	0.225	0.257	CaO	0.000	0.000
Na2O	0.196	0.633	Na2O	0.040	0.890
SIO2	0.322	0.251	SIO2	0.343	0.016

2a	PC 1	PC 2	3	PC 1	PC 2
SIO2	0.491	-0.305	MgO	0.986	0.097
TiO2	0.439	0.226	K2O	0.975	0.123
Al2O3	0.405	0.256	Al2O3	0.955	0.265
MgO	0.222	0.340	Fe2O3	0.943	0.177
Fe2O3	0.217	0.427	PF	0.940	0.169
Mn2O4	0.109	0.344	Na2O	0.720	0.416
Na2O	0.070	0.007	TiO2	0.322	0.928
P2O5	0.006	0.322	Mn2O4	0.341	0.879
K2O	0.019	0.167	P2O5	0.710	0.649
PF	0.170	0.257	SIO2	0.977	0.068
CaO	0.510	0.420			

SIO2 Dióxido de silício, Al2O3 Óxido de Alumínio, Fe2O3 Óxido de Ferro
 CaO Cal, MgO Óxido de magnésio, Na2O Oxido de Sódio, TiO2 Dióxido de titânio
 Mn2O4 Óxido de manganês, P2O5 Pentóxido de fósforo, PF Perca ao Fogo

DISCUSSÃO

Este estudo busca compreender o contexto geomorfológico do fluviocarste dos vales secos, com base na interpretação da paisagem e impressão sedimentológica e geocronológica. Os resultados adquiridos a partir desta análise forneceram informações importantes para discutir os processos envolvidos nas transições fluviocársticas por meio do estudo das áreas e dos arquivos sedimentares preservados nos vales abandonados.

Primeiramente é importante ressaltar que diversos fatores em conjunto podem favorecer a ocorrência de dolinas/sumidouros são compostos por três grupos principais, sendo os físicos (solubilidade do substrato; litologia e características de cobertura; planos de estratificação; descontinuidades estruturais, como fissuras, diáclases e fraturas) hidrológicos (infiltração da água; gradiente hidráulico; profundidade e variação sazonal do nível freático; composição química das águas dos aquíferos); além desses a ação antrópica (irrigação, construção e dutos) (Soriano; Simón, 1995). Diante da geocronologia estabelecida podemos eleger apenas dois grupos o físico e o hidrológico.

Ford; Williams (1989) afirmam que as formas distintas, acima e abaixo do solo, características do carste, resultam da dissolução ao longo dos caminhos providos pela estrutura. Quando observado os lineamentos estruturais juntamente com a rede de drenagem observa-se grande influência estrutural que gera anomalias de drenagem como (cotovelos de drenagem), a direção preferencial da rede de drenagem demonstra-se preferencialmente a leste x oeste, enquanto que os lineamentos sugerem leste x oeste e noroeste x sudeste, as direções preferenciais das cavernas apresentam-se a leste e sudeste, demonstrando que o desenvolvimento das cavernas tem íntima relação com os lineamentos estruturais (Figura 1 F). Pertencente ao grupo hidrológico a topografia também influi no processo de carstificação principalmente quando o relevo é principalmente moderadamente acidentado. Pois a velocidade a água favorece a remoção dos resíduos insolúveis e a dissolução da rocha de acordo com as rotas de fluxo e rios considerando a estrutura da rocha. Uma das formas de recarga do sistema pode ser por sumidouros de rios com origem externa ao carste ou múltiplos pontos de infiltração.

CORRELAÇÕES E CONFIGURAÇÕES SEDIMENTOLÓGICAS E PROPOSTA DE MODELO EVOLUTIVO DAS TRANSIÇÕES FLUVIOCÁRSTICAS

Os vales secos identificados em campo ou observação de imagens de satélite demonstraram a associação com redes de paleocanais abandonados que resguardam resquícios do período que antecede a transição fluviocárstica. Fato comum em paisagens cársticas onde existe uma relação fluviocárstica, ocorrendo capturas de drenagem para o interior de cavernas por dutos e posteriormente ressurgências da rede de drenagem para o sistema superficial. Isto é caracterizado tanto na paisagem quanto nos materiais contidos nos vales abandonados, que dispõe de carga significativa de areia com diferentes texturas, além de seixos e cascalhos, o que caracteriza fluxos de energia distintos dos canais atuais. Todos os estudos levantados permitiram a construção da proposta evolutiva das áreas e do processo deposicional conforme apresenta-se a seguir.

Depósito 1 – Rio das Pedras

O conjunto de análises realizadas permitiram fazer algumas constatações acerca das configurações sedimentológicas a fim de propor um modelo evolutivo da transição fluviocárstica (Figura 8a). O modelo evolutivo referente ao rio das Pedras retrata os principais episódios deposicionais registrados na área em decorrência do processo de transição fluviocárstica, ou seja, quando o rio transfere seu fluxo superficial para o ambiente subterrâneo. A Figura demonstra o período (Figura 8 a e b) em que o rio iniciava seu processo deposicional registrado no depósito analisado que perdurou até cerca de 504 anos. O segundo bloco está vinculado ao processo de captura do fluxo superficial por meio do sumidouro (Figura 8 h) retornando a superfície com a ressurgência (Figura 8 j), originando o vale seco abandonado (Figura 8 h e f) com o rio percorrendo o interior da caverna.

O conjunto de análises realizadas permitiram fazer algumas constatações acerca das configurações sedimentológicas a fim de propor um modelo evolutivo da transição fluviocárstica da área (Figura 8). O pacote sedimentar caracterizado no depósito leva a crer que se trata dos sedimentos depositados na borda da calha principal do rio. Apesar de se visualizar claramente a existência de diversos estratos, estes foram organizados em duas principais fases (Figura 8 c e d), sem contar a primeira (superficial) de material possivelmente coluvionar (Figura 8 f). Neste cenário evidencia-se a fase na base do perfil, ou seja, a primeira fase deposicional com material característico de uma deposição mais lenta comparada a superior (Figura 8 c). De acordo com a geocronologia estabelecida tal nível possui em torno de 2 e 3 mil anos. O $\delta^{13}\text{C}$ cujo valor remete o predomínio de plantas C3 (plantas arbóreas arbustivas).

No fim da segunda unidade sugerimos a ocorrência da transição fluvial (Figura 8 e), que se difere da base pela existência de estratos essencialmente arenosos, com presença de seixos arredondados. Estimou-se idade deposicional por volta de 1.500 anos (Figura 8 g).

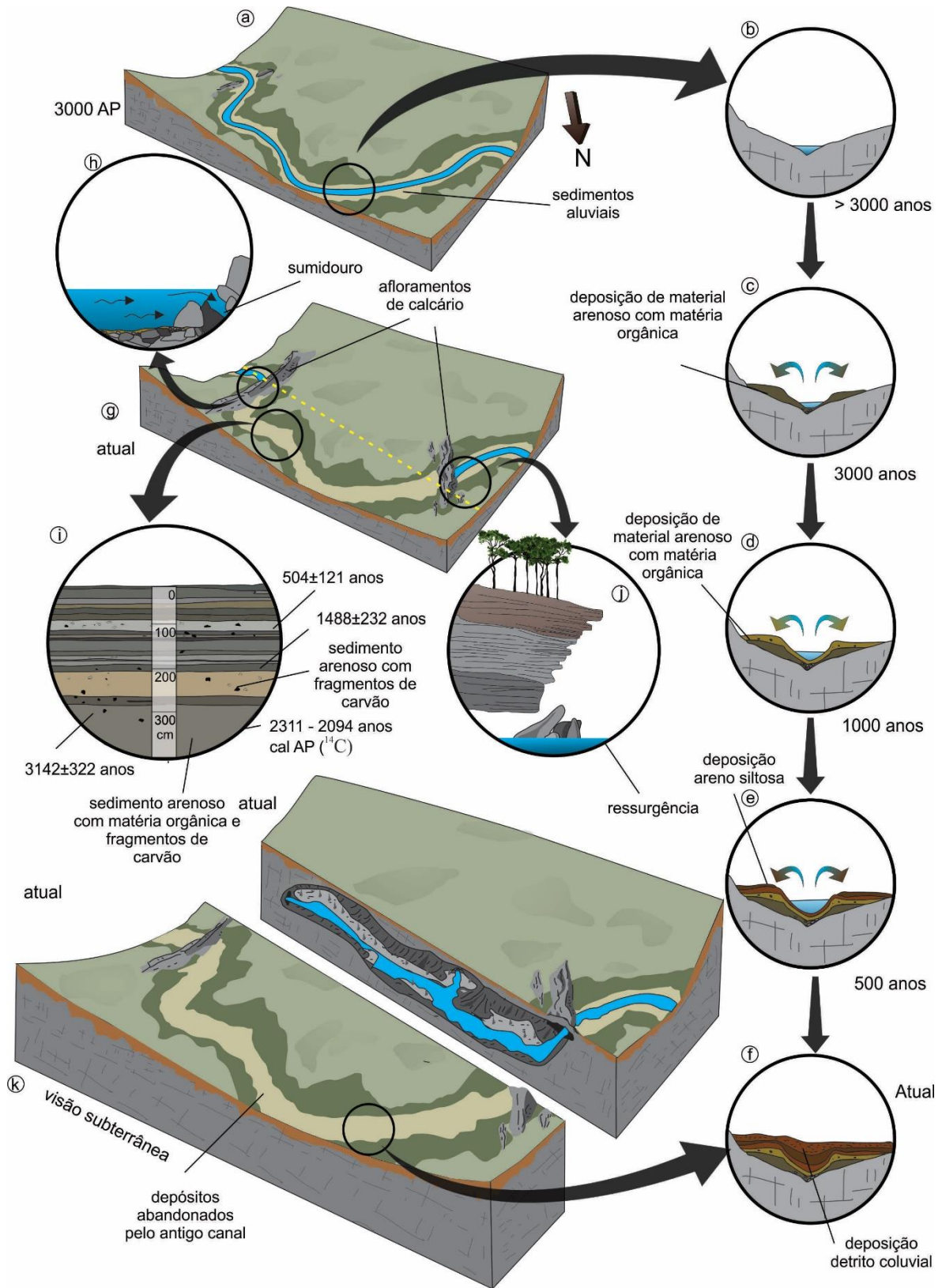


Figura 178- Modelo de evolução geomorfológica do vale do rio das Pedras a) fluxo superficial, b) início da deposição c) deposição de material arenoso escuro com material orgânica, d) deposição arenosa com estratificação plano-paralela e seixos arredondados e subarredondados e) deposição arenosiltosa superficial f) deposição detrito coluvial atual g) transferência do fluxo superficial para o subterrâneo h) Sumidouro i) perfil deposicional j) ressurgência k) modelo atual com a visão subterrânea acompanhando o fluxo

Depósito 2- Rio Ventura a/b

O modelo evolutivo referente ao rio Ventura demonstra a dinâmica da paisagem associada a transição fluvio cárstica oferecendo indícios de uma captura em etapas. Dessa forma, a figura (9 a) representa o período que o fluxo era totalmente superficial. No entanto, existia o sistema de caverna em subsuperfície se desenvolvendo (Figura 9 b), levando, portanto, a dissolução parcial do teto da caverna permitindo a uma abertura (Figura 9 d) em que parte do fluxo se desvia para o interior da caverna (Figura 9 d), este cenário favorece a presença de fluxo lântico em parte do vale favorecendo a deposição do perfil (Figura 9 h). O desvio de parte do fluxo viabiliza maior dissolução, fragmentação e queda de blocos aumentando o diâmetro do sumidouro e resultando na captura total do fluxo (e, f), com o abandono dos depósitos próximo a captura (Figura 9 g), a dinâmica do fluxo atual é demonstrado na visão subterrânea (Figura 9 i).

De acordo as análises efetuadas supomos que as distintas espessuras das fácies arenosas no depósito do rio Ventura, perfil 2a (Figura 9 h) no meio do vale, comparado com a espessura do pacote arenoso do perfil 2b (Figura 9 g) sugere que a formação da dolina (sumidouro) pode não ter ocorrido de forma abrupta, mas gradual com infiltração de parte do fluxo (Figura 9 d). Dessa forma, foi possibilitada a formação do depósito arenoso do perfil 2b (Figura 9 g) na borda da dolina e do perfil 2a (Figura 9 h) no meio da calha anterior. A outra parte da água que ainda não infiltrava para caverna percorria suavemente ou permanecia no vale de forma fluxo fosse lântico neste local ao ponto de permitir a formação de tufa calcária com moluscos em pleno leito anterior do rio.

De acordo com o processo de formação sugerido na literatura a tufa calcária é um produto da precipitação de carbonato de cálcio sob um regime de água fria (temperatura ambiente) contendo partes de micro e macrófitas, invertebrados e bactérias (FORD; PEDLEY, 1996). Em depósitos de calcário bioacumulados resultantes do transporte e deposição é comum conter fósseis de organismos e suas carapaças (FORD; WILLIAMS, 2007; NICHOLS, 2009; POOP, 2010). Partindo deste pressuposto houve dois momentos de captura, permitindo a sedimentação reconhecida nos perfis. O primeiro momento ocorreu

entre 2 a 3 mil anos. O segundo momento registrado apenas no perfil 2b próximo ao sumidouro a deposição sedimentar arenosa continuou após 1.200 anos. Mesmo assim o $\delta^{13}\text{C}$ indica a predominância de plantas do tipo C3, e um clima mais úmido.

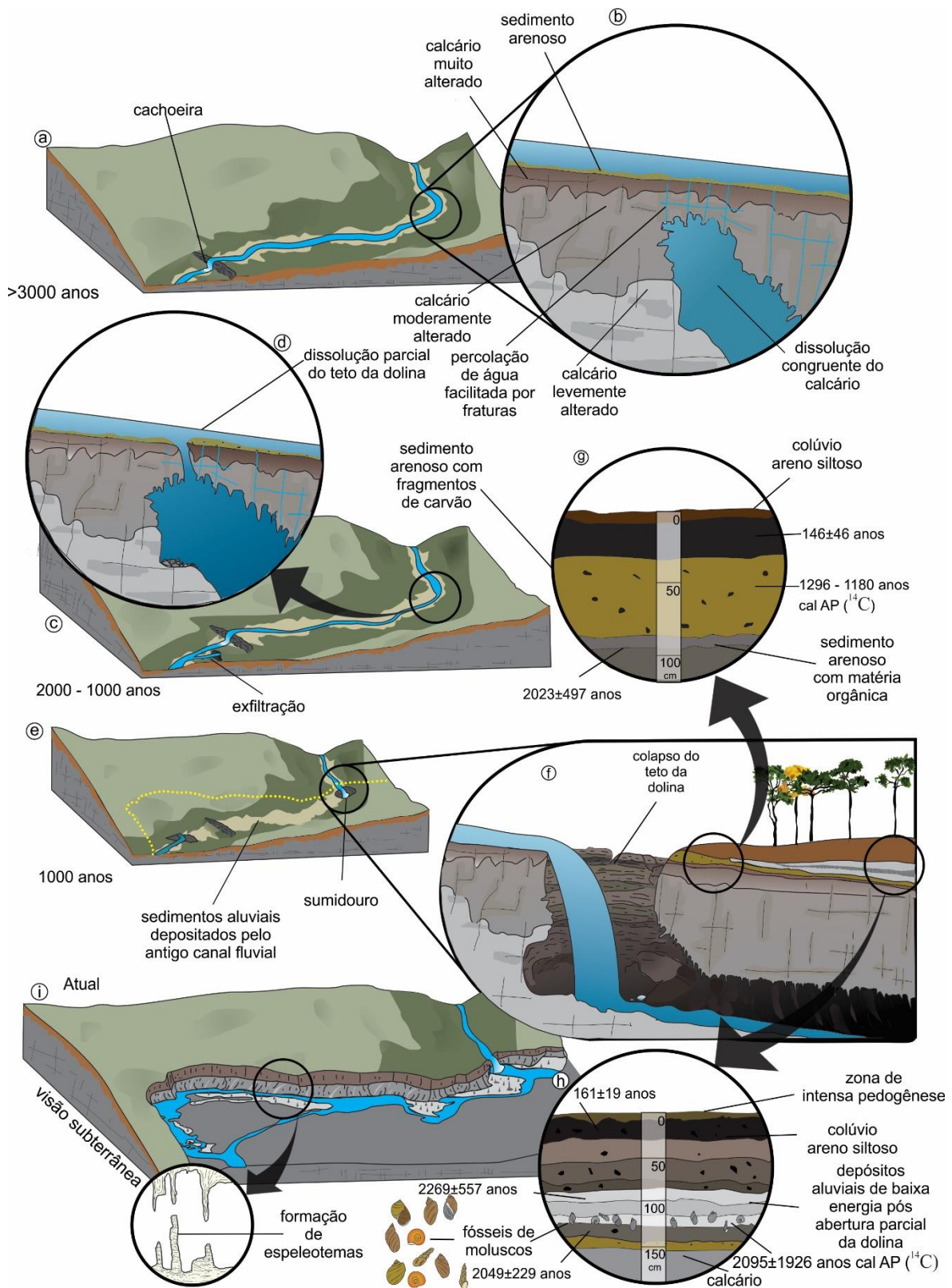


Figura 189- Modelo de evolução geomorfológica do vale do rio Ventura a) fluxo superficial anterior a captura b) avanço do sistema de cavernas c) captura de parte do fluxo superficial d) transferência de parte do fluxo superficial para o subterrâneo e) captura total do fluxo f) demonstração da captura e dos depósitos analisados (g, h) i) visão subterrânea do fluxo atual

Depósito 3- Rio Extrema

A figura (10) apresenta o modelo evolutivo da paisagem relacionada a transição fluviocárstica relacionada ao rio Extrema originando o vale seco abandonado com preservação de depósitos fluviais. O primeiro bloco diagrama (Figura 10) retrata a paisagem que antecede a captura, e o período que ocorre as deposições sedimentares até a captura demonstrada no bloco (Figura 10 f), onde o fluxo é transferido para o ambiente cavernícola por meio do sumidouro (Figura 10 g). O terceiro bloco (Figura 10 h) traz a atual organização do fluxo no sistema subterrâneo até o momento da ressurgência em superfície. O perfil efetuado (Figura 10 i) apresenta três principais unidades deposicionais com variação de idades.

De acordo com as análises e interpretações realizadas, o depósito do rio Extrema trata-se de um terraço fluvial construído no processo de captura do fluxo para o interior da caverna. A estratigrafia demonstra três fases deposicionais a partir da rocha base (Figura 10 c). A da base retrata uma deposição arenosa (muito fina, grossa) com picos de silte, o que indica uma deposição em um ambiente mais lento e água tranquila. No entanto, dispõe da presença de blocos angulosos possivelmente trazidos de áreas fontes próximas ou até mesmo das encostas. A geocronologia estimou para essa fase cerca de 23 mil anos. Os dados de isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$) cujos valores estão relacionados a ciclos fotossintéticos do tipo C3 (plantas arbóreas e arbustivas) em contexto de clima úmido.

A segunda etapa deposicional (Figura 10 d) é delimitada pelo aumento da quantidade de areia, além de apresentar quantidade significativa de fragmentos de carvão. Se destaca a circularidade máxima dos grãos, possuindo, no entanto, diminuição acentuada da circularidade média nesta unidade. A amostra de ^{14}C coletada neste nível apresentou idade 13.162 - 13.029 mil anos. São apresentadas maiores concentrações de carbono orgânico total e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) voltados para predominância de plantas C3 (arbóreas e arbustivas) remetendo a um clima mais úmido.

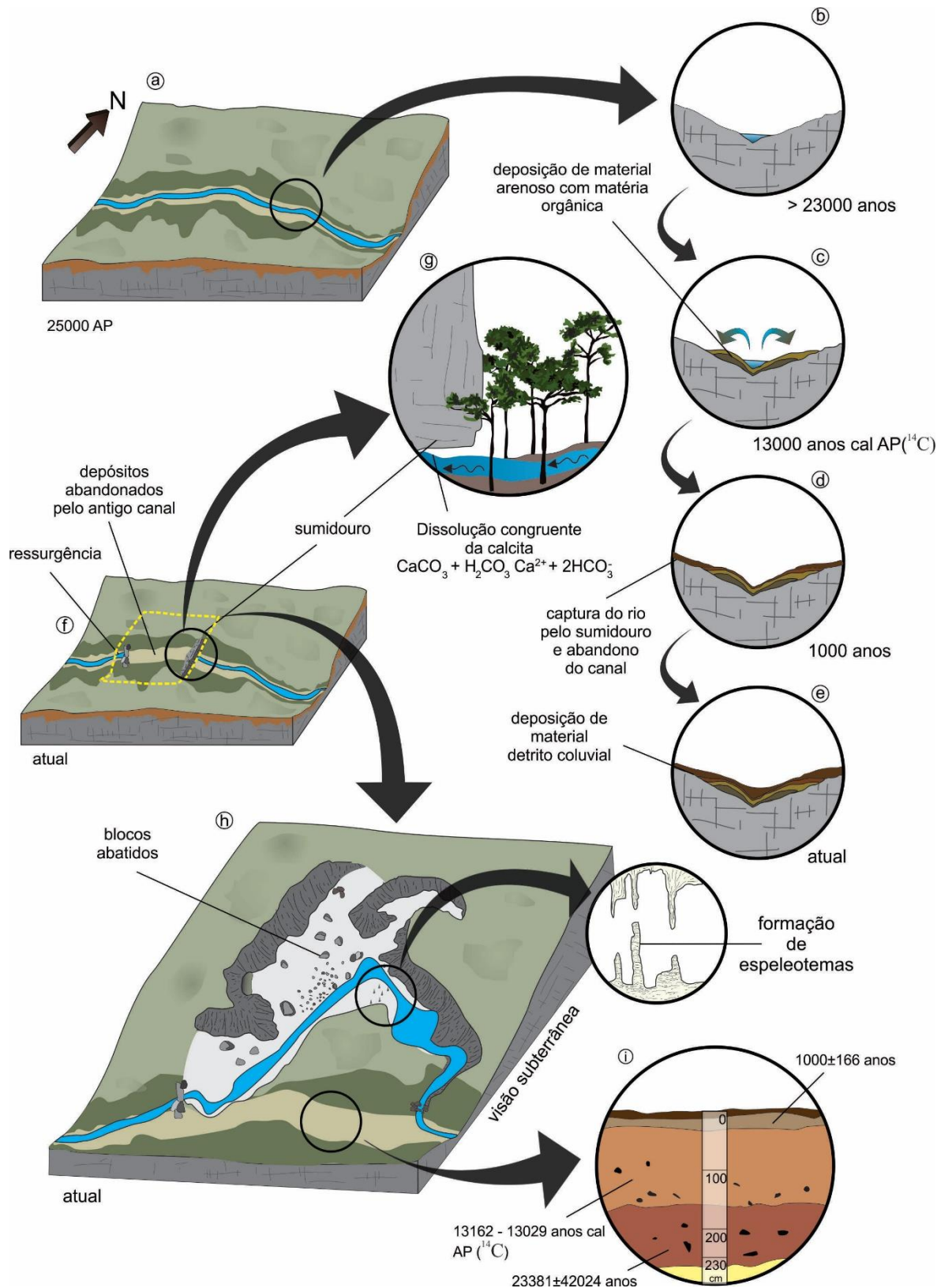


Figura 1910 – Modelo de evolução geomorfológica do vale do rio Extrema a) paisagem antes da transição fluvial com deposição fluvial (b, c, d, e), (f) modelo ilustrando a configuração após a transição fluvial por meio do sumidouro (g), visão subterrânea atual por onde o fluxo foi desviado.

A unidade deposicional superficial (e) corresponde a camada superficial rica em matéria orgânica e argilo-siltosa. Próximo a 30cm de profundidade, a datação constatou idade de 1000 ± 166 anos.

A maioria das idades identificadas nas fases deposicionais relativamente contínuas, com alguns hiatos deposicionais normais em ambientes fluviais, não são correspondentes a eventos climáticos conhecidos, mesmo as que são em parte correspondentes evidenciaram que a deposição ocorreu tanto em fases consideradas relativamente mais úmidas e nas mais secas, assim apresenta a falta de relação entre as deposições com os eventos climáticos. As fases onde acontece as capturas fluviais nos últimos 3 mil anos somente o rio das Pedras aconteceu possivelmente durante o evento LIA, em estudos regionais não foi observada nenhuma anomalia de $\delta^{18}\text{O}$ durante a Pequena idade do Gelo (LIA, da sigla em inglês para *Little Ice Age*) no Parque Estadual de Terra Ronca -PETER, somente houve maior atividade biológica no solo neste período (STUMPF, 2019). No entanto, no norte de Minas, o período durante o evento LIA registrou ambiente mais úmidos (STRÍKIS, 2015) correspondentes então ao período de captura. As demais fases de captura se relacionavam aos demais eventos.

Diante dos dados analisados observa-se a importância do controle cárstico e não apenas as variações climáticas nos processos de transição fluvio-cárstica. Em relação a evolução do relevo observa-se que as idades das fases deposicionais e o tipo de material se diferenciam, de forma mais contundente, de acordo com a distância da escarpa erosiva e também do tamanho das bacias e do volume de água dos rios. A bacia do rio Extrema é pequena, com menor volume de água, comparada ao rio das Pedras, e está mais distante da escarpa erosiva da Serra Geral de Goiás (Figura 11-3), apresentando sedimentos que se diferenciam pela presença de minerais como a gipsita e goetita que nos demais depósitos não foram identificados. Na geoquímica obteve maiores índices de Óxido de Alumínio (Al_2O_3), Ferro (Fe_2O_3) e de Sódio (Na_2O) indicando uma possível diferença do material de origem dos sedimentos transportados, além de uma captura mais antiga comparada aos demais. No caso do rio Ventura, por se tratar de uma bacia maior que apresenta volume de água superior possui maior capacidade de transporte e encontra-se mais próximo a escarpa erosiva (Figura 11-2a/b). E por fim, o rio das Pedras que é uma bacia menor comparada ao rio Ventura, porém, ainda com capacidade de transporte de seixos conforme encontrados do perfil, devido sua proximidade com a escarpa erosiva obteve a menor idade sugerida para a captura fluvial (Figura 11-1).

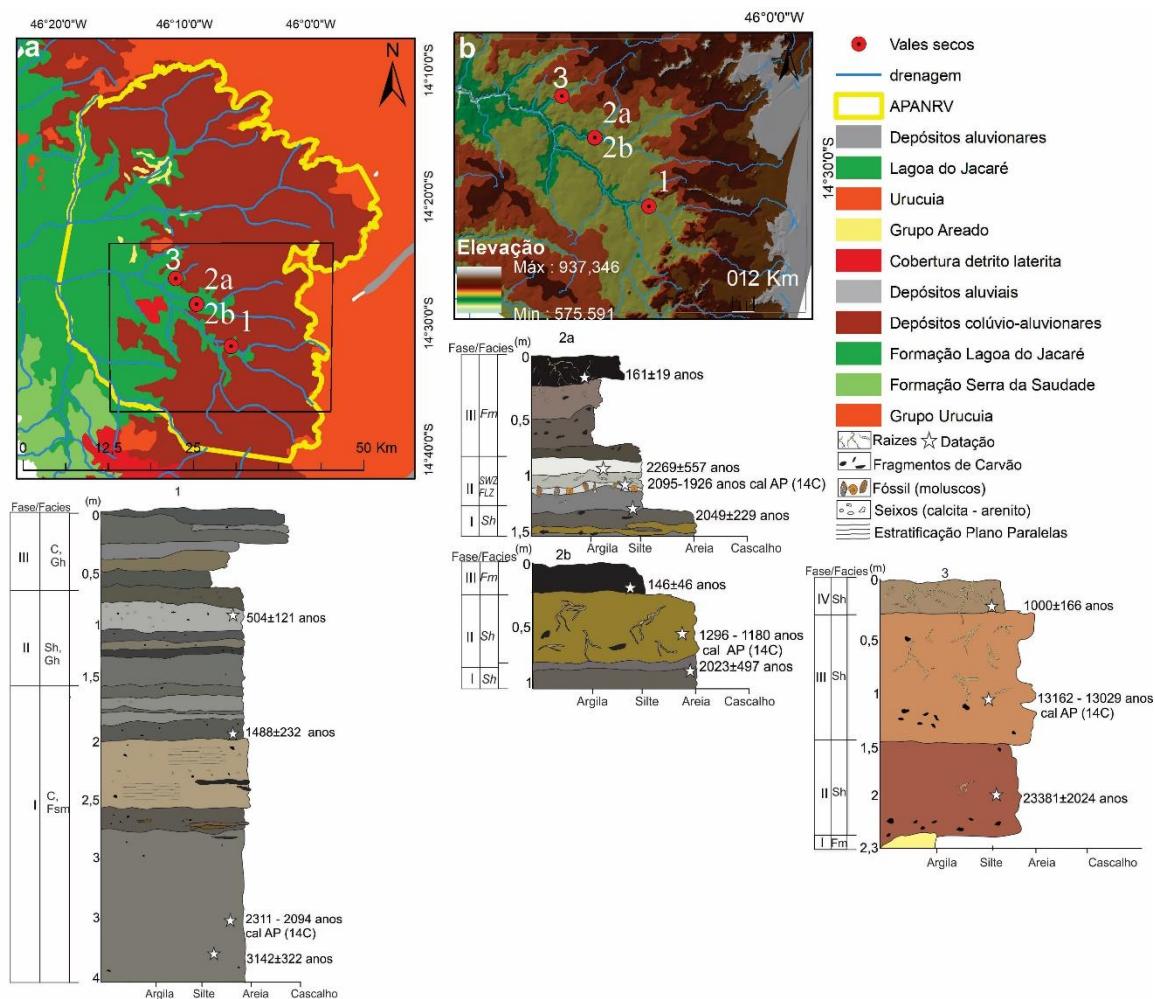


Figura 11: a) Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) e os Vales Secos abandonados estudados. b) rios associados aos vales em relação ao recuo da escarpa da Serra Geral de Goiás.

Partindo do comparativo entre os vales e suas características sedimentológicas e geocronológicas o abandono dos vales vem ocorrendo conforme o processo evolutivo da paisagem regional e o desenvolvimento do carste acontece de acordo com os direcionamentos estruturais. Sendo assim os vales abandonados mais jovens encontram-se mais próximo a escarpa erosiva (Figura 11-b).

CONSIDERAÇÕES

Por meio das diversas análises realizadas e estabelecimento de correlações com demais estudos foi possível conhecer a dinâmica deposicional existentes nos vales secos analisados. Através da interpretação da paisagem e da dinâmica sedimentar encontrada se estabeleceu a proposta de evolução das áreas considerando a deposição ocorrida até a captura dos rios para o ambiente subterrâneo por meio dos sumidouros. O estabelecimento da

geocronologia fora essencial pois, além de disponibilizar idades das fases deposicionais permitem correlacionar com os processos fluviocársticos juntamente com a geoquímica para comparação entre as fases e os depósitos. A análise de isótopos estáveis neste caso corroborou para melhor entendimento do contexto vegetacional, pois segundo os registros isotópicos não houve modificações significativas de mudança na vegetação ($\delta^{13}\text{C}$). Os depósitos apresentaram variações deposicionais significativas quanto a coloração e/ou granulometria principalmente no depósito 2 (Rio Ventura), demonstrando assim velocidade de fluxo e capacidade de transporte variáveis nos períodos de tempo estabelecido. As transições fluviocársticas ocorreram em momentos distintos, abandono de vales secos são comuns em áreas cársticas e envolvem diversos fatores como os litológicos por conta da dissolução das rochas carbonáticas; estruturais pois, a dissolução ocorre de forma mais acentuada nas fragilidades (fraturas, falhas) das rochas direcionando assim a evolução dos dutos, condutos e cavernas como se observou nos dados de direção preferencial. Além dos fatores climáticos, porém as deposições ocorreram de forma razoavelmente contínua durante todo período, com hiatos deposicionais como normalmente ocorre em deposições fluviais. Dessa forma, todos esses fatores vêm contribuindo no processo de evolução da paisagem de forma geral, ou seja, recuo da escarpa da Serra Geral com transporte de sedimentos característicos do Grupo Urucua e expondo rochas pelito-carbonatadas da Formação Lagoa do Jacaré. As diferenças temporais e dinâmica evolutiva individuais dos vales demonstram que a região cárstica é composta por diferentes estágios evolutivos, mas que juntos apresentam-se constante e complexo visto que a muitos fatores envolvidos, mesmo considerando os naturais. Pois, o entendimento da dinâmica natural destes ambientes é fundamental para entender o papel das ações antrópicas nestes contextos, podendo alterar consideravelmente regiões cársticas que são, patrimônios naturais que devem ser preservados.

A metodologia aplicada permitiu a construção da proposta de evolução das transições fluviocársticas, observando por meio da geocronologia que se trata de processos atuais (Pleistoceno-Holoceno) no qual em períodos consideravelmente pequenos, ocorrem transformações intensas na paisagem local, com processos contemporâneos de carstificação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem imensamente o apoio dos órgãos ambientais Instituto Chico Mendes (ICMBio), Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Pós-

Graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB). Projeto 014/18 Compensação Espeleológica TCCE ICMBio / Vale Projeto “Susceptibilidade, hidrologia e geomorfologia cárstica aplicadas à conservação do patrimônio espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho” – APANRV.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga, C.J.S. de, Botelho, N.F., Dardenne, M.A., Lima, O.N.B. de, Machado, M.A., 2007. Geologia da folha Cavalcante- SD.23-V-C-V. CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, Brasília.
- Azevedo, V., Stríkis, N.M., Santos, R.A., de Souza, J.G., Ampuero, A., Cruz, F.W., de Oliveira, P., Iriarte, J., Stumpf, C.F., Vuille, M., Mendes, V.R., Cheng, H., Edwards, R.L., 2019. Medieval Climate Variability in the eastern Amazon-Cerrado regions and its archeological implications. *Sci. Rep.* 9, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56852-7>
- 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, 78–100. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.007>
- Cox, R.T., 1994. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.* 106, 571–581. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1994\)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2)
- Cruz, B.A. da, 2012. Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.
- De Waele, J., Plan, L., Audra, P., 2009. Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction. *Geomorphology* 106, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.023>
- Ford; Williams, P.W., 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Unwin Hyman. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7778-8>
- Ford, D., Williams, P., 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, 2nd ed. Wiley, Chichester.
- Ford, Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Rev.* 41, 117–175. [https://doi.org/10.1016/s0012-8252\(96\)00030-x](https://doi.org/10.1016/s0012-8252(96)00030-x)
- Galbraith, R.F., Roberts, R.G., Laslett, G.M., Yoshida, H., Olley, J.M., 1999. Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia: Part I, experimental design and statistical models. *Archaeometry* 41, 339–364. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1999.tb00987.x>

Gontijo, A.H.F., 1999. Morfotectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul: região da serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geol. Univ. Estadual São Paulo – Campus Rio Claro).

Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, G., 2011. Dose-rate conversion factors: update. *Anc. tL* 16, 37–50.

Gutiérrez, F., Zarroca, M., Castañeda, C., Carbonel, D., Guerrero, J., Linares, R., Roque, C., Lucha, P., 2017a. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. *Quat. Res.* 88, 71–88. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.23>

Gutiérrez, F., Zarroca, M., Castañeda, C., Carbonel, D., Guerrero, J., Linares, R., Roqué, C., Lucha, P., 2017b. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. *Quat. Res.* <https://doi.org/10.1017/qua.2017.23>

Holbrook, J., Schumm, S.A., 1999. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: A brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics* 305, 287–306. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00011-6)

Hongyu, K., Jorge, G., Junior, D.O., 2015. Análise de Componentes Principais : resumo teórico , aplicação e interpretação. *Eng. Sci.* 2015, 1, 83–90. <https://doi.org/10.18607/ES20165053>

Howard, A.D., 1967. DRAINAGE ANALYSIS IN GEOLOGIC INTERPRETATION A SUMMATION. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 51, 2246–2259.

Jerin, T., Phillips, J., 2017. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. *Geomorphology* 282, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.013>

Karman, I., 2000. CICLO DA ÁGUA, água subterrânea e a sua ação geológica, in: Teixeira, W. (Ed.), *Decifrando a Terra*. Oficina de textos, São Paulo, pp. 113–138.

Leonardi Bricalli, L., 2016. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. *Espaço Aberto* V.6, 75–110.

Lewin, J., Macklin, M.G., 2003. Preservation potential for late quaternary river alluvium. *J. Quat. Sci.* 18, 107–120. <https://doi.org/10.1002/jqs.738>

Motta, J.A.O., 2003. PROJETO CAVERNAS DE MAMBAÍ: CARACTERIZAÇÃO DO ECOSSISTEMA CÁRSTICO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE MAMBAÍ E ENTORNO. Ministério Do Meio Ambiente - MMA, Goiânia.

Moura, M.C.S. de, Lopes, A.N.C., Moita, G.C., Moita Neto, J.M., 2006. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. *Quim. Nova* 29, 429–435.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiat. Meas.* 37, 377–381. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00053-2)

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat. Meas.* 32, 57–73. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(99\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00253-X)

Mylène Berbert-Born, Trindade, J.S. da, 2003. Introdução à geomorfologia e espelologia da região de Mambaí, Goiás, in: Motta, J.A.O. (Ed.), *Projeto Cavernas Mambaí: Caracterização Do Ecossistema Cárstico Localizado No Município de Mambaí e Entorno*. Ministério Do Meio Ambiente - MMA, Goiás, pp. 41–76.

Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*, 2nd ed. WILEY-BLACKELL.

Novello, V.F., 2012. Reconstituição paleoclimática do holoceno recente com base em estalagmites da região central do estado da Bahia. *Mestr. Usp* 127.

Panizza, A.D.C., Fonseca, F.P., 2011. TÉCNICAS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS. *GEOUSP - Espaço e Tempo* 30, 30–43.

Pedley, H.M., 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas 68, 143–154.

Phillips, J.D., 2018. Historical contingency in fluvio karst landscape evolution. *Geomorphology* 303, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.11.015>

Phillips, J.D., Walls, M.D., 2004. Nonlinear Processes in Geophysics Flow partitioning and unstable divergence in fluvio karst evolution in central Kentucky. *Nonlinear Process. Geophys.* 11, 371–381.

Poop, J.H., 2010. *Geologia Geral*, 6th ed. LTC, Rio de Janeiro.

Prescott, J.R., Hutton, J.T., 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiat. Meas.* 23, 497–500. [https://doi.org/10.1016/1350-4487\(94\)90086-8](https://doi.org/10.1016/1350-4487(94)90086-8)

Ro Charlton, 2008. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, 1st ed, Sedimentation Engineering. Routledge, New York. https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2009.883_5.x

Soares, E. a. a., Tatumi, S.H., Riccomini, C., 2010. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *An. Acad. Bras. Cienc.* 82, 691–699. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000300017>

Soriano, M.A., Simón, J., 1995. Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. *Geomorphology* 11, 295–309. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)00066-Z](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)00066-Z)

Stríkis, N.M., 2015. Atividade do Sistema de Monção Sul-americana na porção central do Brasil durante o último período glacial a partir da aplicação de isótopos de oxigênio em espeleotemas. Instituto de Geociências -USP, São Paulo.

Stríkis, N.M., 2011. PALEOPLUVIOSIDADE NO NORTE DE MINAS GERAIS DURANTE O GLACIAL TARDIO E HOLOCENO COM BASE EM REGISTROS DE ESPELEOTEMAS. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Stríkis, N.M., Novello, V.F., 2014. EVOLUÇÃO HIDROLÓGICA DO BRASIL DURANTE O PLEISTOCENO SUPERIOR E HOLOCENO. *Paleontol. Cenários Vida – Paleoclimas* 335–343.

Stumpf, C.F., 2019. Variabilidade do sistema de monão da América do Sul durante o Pleistoceno Tardio e Holoceno a partir de espeleotemas da Caverna São Mateus (PETERGO). Universidade de Brasília-UnB.

Summerfield, M.A., 1991. *Global Geomorphology*, Longman Scientific & Technical. New York:

Trumbore, S.E., 2000. *Theory of Dating* 41–60.

Yang, X., Zhang, Q., Li, X., Jia, X., Wei, X., Shao, M., 2015. Determination of soil texture by laser diffraction method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 1556–1566. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.04.0164>

4.3 O USO DA GEOFÍSICA NA CARACTERIZAÇÃO DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES EM VALES SECOS DE ÁREA CÁRSTICA, CERRADOS DO BRASIL CENTRAL

Resumo

O presente estudo tem por objetivo analisar depósitos fluviais com uso de GPR (Radar de Penetração no Solo) para caracterizar os sedimentos contidos em vales secos oriundos da dinâmica fluvio cárstica na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), no nordeste goiano. Foram definidos dois vales onde realizou-se a aquisição dos dados de perfis de GPR e abertura de trincheiras para as devidas descrições dos sedimentos depositados. Utilizou-se uma antena de 400MHz para a sondagem, resultando em radargramas com informações de reflectância que apresentaram contato com a rocha nas encostas, colúvios na média encosta e, na planície, sedimentos correspondentes a antiga calha do rio. O uso do GPR em conjunto com os dados sedimentológicos possibilitou elaborar uma interpretação estratigráfica que sugere uma história deposicional relativamente complexa. Os resultados indicam os contatos dos níveis dos depósitos em vales secos, que são importantes registros estratigráficos holocênicos.

Palavras-Chave: GPR, Sedimentos, carste, vales secos

ABSTRACT

This paper analyses fluvial deposits with GPR (ground penetrating radar) to characterize dry valleys sediments originated from fluvio carstic dynamics into Environmental Protection Area Nascentes do Rio Vermelho (EPANRV), at northeast of Goiás. Two valleys were defined to acquire the GPR data and trench execution, aiming the description of deposited

sediments. Were used a 400 MHz antenna, resulting in radargrams with reflectance information regarding rock contact on the hillsides, colluvium at medium hillside and sediments on the plateau, corresponding to river's old gutter. GPR data combined with sedimentological information allowed the development of a stratigraphic interpretation, which suggests a depositional history relatively complex. Results indicates the deposits levels at the dry valleys, that are important stratigraphic records from the Holocene Era.

Keywords: GPR, Sediments, karst, dry valleys

1 Introdução

Sedimentos são partículas oriundas do processo de intemperismo das rochas que são carregados até os rios e transportados para o ambiente deposicional (Teixeira, 2000), originando importantes registros para estudo da evolução da paisagem, condições hidrológicas e climáticas que caracterizam a história ambiental (Stevaux, 2000; Valente e Latrubesse, 2012; Dias e Perez Filho, 2015). As paisagens cársticas são dominadas por formas de relevo superficiais produzidas pela dissolução de rochas solúveis pelas águas superficiais. O grau de dissolução depende de vários fatores, incluindo a disponibilidade de água e seu modo de recarga (difuso, autogênico e alogênico), litologia e estrutura das rochas envolvidas, clima (temperatura e precipitação) e vegetação. Dentre o conjunto de morfologias originárias do processo de dissolução estão as formas de depósitos (De Waele et al., 2009). Em ambientes cársticos existem feições capazes de resguardar sedimentos como as cavernas (Caldeira, 2021) e os vales secos oriundos das transições fluviais superficiais para subterrânea (R.A.L, 2013; Bocic et al., 2015; Phillips, 2017; Şener e Öztürk, 2019). Os vales secos e íngremes resultam da ação comum de vários processos de intemperismo e gravitacionais desenvolvidos particularmente no calcário. Uma vez que a resposta do calcário aos processos de intemperismo (incluindo intemperismo químico por

dissolução) é único entre os vários tipos de rocha, então os vales secos esculpidos em tal rocha apresentam uma evolução e morfologia particulares (Tîrlă et al., 2016). Os vales secos que contenham sedimentos do canal anterior (paleocanal) oferecem possibilidades de diferentes formas de estudos dos sedimentos como identificação do material de origem (Monod et al., 2006) e análises que permitem o entendimento dos processos fluvio cársticos na formação dos paleovales (Benac et al., 2013).

A compreensão de depósitos fluviais avançou de forma significativa levando ao desenvolvimento de novos modelos deposicionais a partir do uso de geofísica rasa, combinada com demais técnicas consolidadas nas descrições de depósitos fluviais, como é o caso da observação direta por meio de trincheiras. Tal técnica por vezes funciona como meio principal de aquisição de dados para estudos de depósitos fluviais, no entanto, produzem informações limitadas na escala do canal e sessões 2D (Leclerc e Hickin, 1997).

O caráter dos reflexos de radar pode estar intimamente ligado as características de contatos entre rochas ou sedimentos (Leclerc e Hickin, 1997; Bridge, 2007). O GPR (Radar de Penetração no Solo) tem sido uma ferramenta eficiente para caracterizar o ambiente cárstico na identificação de áreas de subsidências, mapear paleocavernas colapsadas em subsuperfície, sumidouros e depósitos aluviais que preenchem as cavidades em ambiente, além de caracterizar tridimensionalmente a geomorfologia de superfície e subsuperfície (Poole et al., 2002; Anchuela et al., 2009; Reis Jn et al., 2014; Zarroca et al., 2017). No entanto, devido aos altos teores de argila, os depósitos aluviais têm sido frequentemente esquecidos.

Este estudo examina sedimentos fluviais contidos em vales secos que se referem aos canais capturados pelas transições fluviais superficiais para o sistema cárstico subterrâneo. Dessa forma, os sedimentos contidos nos vales puderam ser caracterizados por meio de análise de fácies sedimentares correlacionando com as fácies de radar identificadas.

1.1 Área de estudo

Os sítios estudados são em vales secos dos rios Pedras e Venturapresentes na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), localizada no nordeste goiano, cerrados do Brasil central, a oeste do Cráton de São Francisco (Figura 1). Os rios estudados exibem uma variedade de características cársticas ao longo dos leitos rochosos. Se originam na borda regressiva da Serra Geral de Goiás, cuja porção superior é composta pelos arenitos do Grupo Urucuia e, na encosta, presencia-se depósitos colúvio-aluviais com morros testemunho da transgressão que permite o afloramento na Formação Lagoa do Jacaré, composta por rochas carbonáticas.

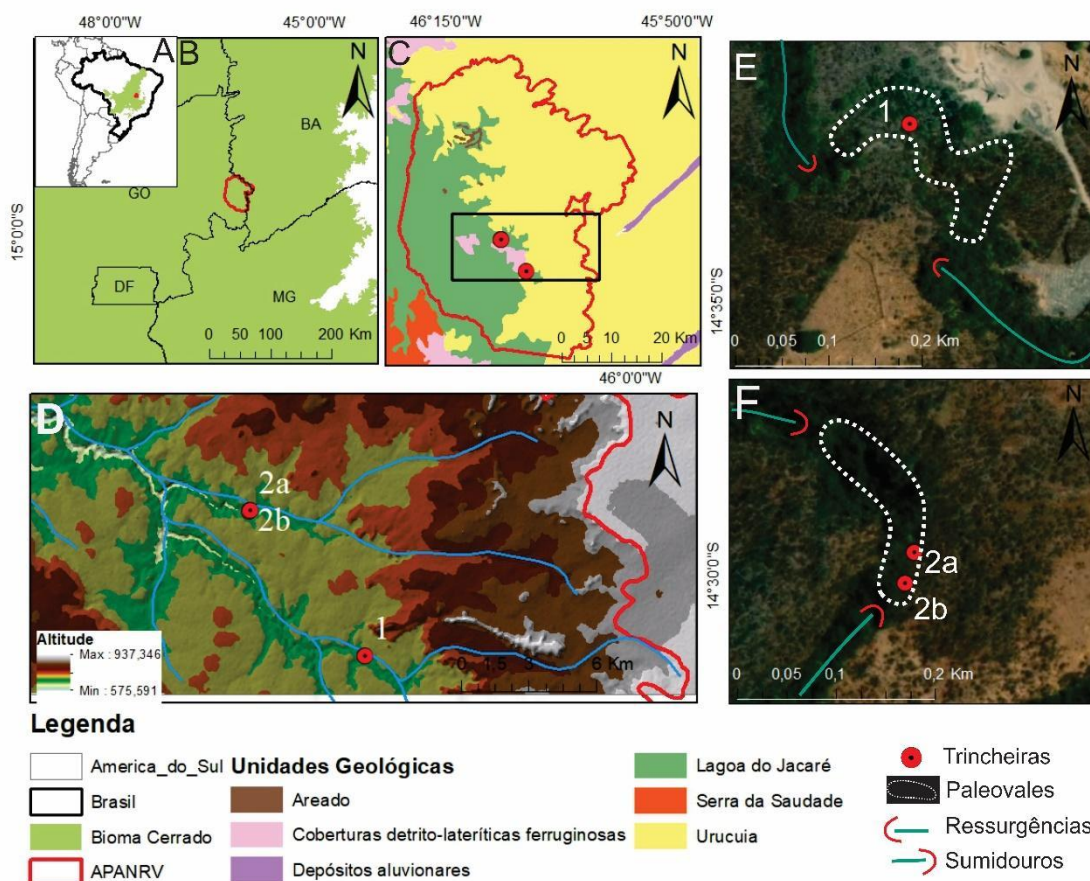


Figura 1- Configuração geográfica da área de estudo. A) Localização da área de estudo no contexto do bioma do Cerrado brasileiro na América Latina. B) APA no nordeste goiano e o contexto regional. C) Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) e as unidades e formações geológicas da região. D) área recorte destacando (retângulo) os paleovales abandonados do 1) rio das Pedras 2 (a/b) rio Venturaem relação a altitude e hidrografia (modelo de elevação-MDE). E) delimitação do paleovale 1, com sumidouro, F) delimitação do paleovale 2a, com sumidouro.

ressurgência e local do perfil analisado. F) delimitação do paleovale 2, com sumidouro, ressurgência e os locais dos perfis analisados. Fonte: SIG- Goiás-Superintendência de Geologia e Mining SIG (2006).

2 Metodologia

2.1 Descrição estratigráfica

Em estudos de depósitos superficiais fluviais o levantamento estratigráfico é uma etapa fundamental para o entendimento da dinâmica deposicional. Assim, requer que a aquisição de dados seja feita de maneira correta para obter um resultado satisfatório.

A partir da seleção dos depósitos iniciou-se a abertura de trincheiras para descrição dos perfis. Foram escolhidos dois depósitos e analisados três perfis: Perfil (1) vale do rio das Pedras – Perfil (2a/b) depósito do rio Ventura. As descrições dos perfis 1 e 2a foram realizadas entre os meses de outubro e novembro de 2018 e o 2b no mês de março de 2019. Os perfis foram efetuados em vales abandonados devido a captura da rede de drenagem por meio de sumidouro, mais precisamente no local onde possivelmente percorria o antigo fluxo, considerando ainda onde possivelmente teve menor influência coluvionar ao longo do tempo.

O levantamento estratigráfico consiste primeiramente na confecção de seções colunares, descrição sedimentológica, levantamento fotográfico e localização geográfica. As sessões foram construídas em papel milimetrado, separando os perfis em quadrantes com retirada do nível na base com uso de uma bússola e posteriormente desenhando cada estrato do perfil com suas especificidades. Considerou-se critérios para descrição como: cor, textura, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero. Além do tamanho de grão dominante, classificação, arredondamento e textura no sentido genético. Para determinação da cor utilizou-se a Carta Munsell a determinação da textura deu-se por análises laboratoriais (granulômetro) e observações de campo. Os perfis elaborados previamente em campo

juntamente com suas descrições e fotografias foram digitalizados e inseridos em software (CorelDraw) para confecção dos perfis estratigráficos.

A delimitação das fácies deposicionais foram estabelecidas por meio de correlações entre as diversas análises realizadas, principalmente quanto a granulometria, coloração e estrutura de acordo com Miall, (1985); Carthew et al., (2006).

2.2 Aquisição de dados em campo com GPR

O GPR é um método geofísico pouco invasivo que produz imagens (radargrama) seccionais verticais da subsuperfície rasa. A aquisição dos dados se baseia na propagação, reflexão e espalhamento de ondas eletromagnéticas de alta frequência dentro da superfície (Anchuela et al., 2009). Para aquisição dos dados, primeiramente fez-se necessário efetuar testes dos parâmetros de aquisição, com intuito de definir a amostragem, no qual foi possível estabelecê-los das seguintes formas: a) amostragem de 2048 sps (*samples per seconds*); b) janela temporal de 105 nanosegundos (ns) e c) *scam unit* de 50. A análise de velocidade do meio foi realizada indiretamente através da reflexão de um vergalhão (ferro) inserido em subsuperfície nas trincheiras. A antena utilizada é da marca GSSI, blindada, de frequência central 400 MHz.

A partir de uma caracterização realizada previamente possibilitou-se a definição das áreas para efetuação dos perfis 2D, que considerou os vales entre as encostas de cada área de estudo. Na área (1) foram efetuados no total 22 perfis sendo 10 deles de encosta a encosta e o restante entre a trincheira e a encosta sul do vale, na possível calha do rio (Figura 2).

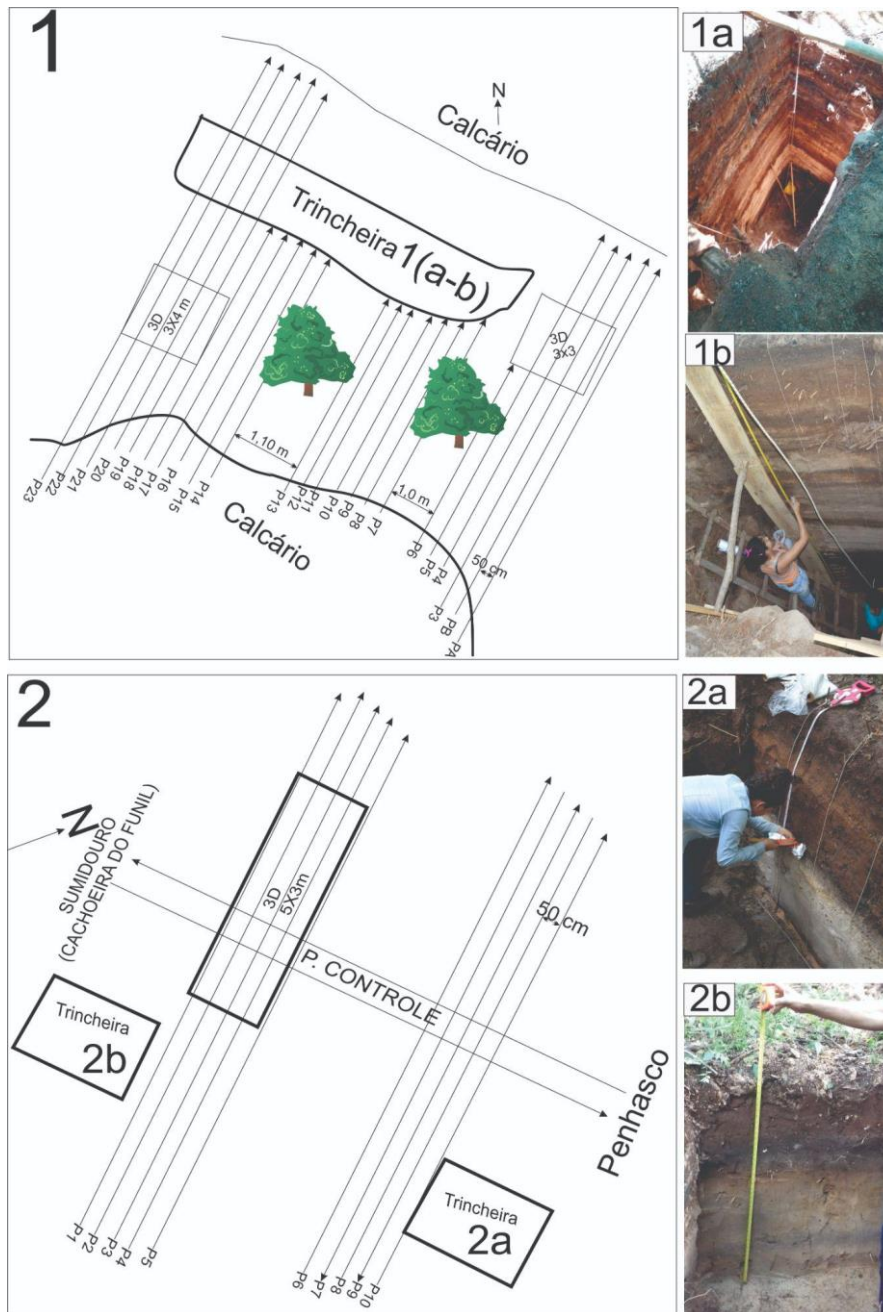


Figura 2- Modelos de aquisição de dados GPR (1) rio das Pedras (2) rio Ventura

Na área (2) foi necessário realizar 12 perfis de encosta a encosta sendo 2 de controle que se orientam entre as trincheiras na direção NW (Figura 2).

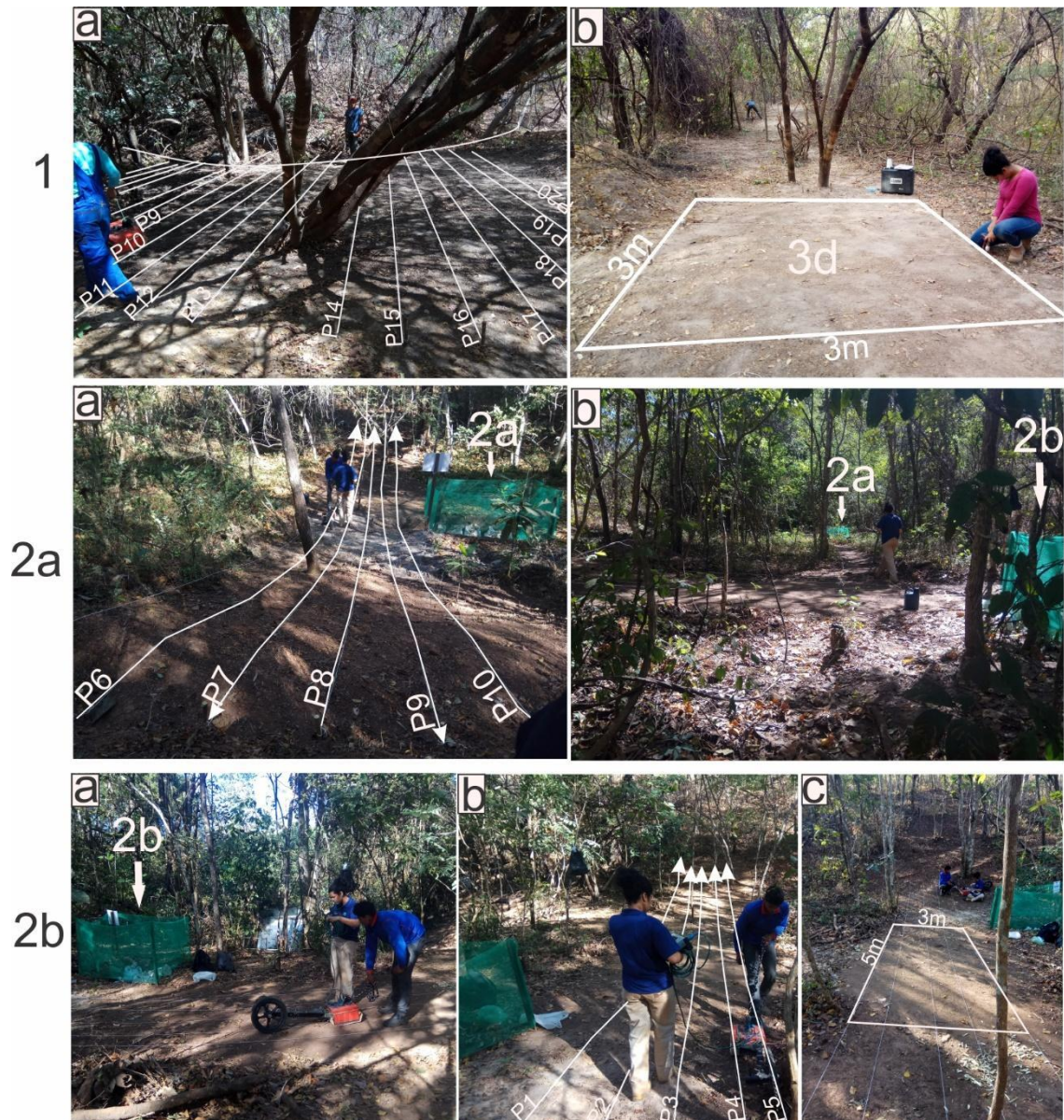


Figura 3- Depósito rio das Pedras (1), 1a malha de perfis de GPR, 1b confecção da malha do perfil 3d e abertura da trilha até a outra encosta. 2a-a perfis de GPR ao lado na trincheira de encosta a encosta. 2a-b trincheiras 2a e 2b e trilha dos perfis de controle. 2b-a confecção dos perfis de GPR de encosta a encosta próximo a trincheira (2b) próximo a captura (cachoeira). 2a-b passagem da antena nas trilhas demarcadas anteriormente. 2b-c área de efetuação do modelo 3d no meio do vale

3 RESULTADOS

3.1 Características sedimentológicas dos depósitos fluviais

Os depósitos analisados ocorrem em vales secos abandonados dos rios das Pedras e Venturapertencentes a bacia do rio Vermelho. Os sedimentos fluviais foram caracterizados

por meio de análise estratigráfica de perfis considerando a classificação de litofácies (MIALL, 1985), e fácies de tufas calcárias (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006) identificadas nos ambientes deposicionais de canais, apresentadas a seguir (Tabela 1).

Fácies (Códigos)	Fácies	Interpretação
<i>Sh</i>	areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação	fluxo planar (crítico)
<i>C</i>	carvão; argilas orgânicas; plantas, filmes de argila, lama carbonática	depósitos de brejos
<i>Fl</i>	areia, silte, argila; laminação fina, ripples muito pequena	depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente (waning floods)
<i>Fsm</i>	silte, argila; maciço	depósitos de canais abandonados ou brejos
<i>Fm</i>	argila, silte; maciço, gretas de dessecação	canais abandonados ou depósitos de cobertura
<i>Gh</i>	cascalho suportado pelos clastos e toscamente estratificado; estratos horizontais, imbricamento dos seixos	formas de leito longitudinais; depósitos residuais
<i>SWZ</i> <i>FLZ</i>	fácies de concha tufa autóctone que ocorre em associação com a camada radicular macrofítica ou fácies microdetrital	contêm conchas de moluscos em posição vital, ocorrem em piscinas e poços.
<i>SWZ</i>	Fácies de jangada de calcita: consiste em delgado crostas de calcita flutuantes Fácies microdetrital compreende lama micrítica, provavelmente produzida por cianobactérias, podendo conter jangadas de calcita afundadas.	são restritas a zonas de água parada em piscinas e poços, comuns na estação seca, pois as inundações removem as jangadas de superfície e lama da base do canal.

Tabela I Adaptado de (CARTHEW; TAYLOR; DRYSDALE, 2006; MIALL, 1985)

O depósito 1 referente ao vale seco do rio das Pedras apresentou três unidades deposicionais distintas. A primeira possui fácies arenosiltosa com raízes e cascalho oriundo do entorno onde há extração de calcário. A segunda essencialmente arenosa (96%) com seixos arredondados e subarredondados e estratificação plano-paralela (Figura 4). A terceira na base do depósito é majoritariamente arenosa, escura com presença de fragmentos de carvão. A fácies III permanece arenosa, no entanto um pouco escurecida com presença de material orgânico e

fragmentos de carvão (Figura 4).

Depósitos	Fácies (Codigos)	Estrutura sedimentar	Circularidade (%) Ma-Máxima Me-Média Mi-Mínima	Granulometria % média	Espessura (camada) (m)	Coloração (Carta Munsell)	Perda ao Fogo %	Fotos
1-PI	C,Gh	S/E/V	Ma:0.95 Me:0.84 Mi:0.20	Argila: 1.4 Silte: 14.3 Areia: 78.1 Cascalho: 6.2	0.60	Castanho Muito Pálido (10YR7/3)	2.23	
1-PII	Sh,Gh	Estratificações plano-paralelas	Ma:0.97 Me:0.83 Mi:0.19	Argila: 0.5 Silte: 3.1 Areia: 96.4	2.0	Branco (10YR8/2) Marrom escuro (10YR3/3) Castanho amarelado escuro (10YR3/4) Marrom-amarelado (10YR5/4)	4.5, 2.08 0.43, 3.59 0.4, 0.68	
1-PIII	C, Fsm	S/E/V	Ma:0.97 Me:0.79 Mi:0.20	Argila: 3.3 Silte: 6.9 Areia: 89.7	1.30	Marrom muito escuro(10YR2/2)	3.5, 2.47	
2a-RI	Fm	S/E/V	Ma:0.97 Me:0.84 Mi:0.25	Argila: 31.0 Silte: 56.1 Areia: 12.4 Cascalho: 0.5	0.80	Marrom muito escuro (10YR2/2) Castanho amarelado escuro (10YR4/4) Marrom escuro (10YR3/3)	15.84, 13.96 13.50	
2a-RII	SWZ FLZ	Estrutura com ondulações	Ma:0.94 Me:0.83 Mi:0.29	Argila: 11.3 Silte: 63.6 Areia: 24.8 Cascalho: 0.3	0.50	Cinzeno (10YR6/1) Cinza claro(10YR7/2)	44.25 44.41	
2a-RIII	Sh	S/E/V	Ma:0.95 Me:0.87 Mi:0.28	Argila: 4.1 Silte: 27.7 Areia: 68.2	0.20	Marrom acinzentado escuro (10YR4/2) Castanho (10YR3/2) Castanho Muito Pálido (10YR7/4)	43.27 3.81	
2b-RI	Fm	S/E/V	Ma:0.55 Me:0.58 Mi:0.51	Argila: 12.1 Silte: 27.0 Areia: 60.6 Cascalho: 0.3	0.20	Marrom muito escuro (10YR2/2)	11.43 7.90	
2b-RII	Sh	S/E/V	Ma:0.96 Me:0.84 Mi:0.14	Argila: 0.6 Silte: 2.3 Areia: 97.1	0.50	Castanho Muito Pálido (10YR7/4)	1.01 1.68 2.08	
2b-RIII	Sh	S/E/V	Ma:0.96 Me:0.83 Mi:0.16	Argila: 1.0 Silte: 3.7 Areia: 94.9 Cascalho:0.4	0.20	Castanho (10YR3/2)	1.90 3.67	

Figura 4 - Características gerais de campo e laboratório dos sedimentos Depósitos 1-rio das pedras e 2a- rio Rachão 2b-rio Ventura (Sem estruturas visíveis -S/E/V)

O depósito do vale seco do rio Ventura2a, foi organizado em três unidades, a primeira superficial é siltosa escura e com significativa quantidade de material orgânico. Enquanto a segunda é visivelmente distinta, composta por fácies siltosas de tufa calcária (SWZ, FLZ) com estrutura com ondulações, fósseis de moluscos e grande quantidade de matéria orgânica, com coloração cinza bem demarcada. Todavia, a partir dessa ocorre uma mudança brusca de material em direção a base, sugerindo a terceira unidade que passa a ser essencialmente arenosa (68%).

O segundo perfil estratigráfico efetuado no vale seco do rio Ventura(2b), apesar da proximidade com o 2a, possui três unidades, cuja primeira é arenosa rica em matéria

orgânica, escura e com maior quantidade de silte em relação a segunda que é essencialmente arenosa (97%), e de coloração clara, por fim a terceira em direção a base que continua arenosa (94%) com cascalho e coloração mais escura.

3.2 Estratigrafia de Radar

Nos vales secos analisados, foram efetuadas trincheiras que atingiram no máximo 4.6 m. Desta forma, utilizou-se a antena de 400MHz que conseguiria atingir a profundidade necessária com melhor resolução. Os perfis de GPR são amplamente utilizados para retratar as principais características morfológicas, classificar as fácies sedimentares e a organização dos diferentes depósitos fluviais. Os radargramas foram analisados utilizando dos princípios oriundos da estratigrafia sísmica, identificando superfícies de reflexão para, assim, definir a arquitetura dos sedimentos e radar fácies. As radar fácies são identificadas por meio de características dos refletores, como ângulo de inclinação, relação, forma e continuidade (Smith et al., 2006), e também o mergulho, amplitude, a relação entre os refletores e a continuidade (Neal, 2004; Lopes et al., 2013).

Associações de radar fácies dos canais fluviais da APANRV

3.3 Descrições e Interpretações

Depósito 1 –Rio das Pedras

O sistema de reflexão do GPR consiste em demonstrar a variação deposicional de acordo com a reflexão diferenciada de cada material. Dessa forma, por certamente apresentar características semelhantes ao longo do vale, indica que não há mudanças significativas em termos de composição deposicional na área avaliada. Pois, conforme o perfil o depósito 1 ou seja, rio das Pedras, consiste em um pacote 4.6m de espessura de sedimento arenoso, com variação de matéria orgânica, principalmente com mudança significativa em relação a cor e não a textura ou tipo de material, sendo exclusivamente arenoso O perfil deposicional

(trincheira) foi dividido em três subfácies de canal, considerando a idade algumas mudanças sutis de presença ou não de seixos e fragmentos de carvão e principalmente em relação a coloração

Os perfis completos de encosta a encosta do vale retratam bem a forma côncava do vale e aparentemente a calha do rio, existente próximo a borda esquerda, observada em todos os perfis efetuados (Figura 5).

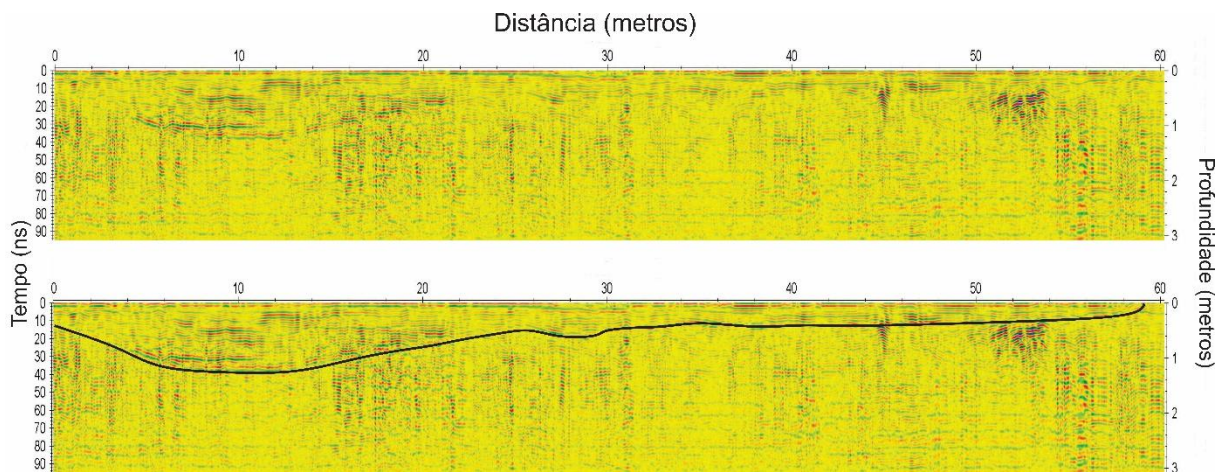


Figura 5- Rio das pedras perfil de GPR com a marcação da calha deposicional

A similaridade de sinal ao longo do vale sugere o preenchimento do vale por sedimentos de estrutura similares. Isso sugere que esta associação de fácies representa depósitos de preenchimento de canal fluvial.

A direita do perfil possui o pacote mais expresso de deposição similar organizada horizontalmente como demonstrou a trincheira e a esquerda, ou seja, na parte convexa de um meandro, após o pacote mais organizado deposição mais confusa, pois deve se tratar do material depositado em diferentes fases do fluxo de energia, e quando sem competência de transporte deposita na parte convexa de um meandro e sendo, mais tarde, fossilizada por sedimentos subjacentes. O preenchimento da calha está associado a características das fácies de canal que inclui os depósitos de cascalhos e areias grossas, apresentando bases côncavas erosivas.

A facie de radar mais evidenciada exibem características baseadas em calha do rio, na borda esquerda, com estratos laminados de alta e média amplitude delimitadas por reflexões côncavas de baixa amplitude que caracterizam o canal; mostra ainda reflexões oblíquas a paralelas, contínuas de média a alta amplitude relacionadas com arenito laminado depósitos; a direita do vale correspondem a barras de meandro que foram se acumulando a partir da parte convexa do vale em eventos de aumento de fluxo; a borda dos vales é composta por corpos sem reflexão relacionados ao afloramento de rocha calcária nas encostas do vale, produzindo áreas de baixa amplitude.

Depósito 2 –Rio Ventura

Descrição

Essa associação de fácies referentes ao depósito 2 trata-se do rio Ventura, e consiste em pacotes de 1 a 1.5 metro de profundidade. Sendo a primeira (2a) com variação de material siltoargiloso superficial e no meio formação de tufa calcária com intercalação de fácies de jangada de calcita e microfítica (Carthew et al., 2006) com conchas de moluscos e matéria orgânica, e uma mudança abrupta para uma fina camada de areia sob a rocha base. O perfil deposicional (2b) é composto por um estrato superficial siltoargiloso e o restante do pacote, até a base, possui material essencialmente arenoso, mudando apenas a coloração.

Todos os perfis de radar efetuados mostraram a calha do rio no meio do vale, preenchido por sedimentos. O vale é delimitado por estratos paralelos de alta e média amplitude (Figura 5-e).

O perfil de controle efetuado no meio do vale (horizontal), iniciando próximo ao sumidouro (cachoeira) seguindo o vale seco, demonstrou fácies de radar no início plano paralelas e com algumas variações de deposições (a), um banco de areia côncavo de alta amplitude (b) e por fim deposições plano-paralelas de baixa ou nenhuma amplitude (Figura 6).

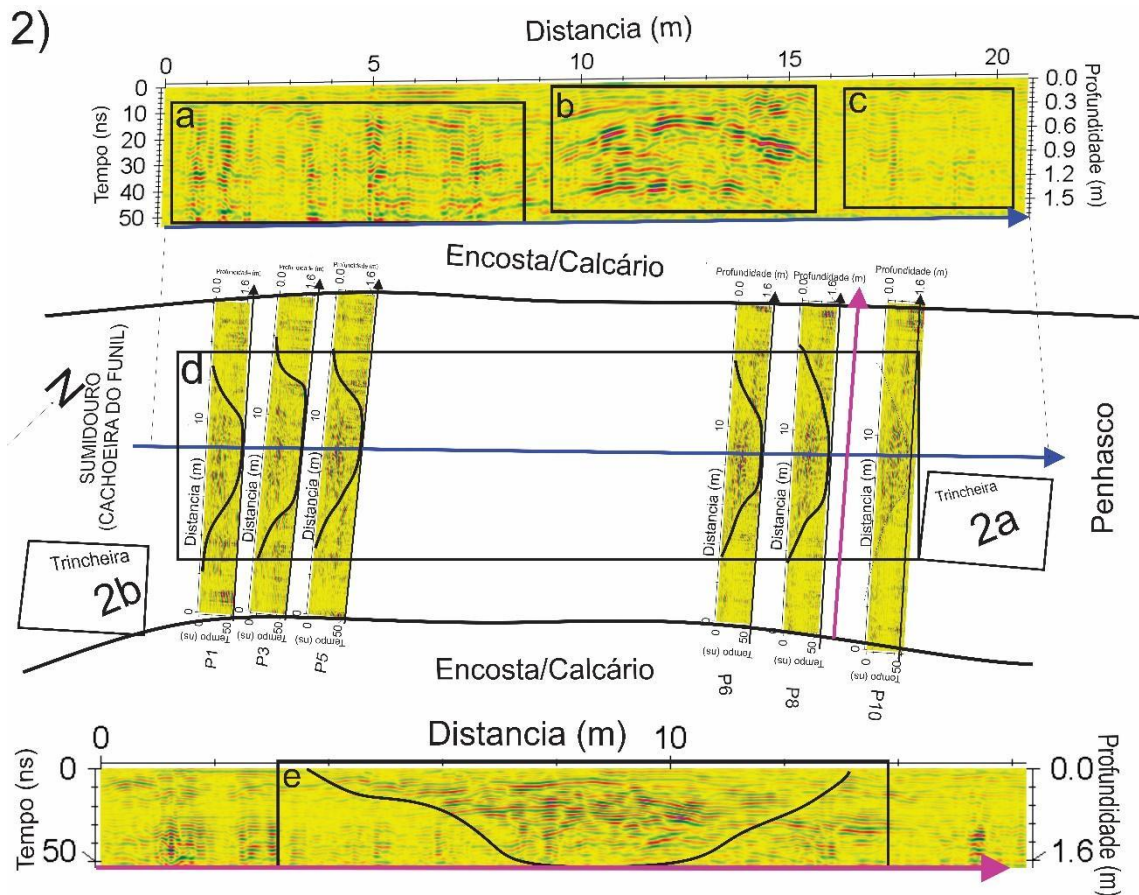


Figura 6- Perfis organizados no vale de acordo com as aquisições verticais e horizontais demonstrando a calha anterior preenchida por sedimentos de alta reflexão organizados de forma retilínea e sobrepostos

A uniformidade dessa associação de fácies indica a preservação preferencial dos depósitos de canal e barra fluvial. O arenito laminado de granulação fina é interpretado como um depósito de barra que se acumulou sob o regime de fluxo superior na parte mais rasa do canal (Miall, 1985).

3.4 Modelos 3D de perfis na caracterização dos depósitos fluviais em vales secos

Os dados de GPR expressam o meio geológico com suas litologias e discontinuidades como variações na morfologia e no padrão das reflexões dos radargramas. Dessa forma, um maciço rochoso (regolito) os sedimentos remobilizados, apresentam uma reflexão mais incoerente,

caótica ou com pouca reflexão. No entanto, como se espera em depósitos sedimentares em camadas, ou materiais compactados, normalmente se apresenta um padrão laminado, sub-horizontal, concordante e coerente (MIRANDA, 2004). O levantamento GPR alcançou resolução e penetração adequadas nas sucessões dos vales secos. A análise de fácies de radar a nível do vale foi complementar e fundamental com as estratigráficas por meio das trincheiras. Os dados indicam continuidade lateral e horizontal dos sedimentos a nível do vale expressando a calha anterior do rio. A existência de material essencialmente arenoso pode ser responsável pelos reflexos observados.

Os perfis verticais (encosta a encosta) indicam várias sucessões cíclicas de estratos paralelos retilíneos sobrepostos. Esta ciclicidade reflete diferentes situações de capacidade de transporte e deposição ao longo do tempo, também sendo observados nas sequências estratigráficas elaboradas.

A Figura 7 ilustra o modelo 3d do rio das pedras localizado na calha do vale seco, que demonstra claramente o aspecto homogêneo e plano-paralelo, uma vez que o modelo foi realizado no centro da calha do rio, no vale, conforme identificado por meio dos perfis 2d de encosta a encosta do vale.

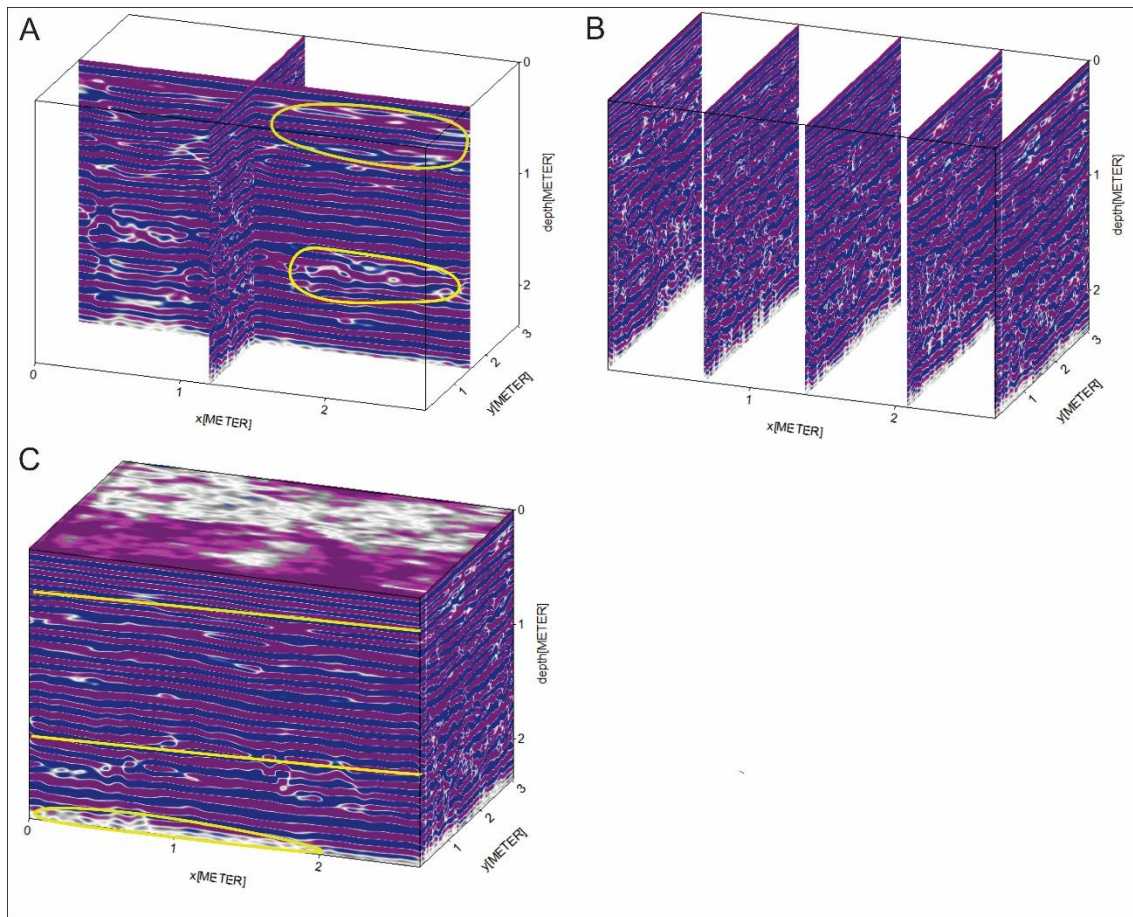


Figura 7 - Depósito Rio das Pedras 1 A) cubo sólido 3D B) bloco diagrama GPR 3D C) cubo sólido 3D

O depósito fluvial no vale por se tratar de materiais essencialmente arenosos, verificados por meio da trincheira, ocorre alta reflectância comparado principalmente às encostas com o afloramento do calcário que demonstrou baixa reflectância. As áreas com alvos claros podem estar associadas as ocorrências de agrupamentos de seixos que foram encontrados na trincheira (Figura 6-A). O bloco inteiro (Figura 6-C) evidencia três fases que ocorre variação da laminação, pois a primeira superficial as camadas são mais retilíneas, paralelas e próximas, enquanto a segunda fase, do meio, sofre ondulações suaves nas camadas e são mais espaçadas. Por fim, a última aumenta o espaçamento e ondulações e no fim a mesma apresenta uma área com mais alvos claros.

Se tratando do vale do rio Ventura (2) o bloco 3d (Figura 8) foi realizado horizontalmente no vale, próximo a trincheira (2a) e a captura. O modelo 3d demonstra a estratificação cruzada (épsilon), de deposições arenosas com alta reflexão, podendo desta forma, ser interpretada como deposições cruzadas acanalada (*Trough cross-lamination*) intercaladas de acordo com o movimento hídrico, pois envolve erosão em canal e subsequente deposição.

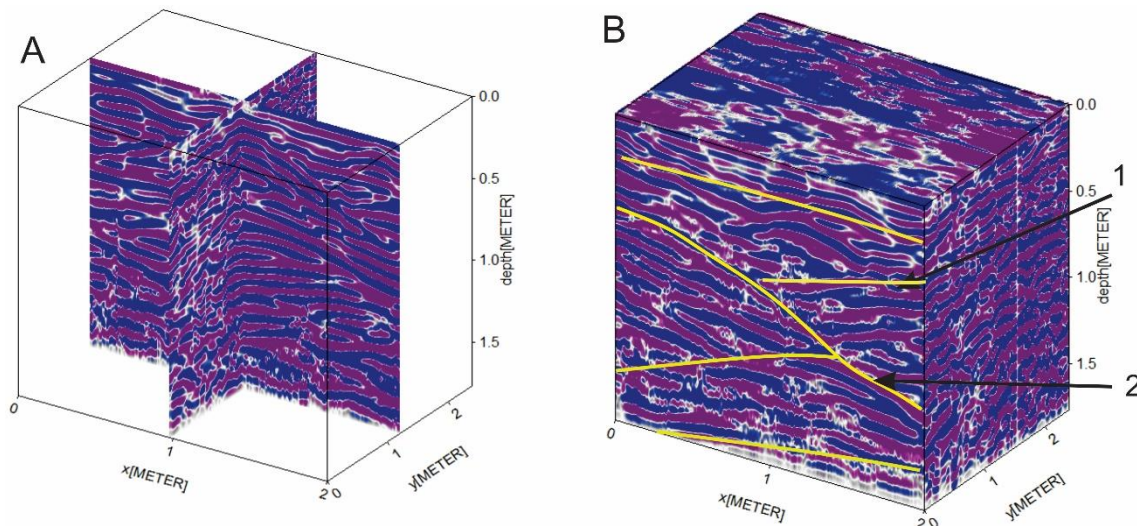


Figura 8 - Depósito Rio Ventura2 A) cubo sólido 3D B) bloco diagrama GPR 3D

Ambos os vales apresentam clara geometria em forma de canal preenchido com sedimentos fluviais (Magalhães et al., 2017). Assim, a presença de depósitos de canais fluviais confirma a ocorrência do rio e posteriormente sua captura e transição para o sistema cárstico, com abandono do vale com contendo os sedimentos registros do período deposicional anterior.

4 DISCUSSÃO: CORRELAÇÕES FÁCIES SEDIMENTARES COM AS RADAR FÁCIES

Por meio dos perfis 2d do vale do rio das pedras (1) pode-se verificar a abrangência do depósito fluvial em relação às encostas, pois o material fluvial arenoso obteve alta refletância comparado às encostas com afloramento do calcário. Os modelos 3d centralizados na calha anterior do rio caracterizaram melhor a organização das camadas sedimentares que

compõem o depósito. Sendo verificadas camadas plano paralelas, com algumas diferenciações quanto a proximidades e forma.

Os perfis 2d de GPR no vale seco do rio Ventura foram fundamentais para caracterizar os depósitos sedimentares contidos nos vales secos, com altas refletâncias sequenciais e uniformes (NUNES, 2020), aqueles que alcançaram as encostas apresentaram baixa refletância nestas áreas pois, identificaram as faixas onde estão localizados os carbonatos, corroborando com os resultados encontrados por Nunes (2020) que ainda salienta que ocorre diferenciação da refletância quando se trata dos carbonatos calcários mais puros em relação aqueles com margas, pois, a argila presente neste último provoca menores amplitudes na reflexão.

Os modelos 3d localizado no meio do vale próximo o sumidouro demonstrou deposição de camadas de estratificação cruzada acanalada. Estes estratos inclinados se formam, mas normalmente em areia e cascalho pela migração de formas de leito e tendem a ser conservados caso haja acumulação de sedimentos. Caso a forma de leito for uma marca ondulada, a estrutura resultante será uma laminação cruzada. Superfícies inclinadas formadas na margem interna de um rio por migração de barra pontual, são um tipo de estratificação cruzada referida como BED-SET ou SET. Quando a camada contém mais de um set com o mesmo tipo de estrutura, esse conjunto é chamado de CO-SET (COLLINSON; MOUNTNEY; THOMPSON, 2006).

O levantamento GPR alcançou a resolução e a penetração adequadas nos depósitos considerando as trincheiras efetuadas. A análise de fácies dos dados estão de acordo com a constante dielétrica relativa e a condutividade elétrica de cada variável, pois são as principais propriedades que governam o comportamento das ondas de radar em subsuperfície, uma vez que o arenito pode ser responsável pelos fortes reflexos conforme Magalhães et al., (2017).

5 CONSIDERAÇÕES

A análise dos sedimentos contidos em vales secos por meio do radar de penetração foi importante para verificar a constância e o padrão deposicional em relação aos vales, verticalmente e horizontalmente, superficialmente e em profundidade, considerando a caracterização feita por meio de trincheiras pontuais. A homogeneidade dos sedimentos verificados na trincheira, principalmente do rio das Pedras foi também observada no padrão reflexivo. Enquanto no rio Venturaque apresentou maior diversidade reflexiva. Desta forma, verificou-se o preenchimento dos vales por sedimentos fluviais, corroborando com a ideia do abandono dos vales secos devido à dinâmica fluvio cárstica.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem imensamente o apoio dos órgãos ambientais Instituto Chico Mendes (ICMBio), Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB). Projeto 014/18 Compensação Espeleológica TCCE ICMBio / Vale Projeto “Susceptibilidade, hidrologia e geomorfologia cárstica aplicadas à conservação do patrimônio espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho - APANRV

8 REFERÊNCIAS

CARTHEW KD, TAYLOR MP & DRYSDALE RN. 2006. An environmental model of fluvial tufas in the monsoonal tropics, Barkly karst, northern Australia. *Geomorphology* 73: 78–100.

COLLINSON J, MOUNTNEY N & THOMPSON D, eds. 2006. Collinson, J Mountney, N Thompson, D, 3 ed., England: Terra, 92 p.

MAGALHÃES AJC, LIMA-FILHO FP, GUADAGNIN F, SILVA VA, TEIXEIRA WLE, SOUZA AM, RAJA GABAGLIA GP & CATUNEANU O. 2017. Ground penetrating radar for facies architecture and high-resolution stratigraphy: Examples from the Mesoproterozoic 152

in the Chapada Diamantina Basin, Brazil. *Mar Pet Geol* 86: 1191–1206.

MIALL AD. 1985. Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Rev Elsevier Sci Publ BV* 22: 261–308.

MIRANDA HCB de. 2004. Interpretação conjunta de dados de GPR e medidas de permeabilidade sobre um análogo de reservatório siliciclástico falhado na bacia de tucano, NE do Brasil. 40–89.

NUNES JGDS. 2020. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambaí-GO. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O levantamento teórico metodológico proposto capítulo 1 contendo dois artigos foi fundamental para aprofundamento dos conceitos e metodologias que foram trabalhadas, bem como conhecer o universo de análise que estão sendo estudadas, contemplando a temática em questão. No primeiro artigo teórico, verificou-se que existem poucos estudos em vales secos, que oferecem potencial para diversas análises geomorfológicas, pois, o abandono repentino destes vales permite que eles resguardem sedimentos que vinham sendo transportados até a captura do rio. Fatores como o tectonismo e o clima foram elencados como fenômenos que influenciam a dinâmica fluvio cárstica, sendo a maioria por controles climáticos. Envolvendo o cenário brasileiro, devido a dificuldade de resguardar sedimentos em sistemas fluviais convencionais, os vales secos de áreas cársticas podem oferecer dados necessários para cobrir tais reconstruções paleambientais por meio do conhecimento da dinâmica climática de estágios e eventos correlatos ao período do Holoceno Superior, bem como suas influências na dinâmica da paisagem.

O segundo artigo teórico concluiu que apesar do crescimento do número de pesquisas em depósitos fluviais brasileiros, verifica-se clara concentração na região norte e sudeste, fato que dificulta a compilação de dados para uma abordagem mais integradora da evolução da paisagem, considerando a extensão territorial do país. O aumento de pesquisas abrangendo o território nacional se faz cada vez mais necessário para compreensão dos eventos paleoclimáticos, que oferecem subsídios relevantes no entendimento das mudanças climáticas, sendo evidenciadas devido a ocorrência eventos extremos, causando perdas humanas, ecológicas e econômicas.

O primeiro artigo dos resultados do qual demonstrou deposições fluviais caracterizadas por variabilidade de fluxos, como mais lentos, deposição arenosa com matéria orgânica e formação de tufa calcária, e fluxos mais intensos com transporte de seixos. O conjunto de análises realizadas apontaram que não existe uma relação entre os eventos climáticos com os processos deposicionais pois ocorreram de forma relativamente homogênea durante todo o período analisado, com hiatos deposicionais comuns em ambientes sedimentares fluviais. A própria dinâmica cárstica está envolvida no processo evolutivo das cavernas que acontecem considerando os lineamentos estruturais regionais.

O segundo artigo de resultado estabeleceu a proposta de evolução das áreas analisadas considerando a deposição ocorrida até a captura dos rios para o ambiente subterrâneo por meio

dos sumidouros. Concluindo que os depósitos apresentaram variações deposicionais, significativas quanto a coloração e/ou granulometria principalmente no depósito 2 (Rio Ventura), demonstrando assim velocidade de fluxo e capacidade de transporte variáveis nos períodos estabelecidos. Segundo os registros isotópicos não houve modificações significativas de mudança na vegetação ($\delta^{13}\text{C}$). As transições fluviocársticas ocorreram em momentos distintos, porém todas as fases deposicionais ocorrem de forma razoavelmente homogênea ao longo do período, com hiatos deposicionais, mas sem relação com eventos climáticos. O fator estrutural direciona a carstificação e ocorrência de capturas de fluxos superficiais, contribuindo no processo de evolução da paisagem de forma geral, ou seja, recuo da escarpa da Serra Geral com transporte de sedimentos característicos do Grupo Urucua e expondo rochas pelito-carbonatadas da Formação Lagoa do Jacaré. Desta forma, conclui-se que as diferenças temporais e dinâmica evolutiva individuais dos vales demonstram que a região cárstica é composta por diferentes estágios evolutivos, mas que juntos se apresentam constante e complexo, visto que há muitos fatores envolvidos, mesmo considerando neste caso somente os naturais.

O último artigo de resultado que tinha como objetivo verificar a constância e o padrão deposicional em relação aos vales, verticalmente e horizontalmente, superficialmente e em profundidade, demonstrou o preenchimento dos vales por sedimentos fluviais, corroborando com a ideia do abandono dos vales secos devido à dinâmica fluviocárstica.

Dessa forma, com a utilização de inúmeras análises foi possível levantar uma série de informações e interpretações dos depósitos em vales secos envolvendo a dinâmica fluviocárstica. Tais informações podem ser importantes para gestão e conservação da APANRV, e ainda valorização do patrimônio espeleológico da região. Além disso, somando mais estudos sobre essas regiões de dinâmicas complexas que geram paisagens de belezas cênicas relevantes no contexto científico, econômico, cultural, social e turístico.

6 REFERÊNCIAS (Introdução/Área de Estudo)

Alvarenga, C.J.S. de, Botelho, N.F., Dardenne, M.A., Lima, O.N.B. de, Machado, M.A., 2007. Geologia da folha Cavalcante- SD.23-V-C-V. CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, Brasília.

Bai, X., Zhang, X., Long, Y., Liu, X., Siyu, Z., 2013. Use of ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements on deposits in a karst depression to study the erosional response of a small karst catchment in Southwest China to land-use change. *Hydrol. Process.* 27, 822–829. <https://doi.org/10.1002/hyp.9530>

Benac, Č., Juračić, M., Matičec, D., Ružić, I., Pikelj, K., 2013. Fluviokarst and Classical Karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia).” *Geomorphology*, vol. 184, 2013, pp. 64–73, doi:10.1016/j.geomorph.2012.11.016.st and classical karst: Examples from the . *Geomorphology* 184, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.016>

Caldeira, D., Uagoda, R., Nogueira, A.M., Garnier, J., Sawakuchi, A.O., Hussain, Y., 2021. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. *Quat. Int.* 580, 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.01.012>

Cherem, L.F.S., Varajão, C.A.C., 2014. O PAPEL DA LITO-ESTRUTURA DO CARSTE NA MORFODINÂMICA CENOZÓICA DA SERRA GERAL DE GOIÁS (GO/TO/BA): APROXIMAÇÕES INICIAIS. *Geonorte* 10, 180–184.

Cruz, B.A. da, 2012a. Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás. Universidade de Brasília.

Cruz, B.A. da, 2012b. Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.

De Waele, J., Ferrarese, F., Granger, D., Sauro, F., 2012. Landscape evolution in the Tacchi area (Central-East Sardinia, Italy) based on karst and fluvial morphology and age of cave sediments. *Geogr. Fis. e Din. Quat.* 35, 119–127. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2012.35.11>

Gaspar, M.T.P., Campos, J.E.G., 2007. O Sistema Aquífero Urucuaia. *Rev. Bras. Geociências* 37, 216–226. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.200737s4216226>

Gioia, D., Sabato, L., Spalluto, L., Tropeano, M., 2011. Fluvial landforms in relation to the geological setting in the “Murge Basse” karst of apulia (Bari metropolitan Area, Southern Italy). *J. Maps* 7, 148–155. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1136>

Hussain, Y., Uagoda, R., Borges, W., Nunes, J.G.S., ..., 2020. The potential use of geophysical

methods to identify cavities, sinkholes and pathways for water infiltration: a case study from Mambaí, Brazil.

Jaillet, S., Pons-Branchu, E., Brulhet, J., Hamelin, B., 2004. Karstification as geomorphological evidence of river incision: The karst of Cousance and the Marne valley (eastern Paris Basin). *Terra Nov.* 16, 167–172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2004.00544.x>

Jerin, T., Phillips, J., 2017. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. *Geomorphology* 282, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.013>

Jocy, O., Cruz, B., 2019. ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL. ICMBio, Brasília.

Karman, I., 1994. Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do ribeira de Iguapé, sudeste do estado de São Paulo. Universidade de São paulo.

Miranda, S.A.M., 2016. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO : CONFLITO SOCIOAMBIENTAL EM MAMBAÍ – GO. Universidade de Brasília.

Monod, O., Kuzucuoğlu, C., Okay, A.I., 2006. A miocene palaeovalley network in the western Taurus (Turkey). *Turkish J. Earth Sci.* 15, 1–23.

Mylène Berbert-Born, Trindade, J.S. da, 2003. Introdução à geomorfologia e espeleologia da região de Mambaí, Goiás, in: Motta, J.A.O. (Ed.), Projeto Cavernas Mambaí: Caracterização Do Ecossistema Cárstico Localizado No Município de Mambaí e Entorno. Ministério Do Meio Ambiente - MMA, Goiás, pp. 41–76.

NUNES, J.G.D.S., 2020. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambaí-GO. UNB/PÓSGEA. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB.

Phillips, J.D., Martin, L.L., Nordberg, V.G., Andrews, W.A., 2004. Divergent evolution in fluviokarst landscapes of central Kentucky. *Earth Surf. Process. Landforms* 29, 799–819. <https://doi.org/10.1002/esp.1070>

Phillips, J.D., Walls, M.D., 2004. Nonlinear Processes in Geophysics Flow partitioning and unstable divergence in fluviokarst evolution in central Kentucky. *Nonlinear Process. Geophys.* 11, 371–381.

Piló, L.B., Auler, A.S., 2019. Introdução à espeleologia, in: Jocy, O., Cruz, B. (Eds.), ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL. ICMBio, Brasília, p. 265.

Travassos, L.E.P., 2019. Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília.

Woodside, J., Peterson, E.W., Dogwiler, T., 2015. Longitudinal profile and sediment mobility as geomorphic tools to interpret the history of a fluviokarst stream system. *Int. J. Speleol.* 44, 197–206.

ANEXOS

Apresentação de trabalho: III Encontro de Pesquisa, Extensão e Divulgação das Unidades de Conservação do Vão do Paranã e Entorno



ESTUDO PALEOAMBIENTAL DA DINÂMICA DO SISTEMA FLUVIOCÁRSTICO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NASCENTES DO RIO VERMELHO (APANRV) NO NORDESTE GOIANO

INTRODUÇÃO

As paisagens cársticas possuem um enorme valor científico, ambiental, cultural e turístico e compreender a dinâmica fluvio-cárstica é fundamental para sua conservação. A APANRV que dispõe de uma rica paisagem cárstica com rochas pelito-carbonatada neoproterozóicas, associado a formação Lagoa do Jacaré pertencente ao grupo Bambuí, com cavernas, dolinas além de paleocanais abandonados devido a ocorrência de captura de drenagem por meio de sumidouros formando vales secos, onde são preservados sedimentos fluviais remanescentes do momento anterior a captura.

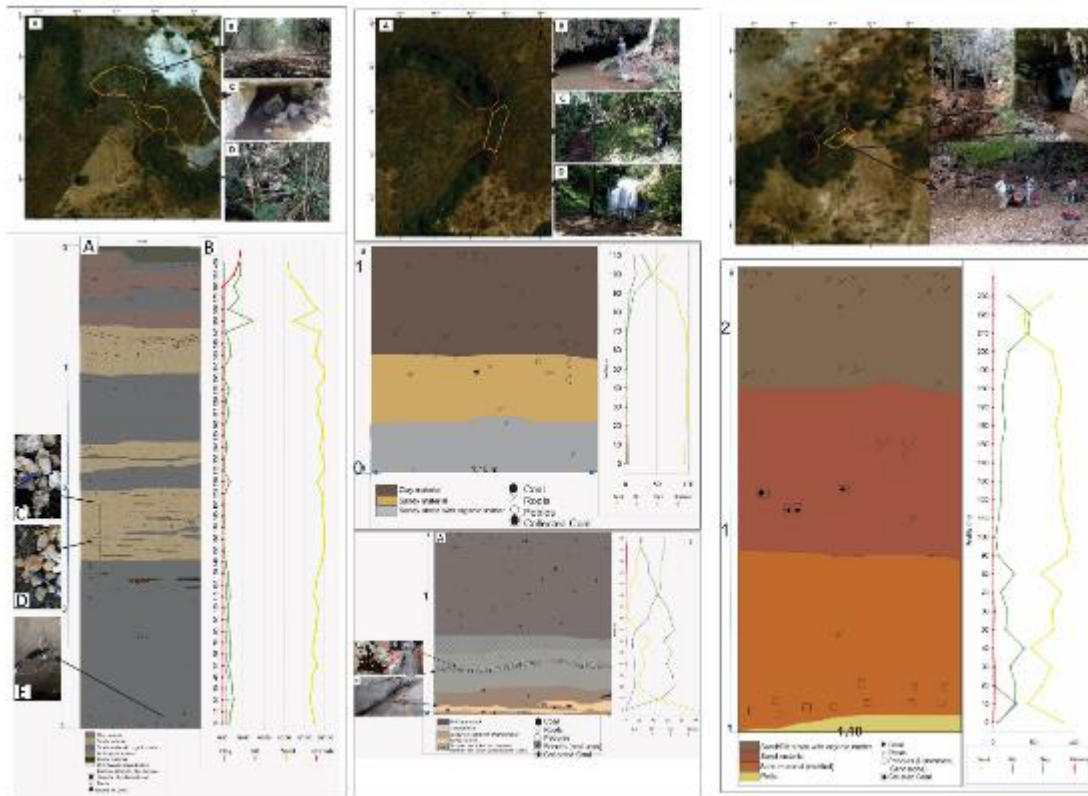
METODOLOGIA

Os sedimentos fluviais em vales abandonados foram primeiramente mapeados por interpretação de imagens de satélite e trabalhos de campo, e foram selecionados três depósitos nos principais afluentes do Rio Vermelho para sendo estes: Rio das Pedras, Rio Riachão e Córrego Extrema.

Nestes depósitos foram realizadas análises de perfis estratigráficos, análises granulométricas além de datações de radiocarbono a partir de fragmentos de carvão e fósseis de um estrato com formação de taifa calcária no depósito do Rio Riachão.

RESULTADOS

A partir dos dados estratigráficos construídos pode-se verificar a dinâmica deposicional por meio da forma e composição dos estratos que são compostos majoritariamente por material arenoso. As idades estimadas dos depósitos foram as seguintes Rio das Pedras 2.311 – 2.094 cal BP; Córrego Extrema 13.162 – 13.029 cal BP; Rio Riachão (1) 414-324 cal BP; Rio Riachão (2) 1.296 – 1.180 cal BP e Rio Riachão- Fósseis (3) 2.095 – 1.926 cal BP. Tais idades demonstram que se trata de materiais relativamente recentes (Holoceno), ou seja, a dinâmica fluvio-cárstica da área encontra-se em plena atividade atuando na transformação do relevo, bem como, as taxas de erosão e deposição de sedimentos. Este estudo encontra-se em andamento e poderá fornecer informações que contribuam para gestão e conservação da área cárstica estudada.



Resumo : Regional Conference On Geomorphology Athens 2019: RCG 2019

Dear ADIVANE NOGUEIRA,

Title: Inferring The Geomorphological Dynamics From The Study Of Paleochannels: A Case Study Of Central Brazilian Cerrado

Author: Mrs Adivane Nogueira, Dr Rogério Uagoda , Mrs Dandara Caldeira

Submission Type: Poster

Topic: S09. Karst Geomorphology

I would like to confirm that your submission entitled "Inferring The Geomorphological Dynamics From The Study Of Paleochannels: A Case Study Of Central Brazilian Cerrado" has been accepted for a Poster Presentation in RCG2019_Abstract, to be held in Athens, Greece, 19-09-2019 - 21-09-2019.

Please conform to the deadlines given on the conference website for the registration related matters. You can check the session you will be presenting from the conference programme to be announced on the website soon.

We are looking forward to welcoming you in Athens. Please do not hesitate to contact us should you require further information and/or guidance.

Yours Sincerely,

Chair signature

Chair Title, Name & Lastname

INFERRING THE GEOMORPHOLOGICAL DYNAMICS FROM THE STUDY OF PALEOCHANNELS: A CASE STUDY OF CENTRAL BRAZILIAN CERRADO

The north-eastern portions of the Brazilian Cerrado are rich in karstic landscapes, geologically composed of Neoproterozoic Pelito-Carbonate rocks of *Lagoa do Jacaré* formation of the Bambuí group. The paleochannels in the area have resulted from the drowning of surficial drainage networks into the Karstic features (e.g., sinks) that make underground flow systems in the area. These paleochannels protect the sediments from the period prior to collapse. The present research is carried out for reconstruction paleoenvironmental of the karstic landscapes through studying of fluvial sediments trapped in these paleovalleys. To that end, nine paleovalleys were studied in the area of approximately 176,000 ha, using an integrated approach (e.g., geoprocessing techniques, remote sensing, and fieldworks). The characterization and stratigraphies of the selected profiles were presented in the form of cross-sections. In addition, the soil samples were also taken for geochronological analysis by radiocarbon method. The physical and chemical analyses were also applied. The geochronological analysis of paleochannel deposits at an average thickness of 2.35 meters, showed a range of 400 +/- 30, 2220 +/- 30, 1350 +/- 30 and 11270 +/- 30 cal and BP years of sandy and clayey depositions. The sandy packages consist of gravels with rounded and sub-rounded pebbles of the fluvial environment along with plane-parallel laminations, interspersed with dark sandy layers with the presence of organic matter, which were attributed to periods prior to drainage capture. In spite of the considerable thickness and stratigraphic variations observed on the profiles, the estimated ages correspond to recent periods, which show an active fluvio-karstic system in the area having an estimated sedimentation rate of around 0.26 cm per year. The paleoenvironmental reconstruction makes it possible to obtain the necessary knowledge for the management and protection of these areas of enormous scientific, environmental and cultural values.

Keywords: Brazil karst; paleovalleys; geochronology;

International Union of Speleology (UIS)

MY SUBMISSIONS > MY SUBMISSIONS


Google Translate

Upload your paper.
You are able to edit your submission up until the review process starts.

You can't make a new submission

My submissions

View your submissions ⓘ

STATUS	TITLE	ACTIONS
Accepted for poster	 Fluvial depositional systems: morphoscopical analysis of sediments in dry valleys in central Brazil ADIVANE NOGUEIRA, Dandara Caldeira, Leonardo Mendes, Rogério Uagoda sciencesconf.org/uis2021/379238	

Fluvial depositional systems: morphoscopic analysis of sediments in dry valleys in central Brazil

Adivane NOGUEIRA, Dandara CALDEIRA, Leonardo MENDES & Rogério UAGODA
Physical Geography Laboratory, University of Brasília – UnB, Brazil

E-mail: adinogueira2010@hotmail.com; dandara.caldeira2014@gmail.com; lchaves21@gmail.com; rogeriouagoda@unb.br;

INTRODUCTION

The karst region of northeastern Goiás in central Brazil is linked to the San Franciscana basin with different geological groups such as the Bambuí, Areado, Uruçuia and Chapadão Formation. The Bambuí Group (Neoproterozoic) has formations with occurrence of carbonate rocks, highlighting the Lagoa do Jacaré Formation. The region has geomorphological characteristics associated with the erosion process of the Serra Geral de Goiás plateau escarpment. In this context, several typical features of karstic environments emerge, such as cave systems, dolines, sinkholes, resurgences and dry valleys. Therefore, the purpose of this study is to characterize the fluvial deposits based on morphoscopic analysis of the sediments in abandoned dry valleys.

METHODOLOGY

This study was carried out based on four main steps. The first phase included a theoretical-methodological survey, characterization of the study region, in the second phase, faciological descriptions and collection of samples. Thirdly, morphoscopy was performed at the ACLWEBER analytical laboratory, using the Bettersizer S3PLUS equipment and applying the Fraunhofer analysis method – Image. The analysis consists of measuring the longest, shortest and intermediate pebbles in the grain, calculating the index for its shape (approaching a sphere, a disk or a rod) (Figure 1). Finally, the fourth stage involved the interpretation of the data (Figure 1).

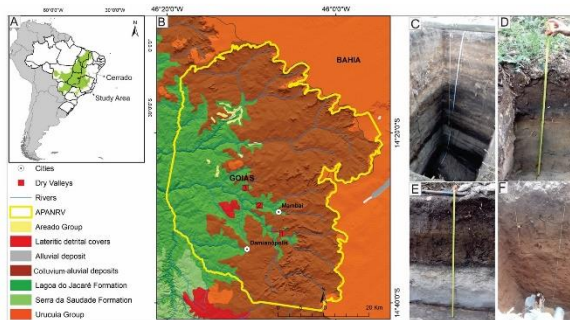


Fig. 1. Geographic settings of the study area. A) Location of the study area in the context of the Brazilian Cerrado biome in Latin America. B) APANRV and the geological facies and formations of the region. C) Dry valley of the Pedras River (1). D) Dry valley of the Riachão River (2). E) Dry valley of the Extrema River. Source: SIG - Goiás-Superintendence of Geology and Mining SIG (2005).

RESULTS

The studied sediments constitute the fluvial deposits protected in dry abandoned valleys, due to the transition from the surface flow to the underground karst system (fig. 2). The high sphericity of the grains may be related to the geomorphological context, since the headwaters of rivers linked to sediments are located on the edge of Serra Geral, contributing to its dissection process and transporting sediments, associated with the Uruçuia Group and Chapadão Formation groups.

FINAL CONSIDERATIONS

Morphoscopic analysis, involving diameter and circularity index, proved to be an interesting technique in the characterization of sedimentary deposits (figure 3). From the data obtained, it was possible to identify sedimentary variations in the analyzed profiles that may be linked to source areas and/or climatic variations. The characteristics of the grains are in agreement with the literature for the indicated source area. However, further analyzes on other profiles are necessary to confirm these understandings. Such information, linked to other techniques, make it possible to define environmental conditions (for example anthropogenic, climatic and tectonic changes) and to propose models of landscape evolution

REFERENCES

- GUTIÉRREZ, F. et al. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. *Quaternary Research*, 2017.
FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Second ed ed. Chichester: Wiley, 2007.
PHILLIPS, J. D. Landform transitions in a fluvio-karst landscape. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 61, n. 2, p. 109–122, 2017.
PHILLIPS, J. D. Historical contingency in fluvio-karst landscape evolution. *Geomorphology*, v. 303, p. 41–52, 2018.
RO CHARLTON. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. 1. ed. New York: Routledge, 2008.

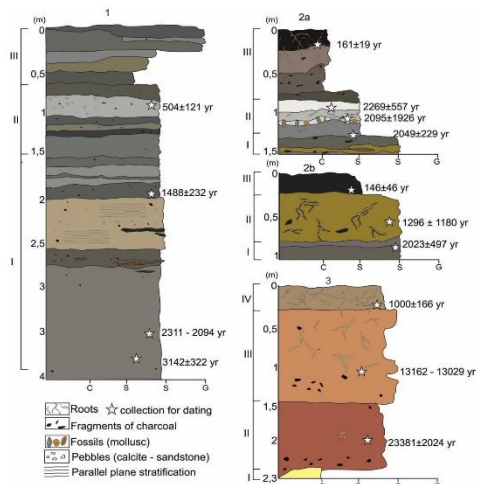


Fig. 2 Stratigraphic profiles, geochronology and granulometry Profile 1 (Pedras), Profile 2/a-b (Funil) e Profile 3 (Extrema)

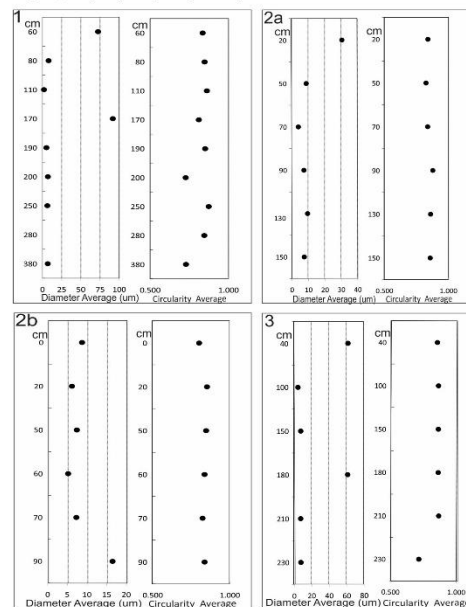


Fig. 3 Diameter and average circularity of the analyzed samples Profile 1 (Pedras), Profile 2/a-b (Funil) e Profile 3 (Extrema)

SUPPORT



Fluvial depositional systems: morphoscopic analysis of sediments in dry valleys in central Brazil

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

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

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

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

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

Abstract

Dry valleys with sediments are typical features of the karst landscape associated with the geological context in central Brazil. This research aims to characterize the fluvial deposits considering data from morphoscopic analysis that evaluated the circularity and size of the grains that constitute the sedimentary units. The morphoscopy allowed to characterize the average circularity of the samples as well as the averages referring to the size of the grains. With the obtained data, we observed that the diameter of the grains in general has the same behavior, but there are some samples that presented a higher average in relation to the others. This situation may be linked to the area of origin and transport capacity of the rivers. However, the circularity showed high values, close to 1, and constant. This characteristic was attributed to the source areas that are known to present such as types of sediments due to eolian and fluvial origin.

1. Introduction

The karst region of northeastern Goiás in central Brazil is linked to the San Franciscana basin with different geological groups such as the Bambuí, Areado, Urucuia and Chapadão Formation. The Bambuí Group (Neoproterozoic) has formations with occurrence of carbonate rocks, highlighting the Lagoa do Jacaré Formation. The Areado Group sits in angular erosive unconformity over the Bambuí and Santa Fé Group. Its sedimentation is typical of complete alluvial systems associated with fluvial, lacustrine environments and aeolian dune fields. The Urucuia Group (Neocretaceous) supports the top of the Serra Geral de Goiás plateau and is

composed of sandstones. Finally, the Chapadão Formation (Cenozoic) also corresponds to unconsolidated sandy covers (CAMPOS; DARDENNE, 1997; CRUZ, 2012a; DARDENNE, 1978; BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

The region has geomorphological characteristics associated with the erosion process of the Serra Geral de Goiás plateau escarpment (CAMPOS; DARDENNE, 1997; CRUZ, 2012a; DARDENNE, 1978; MOTTA, 2003). In this context, several typical features of karstic environments emerge, such as cave systems, dolines, sinkholes, resurgences and dry valleys (CALDEIRA et al., 2021; FERREIRA, 2020; HUSSAIN et al.,

2020; BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003). The last one (dry valleys) can protect sedimentary packages that act as natural geofiles for studies of the most varied approaches, including climatic, anthropogenic geological, in addition to understanding the evolution and dynamics of fluvio-carstic systems (KOŠUTNIK, 2007; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; ÖZTÜRK, 2020; PETROVIĆ; ČALIĆ; GAJOVIĆ, 2016; TIRLA; MIREA; VIJULIE, 2016). The characterization of these depositional systems involves the realization of physical analyzes of the sediments, such as grain morphoscopy, which comprises by the analysis of the diameter and

circularity of the grains. Grain size can be one of the indicators of the type of deposition. While the degree of circularity indicates the type and intensity of transport, reworking, time and the distance from the source area of the lithological matrix (HENRIQUES; VALADÃO, 2017; SUGUIO, 1973). Thus, some variations can be established in the depositional systems of fluvial deposits. Therefore, the purpose of this study is to characterize the fluvial deposits based on morphoscopic analysis of the sediments in abandoned dry valleys.

2. Materials and methods

This study was carried out based on four main steps. The first phase included a theoretical-methodological survey, characterization of the study region as well as a topographic survey to identify the study areas, based on visual interpretation of satellite images (world Imagery, Earth) image of a digital elevation model (DEM) of the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) project, both acquired from the United States Geological Survey (USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>) and the preparation of altitude and slope maps. In the second phase, faciological descriptions and collection of samples were carried out on the field and were sent for laboratory analysis. Thirdly, morphoscopy was performed at the ACILWEBER analytical laboratory, using the Bettersizer S3PLUS equipment and applying the Fraunhofer analysis method - Image, which consists of six steps: 1. Entering the sample data; 2. Measure the white value; 3. Add the sample directly to the analytical container, with agitation at 1600rpm and ultrasound (50W); 4. Activate the cameras (0.5x and 10x) for greater analytical range; 5. Wait for 2 minutes to collect images; 6. After analysis, generate reports for particle size and roundness. The analysis consists of measuring the longest, shortest and intermediate pebbles in the grain, calculating the index for its shape (approaching a sphere, a disk or a rod). The profiles

studied were Pedras (Profile 1, Figure 1), Funil (Profiles 2a and 2b) and Extrema (Profile 3). The distribution of the 28 analyzed samples was chosen regarding the depositional strata in each profile analyzed, totalizing 28 samples (Figure 1). Finally, the fourth stage involved the interpretation of the data.

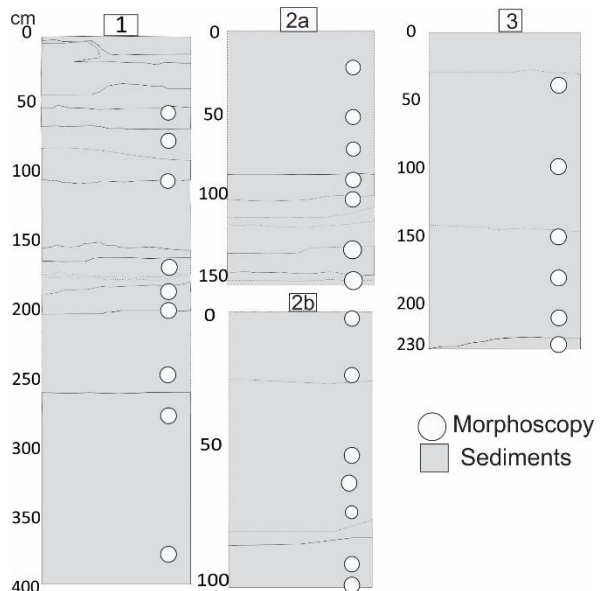


Figure 1 : Distribution of samples in Profile 1 (Pedras), Profile 2/a-b (Funil) and Profile 3 (Extrema)

3. Results

In the studied dry valleys, four profiles were analyzed, and present a variety of sediment types. The Pedras succession (Profile 1) showed a deposition of essentially sandy materials with rounded and sub-rounded pebbles in addition of sparse coal fragments. The stratification of the layers is plane-parallel. In the upper strata, closer to the surface, more clayey deposits are observed, and include also technogenic (anthropic influencer) deposits from nearby limestone extraction areas. The morphoscopy analysis showed that most grains have a diameter below 25 μm , reaching 80 μm at 170 cm depth and almost 100 μm at 60 cm depth. The Pedras profile in general showed a circularity index higher than 0.8, with a significant low circularity index at 200cm and 380cm depth in the profile.

Both profiles of the Funil depositional system (2a and 2b) have different deposit layers, the profile 2a present, a small

sandy layer at the base, a thick stratum of calcareous tufa mixed with high a silt fraction and a porous wavy crust rich with molluscs fossils. At the top of the profile, a silty clay material seals the rest. Profile 2b, however, is composed of two main sedimentary units, one essentially sandy at the base and the second is composed of a silty clay layers. Regarding the morphoscopy analysis of this profile, the second largest diameters were found close to the surface (~20cm in depth). The circularity index was higher than 0.8 in all the samples of the profile. However, in profile 2b, a variation of the circularity index is noticed towards the base with a significant increase in the lower part.

Profile 3 (Extrema) presents three main deposit units from base to the top: angular blocks of limestone and sandy material at the base sandy sediments with fragments of coal, and finally, the sandy layers with organic material.

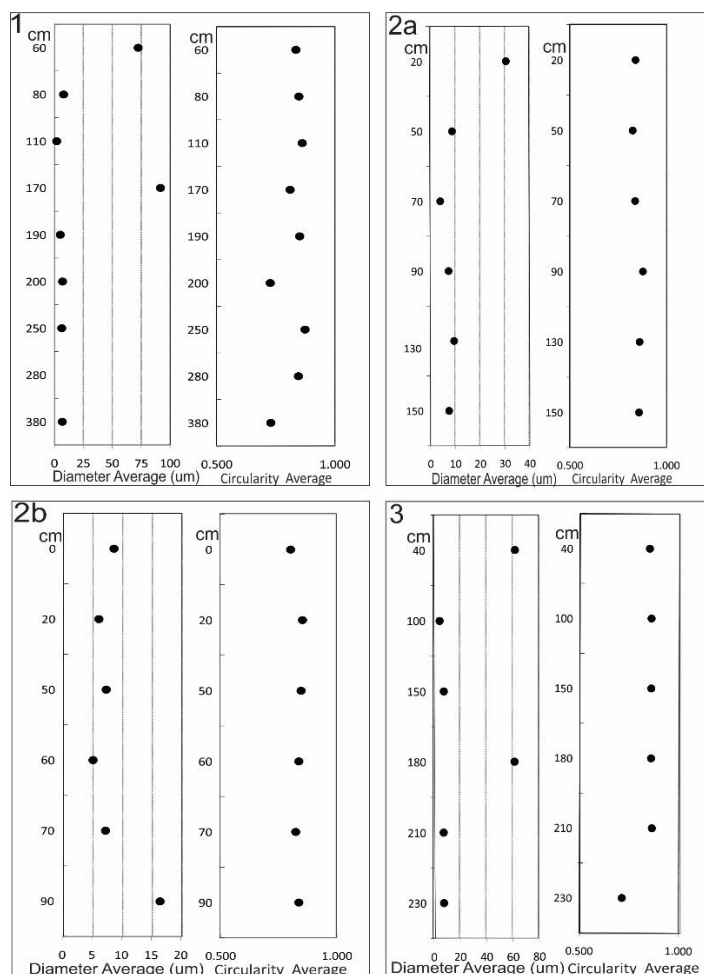


Figure 2: Diameter and average circularity of the analyzed samples Profile 1 (Pedras), Profile 2/a-b (Funil) e Profile 3 (Extrema)

The Profile 3 shows a considerable increase in the grains diameter close to the surface (40cm) and in the middle of the profile, (180cm in depth) while in the rest of the profile, grain diameter remains low, less than 10um. The circularity

is higher than 0.7, with a decrease tendency towards the base.

4. Discussion

The studied sediments are originally fluvial deposits that transited through the underground karst system and deposited on nowadays abandoned dry valleys. The high sphericity of the grains may be related to the geomorphological context, since the paleo-rivers originate from the edge of Serra Geral, associated with the Urucua Group and Chapadão Formation groups. The Urucua Group, basically composed of sandstones, has three lithofacies that indicate sedimentation processes in a desert environment, dominated by eolian transport. This formation is basically composed of quartz grains, with fine to medium grain-sized particles and rounded grains. The Chapadão Formation crops significantly in the area and corresponds to lateritic dendritic and unconsolidated sands, which resulted from an intense erosive process (CAMPOS; DARDENNE, 1997; CRUZ, 2012b; BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003; SIQUEIRA, 2017).

The grains size can be related to the transport distance from the source area. More distant the source area is, the higher is the degree of reworking of the grain will be and consequently the smaller the grain-size will be at the time of its deposition. The diameter can also vary depending on the flow energy, which in turn is linked to paleoclimatic variations. Wetter periods suppose priorly higher water availability and therefore greater transport capacity (HENRIQUES; VALADÃO, 2017; SUGUIO, 1973). Such variations are observed in Profile 3, which presents two similar character with a considerable increase in grainsize at a certain depth.

Furthermore, there are other factors that can influence the grain size, such as the original morphology of the minerals present in the lithology, their cleavage, in situ chemical processes, etc. (SUGUIO, 1973).

5. Conclusion

Morphoscopic analysis, involving diameter and circularity index, proved to be an interesting technique in the characterization of sedimentary deposits. From the data obtained, it was possible to identify sedimentary variations in the analyzed profiles that may be linked to source areas and/or climatic variations. The characteristics of the grains are in agreement with the literature for the indicated source area.

However, further analyzes on other profiles are necessary to confirm these understandings. Such information, linked to other techniques, make it possible to define environmental conditions (for example anthropogenic, climatic and tectonic changes) and to propose models of landscape evolution.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Postgraduate Programs in Geography and Applied Geosciences at the University of Brasília (UnB), CAPES, the Postgraduate Deanship of UnB and also the funding obtained by TCCE 01/2018 Vale/ICMBio.

References

- ALLEN, J. R. L. **Sedimentary structures their character and physical basis**. 52. ed. New York: ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, 1982. v. II
- ALLEY, R. B. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. **Quaternary Science Reviews** **19**, v. 19, p. 213–226, 2000.
- ALVARENGA, C. J. S. DE et al. **Geologia da folha Cavalcante-SD.23-V-C-V**. Brasília: CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2007.
- ALVES, F. C.; ROSSETTI, D. DE F. INFLUÊNCIA NEOTECTÔNICA NO ESTABELECIMENTO DOS VALES DOS RIOS PARAÍBA E MAMANGUAPE, NORTE DA BACIA PARAÍBA (PB). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 3, n. 17, p. 517–532, 2016.
- ASSINE, M. L. et al. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. **Sedimentary Geology**, v. 301, p. 172–184, 2014.
- AULER, A. S. et al. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. **Geomorphology**, v. 106, n. 1–2, p. 142–153, 2009.
- BAI, X. et al. Use of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb measurements on deposits in a karst depression to study the erosional response of a small karst catchment in Southwest China to land-use change. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 822–829, 2013.
- BAKER, V. R. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. **Geomorphology**, v. 101, n. 1–2, p. 1–13, 2008.
- BARBERI, M. **Mudanças Paleambientais na Região dos Cerrados do Planalto Central durante o Quaternário Tardio: O estudo da Lagoa Bonita, DF**. São Paulo: [s.n.].
- BARROS, L. F. DE P. et al. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 71–88, 2016.
- BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES, J. A. P. Quaternary alluvial sedimentation in the Conceição river valley, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43 (3), n. March 2016, p. 535–554, 2013.
- BEHLING, H.; LICHTER, M. Evidence of Dry and Cold Climatic Conditions at Glacial Times in Tropical Southeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 48, n. 3, p. 348–358, 1997.
- BENAC, Č. et al. Fluvio-karst, Benac, Čedomir, et al. “Fluvio-karst and Classical Karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia).” **Geomorphology**, vol. 184, 2013, pp. 64–73, doi:10.1016/j.geomorph.2012.11.016.st and classical karst: Examples from the. **Geomorphology**, v. 184, p. 64–73, 2013a.
- BENAC, Č. et al. Fluvio-karst and classical karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia). **Geomorphology**, v. 184, p. 64–73, 2013b.
- BERTANI, T. C. et al. Understanding Amazonian fluvial rias based on a Late Pleistocene-holocene analog. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 3, p. 285–292, 2015.
- BIRD, B. W. et al. A 2,300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 21, p. 8583–8588, 2011.
- BRIDGLAND, D.; WESTAWAY, R. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon. **Geomorphology**, v. 98, n. 3–4, p. 285–315, 15 jun. 2008.
- CALDEIRA, D. et al. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. **Quaternary International**, v. 580, n. January, p. 22–37, 2021.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia E Sedimentação Da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269–282, 1997.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. An

- environmental model of fluvial tufas in the monsoonal tropics, Barkly karst, northern Australia. **Geomorphology**, v. 73, n. 1–2, p. 78–100, 2006.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88–108, 2004.
- CASSINO, R. F. et al. Vegetation and fire variability in the central Cerrados (Brazil) during the Pleistocene-Holocene transition was influenced by oscillations in the SASM boundary belt. **Quaternary Science Reviews**, v. 232, n. March, p. 106209, 2020.
- CELARINO, A. L. DE S. et al. Paleoenvironmental reconstruction of the Lower Mogi Guaçu River Basin (São Paulo State - Brazil), morphopedosedimentary records and fluvial processes. **Catena**, v. 111, p. 80–97, 2013.
- CELARINO, A. L. DE S.; LADEIRA, F. S. B. How fast are soil-forming processes in Quaternary sediments of a tropical floodplain? A case study in southeast Brazil. **Catena**, v. 156, n. October 2016, p. 263–280, 2017.
- CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C. O PAPEL DA LITOESTRUTURA DO CARSTE NA MORFODINÂMICA CENOZÓICA DA SERRA GERAL DE GOIÁS (GO/TO/BA): APROXIMAÇÕES INICIAIS. **Geonorte**, v. 10, p. 180–184, 2014.
- CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **US Geological survey professional paper 500-B**, p. B1–B10, 1962.
- COHEN, M. C. L. et al. Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Southeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 48–58, 2014.
- COLLINSON, J.; MOUNTNEY, N.; THOMPSON, D. (EDS.). **Collinson, J Mountney, N Thompson, D.** 3. ed. England: Terra, 2006.
- CONSTANTIN D. ATHANASSAS, G. A. W. Geochronology Beyond Radiocarbon: Optically Stimulated Luminescence Dating of Palaeoenvironments and Archaeological Sites. **Elements**, v. 12, n. 1, p. 17–32, 2016.
- COX, R. T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571–581, 1994.
- CREMON, É. H. et al. The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. **Geomorphology**, v. 271, p. 22–39, 2016.
- CRISTALLI, P. DE S. **MACROFITOFÓSSEIS EM TUFOS CALCÁRIOS QUATERNÁRIOS DO NORTE DA BAHIA COMO INDICADORÉS PALEOCLIMÁTICOS.** [s.l.] UNIVÉRSIDADE DE SAO PAULO, 2006.
- CRUZ, B. A. DA. **Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás.** [s.l.] Universidade de Brasília, 2012a.
- CRUZ, B. A. DA. **Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás.** [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2012b.
- CRUZ, F. W. et al. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 248, n. 1–2, p. 494–506, 2006.
- CRUZ, F. W. et al. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 71, n. 9, p. 2250–2263, 2007.
- CRUZ, F. W. et al. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 3, p. 210–214, 2009.
- CUNHA, A. M. DA et al. Variações do nível relativo do mar durante o holoceno na bacia do rio una, Cabo Frio - Rio de janeiro: Aspectos sedimentológicos, faciográficos e geocronológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 143–154, 2017.
- DARDENNE, M. A. **XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Geologia do Grupo Bambuí no Vale do Rio Paranã (Goiás).** **Anais...Recife: 1978**
- DE OLIVEIRA, M. A. T. et al. Stratigraphy of near-valley head quaternary deposits and evidence of climate-driven slope-channel processes in southern Brazilian highlands. **Catena**, v. 75, n. 1, p. 77–92, 2008.
- DE OLIVEIRA, M. A. T.; BEHLING, H.; PESSEDA, L. C. R. Late-

- Pleistocene and mid-Holocene environmental changes in highland valley head areas of Santa Catarina state, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 26, n. 1, p. 55–67, 2008.
- DE WAELE, J. et al. Landscape evolution in the Tacchi area (Central-East Sardinia, Italy) based on karst and fluvial morphology and age of cave sediments. **Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria**, v. 35, n. 2, p. 119–127, 2012.
- DE WAELE, J.; PLAN, L.; AUDRA, P. Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction. **Geomorphology**, v. 106, n. 1–2, p. 1–8, 2009.
- DIAS, R. L.; PEREZ FILHO, A. GEOCRONOLOGIA DE TERRAÇOS FLUVIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ-SP A PARTIR DE LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, 2015a.
- DIAS, R. L.; PEREZ FILHO, A. Geocronologia De Terraços Fluviais Na Bacia Hidrográfica Do Rio Corumbataí-Sp a Partir De Luminescência Opticamente Estimulada (Loe). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, 2015b.
- DINIS, P. A. et al. Weathering indices as climate proxies. A step forward based on Congo and SW African river muds. **Earth-Science Reviews**, v. 201, n. May 2019, p. 103039, 2020.
- DOTTERWEICH, M. Geomorphology The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe : Deciphering the long-term interaction between humans and the environment — A review. **Geomorphology**, v. 101, p. 192–208, 2008.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R.; SALGADO-LABORIAU, L. M. L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 9, n. 3–4, p. 207–209, 1996.
- FERREIRA, C. F. Detecção De Dolinas Com Apoio De Modelos Digitais De Elevação E Imagens De Alta Resolução: Estudo De Caso Na Apa Nascentes Do Rio Vermelho-Go. 2020.
- IORE, M. et al. OSL dating of sediments from Negro and Solimões rivers - Amazon, Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 95, p. 113–115, 2014.
- FONSÊCA, D. N. et al. Coupling of tectonic factors and precipitation variability as a driver of Late Quaternary aggradation in Northeast Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 14, p. 3525–3539, 2020.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2007.
- FORD; PEDLEY, H. M. A review of tufa and travertine deposits of the world. **Earth-Science Reviews**, v. 41, n. 3–4, p. 117–175, 1996a.
- 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, 1996b.
- FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3–4, p. 223–241, 1999.
- GALBRAITH, R. F. et al. Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia: Part I, experimental design and statistical models. **Archaeometry**, v. 41, n. 2, p. 339–364, 1999.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47–66, 2004.
- GARZANTI, E.; RESENTINI, A. Provenance control on chemical indices of weathering (Taiwan river sands). **Sedimentary Geology**, v. 336, p. 81–95, 2016.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuaia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. S4, p. 216–226, 2007.
- GIOIA, D. et al. Fluvial landforms in relation to the geological setting in the “Murge Basse” karst of apulia (Bari metropolitan Area, Southern Italy). **Journal of Maps**, v. 7, p. 148–155, 2011.
- GONÇALVES JÚNIOR, E. S. et al. Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira , Central Amazon. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. June, p. 167–180, 2016.
- GONTIJO, A. H. F. **Morfotectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul: região da serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. [s.l: s.n.].
- GUÉRIN, G.; MERCIER, N.; ADAMIEC, G. Dose-rate

- conversion factors: update. **Ancient TL**, v. 16, n. 2, p. 37–50, 2011.
- GUTIÉRREZ, F. et al. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. **Quaternary Research**, v. 88, n. 1, p. 71–88, 2017a.
- GUTIÉRREZ, F. et al. Paleoflood records from sinkholes using an example from the Ebro River floodplain, northeastern Spain. **Quaternary Research**, 2017b.
- HENRIQUES, R. J.; VALADÃO, R. C. **Morfoscopia Da Fração Areia De Formações Alúvio** -. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...**Campinas -SP: 2017
- HODELL, D. A. et al. Onset of “ Hudson Strait ” Heinrich events in the eastern North Atlantic at the end of the middle Pleistocene transition (≈ 640 ka)? **Paleoceanography**, v. 23, p. 1–16, 2008.
- HOLBROOK, J.; SCHUMM, S. A. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: A brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. **Tectonophysics**, v. 305, n. 1–3, p. 287–306, 1999.
- HONGYU, K.; JORGE, G.; JUNIOR, D. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico , aplicação e interpretação. **Engineering and Science** 2015, v. 1, p. 83–90, 2015.
- HOWARD, A. D. DRAINAGE ANALYSIS IN GEOLOGIC INTERPRETATION A SUMMATION. **THE AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS BULLETIN**, v. 51, n. 11, p. 2246–2259, 1967.
- HUGGET, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2. ed. New York: Routledge, 2007. v. 11
- HUSSAIN, Y. et al. The potential use of geophysical methods to identify cavities, sinkholes and pathways for water infiltration: a case study from Mambai, Brazil. 2020.
- J. P. GALVE, 1 F. GUTIÉRREZ, 1 * P. LUCHA, 1 J. GUERRERO, 1 J. BONACHEA, 2 J. REMONDO2 AND A. CENDRERO. Probabilistic sinkhole modelling for hazard assessment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, n. August 2007, p. 155–161, 2009.
- JAILLET, S. et al. Karstification as geomorphological evidence of river incision: The karst of Cousance and the Marne valley (eastern Paris Basin). **Terra Nova**, v. 16, n. 4, p. 167–172, 2004.
- JERIN, T.; PHILLIPS, J. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. **Geomorphology**, v. 282, p. 119–130, 2017.
- JOCY, O.; CRUZ, B. **ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL**. Brasília: ICMBio, 2019.
- KARMAN, I. CICLO DA ÁGUA, água subterranea e a sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. (Ed.). . **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2000. p. 113–138.
- KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do ribeira de Iguapé, sudeste do estado de São Paulo**. [s.l.] Universidade de São paulo, 1994.
- KOŠUTNIK, J. Questions of dry valleys in Karst: Case study of Mali dol, Kras (Slovenia). **Acta Carsologica**, v. 36, n. 3, p. 425–431, 2007.
- KRONBERG, B. I.; FRALICK, P. W.; BENCHIMOL, R. E. Late Quaternary sedimentation and palaeohydrology in the Acre foreland basin , SW Amazonia. p. 311–323, 1998.
- LANG, A. Recent advances in dating and source tracing of fluvial deposits. **Sediment Dynamics in Changing Environments**, v. 325, p. 3–12, 2008.
- LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, n. 3–4, p. 241–257, 2002.
- LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v. 70, n. 3- 4 SPEC. ISS., p. 372–397, 2005.
- LATRUBESSE, E. M.; KALICKI, T. Late Quaternary Palaeohidrological Changes in the Upper Purus Basin, Southwestern Amazonia, Brazil. **Late Quaternary paleohydrological changes**, v. 129, n. January, p. 41–59, 2002.
- LEDRU, M. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, n. 90–89, p. 9, 1993.
- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; ASSINE, M. L. Genesis and sedimentary record of blind channel and islands of the anabranching river: An evolution model. **Geomorphology**, v. 302, p. 35–45, 2018.

- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; ASSINE, M. L. Architecture, sedimentary facies and chronology of a composite island: A model from the Upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology**, v. 372, p. 107457, 2021.
- LEONARDI BRICALLI, L. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 75–110, 2016.
- LEWIN, J.; MACKLIN, M. G. Preservation potential for late quaternary river alluvium. **Journal of Quaternary Science**, v. 18, n. 2, p. 107–120, 2003.
- LONG, J. A.; STOY, P. C. Quantifying the periodicity of Heinrich and Dansgaard – Oeschger events during Marine Oxygen Isotope Stage 3. **Quaternary Research**, v. 79, n. 3, p. 413–423, 2013.
- MAGALHÃES, A. J. C. et al. Ground penetrating radar for facies architecture and high-resolution stratigraphy: Examples from the Mesoproterozoic in the Chapada Diamantina Basin, Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 86, p. 1191–1206, 2017.
- MAGALHÃES, J. et al. DINÂMICA FLUVIAL QUATERNÁRIA DO RIO MARACUJÁ, QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, p. 3–14, 2012.
- MAGALHÃES JUNIOR, A. P. et al. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. **Geomorphology**, v. 132, n. 3–4, p. 187–194, 2011.
- MAKASKE, B. et al. Upstream and downstream controls of recent avulsions on the Taquari megafan, Pantanal, southwestern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n. 12, p. 1313–1326, 2012.
- MARÇAL, M. DOS S. et al. SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL QUATERNÁRIA NO VALE DO ALTO CURSO DO RIO MACAÉ, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL FLUVIAL QUATERNARY SEDIMENTATION IN HIGH VALLEY OF MACAÉ RIVER, STATE OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, p. 449–467, 2015.
- MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A. Neotectônica Na Bacia Do Rio Verde, Sul De Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 313–322, 2013.
- MELÓN, P.; ALONSO-ZARZA, A. M. The Villaviciosa tufa: a scale model for an active cool water tufa system, Guadalajara (Spain). **Facies**, v. 64, n. 1, p. 1–16, 2018.
- MENG, C. et al. Mo marine geochemistry and reconstruction of ancient ocean redox states. **Science China: Earth Sciences**, v. 58, p. 1–11, 2015.
- MESCOLOTTI, P. C. et al. Fluvial aggradation and incision in the Brazilian tropical semi-arid: Climate-controlled landscape evolution of the São Francisco River. **Quaternary Science Reviews**, v. 263, 2021.
- MIALL, A. D. A review of the braided river depositional environment. **Earth-Sciences Reviews**, v. 13, p. 1–62, 1977.
- MIALL, A. D. Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. **Earth-Science Reviews Elsevier Science Publishers B.V**, v. 22, p. 261–308, 1985.
- MIRANDA, H. C. B. DE. Interpretação conjunta de dados de GPR e medidas de permeabilidade sobre um análogo de reservatório siliciclástico falhado na bacia de tucano, NE do Brasil. p. 40–89, 2004.
- MIRANDA, M. C. D. C.; ROSSETTI, D. D. F.; PESSEDA, L. C. R. Quaternary paleoenvironments and relative sea-level changes in Marajó Island (Northern Brazil): Facies, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and C/N. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 282, n. 1–4, p. 19–31, 2009.
- MIRANDA, S. A. M. **USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO: CONFLITO SOCIOAMBIENTAL EM MAMBAÍ – GO**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2016.
- MONOD, O.; KUZUCUOĞLU, C.; OKAY, A. I. A miocene palaeovalley network in the western Taurus (Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, v. 15, n. 1, p. 1–23, 2006.
- MORAIS, E. DE S. et al. Floodplain evolution in a confluence zone: Paraná and Ivaí rivers, Brazil. **Geomorphology**, v. 257, p. 1–9, 2016.
- MORAIS, E. S. et al. Late Pleistocene-Holocene landscape evolution in the lower Peixe river, Brazil: A meandering river valley. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 102, n. February, p. 102664, 2020.
- MOTTA, J. A. O. **PROJETO CAVERNAS DE MAMBAÍ: CARACTERIZAÇÃO DO ECOSISTEMA CÁRSTICO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE MAMBAÍ E ENTORNO**. Goiânia: Ministério Do Meio Ambiente - MMA, 2003.

- MOURA-LIMA, E. N. et al. 3-D geometry and luminescence chronology of Quaternary soft-sediment deformation structures in gravels, northeastern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 235, n. 3–4, p. 160–171, 2011.
- MOURA, M. C. S. DE et al. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 429–435, 2006.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, p. 57–73, 2000a.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, n. 1, p. 57–73, 2000b.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. **Radiation Measurements**, v. 37, n. 4–5, p. 377–381, 1 ago. 2003.
- MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, J. S. DA. Introdução à geomorfologia e espeleologia da região de Mambá, Goiás. In: MOTTA, J. A. O. (Ed.). **Projeto cavernas Mambá: Caracterização do ecossistema cárstico localizado no município de Mambá e entorno**. Goiás: Ministério Do Meio Ambiente - MMA, 2003. p. 41–76.
- NOLLER, J. S. et al. Introduction to Quaternary geochronology. In: JAY STRATTON NOLLER, JANET M. SOWERS, W. R. L. (Ed.). **Quaternary Geochronology: Methods and Applications**,. 4. ed. [s.l.] American Geophysical Union, 2000. p. 1–10.
- NOVELLO, V. F. et al. Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 23, p. 1–6, 2012.
- NOVELLO, V. F. et al. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Scientific Reports**, v. 7, n. March, p. 1–8, 2017a.
- NOVELLO, V. F. et al. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Nature Publishing Group**, n. February, p. 1–8, 2017b.
- NOVELLO, V. F. et al. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 524, p. 115717, 2019.
- NUNES, J. G. D. S. **Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambá-GO**. [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB, 2020.
- OLIVEIRA, E. C. DE. Oliveira, e.c. **Dissertação de Mestrado**, p. 1–149, 2009.
- OLIVEIRA, M. A. T. DE et al. Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte Catarinense (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 474–487, 2006.
- OLIVEIRA, P. V. et al. The dasypodidae (mammalia, xenarthra) from the urso fóssil cave (quaternary), parque nacional de ubajara, state of ceará, Brazil: Paleoeological and taxonomic aspects. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 1, p. 147–158, 2014.
- OMUOMBO, C.; WILLIAMSON, D.; OLAGO, D. Biogeochemical proxy evidence of gradual and muted geolimnological response of Lake Nkunga, Mt. Kenya to climate changes and human influence during the past millennium. **Scientific African journal**, v. 8, n. 00416, p. 1–14, 2020.
- ÖZTÜRK, M. Z. Fluvio-karstic evolution of the Taşeli Plateau (Central Taurus, Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, v. 29, n. 5, p. 733–746, 2020.
- PAISANI, JÚLIO CÉSAR et al. PEDOGÊNESE E MORFOGÊNESE NO MÉDIO VALE DO RIO MARRECCAS DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO - SUL DO BRASIL. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 40, p. 177–194, 2017a.
- PAISANI, J. C. et al. O Papel Das Mudanças Climáticas Do Quaternário Superior Na Dinâmica Evolutiva De Paleovale De Segunda Ordem (Sul Do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 103–116, 2013.
- PAISANI, J. C. et al. Paleosols in low-order streams and valley heads in the Araucaria Plateau - Record of continental environmental conditions in southern Brazil at the end of MIS 3. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 57–70, 2014.

- PAISANI, J. C. et al. Dinâmica de rampa de colúvio na superfície de palmas / água doce durante o quaternário tardio – bases para compreender a evolução das encostas no planalto das araucárias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, 2017b.
- PANIZZA, A. D. C.; FONSECA, F. P. TÉCNICAS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 30, p. 30–43, 2011.
- PEDLEY, H. M. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. v. 68, p. 143–154, 1990.
- PESSENDA, L. C. R. et al. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v. 71, n. 3, p. 437–452, 2009.
- PETROVIĆ, A. S.; ČALIĆ, J.; GAJOVIĆ, V. Paleodrainage network reconstruction on Miroč Mt. (Eastern Serbia). **Revista de Geomorfologie**, v. 18, n. 1, p. 69–76, 2016.
- PHILLIPS, J. D. et al. Divergent evolution in fluviokarst landscapes of central Kentucky. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 29, n. 7, p. 799–819, 2004.
- PHILLIPS, J. D. Landform transitions in a fluviokarst landscape. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 61, n. 2, p. 109–122, 2017.
- PHILLIPS, J. D. Historical contingency in fluviokarst landscape evolution. **Geomorphology**, v. 303, n. February, p. 41–52, 2018.
- PHILLIPS, J. D.; WALLS, M. D. Nonlinear Processes in Geophysics Flow partitioning and unstable divergence in fluviokarst evolution in central Kentucky. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 11, p. 371–381, 2004.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Introdução à espeleologia. In: JOCY, O.; CRUZ, B. (Eds.). **ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL**. Brasília: ICMBio, 2019. p. 265.
- PRESCOTT, J. R.; HUTTON, J. T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. **Radiation Measurements**, v. 23, n. 2–3, p. 497–500, 1994.
- PUPIM, F. DO N.; ASSINE, M. L.; SAWAKUCHI, A. O. Late Quaternary Cuiabá megafan, Brazilian Pantanal: Channel patterns and paleoenvironmental changes. **Quaternary International**, v. 438, p. 108–125, 2017.
- REBOITA, M. S. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, v. 8, n. 1, p. 34, 2015.
- RIBEIRO, L. M. A. L. et al. OSL dating of Brazilian fluvial carbonates (tufas) using detrital quartz grains. **Quaternary International**, v. 362, p. 146–156, 2015.
- RO CHARLTON. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. 1. ed. New York: Routledge, 2008.
- ROSSETTI, D. F. et al. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: Landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 300, n. 1–4, p. 191–204, 2011.
- ROSSETTI, D. F. et al. A Late Pleistocene-Holocene wetland megafan in the Brazilian Amazonia. **Sedimentary Geology**, v. 282, p. 276–293, 2012.
- ROSSETTI, D. F. et al. Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main southern Amazonian tributary. **Catena**, v. 116, p. 19–37, 2014.
- ROSSETTI, D. F. et al. Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. **Sedimentary Geology**, v. 330, p. 1–15, 2015.
- ROSSETTI, D. F. et al. The imprint of Late Holocene tectonic reactivation on a megafan landscape in the northern Amazonian wetlands. **Geomorphology**, v. 295, n. July, p. 406–418, 2017.
- ROSSETTI, D. F.; ALVES, F. C.; VALERIANO, M. M. A tectonically-triggered late Holocene seismite in the southern Amazonian lowlands, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 358, p. 70–83, 2017.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Late Quaternary drainage dynamics in northern Brazil based on the study of a large paleochannel from southwestern Marajó Island. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 3, p. 579–593, 2008.
- ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M.; THALES, M. An abandoned estuary within Marajo Island: Implications for late quaternary paleogeography of northern Brazil. **Estuaries and Coasts**, v. 30, n. 5, p. 813–826, 2007.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. et al. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm

- swamp from Central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 128, n. 1 997, 1997.
- SALLUN, ALETHEA E. ; SUGUIO, KENITIRO. Quaternary colluvial episodes (Upper Paraná River Hydrographic Basin , Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, p. 701–715, 2010.
- SALLUN FILHO, W. et al. A deposição de tufas quaternárias no estado de Mato Grosso do Sul: Proposta de definição da Formação Serra da Bodoquena. **Geologia USP - Serie Científica**, v. 9, n. 3, p. 47–60, 2009.
- SAWAKUCHI, A. O. et al. Optically stimulated luminescence and isothermal thermoluminescence dating of high sensitivity and well bleached quartz from Brazilian sediments: from Late Holocene to beyond the Quaternary? **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. suppl 1, p. 209–226, 2016.
- SILVA, M. N. A. et al. Did Sea-Level Changes Affect the Brazilian Amazon Forest During the Holocene? **Radiocarbon**, v. 60, n. 1, p. 1–22, 2018.
- SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E. The South American Monsoon System: Climatology and Variability. **Modern Climatology**, p. 123- 152, 2012.
- SIQUEIRA, D. D. '. **MAPEAMENTO GEOLÓGICO DO PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO PEQUI – MAMBAÍ / GO**. [s.l.] UFRJ, 2017.
- SOARES, E. A. A.; TATUMI, S. H.; RICCOMINI, C. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 691–699, 2010.
- SOMMERFIELD, C. K.; NITTRouer, C. A.; FIGUEIREDO, A. G. Stratigraphic evidence of changes in Amazon shelf sedimentation during the late Holocene. **Marine Geology**, v. 125, n. 3–4, p. 351–371, 1995.
- SORIANO, M. A.; SIMÓN, J. Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. **Geomorphology**, v. 11, n. 4, p. 295–309, 1995.
- SOUZA, A. D. O.; PEREZ FILHO, A. PROCESSOS , AMBIENTES DEPOSICIONAIS E GEOCRONOLOGIAS DAS COBERTURAS SUPERFICIAIS SOBRE APLAINAMENTOS NEOGÊNICOS E TERRAÇOS FLUVIAIS NA BACIA DO RIBEIRÃO ARAQUÁ , DEPRESSÃO PERIFÉRICA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, p. 107–126, 2018.
- SOUZA, A. O. et al. Holocene climate pulses and structural controls on the geomorphological estuarine evolution of the Iguape River, São Paulo, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 205, n. June, 2020.
- STÉVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, p. 73–85, 2000.
- STORANI, D. L.; PEREZ FILHO, A. NEW INFORMATION ON GEOCHRONOLOGY IN LEVELS OF THE LOW RIVER TERRACE OF RIO MOGI GUAÇU IN SÃO PAULO , BRAZIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, 2015.
- STRÍKIS, N. M. **PALEOPLUVIOSIDADE NO NORTE DE MINAS GERAIS DURANTE O GLACIAL TARDIO E HOLOCENO COM BASE EM REGISTROS DE ESPELEOTEMAS**. [s.l.] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2011.
- STRÍKIS, N. M. et al. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. **Geology**, v. 39, n. 11, p. 1075–1078, 2011.
- STRÍKIS, N. M. **Atividade do Sistema de Monção Sul-americana na porção central do Brasil durante o último período glacial a partir da aplicação de isótopos de oxigênio em espeleotemas**. São Paulo: Instituto de Geociências -USP, 2015.
- STRÍKIS, N. M.; NOVELLO, V. F. EVOLUÇÃO HIDROLÓGICA DO BRASIL DURANTE O PLEISTOCENO SUPERIOR E HOLOCENO. **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**, p. 335–343, 2014.
- STUMPF, C. F. **Variabilidade do sistema de monção da América do Sul durante o Pleistoceno Tardio e Holoceno a partir de espeleotemas da Caverna São Mateus (PETERGO)**. [s.l.] Universidade de Brasília-UnB, 2019.
- SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia / Kenitiro Suguio**. [s.l: s.n.].
- SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology**. New York: [s.n.].
- THIAGARAJAN, N. et al. circulation changes in the deep ocean. **Nature**, v. 511, n. 7507, p. 75–78, 2014.
- TIRLA, L.; MIREA, I.; VIJULIE, L. Geomorphological and

- structural patterns of the scarp-related steep dry valleys in limestone ridges: A case study from South Carpathians, Romania. **Geomorphologie: relevo, processus, ambiente**, v. 22, p. 1–20, 2016.
- TRAVASSOS, L. E. P. **Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2019.
- TRUMBORE, S. E. Radiocarbon Geochronology INTRODUCTION THEORY OF DATING METHOD. [s.d.].
- TURCO, B. et al. Paleohydrology and Paleoclimate of the Past 33,000 Years at the Tamandua River, Central Brazil. **QUATERNARY RESEARCH**, v. 294, n. 47, p. 284–294, 1997.
- UTIDA, G. Variações Paleoambientais e Paleoclimáticas durante o Holoceno no Rio Grande do Norte a partir do estudo de registros geoquímicos de sedimentos de lagos e cavernas. p. 184, 2016.
- VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 356–357, p. 62–74, 2012.
- VALÉZIO, E. V.; PEREZ FILHO, A. DINÂMICA ANTRÓPICA NO CANAL FLUVIAL DO Córrego Tucum - SÃO PEDRO, SÃO PAULO (BRASIL). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, p. 1–8, 2015.
- WALLINGA, J. et al. Testing optically stimulated luminescence dating of sand-sized quartz and feldspar from fluvial deposits. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 193, n. 3–4, p. 617–630, 2001.
- WANG, W.; JINLING, L.; XIADON, Z. Climate indexes of phytoliths from Homo erectus? cave deposits in Nanjing. **Chinese Science Bulletin**, v. 48, n. 18, p. 2005–2006, 2003.
- WANG, X. et al. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 740–743, 2004.
- WOODSIDE, J.; PETERSON, E. W.; DOGWILER, T. Longitudinal profile and sediment mobility as geomorphic tools to interpret the history of a fluviokarst stream system. **International Journal of Speleology**, v. 44, n. May, p. 197–206, 2015.
- WRIGHT, J. D. Global Climate Change in Marine Stable Isotope Records. **University of Maine, Department of Geological Sciences and Institute for Quaternary Studies**, p. 433, 1947.
- YANG, X. et al. Determination of soil texture by laser diffraction method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, n. 6, p. 1556–1566, 2015.

