

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ANÁLISE AMBIENTAL

**REGISTROS DE GRANDES ALAGAMENTOS NO CÂNION DO RIO PERUAÇU,
PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU – PNCP, MG**

ATALIBA HENRIQUE FRAGA COELHO

BELO HORIZONTE

2013

ATALIBA HENRIQUE FRAGA COELHO

**REGISTROS DE GRANDES ALAGAMENTOS NO CÂNION DO RIO PERUAÇU,
PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU – PNCP, MG**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Valadão.

Belo Horizonte

Departamento de Geografia da UFMG

2013

ATALIBA HENRIQUE FRAGA COELHO

**REGISTROS DE GRANDES ALAGAMENTOS NO CÂNION DO RIO PERUAÇU,
PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU – PNCP, MG**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

APROVADO em 05 de agosto de 2013

Prof. Dr. Augusto Sarreiro Auler – Instituto do Carste

Prof. Dr. William Sallun Filho – USP

Prof. Dr. Roberto Célio Valadão – UFMG

(Orientador)

BELO HORIZONTE – MG

À memória de Claude Chabert

Meus agradecimentos às pessoas que colaboraram direta e indiretamente na execução deste trabalho. Em especial, ao Dr. Luis B. Piló, que contribuiu de forma incisiva na condução da pesquisa; ao Prof. Dr. Roberto C. Valadão, orientador desta pesquisa; ao Dr. Augusto Auler pelo incentivo e provocações; ao Vitor Moura e à Luciana Alt (pelos belos croquis de campo); ao Allan Callux; à Patrícia, à Lolinha e à Sofia (minhas meninas); à Renata Andrade (a Rê); à Tatiana Souza; ao Danilo Bebiani e à Daphne; ao Rafael Camargo (o Rafinha); ao Paulo Pessoa; ao Ézio Rubbioli; ao Prof. Dr. Antônio Magalhães; ao Prof. Dr. William Sallun Filho; à Tatiana Fonseca; ao Vandrê Soares; ao Professor Joel Dodet; à Isabel Oliveira; e finalmente ao Norim e à Dona Nita, que possibilitaram importantes avanços nesta pesquisa e momentos de grande alegria.

Agradeço também ao Instituto do Carste, que financiou parte desta pesquisa.

À gerência do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Sr. Evandro Silva, por nos receber e permitir a realização dos estudos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
3. MÉTODOS E TÉCNICAS	18
3.1. Prospecção.....	18
3.2. Topografia	20
3.3. Tratamento dos dados topográficos	24
3.4. Descrição morfológica da área de estudo.....	25
3.5. Coleta de amostras e datação	25
3.6. Análise integrada.....	26
4. REFERENCIAL TEÓRICO	27
4.1. O carste.....	27
4.2. Morfologia cárstica	29
4.2.1. Exocarste	30
4.2.2. Epicarste	33
4.2.3. Endocarste	34
4.2.3.1. Depósitos sedimentares	35
4.3. Alagamentos em sistemas cársticos e barramentos naturais em vales encaixados	36
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
5.1. Caracterização regional da área de estudo	43
5.1.1. Localização	43
5.1.2. Geologia	44
5.1.2.1. Geomorfologia	48
5.1.2.2. Aspectos climáticos, hidrológicos e hidrogeológicos	56
6. RESULTADOS DA PESQUISA	59
6.1. ASPECTOS MORFOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO	59
6.1.1. O TRECHO CARLÚCIO - TRONCOS.....	59
6.2. Segmento Carlúcio–Brejal	63
6.3. Segmento Brejal–Lapa da Onça.....	70
6.4. Segmento Lapa da Onça–Arco do André.....	79
6.5. Segmento Arco do André–Troncos.....	88
6.6. Discussão sobre os aspectos morfológicos	97
7. EVIDÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E CRONOLOGIA.....	100
7.1. Segmento Carlúcio–Lapa da Onça.....	101
7.2. Segmento Lapa da Onça–Arco do André.....	113
7.3. Segmento Arco do André–Troncos.....	119
7.4. Discussão sobre as evidências de alagamento	120

8. CONCLUSÕES.....	125
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Marca de nível d'água (seta azul) e troncos (seta laranja) no interior do Arco do André.....	19
Figura 2. Vista parcial da planta baixa da gruta Arco do André com a indicação aproximada da base B1 (indicada pela seta). Modificado de GBPE (2004).	21
Figura 3. Exemplo da nomenclatura utilizada nas bases topográficas. Essa figura também apresenta a visualização em planta da poligonal formada entre as bases B1, B2, B3 e B4 (linhas vermelhas).....	23
Figura 4. Regiões Cársticas Carbonáticas do Brasil, com base no mapa geológico de Schobbenhaus e colaboradores. Fonte: Auler <i>et al.</i> , (2001).....	28
Figura 5. Esboço esquemático das zonas hidrológicas e a espeleogênese no carste: 1 – zona superficial e epicárstica, escoamento superficial ou percolação através do solo gerando perfil de alteração e alargamento das fissuras; 2 – zona vadosa, circulação livre da água por condutos sob ação da gravidade; 3 – zona de oscilação do nível freático, os condutos podem estar secos ou inundados, a depender do nível freático; 4 – zona freática, condutos totalmente ocupados pela água. Modificado de Kohler (1994).....	35
Figura 6. Localização do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Modificado de CSD - Geoklock (2005).....	43
Figura 7. Mapa geológico simplificado da bacia do rio Peruaçu. O retângulo vermelho indica a localização aproximada da área de estudo. Fonte: RADAMBRASIL (1982).	46
Figura 8. Parede do cânion do rio Peruaçu, com cone de sedimento na base (seta vermelha). Os calcários ocupam as partes inferior e média da escarpa, enquanto que dolomitos (de coloração mais escura) podem ser observados no topo (seta azul).	47
Figura 9. Vista parcial de uma vereda no Compartimento do Planalto dos Gerais.....	49
Figura 10. Morros tabulares sustentados por arenitos da Formação Urucuia (setas) marcam o Compartimento da Zona de Transição. Abaixo desse compartimento, no primeiro plano, é possível observar o topo das paredes do cânion do rio Peruaçu, no Compartimento Carstificado.....	50
Figura 11. Cenário Morfológico do Carste do rio Peruaçu. No retângulo vermelho, a área de estudo. Fonte: Piló (1989).....	51

- Figura 12. Vista de trecho do cânion do Peruaçu, a calha do rio está indicada pela seta azul. No segundo plano, é possível observar grandes depósitos na forma de rampas de colúvio, geradas pelo recuo das paredes laterais do cânion (seta laranja)..... 52
- Figura 13. Feições ruiformes que ocupam o topo das paredes verticais do cânion. É possível observar lapiás do tipo *rillenkarrren*. 53
- Figura 14. Vale cárstico do rio Peruaçu e as principais cavernas. As setas azuis indicam as cavernas drenadas atualmente pelo rio Peruaçu. As demais (setas amarelas) estão em posição mais elevada na calha principal ou em vales tributários. A área de estudo está indicada pelo retângulo vermelho. Fonte: Esri, Digital Globe, Geo Eye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community. 54
- Figura 15. Uma claraboia gerada pelo colapso de parte do teto da gruta do Janelão (seta azul) é vista a partir do topo de um cone de sedimento clástico (seta laranja). Nesse segmento da gruta, o rio flui sob o material clástico. 55
- Figura 16. Perfil esquemático do trecho entre as grutas Carlúcio e Troncos. A escala horizontal foi desconsiderada para permitir a visualização de todo o segmento..... 60
- Figura 17. Vista em planta baixa da área de estudo, no trecho entre as grutas Carlúcio e Troncos. Estão destacados os quatro segmentos abordados na pesquisa. A linha tracejada amarela marca o limite entre os segmentos. Fonte: Digital Globe (2008). 62
- Figura 18. Vista do subsegmento Carlúcio–Brejal e os pontos abordados no texto. Fonte: Digital Globe (2008)..... 64
- Figura 19. Maciços isolados com torres calcárias na superfície dissecada da margem direita do rio Peruaçu (Ponto 1)..... 65
- Figura 20. Vista da escarpa da margem esquerda (segundo plano) onde é possível observar a parte superior da gruta do Carlúcio (seta amarela). No primeiro plano, a vegetação recobre uma rampa de colúvio (Ponto 3), gerada pelo desmonte de parte da parede direita do cânion. A seta azul indica a localização aproximada das grutas Ossos I, II e III. 65
- Figura 21. Cone de matacões a montante da gruta do Brejal (próximo ao Ponto 2), com pouca participação de sedimento de granulometria fina. 67
- Figura 22. Cone de dejeção na entrada de montante da gruta do Brejal (Ponto 6). Nesse cone, é possível observar a presença de sedimento argiloso de coloração vermelha junto aos matacões. O desnível entre o topo na lateral direita e a base, na lateral esquerda, é de aproximadamente 30 m. No segundo plano, é possível observar a claraboia e a entrada da gruta à esquerda. A escala humana está indicada com seta vermelha. 67
- Figura 23. Entrada de montante da gruta do Brejal com cone de dejeção na lateral da entrada. A seta indica a cota e a posição aproximada da ressurgência (Ponto 6)..... 68
- Figura 24. Cone de dejeção no interior da gruta do Brejal (Ponto 7). O rio pode ser visto no primeiro plano à direita. Acima do cone é possível observar a cúpula gerada pelo colapso

de parte do teto (seta vermelha). Os espeleotemas depositados sobre o cone estão indicados com setas amarelas. As cotas do rio e do topo do cone estão indicadas em laranja.....	69
Figura 25. Entrada de jusante da gruta do Brejal (Ponto 9) vista do interior, onde é possível observar o sedimento argiloso depositado no piso. O teto predominantemente arqueado apresenta pouca deposição química no interior da gruta; esse tipo de depósito torna-se mais expressivo próximo à entrada.	70
Figura 26. Vista do subsegmento Brejal–Lapa da Onça e os pontos descritos. A forma elíptica das duas depressões está delimitada com linha pontilhada. Fonte: Digital Globe (2008).	72
Figura 27. Entradas norte e oeste da gruta “Norim” (A e B respectivamente).....	73
Figura 28. Arcos rochosos identificados pelos Pontos 21 (A) e 22 (B).	74
Figura 29. Rio Peruaçu escoando por entre os matacões próximo ao Ponto 20 (à esquerda) e na base da parede sul do cânion (à direita – seta).	75
Figura 30. (A) Entrada da gruta Lapa da Onça vista de montante. É possível observar como o cone de dejeção obstrui claramente o conduto, formando um barramento ao fluxo superficial do rio Peruaçu. As setas indicam a cota altimétrica do piso e teto. (B) Entrada da gruta Lapa da Onça vista de jusante, com a indicação do local aproximado da cota 676 m.	76
Figura 31. Mapa hipsométrico do trecho entre as grutas do Carlúcio e Lapa da Onça, com destaque para a cota 676 m (linha vermelha). As grutas estão abaixo dessa cota.	78
Figura 32. Segmento Lapa da Onça–Arco do André com indicação dos pontos descritos no texto. Fonte: Digital Globe (2008).	80
Figura 33. Conduto da gruta Túnel do Vento visto da extremidade SE. No segundo plano, pode-se observar o cone de blocos na área externa (seta amarela) e um cone de colapso de teto no interior da gruta (seta laranja). À direita da fotografia, escorrimentos recobrem um degrau no piso.	81
Figura 34. Vista panorâmica de parte do segmento Lapa da Onça–Arco do André. A seta amarela indica a escarpa onde está inserida a entrada de montante da gruta Túnel do Vento. A seta azul indica a posição aproximada da ressurgência (Ponto 23) e a seta laranja, o maciço residual, em cuja base está a surgência tributária do rio Peruaçu na margem direita (Ponto 25). É possível observar a grande rampa de colúvio na margem esquerda do rio nesse trecho.	82
Figura 35. Ressurgência do rio Peruaçu nas proximidades da gruta Túnel do Vento (Ponto 23).	82
Figura 36. Planta baixa da gruta Arco do André, com a indicação dos pontos abordados. Modificado de GBPE (2004).	83

Figura 37. Claraboia da gruta Arco do André vista do interior (Ponto 27). As setas indicam a posição de troncos introduzidos por gravidade.	84
Figura 38. Arco do André e cones de dejeção: (A) vista da entrada de montante. A seta vermelha indica a posição de algumas claraboias que injetam solo da superfície no interior da caverna; (B) Entrada de montante vista do interior do conduto, destaca-se o cone de matações na lateral; e (C) Vista do topo do cone de jusante do Arco do André (Ponto 28), com indicação das cotas altimétricas.....	85
Figura 39. Mapa hipsométrico do trecho entre a Lapa da Onça e a gruta Troncos. Em vermelho, a área de abrangência aproximada da cota 640 m, com base em curvas de nível de equidistância de 10 m.	87
Figura 40. Segmento Arco do André–Troncos, com indicação dos pontos abordados no texto. Fonte: Digital Globe (2008).	89
Figura 41. Trecho de jusante do Arco do André visto do topo do compartimento carstificado. As setas indicam as cotas altimétricas. No primeiro plano, o corredor formado entre a entrada do Arco e a Lapa dos Cascudos.	90
Figura 42. Pavimento de blocos entre o Arco do André e Cascudos: (A) trecho da lateral esquerda onde os blocos estão cimentados por calcita. É possível observar a parte erodida do depósito (seta vermelha); (B) depósitos químicos na parede e sobre o cone de blocos na lateral esquerda do cânion (seta amarela); e (C) a lateral direita, mais rebaixada e sem depósitos químicos sobre os blocos abatidos.	92
Figura 43. Vista da dolina no trecho mais alargado entre o Arco do André e Cascudos. A floresta estacional recobre o material coluvionar depositado sobre a escarpa em que encontra a Lapa dos Cascudos (cujas posição aproximada é indicada pela seta amarela). A seta vermelha indica a posição da dolina oeste (Ponto 30). A cota 690 está no topo da rampa de colúvio.	93
Figura 44. Planta baixa e seções da Lapa dos Cascudos. Modificado de GBPE (2004).	94
Figura 45. Entrada de montante da Lapa dos Cascudos. A seta indica a posição aproximada da ressurgência do Peruaçu.....	94
Figura 46. Planta baixa e seções da gruta Troncos. Modificado de GBPE (2004).	96
Figura 47. Ressurgência do rio Peruaçu na gruta Troncos, na cota 580 m.	97
Figura 48. (A) Planta baixa da gruta do Carlúcio com a localização das amostras datadas (pontos vermelhos) e do tronco (ponto azul) em posição mais elevada (Modificado de GBPE, 2004). (B) Vista do interior da gruta do Carlúcio, represas de travertino estão no segundo plano (seta laranja). No detalhe acima à esquerda, a amostra Tr-01 (seta vermelha). A linha pontilhada indica o nível máximo de deposição na gruta, na cota 676 m. (C) Conjunto de espeleotemas na lateral esquerda do salão de entrada da gruta. No detalhe a amostra Tr-02 (seta azul). A seta indica a posição em que a amostra foi encontrada. ...	103

Figura 49. Tronco posicionado na cota máxima de alagamento registrada no interior da gruta do Carlúcio (seta vermelha). A seta branca indica sua posição na parede na gruta.	104
Figura 50. Troncos parcialmente carbonizados no interior da gruta Ossos II.	105
Figura 51. Terraço identificado em uma pequena gruta próxima à gruta do Carlúcio. No detalhe acima à esquerda, é possível observar estruturas de deposição e fragmentos de couraça laterítica.	106
Figura 52. Provável marca deixada por um terraço fluvial depositado na lateral esquerda da gruta do Brejal, próximo à entrada de montante (seta amarela). O sedimento avermelhado no piso é resultante do desmonte desse terraço, que pode ser observado no detalhe acima à esquerda.	107
Figura 53. Tronco depositado no interior da gruta do Brejal (no detalhe). A linha pontilhada indica o nível atingido pela água no momento da deposição do tronco.	108
Figura 54. Marca de nível d'água(M-1) na gruta Lapa da Onça (seta).	109
Figura 55. Tronco depositado por flutuação no interior da gruta Lapa da Onça.	110
Figura 56. Perfil esquemático da área de estudo, com indicação do nível máximo de alagamento do setor de montante. A posição dos troncos datados é indicada com círculos marrons. O nível de alagamento máximo atinge a cota 676 m. A cota relativa à marca M-1 é indicada com a linha tracejada vermelha.	111
Figura 57. Troncos depositados sobre espeleotema no interior da gruta Túnel do Vento (setas).	113
Figura 58. Troncos depositados no interior da gruta Arco do André (indicados com setas): (A) em reentrância no interior de um espeleotema; (B) Tr-08 e Tr-09; (C) Tr-06; e (D) Tr-07 preso em uma fenda na parede da gruta.	114
Figura 59. Marcas de nível d'água identificadas na gruta Arco do André: (A) marca M-2 indicada com seta vermelha; (B) marca M-3 (seta azul); e (C) vista panorâmica da gruta com a posição das duas marcas indicadas pelas setas. As linhas tracejadas indicam os níveis atingidos pelas águas do rio. O círculo amarelo indica a escala humana (Fotografia: Luciana Alt).	115
Figura 60. Sítios de deposição de troncos (por flutuação) na gruta Arco do André (círculos azuis) e troncos amostrados (círculos vermelhos). A seta azul indica a posição aproximada da marca de nível d'água M-2. A posição da marca M-3 é indicada com seta vermelha.	116
Figura 61. Perfil esquemático da área de estudo com a posição dos registros de alagamento e os níveis de alagamento nos segmentos Carlúcio–Lapa da Onça e Lapa da Onça–Arco do André. A linha tracejada em vermelho corresponde ao nível de alagamento responsável pela impressão das marcas de nível d'água M-01, M-2 e M-3.	118
Figura 62. Terraço argiloso depositado em um patamar da gruta Troncos.	119

Figura 63. Mapa hipsométrico da área de estudo com indicação das áreas atingidas pelos alagamentos.	124
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Medidas de vazão do rio Peruaçu nos meses de abril e agosto de 2003. Fonte: Karmann <i>et al.</i> (2005).....	57
Tabela 2. Relação entre desnível e comprimento linear da calha do rio Peruaçu.	99
Tabela 3. Cronologia e altitude dos registros de alagamento identificados no setor de montante do cânion.....	112
Tabela 4. Cronologia e altitude dos registros de alagamento identificados na gruta Arco do André.	116
Tabela 5. Registros de alagamento identificados na área de estudo, sua altitude e correlação altimétrica com o rio Peruaçu.	120
Tabela 6. Agrupamento dos registros em função da proximidade de suas idades. Nota-se que ocorrem intervalos mais longos (de 100 a 600 anos) entre os grupos que aqueles observados entre os registros de um mesmo grupo (máximo 50 anos).	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cabeçalho utilizado na tabela de anotações topográficas.....	22
Quadro 2. Coluna estratigráfica simplificada da bacia do rio Peruaçu. Fonte: Piló (1997).47	

RESUMO

COELHO, Ataliba Henrique Fraga. Registros de Grandes Alagamentos no Cânion do Rio Peruaçu, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu – PNCP, MG. 2013. 133 p. (Dissertação de Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Relatos sobre alagamentos, em decorrência de grandes abatimentos no cânion do rio Peruaçu, localizado no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais, têm sido feitos por pesquisadores no decorrer das últimas décadas (Piló, 1989, 1991, 1997, 2002, 2008; Rubbioli, 1999; Rodet & Rodet, 2001; Ferreira, 2003; Piló *et al.*, 2005; Oliveira, 2008 e Rodet *et al.*, 2004, 2009). Esses alagamentos deixaram como registros troncos e marcas de nível d'água em posição elevada no interior das grutas. Esta pesquisa teve como objetivo identificar esses registros e realizar um perfil topográfico que permitisse a correlação altimétrica entre eles, e elementos morfológicos e deposicionais do cânion, a fim de identificar pontos de barramento do fluxo do rio. Também foi objetivo da pesquisa, por meio de datação C^{14} , o balizamento cronológico dos eventos. Os trabalhos se concentraram no trecho de montante do cânion, entre as grutas Carlúcio e Troncos, onde foi elaborado um perfil topográfico longitudinal contendo a altimetria dos registros, bem como a representação das feições morfológicas e deposicionais do segmento. Por meio de análises cartográficas e observações de campo, foram identificados dois pontos de barramento: um a montante, na Lapa da Onça, com capacidade de reter o escoamento superficial até a cota 676 m (+ 46 m em relação ao nível atual do rio); outro a jusante, no Arco do André, com capacidade de retenção até a cota 653 m (+ 53 m). Foram identificadas marcas de nível d'água nas grutas Lapa da Onça (M-1: + 36 m) e Arco do André (M-2: + 41 m e M-3: + 53 m). Os dados cronológicos indicaram que os alagamentos dos dois setores foram contemporâneos e são bastante recentes, tendo ocorrido entre aproximadamente 1.600 e 100 anos atrás. Isso pode estar relacionado ao limite máximo de preservação de restos vegetais no interior das grutas. As idades obtidas descartam a possibilidade de que esses grandes alagamentos estejam relacionados a um clima mais úmido no passado, e que provavelmente são decorrentes do entupimento das rotas subterrâneas e/ou eventos pluviais extremos. A correlação entre dados altimétricos e cronológicos permitiu inferir que houve pelo menos seis eventos de alagamento, que depositaram troncos nas grutas do Carlúcio, Brejal e Arco do André, gerados por barramento na Lapa da Onça: Gr-01 (1590 ±20 AP); Gr-03 (entre 750 ±20 e 800 ±20 AP); Gr-04 (510 ± 30 AP) e Gr-05 (entre 340 ± 20 e 390 ± 25 AP); e no Arco do André: Gr-01 (1610 ± 50 AP); Gr-02 (1380 ± 20 AP) e Gr-06 (entre 100 ±25 e 140 ±25 AP). As idades próximas, atribuídas ao evento Gr-01, estão relacionadas a barramentos na Lapa da Onça e no Arco do André, e podem indicar o extravasamento do fluxo do rio sobre a cota 676 m na Lapa da Onça e alagamento do trecho de jusante. O perfil topográfico demonstrou que ocorrem importantes desníveis ao longo da calha do rio Peruaçu, associados aos segmentos entulhados por sedimentos clásticos. A análise morfológica permitiu a verificação de que a coalescência de dolinas constitui um importante processo na evolução do cânion cárstico do rio Peruaçu.

ABSTRACT

Coelho, Ataliba Henrique Fraga. Records of Large Flooding in the Peruaçu River Canyon, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - PNCP, MG. In 2013.133 p. (Dissertation in Geography) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Reports of flooding, due to large volumes of breakdown deposits in the Peruaçu river canyon, located in Cavernas do Peruaçu National Park, Minas Gerais, have been made by researchers in the last decades (Piló, 1989, 1991, 1997, 2002, 2008; Rubbioli, 1999; Rodet & Rodet, 2001; Ferreira, 2003; Piló et al., 2005; Oliveira, 2008 and Rodet et al., 2004, 2009). As records, these floods have left trunks and watermarks at an elevated position inside the caves. This research aimed to identify these records and build a topographic profile that would permit the correlation between their altimetry, as well as morphological and depositional elements of the canyon, in order to identify points of obstruction of river flow. The comparison between the ages of the events, by means of C^{14} dating, was also an objective. The work focused on the stretch upstream of the canyon, between Carlúcio and Troncos caves, where a longitudinal topographic profile was designed containing the records' altimetry, as well as the representation of the stretch's morphological and depositional features. Through cartographic analyses and field observations, two points of obstruction were identified: one upstream, inside Lapa da Onça, with a capacity to hold runoff up to the quota of 676 m (+ 46 m above the present level of the Peruaçu river); one downstream, at Arco do André, capable of holding water up to 653 m elevation (+53 m). Watermarks were identified inside the caves: Lapa da Onça (M-1: + 36 m) and Arco do André (M-2: + 41 m and M-3: + 53 m). Chronological data indicated that the flooding of two sectors were contemporaneous and are quite recent, having occurred between approximately 1,600 and 100 years ago. This may be related to the maximum limit of preservation of plant remains inside caves. The ages obtained discard the possibility that these large floods are related to a wetter climate in the past, and are probably due to blockage of underground routes and / or extreme rainfall events. Correlation between elevation and chronological data allowed inferring that there were at least six flooding events which deposited trunks inside Carlúcio, Brejal and Arco do André caves. These events were generated by obstruction at Lapa da Onça: Gr-01 (1590 ± 20 BP); Gr-03 (between 750 ± 20 and 800 ± 20 AP); Gr-04 (510 ± 30 AP) and Gr-05 (between 340 ± 20 and 390 ± 25 AP), and in Arco do André: Gr-01 (1610 ± 50 BP), Gr-02 (1380 ± 20 BP) and Gr-06 (between 100 ± 25 and 140 ± 25 AP). The close ages assigned to the Gr-01 event are related to obstruction at Lapa da Onça and Arco do André caves, and may indicate overflow above the elevation of 676 m at Lapa da Onça, as well as flooding of the stretch downstream. The topographic profile showed that important slopes occur along the Peruaçu river channel, associated with the segments covered by clastic sediments. Morphological analysis showed that sinkhole coalescence is an important process in the evolution of the Peruaçu river karst.

1. INTRODUÇÃO

Tributário da margem esquerda do rio São Francisco, o rio Peruaçu percorre uma extensão de aproximadamente 100 km desde sua nascente, nos Planaltos dos Gerais, até desaguar ao sul da cidade de Itacarambi. Ao longo de seu percurso, o rio Peruaçu atravessa um imponente vale cárstico, que se destaca por suas formas, tanto superficiais como subterrâneas.

O vale cárstico do rio Peruaçu encerra uma paisagem notável, cuja gênese está associada ao colapso de partes de um sistema de galerias subterrâneas, que formaram um cânion de paredes verticais com desníveis que podem chegar a 150 m, interrompido em vários pontos por cavernas com pórticos que podem atingir até 100 m de altura.

Repleto de cavernas e abrigos sob rocha, o vale cárstico do rio Peruaçu foi inicialmente ocupado por grupos indígenas pré-históricos, o que torna hoje a região muito rica sob o ponto de vista arqueológico e paleontológico. Mencionada desde o período colonial, a região passa a ser alvo de pesquisas científicas e de explorações espeleológicas apenas a partir de meados da década de 1970. Diversos estudos científicos, com destaque para a arqueologia, a paleontologia, a geomorfologia, a espeleologia, entre outras disciplinas, subsidiaram a criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) em 1989 na área do vale do Peruaçu e dez anos depois, em 1999, para a criação do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu.

Alguns estudos relatam a existência de vestígios deixados por grandes alagamentos ocorridos no interior do cânion, alagamentos esses que elevaram o nível do rio dezenas de metros acima do atualmente registrado. Esses estudos atribuem tais subidas do nível d'água a barramentos do fluxo do rio por grandes cones de material clástico (Piló, 1989, 1991, 1997, 2002, 2008; Rubbioli, 1999; Rodet & Rodet, 2001; Ferreira, 2003; Piló *et al.*, 2005; Oliveira, 2008 e Rodet *et al.*, 2004, 2009). Esses cones, gerados pelo desmoronamento do teto da rede subterrânea, chegam a atingir alturas da ordem de dezenas de metros. Os registros de alagamento são bastante discretos: algumas marcas de nível d'água impressas nas paredes e troncos depositados no interior de grutas como Arco do André, Brejal e Carlúcio.

Apesar dos diversos relatos de cunho interpretativo, nenhum esforço analítico mais aprofundado foi feito para correlacionar as evidências deixadas por esses alagamentos (troncos e marcas de nível d'água impressas em paredes) e suas possíveis causas.

Diante do exposto, admite-se, inicialmente, que os cones de abatimento tenham importância fundamental no barramento do fluxo do rio, tendo funcionado como verdadeiras represas, responsáveis pela retenção de enormes volumes de água.

Admite-se também a hipótese de que as marcas deixadas pela água no interior das cavernas tenham sido geradas nos momentos em que o nível d'água esteve estagnado por tempo suficiente para alterar a coloração da superfície rochosa (os processos responsáveis por essa alteração são ainda desconhecidos). O resultado são linhas ou faixas sutis deixadas nas paredes, em posição horizontal (marcas de nível d'água). Por outro lado, a deposição de restos vegetais está relacionada à descida do nível d'água, que pode ter ocorrido de modo lento ou rápido e até mesmo alternado essas duas dinâmicas.

Desse modo, várias questões ainda permanecem sem resposta:

- Seriam as marcas de nível d'água e troncos posicionados a dezenas de metros acima do nível atual do rio Peruaçu evidências de um ou de vários episódios de alagamentos?
- Os registros de troncos existentes em diferentes grutas, como Arco do André, Brejal e Carlúcio correspondem ao mesmo evento?
- Foram os barramentos gerados pelos cones de abatimento os únicos responsáveis pela elevação do nível do rio e consequente deposição de troncos em locais tão acima de seu nível atual; ou existem outras feições morfológicas no cânion, como condutos ou gargantas estreitas, capazes de represar o rio a ponto de gerar alagamentos com elevação de seu nível em até 41 m, como afirma Piló *et al.*, (2005)?
- Em que local (ou em quais locais) o fluxo do rio foi barrado?
- Tendo em vista as distâncias (muitas vezes da ordem de centenas de metros) entre as paredes laterais nas áreas externas do cânion, seria necessário um enorme volume de água para que o rio atingisse os locais onde foram depositados os troncos e imprimisse as marcas de nível d'água. Qual a dimensão da área alagada?
- Quando ocorreu o(s) alagamento(s)?

2. OBJETIVOS

Diante do que foi apresentado na introdução, o objetivo principal desta pesquisa foi identificar as causas dos alagamentos no cânion, por meio da elaboração de um perfil topográfico que possibilitasse uma análise precisa da posição altimétrica dos vestígios. Buscou-se também, correlacionar a altimetria desses vestígios com a de elementos morfológicos ou deposicionais, a fim de identificar os pontos de retenção do fluxo do rio.

Foram realizadas datações pelo método ^{14}C de troncos, com o intuito de identificar, a partir da idade de morte do vegetal, a idade máxima para o aporte desse material para o interior das grutas. A partir dessa análise de ordem cronológica, buscou-se identificar se os registros existentes estão relacionados a um único episódio de alagamento ou decorrem de eventos distintos.

Inicialmente, previam-se estudos em toda a extensão do cânion. No entanto, após a avaliação de campo realizada em julho de 2011, decidiu-se limitar sua área de abrangência ao trecho entre a Lapa dos Troncos e a gruta do Carlúcio. Essa alteração deve-se à constatação de que o segmento menos encaixado à jusante da gruta Troncos não permitiria um represamento que afetasse o trecho de montante do Arco do André, local onde foram observados importantes registros de alagamento. Os objetivos específicos da pesquisa foram:

1. Prospectar integralmente o trecho entre as grutas Troncos e Carlúcio, na tentativa de identificar novos vestígios de alagamento, como marcas de nível d'água impressas em paredes; restos vegetais (como troncos e galhos) e sedimentos fluviais depositados no interior das grutas, em locais muito elevados em relação ao nível atual do rio, seja sobre cones de blocos ou presos à reentrâncias existentes na rocha ou em espeleotemas.
2. Descrever a morfologia daquele segmento do cânion e os depósitos clásticos, de modo a subsidiar uma melhor compreensão das áreas propícias à retenção do fluxo d'água superficial.
3. Elaborar um perfil topográfico longitudinal do trecho mencionado, com a representação das principais feições do segmento, tais como inclinação do piso, sumidouros, ressurgências, teto das galerias, feições deposicionais que tenham relevância para a pesquisa, além da posição dos troncos e das marcas de nível d'água.

4. Realizar datações dos depósitos vegetais.

A representação das feições morfológicas do cânion, juntamente com os registros de alagamento em um perfil topográfico, permitiu compreender melhor as causas do(s) alagamento(s) responsável(is) pela impressão das marcas de nível d'água e pela deposição dos troncos em posição tão elevada no interior das grutas.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Os materiais, métodos e técnicas empregados na elaboração desta pesquisa são apresentados abaixo.

3.1. Prospecção

A busca dos vestígios de alagamentos foi realizada conjuntamente com a execução do perfil topográfico. Buscou-se identificar marcas de nível d'água impressas nas paredes do cânion, vestígios vegetais no interior das grutas e sedimentos clásticos com indicativo de deposição fluvial ou lacustre em posição elevada em relação ao nível de base atual.

Para identificar as marcas de nível d'água, foram observadas as paredes das grutas em busca de mudanças bruscas da coloração superficial da rocha ou dos depósitos químicos nela existentes, que apresentassem continuidade lateral na posição horizontal. Esse trabalho foi dificultado pelos planos de acamamento sub-horizontalizado do calcário, que às vezes se sobrepõem às marcas de nível d'água. A busca foi iniciada no Arco do André, onde já fora constatada a existência de uma marca d'água impressa na parede oeste do conduto do arco (Piló *et al.*, 2005), próxima à confluência com o segmento afótico da gruta (Figura 1). O mesmo procedimento foi repetido nas demais grutas interceptadas pela topografia e em algumas paredes dos segmentos externos às cavernas.

As marcas de nível d'água identificadas foram topografadas (niveladas), fotografadas e descritas com o intuito de gerar informações sobre sua composição, ou seja, se são produto da alteração da rocha, ou se constituem depósitos químicos, clásticos ou orgânicos.

A busca pelos restos vegetais se deu exclusivamente em ambiente subterrâneo. Os vestígios identificados foram analisados no local visando identificar o tipo de processo

deposicional. A princípio foram admitidos três tipos de processos responsáveis pelo transporte e deposição do material:

1. Gravitacional – nesse caso, os restos vegetais seriam originários do topo e teriam entrado por claraboias ou entradas localizadas em pontos mais elevados em relação ao sítio de deposição, e que tenham conexão com este. Nesse contexto, os restos chegaram por queda e rolamentos.

2. Flutuação – nesse caso, o material teria flutuado até o interior da caverna, e se depositado com o rebaixamento do nível d'água.

3. Antrópico – o material foi trazido por humanos, incluindo grupos pré-históricos e modernos.

Tiveram relevância para a pesquisa apenas os restos vegetais que apresentaram indicativos de terem sido introduzidos nas cavernas por flutuação. Em outras palavras, foram registrados aqueles posicionados em locais sem conexão direta com claraboias e entradas elevadas, e que não apresentaram relação com fogueiras, marcas de instrumento de corte ou outros indícios de ação antrópica. Na existência de dúvida, o material não foi considerado evidência de alagamento.

Assim como no caso das marcas de nível d'água, a busca pelos restos vegetais foi iniciada na gruta Arco do André, onde já se sabia da existência de troncos depositados em posição elevada em relação ao nível atual do rio (Figura 1).

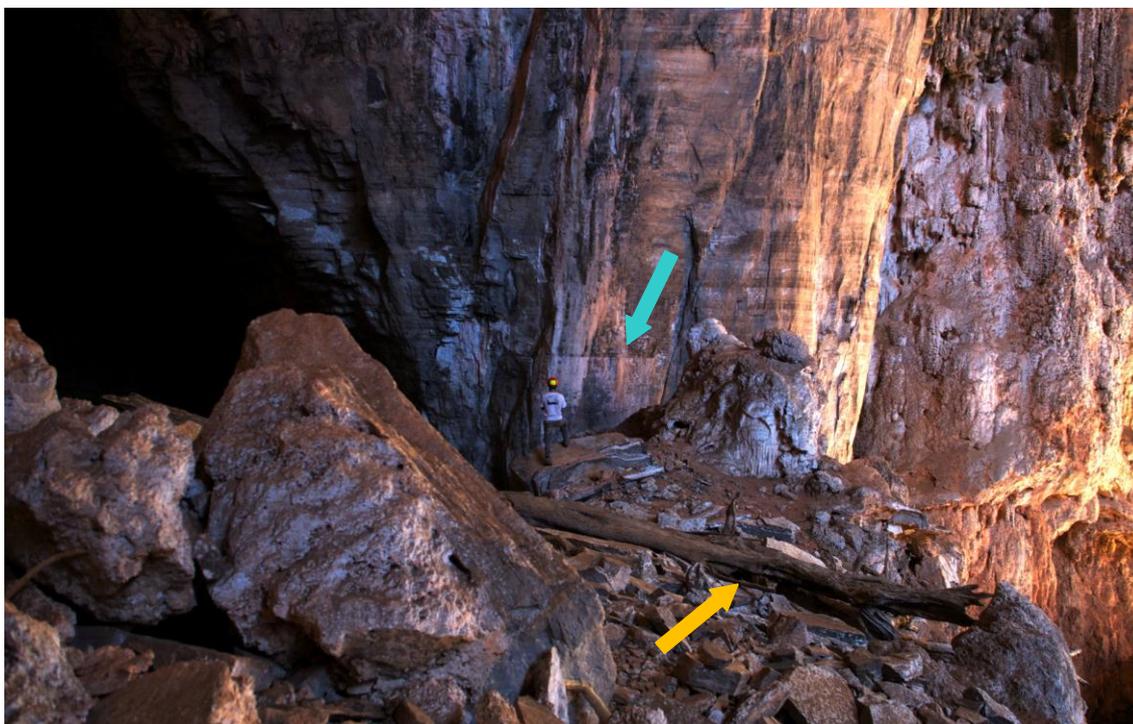


Figura 1. Marca de nível d'água (seta azul) e troncos (seta laranja) no interior do Arco do André.

Sedimentos clásticos de origem fluvial ou lacustre em posição elevada em relação ao nível de base atual do rio também foram alvo de investigação, tanto no interior das grutas, quanto no trecho subaéreo. Os depósitos encontrados foram fotografados e tiveram sua posição altimétrica ajustada ao perfil topográfico. Também foram descritos em função de sua constituição, granulometria e estruturação.

3.2. Topografia

O mapeamento subterrâneo constitui o primeiro passo na obtenção de dados quantitativos sobre as cavernas, uma vez que a extensão, a profundidade e a morfologia do sistema subterrâneo permanecem desconhecidas até que sejam devidamente mapeadas (Palmer, 2007). O autor destaca a importância do mapeamento para se identificar diferentes níveis de desenvolvimento em cavernas. A correlação desses níveis constitui uma ferramenta extremamente precisa na análise da evolução do sistema subterrâneo.

O método mais comum de mapeamento subterrâneo consiste na topografia, com representação por meio de croquis em escala da planta baixa e de perfis transversais e longitudinais dos condutos e salões subterrâneos, sejam eles interceptados ou não por trechos subaéreos. A representação cartográfica permite compreender melhor a morfologia e o gradiente altimétrico existente nas cavidades, servindo de base cartográfica para diversas análises. Os métodos utilizados na topografia subterrânea são detalhados em Rubbioli & Moura (2005).

Nesta pesquisa, a topografia foi utilizada para a elaboração de um perfil topográfico representando feições subterrâneas e subaéreas do cânion. No perfil, foram representadas feições deposicionais, tais como cones de blocos e espeleotemas, assim como a morfologia de partes do teto das grutas Troncos, Cascudos, Arco do André, Túneis, Lapa da Onça, Brejal e Carlúcio. Também foram incluídas as cotas altimétricas das marcas de nível d'água e dos troncos.

Na topografia, foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais: trena laser *Leica* modelo *Disto A3*; telêmetro *Leica Rangemaster 900* para visadas com distâncias superiores a 50 m ou em locais onde não foi possível o uso da trena laser; teodolito com bússola acoplada, modelo *THEO 020A*; trena de nylon de 20 m; prancheta com papel milimetrado tamanho A3 e blocos de anotação.

A topografia foi iniciada na gruta Arco do André. O ponto inicial foi denominado Base “B1” e está localizado na lateral oeste do conduto do Arco, próximo à confluência com a parte afótica da gruta (Figura 2). O ponto foi identificado com uma moeda de cor amarela colada sobre um pequeno bloco no piso.

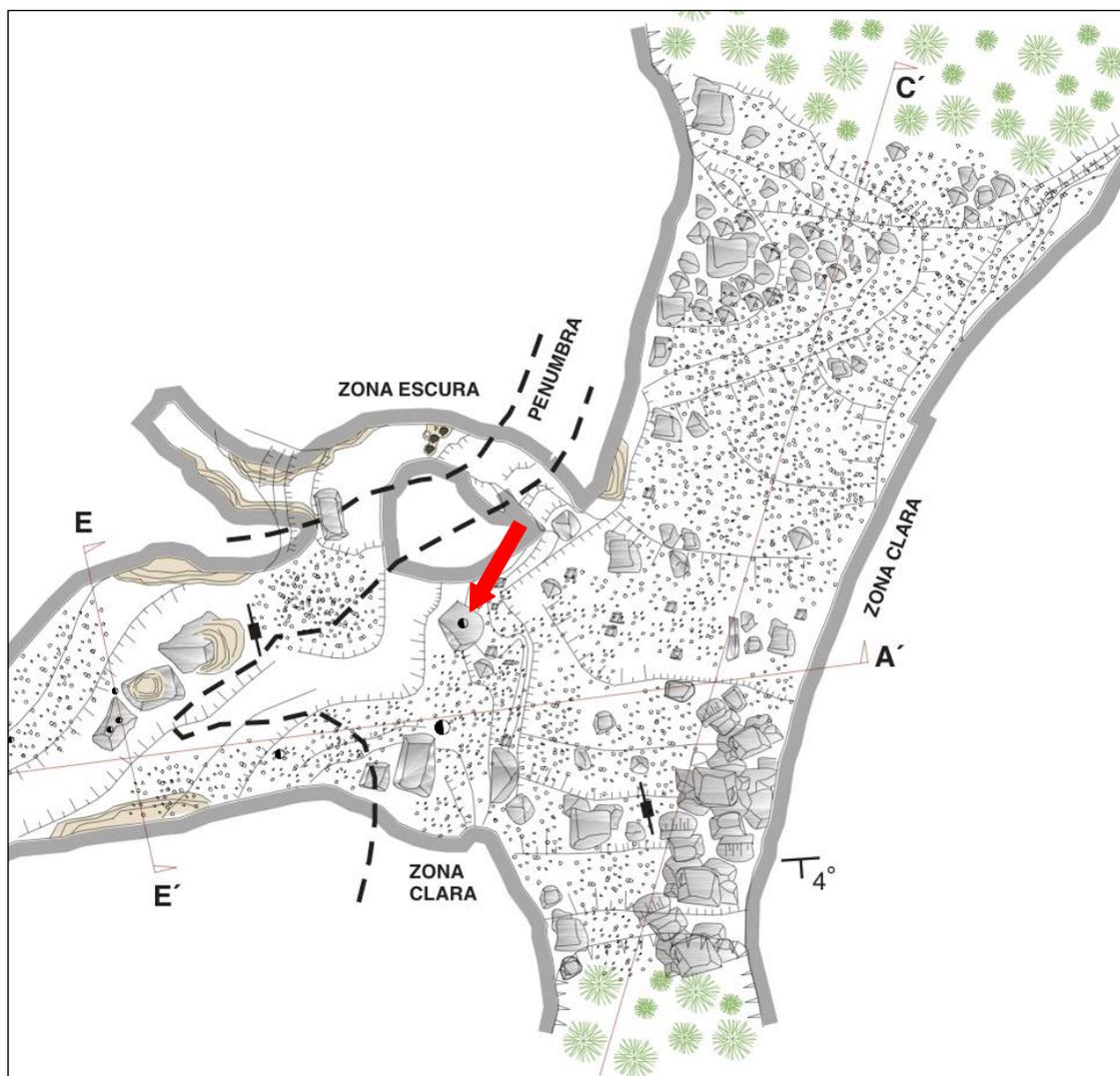


Figura 2. Vista parcial da planta baixa da gruta Arco do André com a indicação aproximada da base B1 (indicada pela seta). Modificado de GBPE (2004).

Para os ângulos horizontais, foram feitas visadas azimutais, por meio de uma bússola acoplada ao teodolito. As inclinações foram medidas em graus e, em função da configuração do próprio equipamento, o plano horizontal foi medido com o grau 90 (ao contrário das medições realizadas com clinômetro, onde o plano horizontal é equivalente ao grau zero). Para medição das distâncias, foi utilizada a trena laser sempre que possível. Em casos de visadas muito longas, em geral acima de 100 m, ou em locais com excesso de

luminosidade (o excesso de luz prejudica a visualização do fecho de laser), foi utilizado o telêmetro. As alturas relativas entre bases e piso foram medidas com trena laser ou de fita.

Os dados topográficos foram anotados em uma tabela contendo cabeçalho apresentado no **Quadro 1**:

Quadro 1. Cabeçalho utilizado na tabela de anotações topográficas.

De	Para	Distância	Azimute	Inclinação	Piso	Teto	Observações
----	------	-----------	---------	------------	------	------	-------------

Na coluna “De”, foram anotados os nomes das bases de onde se originaram as visadas; na coluna “Para”, foram anotados os nomes das bases para as quais as visadas se dirigiram. As distâncias foram anotadas em metros e os ângulos (azimute e inclinação), em graus. Na coluna “Piso”, foram anotadas as distâncias em metros, entre as bases de visada e o piso, enquanto que na coluna “Teto”, foram anotadas as distâncias (também em metros) entre as bases e os tetos dos trechos subterrâneos.

As bases de visada foram nomeadas com a letra “B” (de base), seguida de números sequenciais. Em alguns casos, para facilitar a posterior visualização da posição das feições mais relevantes, foram acrescentadas abreviações ao nome da base correspondente, exemplo: Tr (Tronco); M (Marca d’água); LD (Linha d’água). Em alguns casos, foi colocado apenas o nome da feição (Figura 3). A tabela contendo os dados topográficos é apresentada no Anexo I.

Para aferir a precisão do telêmetro, foi realizado inicialmente um teste, onde três medidas de distância foram realizadas: uma curta (11 m), uma média (50 m) e uma longa (90 m). Em seguida, as mesmas medidas foram realizadas com as trenas. As diferenças entre as medidas obtidas com o telêmetro e com as trenas foram inferiores a 50 cm. Para a aferição do caminhamento topográfico, foi mapeado um trecho da gruta Arco do André, de modo a formar um polígono topográfico: bases B1, B2, B3 e B4. A distância total das visadas atingiu 215,5 m e a área do polígono abrangeu 916 m² (Figura 3). Foi possível identificar um erro equivalente a 54,6 cm no fechamento da poligonal. Esse valor, distribuído entre as quatro bases utilizadas para visada, representa uma precisão máxima de 13,6 cm, valor considerado razoável, em função da dimensão do perfil.

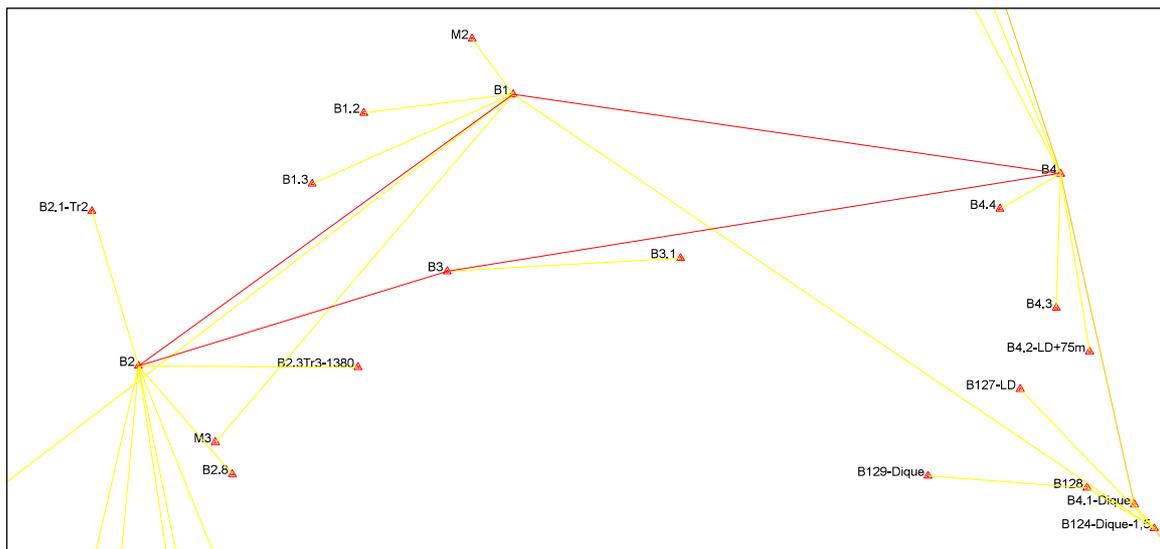


Figura 3. Exemplo da nomenclatura utilizada nas bases topográficas. Essa figura também apresenta a visualização em planta da poligonal formada entre as bases B1, B2, B3 e B4 (linhas vermelhas).

Em uma topografia, o grau de precisão é medido em função do fechamento de poligonais (Rubbioli & Moura, 2005). Tendo em vista as dificuldades de se fechar poligonais em um perfil de rio, foi feita uma visada entre dois pontos conhecidos. Essa visada foi realizada a partir da base B-35 em direção ao teto do Arco do André, em sua posição de montante (próximo à base B5.6). Foi lido o azimute 150° (sem declinação magnética) e inclinação de um grau negativo (-1°). Não foi medida a distância, em função do limite de capacidade do equipamento utilizado. Em gabinete, foi projetada uma linha reta entre as duas bases, com inclinação e azimute equivalentes à leitura de campo. A linha apresentou distância equivalente a 1.260 m e um erro de 6 m nos ângulos horizontal e vertical. Considerando-se a distância entre as duas bases, o número de bases de visada entre elas (30 ao todo) e o fato de que a leitura foi realizada de maneira aproximada, entende-se que o valor erro obtido reflete um nível de precisão bastante satisfatório para os objetivos da pesquisa.

Desse modo, em função da máxima precisão do telêmetro utilizado nas visadas mais longas (um metro), e ao fato de que não foi possível o fechamento de poligonais ao longo do caminhar topográfico, estima-se que os valores registrados apresentem variações entre um e seis metros.

A topografia seguiu o método da poligonal aberta (Rubbioli & Moura, 2005), que consiste em uma linha central de caminhar ao longo do curso do rio. A partir dessa linha guia, foram realizadas visadas nos pontos de interesse identificados na prospecção,

além de feições morfológicas, deposicionais e hidrológicas relevantes, tais como tetos de grutas, topo e base de cones de dejeção, surgências, ressurgências e sumidouros.

O caminhamento topográfico foi realizado em dois segmentos, o primeiro entre as grutas Troncos e Arco do André e o segundo entre o Arco do André e a gruta Carlúcio. Os dois segmentos topográficos foram unidos por visadas à base B1.

O croqui de campo foi desenhado à mão livre, ou seja, sem o uso de escala. Foram representados os depósitos clásticos; o rio Peruaçu com a posição dos sumidouros e das ressurgências; algumas feições de teto das grutas; além da posição dos registros de alagamento identificados na prospecção. Todos esses elementos foram inseridos no croqui tendo como referência a anotação do nome das bases topográficas correspondentes.

3.3. Tratamento dos dados topográficos

Os dados de topografia foram inicialmente tabulados em uma planilha *Excel*, revisados e posteriormente transferidos para o software *OnStation*, onde foi gerada a linha do caminhamento em plataforma tridimensional.

Para inserção dos dados referentes à inclinação no *OnStation*, foi necessário converter as medidas de ângulo vertical tomadas no teodolito para o formato medido com clinômetro. Para tal, foi aplicada uma fórmula simples na própria planilha, tendo como base o plano horizontal, que no teodolito utilizado é representado pelo ângulo 90° . Subtraindo deste, o valor medido no teodolito obtém-se o valor convertido, onde o plano horizontal é representado pelo grau zero (como no clinômetro), e declives e aclives representados por valores entre -90 e $+90^\circ$, respectivamente.

A linha de caminhamento topográfico foi convertida para o formato *.dxf* para processamento em software *AutoCad*, programa de precisão utilizado para a elaboração do perfil. Os croquis de campo foram redesenhados em *AutoCad*, tendo como referência as bases topográficas. Os locais não atingidos pela topografia, como a zona de contato entre a base dos depósitos clásticos e o substrato rochoso, foram sinalizados no perfil com linha tracejada e pontos de interrogação. O perfil topográfico em escala consta no Anexo II.

A sobreposição da topografia (planta baixa) às diferentes bases cartográficas (imagem de satélite e mapa hipsométrico) foi utilizada como ferramenta de verificação da precisão topográfica e como referência cartográfica para a descrição morfológica da área estudada. Essa sobreposição foi feita no software *ArcMap* 10.1, e permitiu, além da

visualização da correlação entre os elementos topografados e as feições morfológicas do trecho, a inferência das cotas de topo do perfil, a partir de curvas de nível com equidistância de 10 m (de ortofotocartas – INCRA – em escala 1:10.000), disponibilizadas em *shapefile* por Simões (2007). A “amarração” da topografia com as bases cartográficas mencionadas foi feita a partir da coordenada: 0582555 leste, 8330285 norte, altitude 580 m, coordenada da entrada de jusante da gruta Troncos. A amarração deve ser considerada de caráter provisório, uma vez que, para um posicionamento mais preciso do perfil topográfico, devem ser coletadas coordenadas em ao menos duas bases topográficas externas, com aparelho GPS de alta precisão (geodésico). As bases B89, na parte de montante do segmento topografado próxima à gruta do Carlúcio, e a base B104, na parte de jusante próxima à entrada da gruta Troncos, foram marcadas nas paredes esquerdas do cânion para esse fim.

Para a avaliação da área de abrangência dos alagamentos em planta, foram utilizados Modelos Digitais de Elevação (MDE) em *software* ArcGIS 10.1, a partir de ortofotocartas (INCRA) em escala 1:10.000 e curvas de nível com equidistância de 10 m.

3.4. Descrição morfológica da área de estudo

A caracterização das feições morfológicas do segmento topografado do cânion foi feita por meio, principalmente, de observações de campo, com o auxílio de aparelho GPS *Garmin Map 60 CSx*, imagens de satélite *Basemap*, curvas de nível com equidistância de 10 m e o mapa *Cenário Morfológico do Carste do Rio Peruaçu* (Piló, 1989).

Para permitir a visualização dos elementos analisados, o mapa planimétrico da área de estudo foi segmentado e apresentado ao longo do texto em figuras no formato A3.

3.5. Coleta de amostras e datação

Os restos vegetais coletados foram datados por meio do método Carbono 14 (^{14}C). As datações foram realizadas no Centro de Estudos Isotópicos Aplicados da Universidade da Geórgia (Geórgia, EUA).

A datação pelo método ^{14}C se baseia na taxa de desintegração atômica do carbono assimilado durante a vida do organismo (pela respiração ou fotossíntese). Após a morte do vegetal, as moléculas do carbono se desintegram a uma taxa constante, em que a atividade do ^{14}C se reduz à metade em um período de 5.560 ± 30 anos (Pessenda *et al.*, 2005), sendo 1950 o ano de referência para a determinação do “Antes do Presente” (AP). A medição da taxa de decaimento do ^{14}C pode ser feita de duas maneiras: por meio do uso de um contador Geiger, ou por meio de um acelerador de massa (AMS – *Accelerator Mass Spectrometry*). O contador de Geiger mede a quantidade de partículas beta (radiação emitida pelo ^{14}C), durante o processo de desintegração desse isótopo. O AMS (método utilizado nesta pesquisa), por sua vez, permite a contagem do número de átomos de ^{14}C ainda presente na amostra.

As idades obtidas com as amostras podem corresponder às idades máximas relativas ao episódio de deposição, uma vez que o vegetal poderia estar morto, antes mesmo de ser transportado pelo rio. Deve ser considerada a possibilidade de contaminação das amostras pelo ^{14}C já decaído (originário da calcita), presente na água saturada por bicarbonato de cálcio. A fim de evitar esse tipo de contaminação as amostras foram tratadas (em laboratório) com solução contendo 5% de ácido clorídrico (HCL), a uma temperatura de 80°C por uma hora. Em seguida, as amostras foram lavadas com água desionizada e em soda cáustica (NaOH) diluída, para remover possíveis contaminações por ácidos húmicos. Após isso, foram novamente tratadas com HCL diluído, lavadas com água desionizada e secadas a 60°C .

Foram datadas cinco amostras de troncos, coletadas nas grutas Arco do André, Brejal e Carlúcio. Também foram utilizadas datações de troncos coletados por Oliveira (2008) e por Piló (comunicação verbal) na área do cânion.

3.6. Análise integrada

A partir dos dados cartográficos, morfológicos e cronológicos, foi realizada uma análise integrada, que permitiu correlacionar os pontos de barramento do fluxo do rio Peruaçu, com a altimetria e a idade dos registros.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. O carste

O termo “carste” define um tipo de paisagem onde os processos de dissolução hidroquímica predominam, estando comumente associados a litotipos solúveis como carbonatos e evaporitos (Karmann, 2000; Auler, 2006; Ford & Williams, 2007). Processos de carstificação são mais pronunciados em rochas maciças e densas, de maior pureza, ao passo que rochas de maior porosidade primária tendem a apresentar carstificação menos desenvolvida. O papel da porosidade secundária (fraturas e planos de acamamento), por sua vez, é de grande importância, já que atua na concentração do fluxo hídrico, permitindo a formação de extensas redes subterrâneas condicionadas à estrutura geológica (Ford & Williams, 2007).

O relevo cárstico apresenta, em superfície, formas típicas, tais como depressões fechadas, vales cegos, campos de lapiás, surgências e sumidouros. A presença de cavernas e drenagens predominantemente subterrâneas é uma característica marcante do carste (Ford & Williams, 2007). Segundo esses autores, estima-se que 20% das áreas emersas e livres de gelo da superfície terrestre sejam ocupadas por rochas carstificáveis carbonáticas ou evaporíticas. Os primeiros relevos cársticos a serem alvo de pesquisas científicas mais aprofundadas se localizam na região atualmente conhecida como o “Carste Clássico”, situado no noroeste do Carste Dinárico, região que abrange grande parte da Eslovênia e o noroeste da Itália.

No Brasil, as maiores extensões em áreas cársticas se concentram nas regiões Sudeste, partes das regiões Centro-Oeste e Nordeste, correspondendo aos carbonatos dos grupos Bambuí (as mais expressivas em termos de área), Una, Açungui, Apodi, Rio Pardo, São João Del-Rei e Ubajara; às formações Vazante e Caatinga; e ao Supergrupo Canudos. Na Região Centro-Oeste, também ocorrem áreas cársticas próximas às cidades de Bonito e Corumbá, no Mato Grosso do Sul (Grupo Corumbá), e Cáceres, no Mato Grosso (Grupo Araras), assim como na Região Sul (Grupo Brusque). Regiões cársticas de dimensões reduzidas (Figura 4) também são registradas nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Tocantins (Auler *et al.*, 2005).

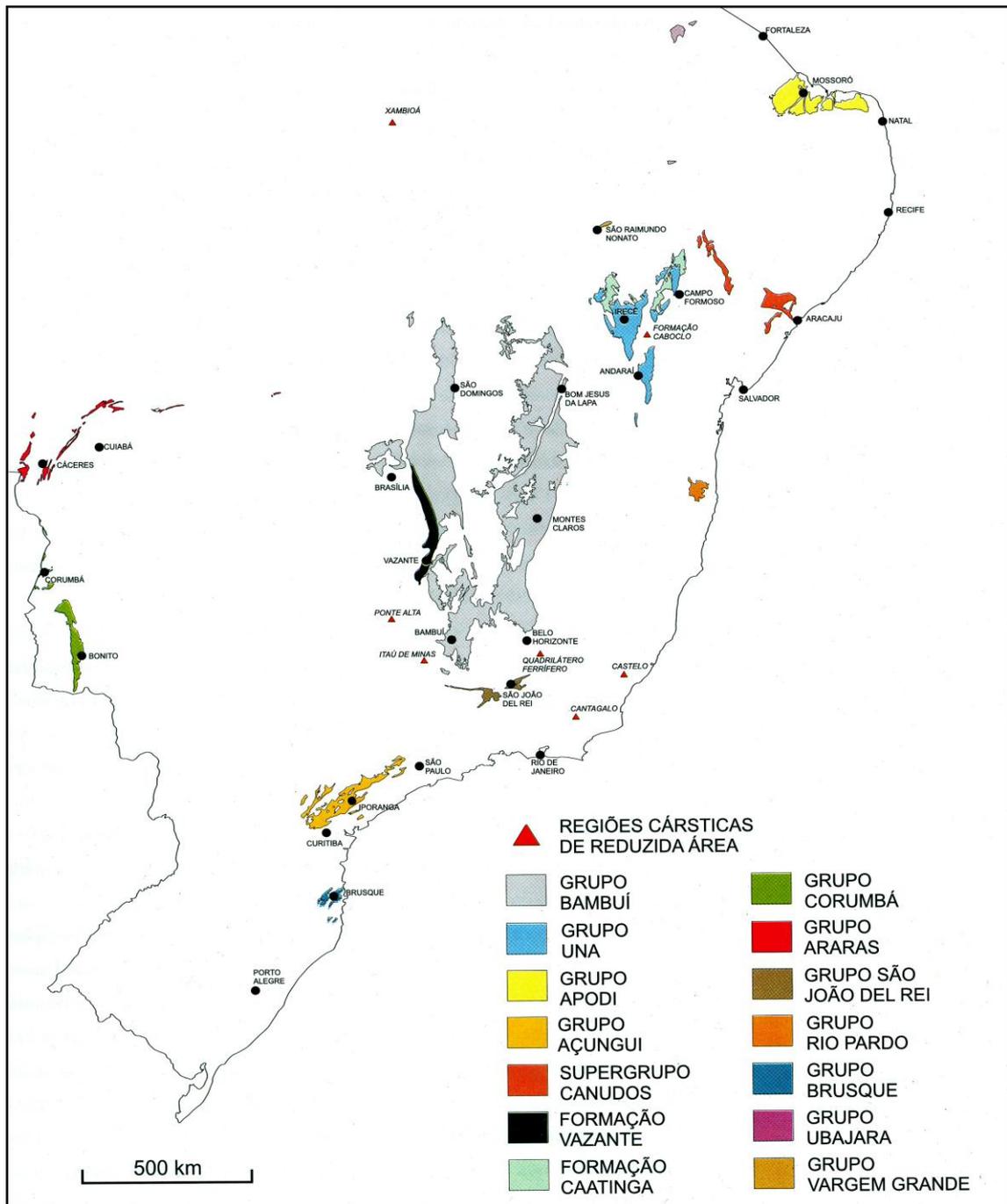


Figura 4. Regiões Cársticas Carbonáticas do Brasil, com base no mapa geológico de Schobbenhaus e colaboradores. Fonte: Auler *et al.*, (2001).

O Grupo Bambuí, que constitui uma sequência de sedimentos pelítico-carbonáticos de origem marinha, representa a maior área de rochas carbonáticas do Brasil. Com aproximadamente 105.000 km², concentra mais da metade das áreas cársticas do país, estimadas em aproximadamente 200.000 km² (Auler *et al.*, 2005). Grande parte de sua sequência carbonática está recoberta por solos, em geral resultantes da alteração

intempérica das unidades pelíticas superiores, o que constitui um carste predominantemente encoberto. Ainda assim, importantes regiões cársticas são nele reconhecidas, entre as quais o carste de Lagoa Santa, de Arcos e Pains, da Serra do Ramalho e do Vale do Peruaçu.

4.2. Morfologia cárstica

O relevo cárstico recebe diferentes classificações na literatura internacional, cada qual correspondente a aspectos distintos. Segundo Ford & Williams (2007), Cvijić, em seus últimos trabalhos, mais especificamente em um artigo de 1925, utiliza o termo “Holokarst” para descrever o relevo cárstico típico, desenvolvido em espessos pacotes de rocha calcária, que se estendem até bem abaixo do nível de base, sem a influência de outros litotipos. Nesse tipo de ambiente, a água é capturada a curtas distâncias, impedindo o desenvolvimento de canais superficiais, exceto no interior de depressões fechadas, sendo o Carste Dinárico exemplo típico desse relevo. O termo “Merokarst” é, por sua vez, a denominação dada por Cvijić aos relevos desenvolvidos em pacotes pouco espessos de rocha calcária, intercalados com outro tipo de rocha, ou mesmo com rochas carbonáticas menos puras. O resultado é uma paisagem com elementos cársticos e fluviais, podendo estar recoberta por elementos não solúveis. Esse termo foi se tornando menos aplicável à medida que o conhecimento acerca desse tipo de paisagem avançava. Roglic (1960) substituiu-o por “Fluviocarste”, para designar paisagens formadas quando a sequência carbonática se torna menos espessa, estando sobreposta ou recoberta por rochas não carbonáticas, ou mesmo intercalada com elas. Os elementos desta paisagem tendem a apresentar um misto de formas cársticas e fluviais normais.

Diversos terrenos cársticos são classificados em função do clima, sendo reconhecidos nove tipos: “Carste Temperado”, onde as chuvas se distribuem ao longo de todo o ano; “Carste Mediterrâneo”, com verão seco; “Carste Tropical Úmido”; “Carste Árido”; “Carste Semiárido”; “Carste Glacial” ou “Alpino”; “Carste Periglacial” ou “Nival”; “Carste Tropical Costeiro” e “Carste Temperado Costeiro”.

A gênese do carste está associada ao predomínio do intemperismo químico causado pelo ácido carbônico sobre a rocha carbonática. Isso pode ocorrer de diferentes formas, por meio de águas acidificadas na atmosfera em contato direto com a rocha, ou por meio da cobertura pedológica. A solução ácida penetrando por diáclases ataca quimicamente a

rocha, levando à dissolução gradual da rocha. Detalhes sobre os processos químicos no carste podem ser obtidos em Ford & Williams (1989), Kohler (1998), Piló (1998), Palmer (2007), entre outros.

O carste é usualmente compartimentado na literatura europeia em três zonas (Ford & Williams, 2007): zona de superfície (exocarste), zona de contato da rocha-solo (epicarste) e zona subterrânea (endocarste).

4.2.1. Exocarste

Segundo Bögli (1960), o exocarste corresponde ao conjunto morfológico superficial do relevo cárstico. É marcado pela presença de formas geradas predominantemente por processos de dissolução e abatimento, entre as quais se destacam formas residuais (maciços rochosos ruiformes, torres e cones de dejeção), lapiás (*karren*) e depressões fechadas (dolinas, uvalas e poljes).

As formas residuais como as torres ou os maciços calcários resultam de processos de dissolução diferencial e, apesar de não ocorrem apenas em carste tropical, constituem formas típicas desses ambientes (Piló, 2000). Essas formas positivas apresentam paredes escarpadas muitas vezes sulcadas por lapiás, termo adotado no Brasil para denominar *karren* (Auler, 1994; Karmann, 1994; Piló, 2000), ou conjuntos de saliências, ou sulcos que recobrem a superfície da rocha exposta ou sob o solo. Estas feições apresentam formas e tipologias variadas, resultantes da combinação de diferentes processos de dissolução.

As verrugas calcárias, por sua vez, constituem formas residuais de dimensão centimétrica a métrica e se distribuem de forma aleatória na paisagem, em geral aflorando em meio à cobertura pedológica.

Os cones de dejeção são pilhas de material clástico resultantes do processo de colapso do sistema subterrâneo, sendo, portanto, mais comuns no endocarste. Sua ocorrência no exocarste está associada ao abatimento de teto e paredes de antigas cavernas. No carste do Peruaçu, é comum a presença de cones de dejeção em áreas superficiais do cânion.

As depressões fechadas apresentam-se com as mais variadas formas e dimensões no carste, sendo as dolinas (depressões fechadas de forma circular ou elíptica) as formas mais particulares do exocarste (Piló, 2000). Com relação aos aspectos morfogenéticos, Jennings (1985) classifica quatro tipos de dolinas: (i) dolina de dissolução, (ii) dolina de

colapso ou abatimento, (iii) dolina de colapso devido ao carste subjacente e (iv) dolina aluvial ou de subsidência.

A coalescência de duas ou mais dolinas dá origem a depressões fechadas compostas, denominadas uvalas ou dolinas compostas. Estas formas mistas resultam da ampliação das dolinas, com diferentes taxas de evolução, acarretando maior desenvolvimento daquelas onde as rotas subterrâneas de fluxo vadoso vertical tornam-se mais eficientes (Karmann, 1994). Com o aumento da área de captação de águas pluviais, o fluxo seria elevado, aumentando assim a taxa de corrosão, aprofundando as depressões.

Outro modelado cárstico de depressões fechadas compostas corresponde a depressões poligonais originadas da transformação da paisagem fluvial para bacias poligonais fechadas (Karmann, 1994). Segundo o autor, a transformação é decorrente do aumento gradativo da capacidade de drenagem subterrânea em função do desenvolvimento da porosidade secundária e da evolução das dolinas de dissolução. O processo, segundo Piló (2000), se inicia a partir da drenagem superficial com nível freático raso, que se aprofunda gradualmente com a instalação de pontos de absorção (sumidouros), passando a alternar trechos subterrâneos e subaéreos com dolinas próximas à calha de drenagem. A ampliação dessas dolinas acabaria por suprimir o escoamento superficial e a antiga configuração do vale fluvial, dando lugar a uma superfície reticulada marcada por bacias poligonais fechadas.

Depressões fechadas de fundo plano e dimensões da ordem de dezenas de quilômetros são denominadas *poljes*. Essas formas evoluem a partir da dissolução de suas bordas, associada a uma base pouco solúvel, devido à presença de litotipos não carbonáticos, de sedimentos argilosos ou da proximidade do nível de base (Piló, 2000).

Gams (1978), com base em definições geomorfológicas de *polje* já publicadas, identifica três critérios que melhor definem esse tipo de feição:

- base plana rochosa ou em sedimentos aluviais inconsolidados;
- uma bacia fechada limitada em pelo menos um dos lados por encosta de declividade acentuada;
- presença de drenagem cárstica.

O fluviocarste é definido por Ford & Williams (2007) por setores do carste onde a drenagem superficial é predominante. Isso ocorre em casos onde a descarga da drenagem é superior à capacidade de infiltração no sistema subterrâneo, podendo o rio atravessar inteiramente a zona carstificada.

Para Gunn (2004), o fluvioacarste pode ser definido como uma paisagem desenvolvida sobre rochas carbonáticas, onde as geoformas predominantes são vales cortados por rios superficiais. Sweeting (1972) define o fluvioacarste como uma paisagem formada pela combinação da ação fluvial e processo cársticos.

O termo, segundo Gunn (2004), parece ter sido introduzido por Roglic (1964), que o utilizou em preferência a “halbkarst” de Grund (1914) e ao equivalente mais amplamente usado, “merokarst”, introduzido por Cvijić (1925).

White (1988) define fluvioacarste como paisagens onde a morfologia apresenta características fluviais e cársticas conjugadas. Segundo esse autor, no fluvioacarste os cursos d’água podem ter origem alóctone ou autóctone, apresentando escoamento com trechos superficiais e subterrâneos. Estão incluídos nesse contexto feições como: vales cegos (em que drenagens superficiais são capturadas em sumidouros), ressurgências, vales secos (em que a drenagem foi capturada para o meio subterrâneo em função do rebaixamento do aquífero) e vales com paredões em forma de cânions, que podem estar associados a abatimento de sistemas subterrâneos.

Segundo Ford & Williams (2007), o colapso de cavernas é o principal processo na formação de cânions em áreas cársticas. Esses autores citam como exemplos os desfiladeiros de Rak e Skocjan na Eslovênia, o desfiladeiro de Marble Arch de Ulster na Irlanda do Norte, o cânion Da Xiao Cao Kou do rio Yijiehe em Guizhou (China) e o próprio cânion do rio Peruaçu.

Segundo os referidos autores, a esculturação de vales cársticos pode também ser a consequência morfológica de um grande rio alogênico atravessar uma área cárstica de baixa declividade (entre a entrada e a saída). Em casos em que a declividade é maior, um cânion pode se formar se a descarga fluvial continuar a ser suficiente para manter o fluxo de superfície competente ou se ocorre elevação do terreno a uma taxa que exceda a capacidade de incisão da drenagem. Ainda segundo Ford & Williams (2007), drenagens alóctones, ao atravessarem áreas cársticas, têm uma função importante, sob o ponto de vista geomorfológico, por constituírem o nível de base regional.

Nicod (1997) destaca alguns pontos importantes no que se refere à gênese de cânions cársticos:

- Cânions que drenam áreas cársticas como cursos d’água efluentes devem ser distinguidos daqueles em que o curso d’água se perde em seu interior, apesar de manter a forma encaixada a jusante.

- Cânions onde os talvegues estão próximos de atingir rochas impermeáveis sotopostas ao pacote carbonático atuam como sistemas efluentes de drenagens cársticas, ou seja, as águas subterrâneas passam a alimentar a drenagem superficial. Por outro lado, cânions inteiramente inseridos em rochas carbonáticas podem tornar-se influentes, se houver elevação ou rebaixamento do nível de base. Nesse caso, o aquífero passa a ser alimentado pelo fluxo superficial.

- Alguns cânions contêm grandes depósitos de tufa, que represam o fluxo d'água produzindo lagos que bloqueiam a incisão do talvegue.

- Apesar do colapso de sistemas subterrâneos constituir o principal fator na formação de cânions no carste, provavelmente a maioria dos cânions (especialmente os maiores) são formados por drenagens antecedentes, onde o fluxo superficial tenha sido mantido ao longo do soerguimento.

Para Ford & Williams (2007), embora cânions de colapso constituam feições importantes do carste, a maioria dos que atravessam terrenos carbonáticos são feições fluviocársticas de origem poligenética, com uma complexa herança morfoclimática que é consequência de sua longa evolução. Mudanças climáticas ao longo do quaternário podem ter afetado consideravelmente a evolução desses cânions, principalmente em função das grandes variações das condições de descarga hídrica. Há evidências, com base nos estudos de Nicod (1997) de que numerosos cânions (alguns com dezenas de quilômetros de extensão) iniciaram sua evolução no Mioceno tardio, ou no Plioceno, enquanto que alguns têm origem quaternária. As taxas médias de incisão variam de 0,1 a 4,3 m ka⁻¹, as maiores taxas normalmente envolvem curtos intervalos de tempo.

4.2.2. Epicarste

Segundo Ford & Williams (2007), o epicarste ou zona subcutânea ocupa a parte superior da zona vadosa, na interface entre a rocha carbonática e a cobertura de solo ou material inconsolidado. Está situada comumente em torno de 3 a 10 m de profundidade, na zona de intemperismo. O contato do material de alteração com a superfície da rocha solúvel é responsável pelo desgaste dessa última, potencializado pela presença de CO² produzido na zona de enraizamento de plantas, tornando mais ácidas as águas de infiltração. A maior eficácia dos processos dissolutivos ocorre na parte superior do pacote

rochoso, diminuindo na medida em que se distancia da zona de fornecimento de CO², resultando em uma rede de fissuras mais alargadas no topo que na base.

Aquíferos epicársticos suspensos podem se formar quando a taxa de recarga excede a taxa de descarga, nesses casos, a água é retida nos espaços vazios do epicarste. Para Gunn (2004), isso se dá em função do caráter afunilado das juntas na superfície rochosa, causando um efeito gargalo com as águas de infiltração.

4.2.3. Endocarste

O endocarste corresponde à zona subterrânea do carste, sendo caracterizado pela presença de vazios na forma de condutos (geralmente condicionados à porosidade secundária da rocha) e seus respectivos depósitos químicos, clásticos e orgânicos. O termo foi introduzido por Bögli (1980), a partir da síntese do trabalho de diversos autores.

A geração de vazios no interior da rocha carbonática é atribuída por Ford & Williams (2007) à relação entre aspectos hidráulicos (recarga e descarga) e estruturais da rocha (fraturamentos e planos de deposição).

A espeleogênese ou a gênese de cavernas em ambiente cárstico pode ocorrer, segundo Bretz (1942), Ford (1971) e Palmer (1997), na zona vadosa (acima do nível freático), freática (abaixo do nível freático) ou no nível freático.

Cavernas vadasas são formadas pela ação gravitacional de cursos d'água subterrâneos, acima do nível freático. Essas cavernas são menos desenvolvidas horizontalmente em função da maior energia hidrodinâmica, e tendem a estar controladas estruturalmente. Ao atingir a zona de saturação o fluxo torna-se menos agressivo, agindo mais ao longo dos planos de acamamento e fraturas (Figura 5).

Abordagens mais aprofundadas sobre os processos espeleogenéticos em ambiente cárstico são encontradas em Ford (1971), White (1988), Ford & Williams (2007), Palmer (2007) entre outros.

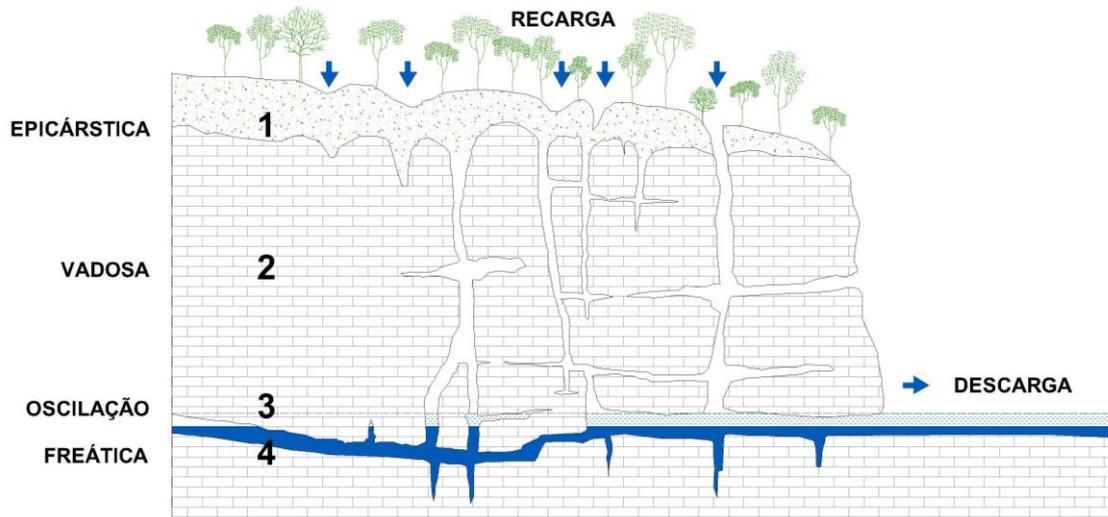


Figura 5. Esboço esquemático das zonas hidrológicas e a espeleogênese no carste: 1 – zona superficial e epicárstica, escoamento superficial ou percolação através do solo gerando perfil de alteração e alargamento das fissuras; 2 – zona vadosa, circulação livre da água por condutos sob ação da gravidade; 3 – zona de oscilação do nível freático, os condutos podem estar secos ou inundados, a depender do nível freático; 4 – zona freática, condutos totalmente ocupados pela água. Modificado de Kohler (1994).

4.2.3.1. Depósitos sedimentares

Os depósitos sedimentares endocársticos podem ser classificados em função de sua origem e composição. Quanto à origem, distinguem-se dois tipos de depósitos: os alóctones (provenientes do exocarste ou do epicarste) e os autóctones (gerados no interior do sistema subterrâneo). Sedimentos alóctones podem apresentar natureza bastante diversa, como depósitos fluviais variados, material coluvionar, orgânico, antrópico, entre outros. Podem ser introduzidos no ambiente subterrâneo pelo fluxo hídrico ou por gravidade, através de dolinas, sumidouros, ou mesmo por entradas de cavernas elevadas em relação ao interior da caverna.

Entre os depósitos autóctones, estão as argilas de descalcificação, de difícil diferenciação quando misturadas às argilas alóctones; os depósitos químicos resultantes da reprecipitação do bicarbonato de cálcio ou outros minerais trazidos para o endocarste por soluções saturadas, que muitas vezes se apresentam como imponentes espeleotemas; e clastos de granulometria variada gerados pelo colapso de tetos e paredes de condutos. Esse tipo de depósito, conhecido na literatura como depósitos de colapso (*Breakdown deposits*), é extremamente comum em cavernas e ocorre, segundo Springer (2004), onde a largura do conduto excede a força de sustentação das camadas horizontais do teto, quando as paredes

são desgastadas pela erosão. O processo está relacionado à tensão gravitacional sobre os vazios e à separação das camadas da rocha ao longo do plano de acamamento ou fraturas sub-horizontais. Os depósitos resultantes podem formar pilhas (ou cones) volumosas de material clástico de granulometria variada, como as existentes no cânion do rio Peruaçu, cujas dimensões chegam a atingir dezenas de metros de altura e até centenas de metros de extensão ao longo do curso do rio. Esses cones de blocos são, segundo Piló (1989), as formas de acumulação mais significativas no Cânion do Peruaçu e derivam do ajustamento de dolinas de abatimento e da regressão paralela das paredes do cânion e das formas residuais.

4.3. Alagamentos em sistemas cársticos e barramentos naturais em vales encaixados

Em ambientes subaéreos, o termo enchente se refere ao aumento na vazão de um curso d'água durante um intervalo de tempo. Diferentemente de inundação (que se refere ao extravasamento do fluxo para fora da calha, ocupando áreas marginais normalmente não ocupadas pelas águas), o fluxo em enchentes, apesar de elevado, se limita à calha principal (Carvalho *et al.*, 2007).

Todavia, enchentes ou inundações em terrenos cársticos apresentam características específicas devido às condições especiais de circulação de água. Em muitos casos, a elevação do nível da água em superfície se manifesta na forma de extravasamentos em lagos ou em dolinas, e não na calha de uma drenagem. Nesses casos, o termo “alagamento” é o que parece melhor se ajustar aos eventos de cheia em tais ambientes, uma vez que não faz referência ao extravasamento no ambiente específico calha de drenagem.

Em geral, os alagamentos no carste constituem eventos rápidos, na maior parte das vezes causados por precipitação intensa de curta duração, em áreas onde as superfícies raramente ultrapassam alguns quilômetros quadrados. Esses eventos rápidos causam altos picos de cheia e fluxos rápidos, podendo levar ao surgimento de numerosas nascentes temporárias inesperadas, em resposta ao súbito aumento dos níveis de água subterrânea (Bonacci *et al.*, 2006).

Para White (1990), em casos de precipitações concentradas ou de longa duração, em que as redes de fraturas que caracterizam os aquíferos cársticos não são capazes de dar

vazão a grandes volumes de água, alterações na drenagem fluvial e formação de lagoas temporárias podem ser registradas, podendo ocorrer enchentes ou inundações.

Segundo Bonacci *et al.*, (2006), as características das cheias em ambiente cárstico são definitivamente diferentes das registradas em terrenos não carstificados. Algumas características influenciam diretamente as elevações súbitas do nível d'água no ambiente cárstico:

1. Alta taxa de infiltração;
2. Escoamento fluvial em superfície raro ou ausente;
3. Forte inter-relação entre a circulação de águas superficiais e subterrâneas;
4. Baixa capacidade de armazenamento no endocarste;
5. Fluxo rápido de águas subterrâneas através de condutos cársticos;
6. Conexão direta entre o fluxo de entrada no sistema subterrâneo (através de sumidouros) e saída (através de nascentes perenes ou temporárias);
7. Oscilações altas e rápidas do nível das águas subterrâneas;
8. Extrapolação da bacia e/ou redistribuição das áreas de captação das águas subterrâneas causadas pela elevação do nível do aquífero;
9. Capacidade de descarga limitada pelas ressurgências;
10. Limitações na capacidade de vazão dos sumidouros

Para enchentes rápidas no carste, o volume de chuva é muito mais importante do que em terrenos não carstificados. No carste, a taxa de infiltração é em geral muito alta e ela ocorre de modo muito rápido. Devido à inexistência ou raridade de cursos d'água superficiais, praticamente toda a precipitação é introduzida de maneira rápida no ambiente subterrâneo, fazendo com que o nível freático suba rapidamente, em função da capacidade limitada de armazenamento do aquífero. Isso se manifesta especialmente em precipitações intensas e de curto prazo (Bonacci *et al.*, 2006).

Causas bastante similares são atribuídas por Maréchal *et al.* (2008) para enchentes no Carste Mediterrâneo. O autor menciona que enchentes no sistema cárstico de Nîmes, no sudeste da França, são favorecidas por: (i) alta taxa de infiltração devido a solos escassos e altamente permeáveis; (ii) infiltração rápida das águas de chuva no sistema subterrâneo por sumidouros e drenos; (iii) circulação rápida em um sistema de condutos cársticos bem desenvolvidos; (iv) inundação na zona de descarga do aquífero (próxima à ressurgência) devido à constrição do conduto e (v) baixa capacidade de armazenamento no sistema cárstico fissurado e conseqüente excesso na infiltração gerando *runoff*.

Diversos estudos realizados em ambientes cársticos têm indicado que subidas bruscas do nível d'água são comuns e causadas, na maior parte das vezes, por precipitações extremamente intensas ou muito prolongadas, pelo derretimento rápido de neve, ou mesmo por interferências humanas no carste (Boskovic e Zivaljevic, 1986; Mijatovic, 1987; Bonacci e Zivaljevic, 1993; Parise, 2003; Bonacci, 2004; Ravbar & Kovacic, 2009).

Paleoinundações em ambientes cársticos são bastante abordadas na literatura internacional. Segundo Springer (2002), os estudos modernos de paleoinundações se baseiam principalmente no trabalho pioneiro de Bretz (1923a, 1923b, 1929, 1969). Seu nome está associado ao estudo de paleoinundações catastróficas no noroeste dos Estados Unidos e sua obra contempla pelo menos sete trabalhos sobre paleoinundações em cavernas (Springer, 2002).

A identificação e análise de sedimentos clásticos e orgânicos é de grande importância para tais estudos. Sedimentos armazenados no interior de cavernas podem registrar importantes mudanças no comportamento hidrológico subterrâneo e superficial. Segundo Culver & White (2005) e White & Culver (2012), sedimentos clásticos podem constituir importantes registros na reconstrução da história de inundações ocorridas em rios superficiais, quando aprisionados em cavernas que se encontram em suas margens.

Springer & Kite (1997) mencionam que os estudos podem ser bastante simplificados quando um rio superficial é a principal fonte de água e de sedimento para a caverna, pois isso facilita a identificação e interpretação dos depósitos de água parada. Uma vez identificados, esses depósitos permitem inferir o nível mínimo da inundação, em função da elevação em que se encontram. Springer (2002) observa que estudos de paleoinundações utilizando depósitos de água parada são comuns em regiões áridas ou semiáridas, onde o potencial de preservação desses registros é maior que em ambientes úmidos (onde estão sujeitos à maior umidade e bioturbação). O autor também atribui maior potencial de preservação dos registros a cavernas “verdadeiras”, que ele distingue de abrigos, em função da maior profundidade em relação à largura ou altura. Se essas cavernas ou sistemas se alinham ao fluxo de superfície, é provável que os registros tenham sido gerados pelo fluxo de correntes, em vez de terem se originado de águas subterrâneas. Desse modo, o sistema subterrâneo pode funcionar como armadilhas para os sedimentos trazidos pelas águas fluviais de superfície.

A correlação altimétrica entre diferentes depósitos (de cheia e de fluxo normal) constitui uma ferramenta que permite uma leitura rápida da magnitude dos eventos. Isso,

aliado a datações dos depósitos, seja por radiocarbono ou urânio/tório (métodos mais utilizados em ambientes cársticos), possibilita uma análise integrada desses eventos.

Shefferet *al.*, (2008) descreve antigas enchentes ocorridas no cânion do rio Gardon, afluente do Ródano no sudeste França, a partir de depósitos fluviais contendo carvão, preservados no interior de cavernas localizadas nas margens do rio. A datação por radiocarbono dos sedimentos indicou que grandes inundações ocorreram nos últimos 500 anos. A comparação da altimetria desses depósitos, com a de depósitos gerados por uma grande enchente ocorrida em 2002, considerada até então a maior enchente conhecida na história do rio Gardon, indicou que as paleoenchentes tiveram maior magnitude, com elevação dos níveis d'água entre 1 e 3 m acima da registrada em 2002.

A elevação do nível d'água também pode se dar por barramentos naturais da rota de escoamento, seja em ambientes cársticos ou não. Um estudo sistemático realizado por Costa & Schuster (1987), a partir da compilação de dados e da experiência de diversos autores, demonstrou que barragens naturais ocorrem em diversos tipos de ambientes e podem ser formadas por vários tipos de materiais, e classificou-as como: barragens de escorregamento de terra, barragens glaciais, barragens vulcânicas, barragens fluviais, barragens eólicas, barragens costeiras e barragens orgânicas.

Os barramentos gerados por escorregamento de terra e os barramentos fluviais são os que mais se aproximam do tema abordado nesta pesquisa, uma vez que podem ter ocorrido no vale do rio Peruaçu. As primeiras são iniciadas por dois tipos principais de processos: precipitação (tempestades ou derretimento de neve) e terremotos. Erupções vulcânicas assim como a retirada de vegetação também podem ocasionar escorregamento de terra, porém com menor frequência nos casos estudados por Costa & Schuster (1987). Lama, blocos e fluxos de terra formam uma porcentagem significativa dos casos estudados pelos autores, e resultam, a depender da participação de cada um desses constituintes, em barragens mais ou menos eficientes e duradouras. Esse tipo de barramento só é possível em vales encaixados e a retenção do fluxo d'água pode durar de minutos a milhares de anos, o que dependerá de fatores como volume, tipo e textura do material bloqueante; taxa de infiltração através do bloqueio; taxas de sedimentação e fluxo de água no interior do lago que foi gerado. As barragens de origem fluvial estão associadas à deposição de sedimentos provenientes de canais tributários ou do próprio canal, leques aluviais e deltas.

Em vales encaixados onde há ocorrência de rochas carbonáticas, os barramentos naturais podem estar associados também a represas químicas, tais como as descritas por

Black (1955), no riacho Havasu. Esse riacho drena o cânion homônimo, um tributário localizado na parte sudoeste do Grand Canyon, no Arizona. Os barramentos são causados por represas formadas por depósitos de calcita, aragonita, manchas de óxido de manganês e argila, que elevam significativamente o nível d'água, a ponto de terem de ser rompidas periodicamente com explosivos para permitir a travessia do riacho pelos índios que habitavam o lugar (atualmente uma reserva indígena). Segundo o autor, em 1954, uma enchente irrompeu sobre o cânion, e material clástico (blocos e solo) carregado pelas águas destruíram várias das represas, deixando suas águas turvas por mais de seis meses. As represas se iniciam a partir da precipitação dos minerais sobre vegetais submersos (raízes e galhos) e constituem uma importante fonte de informações sobre a antiga flora da região.

Antigos depósitos orgânicos, mais especificamente, troncos secos depositados na caverna Stanton foram estudados por Ferguson (1971) no Grand Canyon. Baseado na análise das espécies, suas idades (por meio dos anéis de crescimento) e datação de carvão (método ^{14}C), o trabalho de Ferguson teve o objetivo, além de fornecer bases para a interpretação da cronologia dos sítios arqueológicos do cânion, melhorar a compreensão dos aspectos hidrológicos (em especial o nível máximo) do rio Colorado antes da instalação da barragem de Glen Canyon. A entrada da gruta está 43 metros acima do atual nível do rio Colorado e uma grande quantidade de troncos foi identificada no piso, juntamente com material clástico trazido pelo rio. As datações obtidas por radiocarbono (de amostras de carvão) apontaram idades entre cinco e seis séculos, o que é interpretado como antigas fogueiras antrópicas. Além da cronologia obtida para as fogueiras dos sítios arqueológicos, o autor evidencia uma amostra de tronco com idade entre 1.350 e 1.610 anos (método de contagem dos anéis de crescimento), encontrada acima do nível pré-barragem (indicado por marca de nível d'água nas paredes do cânion), como um marco balizador para o nível máximo atingido pelo rio em enchentes com ciclo de 100 anos. Apesar de antigo, o trabalho de Ferguson demonstra bem como os registros (marcas de nível d'água e depósitos orgânicos) podem ser utilizados para se compreender melhor os eventos de cheia em ambientes confinados, como os cavernícolas.

Marcas de nível d'água também foram utilizadas para estabelecer o nível máximo de alagamento em ambiente cavernícola. O estudo foi realizado por Lemos & Stoll (2014) nas cavernas de Cueva Fría e Cueva Rosa, na região de Astúrias, Espanha. Os autores utilizaram, como marcadores do nível atingido pela água, marcas nas paredes, espuma e detritos, além de partículas de areia e silte aprisionadas em estalactites. Os autores notaram

que nem todas as estalactites que continham esse tipo de material encontravam-se próximas das drenagens perenes existentes na caverna. Os registros foram mapeados e os autores concluíram que a correlação altimétrica entre as marcas de nível d'água é muito útil para definir o comportamento hidrológico e o modelo de inundação da caverna durante esses eventos extremos. O mapeamento das marcas de nível d'água e a correlação altimétrica também foram úteis para provar que, durante períodos de alta pluviosidade, o movimento de barras de areia dentro da caverna pode cobrir parcial ou completamente estalagmites ativas, facilitando o processo de cimentação e aprisionamento do material detrítico. A datação por ^{14}C e U/Th das estalactites pode fornecer uma cronologia para as camadas ricas em detritos, de modo que a abundância de material fluvial nesses espeleotemas pode revelar períodos de maior ou menor índice de inundações ao longo dos últimos milhares de anos (Holoceno).

No vale cárstico do rio Peruaçu, alagamentos são mencionados em diversas publicações científicas (Piló, 1989, 1991, 1997, 2002, 2008; Rubbioli, 1999; Rodet & Rodet, 2001; Ferreira, 2003; Piló *et al.*, 2005; Oliveira, 2008 e Rodet *et al.*, 2004, 2009), e há consenso entre os autores de que as causas dos alagamentos estejam ligadas aos grandes depósitos de blocos existentes no interior do cânion. De modo breve, serão apresentados aqui os principais trabalhos a abordarem o tema, uma vez que uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Oliveira (2008), que, além dos estudos científicos, menciona histórias e relatos orais sobre alagamentos ocorridos no rio Peruaçu.

- Rubbioli (1999) – A possibilidade de que grandes cheias tenham ocorrido no interior do cânion é mencionada. A partir de marcas de nível d'água e troncos a cerca de 30 m acima do nível atual do rio Peruaçu, no interior da gruta do Brejal, o autor infere que os eventos são provavelmente anteriores à instalação das primeiras moradias situadas imediatamente a montante da gruta (a exemplo da fazenda do Silú, além de outras mais a montante), pois caso contrário, essas teriam sido inundadas. Também é relatada a presença de troncos em posição elevada no Arco do André.

- Ferreira *et al.* (2003) – Interpretam a origem de fósseis encontrados na gruta do Carlúcio como decorrente de uma grande elevação do nível do rio. Os autores inferem que os cones de blocos da parte de montante da gruta do Brejal barraram o fluxo do rio, elevando seu nível.

- Piló *et al.* (2005) – Realizam o primeiro trabalho sistemático no sentido de mensurar os registros de enchente encontrados na gruta do Brejal e Arco do André (marcas de nível d'água e troncos) e correlacioná-los com as feições de abatimento. Os resultados desse trabalho são apresentados no item 6.1.

- Rodet *et al.* (2001/2009) – Descrevem inúmeras evidências de alagamentos ao longo do cânion, decorrentes de barramentos do fluxo do rio por desmoronamentos de tetos e paredes do sistema subterrâneo. Entre esses, destacam-se os barramentos das grutas Janelão e Brejal, que segundo inferências dos autores, seriam responsáveis pela formação de poljes (Terra Brava e Silú respectivamente).

- Oliveira (2008) – Realiza um estudo sistemático dos subfósseis (conchas e ossos) e restos vegetais (troncos) da gruta do Carlúcio. O estudo indica que a entrada desse material se deu em função da elevação do nível do rio, a uma altura de pelo menos 20 m acima do nível atual. As causas dessa elevação teriam sido o colapso de teto a montante da gruta do Brejal, que resultou na formação de dois grandes cones de blocos. A partir da análise de curvas de nível, a autora estima em 230,8 hectares a área total alagada. A datação de troncos e conchas apresentou as seguintes idades pelo método ^{14}C : (i) 1.610 +/- 50 anos AP (tronco); (ii) 3.260 +/- 50 anos AP (concha); e (iii) 9.650 +/- 40 anos AP (concha). Para as conchas, as idades obtidas pelo método ^{14}C foram calibradas por meio de datações $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de capeamentos de calcita que cobriam as amostras. Detalhes poderão ser obtidos em Oliveira (2008).

- Piló (comunicação verbal) – Coleta e data uma amostra de tronco da gruta do Brejal. A idade de 580 ± 80 anos AP obtida indica que o alagamento dessa gruta é bem mais recente que o registrado na gruta do Carlúcio, podendo ter ocorrido em algum momento entre essa data e os dias de hoje.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. Caracterização regional da área de estudo

5.1.1. Localização

A área de estudo localiza-se no norte do Estado de Minas Gerais, nas proximidades da divisa com o Estado da Bahia. Está inserida no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), uma Unidade de Conservação de Proteção Integral criada por Decreto Federal em 21 de setembro de 1999. A área do PNCP abrange aproximadamente 56.800 ha, distribuídos entre os municípios de São João das Missões, Itacarambi e Januária (Figura 6). O PNCP está inserido na bacia hidrográfica do rio Peruaçu, afluente da margem esquerda, na altura do alto-médio curso do rio São Francisco, entre as coordenadas 14°54' e 15°15' de latitude e 44°04' e 44°22' de longitude.

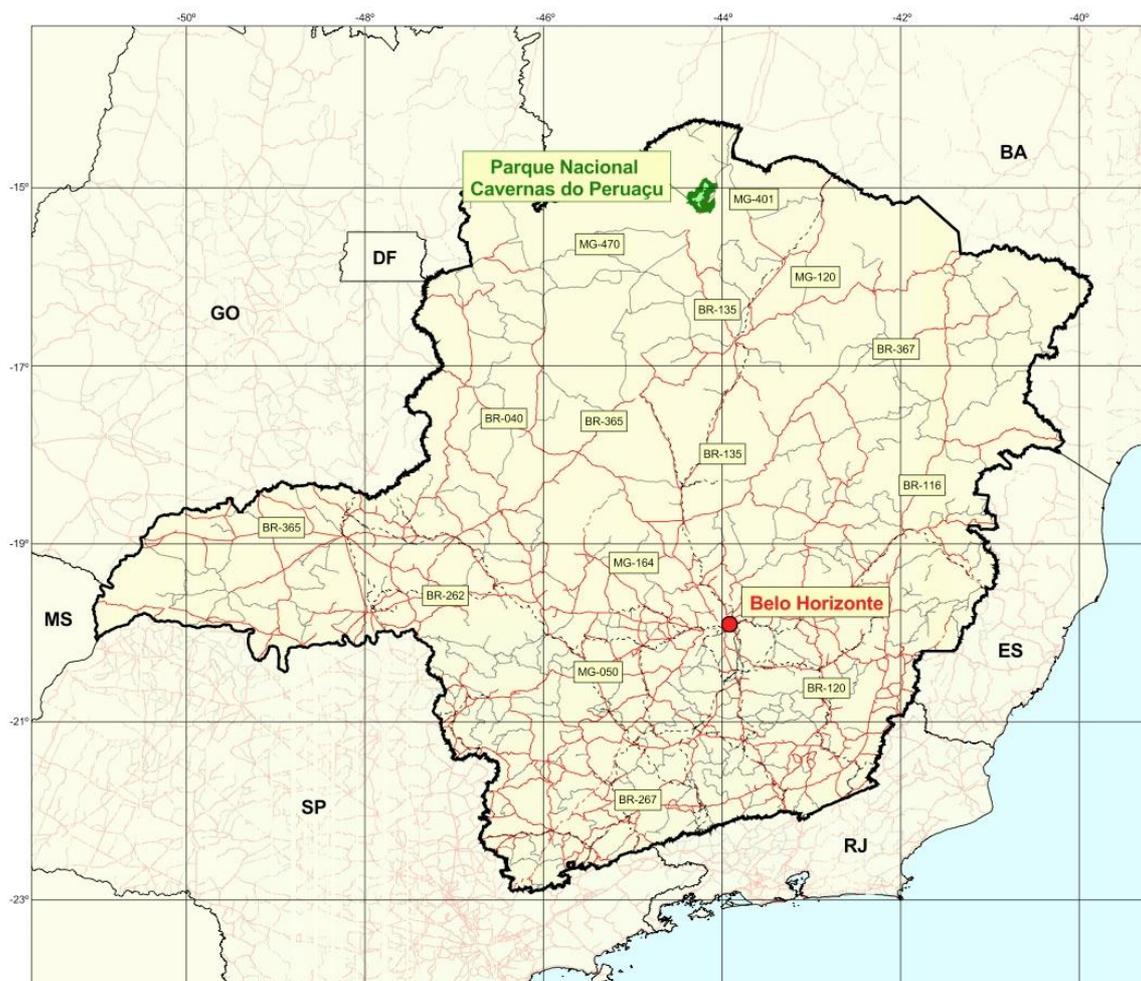


Figura 6. Localização do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Modificado de CSD - Geoklock (2005).

5.1.2. Geologia

A área de estudo está situada na porção centro leste do Cráton do São Francisco, que segundo Almeida (1977), se constitui de um núcleo crustal estabilizado no final do ciclo Transamazônico, entre 2,1 e 1,8 Ga, limitado pelas faixas de dobramento brasileiras (450 a 680 Ma): Brasília a sul e a oeste; Rio Preto a noroeste; Riacho do Pontal e Sergipana a norte e Araçuaí a sudeste.

Em escala regional, tem-se uma sequência litológica que, da base para o topo, é iniciada por rochas de idade proterozóica (Pré-Cambriano indiviso) do embasamento cristalino (Complexo Paramirim). Sobre esses litotipos, foram depositadas sequências supracrustais (pelito-carbonáticas) durante o Neoproterozóico, que constituem as formações carbonáticas e argilosas do Grupo Bambuí, aflorantes no vale do rio São Francisco. O embasamento cristalino, composto por rochas granito-gnáissicas, constituía uma superfície ondulada, onde altos topográficos se comportavam como ilhas em um mar epicontinental, em cuja bacia se depositou o Grupo Bambuí (Lopes, 1981; Pericon, 1981; Schobbenhaus *et al.*, 1984).

Na área de estudo, o Grupo Bambuí está representado pelas formações Januária (calcários e dolomitos) na base e Nhandutiba (siltitos e filitos) no topo. Rabelo *et al.* (1977) correlaciona estas nomenclaturas, propostas por Dardene (1978), com as formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, respectivamente. Karmann *et al.* (2005), contudo, correlaciona a Formação Nhandutiba à Formação Serra da Saudade.

De acordo com Dardene (1978) e Rabello *et al.* (1977), a deposição do pacote carbonático (calcários e dolomitos) se deu em ambiente de águas rasas e mar calmo. Uma regressão marinha seria responsável pela sedimentação pelítica, representada pelo aumento gradual de argila, ou pela alternância entre bancos de dolomito e silito. Segundo RADAMBRASIL (1982), a região onde se localiza a bacia do rio Peruaçu está inserida em contexto tectônico de cobertura plataformal, de idade Brasileira do Cráton do São Francisco, apresentando baixo grau de deformação e metamorfismo incipiente. O acamamento sedimentar das sequências carbonáticas na área do médio-baixo curso do rio encontra-se bem preservado, em posição sub-horizontal, com leve caimento (em geral inferior a 7°) para a direção sudeste (Piló, 1997).

As rochas do Grupo Bambuí estão sotopostas a arenitos silicificados da Formação Urucuia, depositados durante o cretáceo. O contato é erosivo, marcando um hiato que se

estende do Proterozóico Superior ao final do Mesozóico. A sedimentação desses arenitos se deu, segundo Pflug & Renger (1973), em ambiente desértico, com predominância de processos eólicos e flúvio-eólicos. Segundo Grossi Sad *et. al.*, (1971), a sedimentação da Formação Urucuia se inicia com o soerguimento do Arco do Alto Paranaíba (Serra da Canastra) durante o Meso/Neocretáceo. Uma reativação tectônica expôs rochas do embasamento cristalino disponibilizando por processos erosivos o material siliciclástico que deu origem à Formação Urucuia.

RADAMBRASIL (1982) mencionam a formação de concreções ferruginosas e depósitos detrítico-lateríticos no topo da Formação Urucuia, após a deposição e diagênese dos arenitos. Constituídas de clastos de granulometria e composição variada, cimentados por matriz ferruginosa (limonítica), afloram de maneira dispersa, no topo e nos colúvios das vertentes da superfície arenítica. Essas coberturas, segundo os autores, representam testemunhos de uma extensa crosta detrítico-laterítica que recobria grande parte do Brasil Central, associada a depósitos correlativos da Superfície de Aplainamento Sul-Americana de King (1956).

Segundo Piló (1997), as sequências pelito-carbonáticas sofreram leves deformações tectônicas no final do Proterozóico, com extensão até o Eocambriano. Estas deformações se mostram na paisagem cárstica na forma de estruturas subverticalizadas (fraturas) com direções aproximadamente correspondentes às direções regionais que predominam no Cráton (NNE-SSW e NNW-SSE).

As coberturas detríticas na área de estudo estão representadas por sedimentos semiconsolidados ou inconsolidados, gerados pelo retrabalhamento das unidades subjacentes (arenitos, siltitos e carbonatos), durante o terciário e o quaternário. Constituem depósitos de encosta e fluviais (colúvios e alúvios) relacionados à esculturação atual do relevo, em condições tectônicas relativamente estáveis.

A distribuição dos litotipos mencionados na bacia do rio Peruaçu e os lineamentos predominantes das estruturas são apresentados na Figura 7.

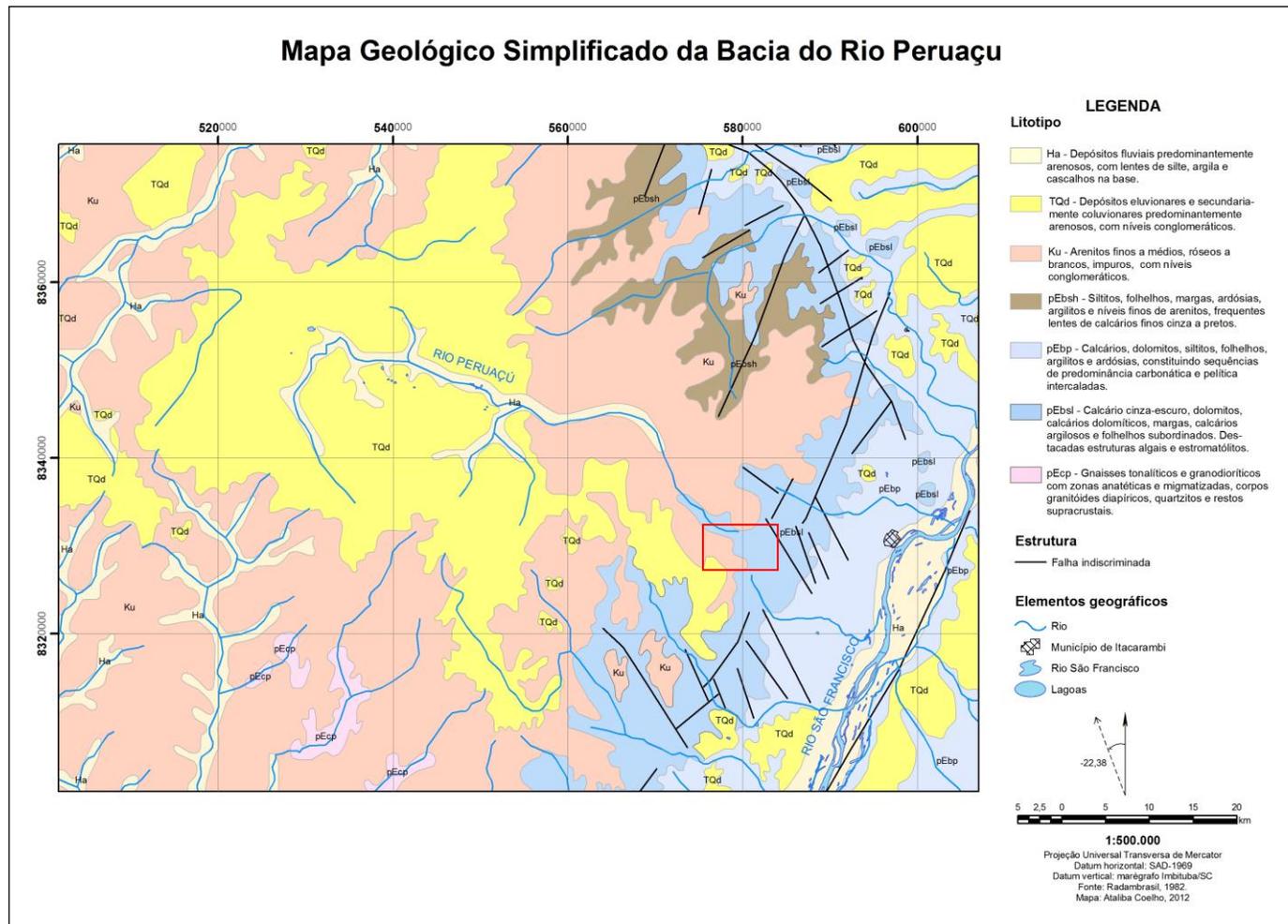


Figura 7. Mapa geológico simplificado da bacia do rio Peruaçu. O retângulo vermelho indica a localização aproximada da área de estudo. Fonte: RADAMBRASIL (1982).

O Quadro 2 apresenta a coluna estratigráfica simplificada da região.

Quadro 2. Coluna estratigráfica simplificada da bacia do rio Peruaçu. Fonte: Piló (1997).

IDADE	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
Tércio-Quaternário		Aluviões recentes Cascalhos e areias – Terraços aluvionares antigos
Cretáceo	Formação Urucuia	Arenitos silicificados com conglomerado basal
Proterozóico Superior	Formação Nhandutiba	Siltitos com intercalações de arenito Siltitos carbonáticos
	Formação Januária/Itacarambi	Dolomito superior e inferior Calcário superior e inferior
Arqueano		Embasamento granito-gnáissico

Na área de estudo, predominam os dolomitos (no topo) e os calcários, que formam um pacote sedimentar com mais de 200 m de espessura. Nas paredes laterais do cânion de abatimento é possível observar essa sequência (Figura 8). Nos grandes cones sedimentares de abatimento é possível registrar, por sua vez, matacões e calhaus de arenito, além de fragmentos de laterita pisolítica.

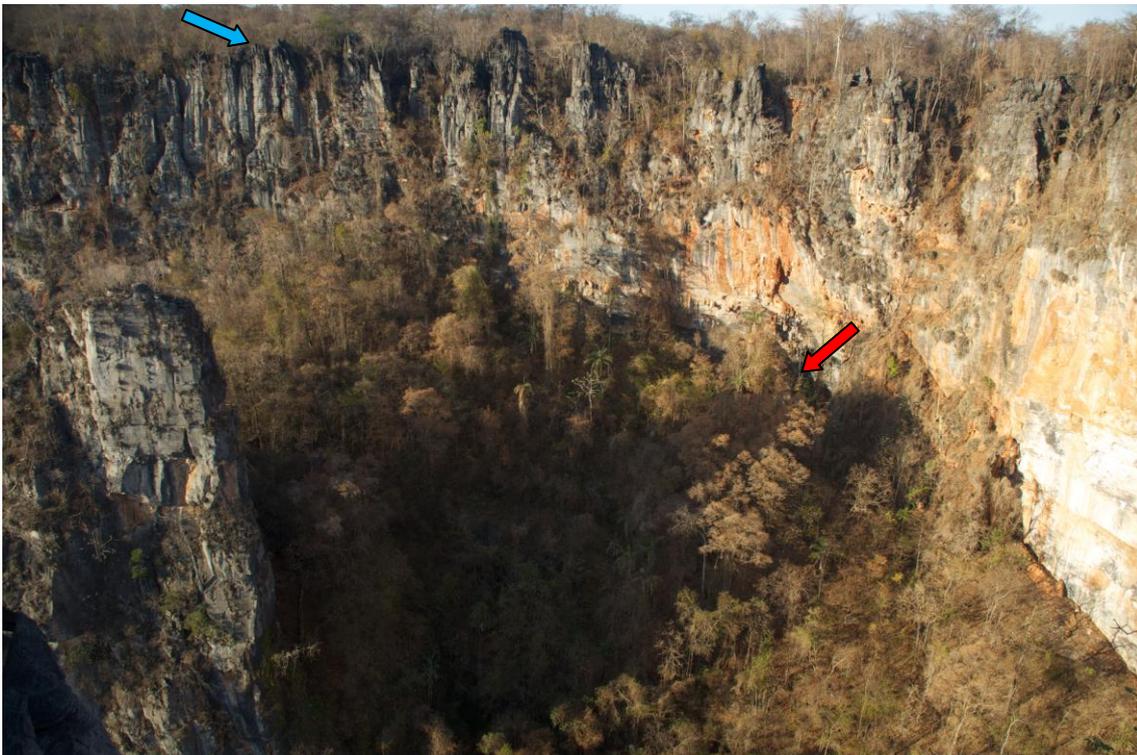


Figura 8. Parede do cânion do rio Peruaçu, com cone de sedimento na base (seta vermelha). Os calcários ocupam as partes inferior e média da escarpa, enquanto que dolomitos (de coloração mais escura) podem ser observados no topo (seta azul).

5.1.2.1. Geomorfologia

A paisagem regional é compartimentada em duas Unidades Geomorfológicas (CETEC, 1982): Planaltos do São Francisco, unidade na qual se insere a nascente do rio Peruaçu; e Depressão Sanfranciscana, que na bacia do rio Peruaçu corresponde ao trecho de seu baixo curso (Moura, 2009).

O rio Peruaçu nasce nos domínios dos planaltos esculpidos sobre sequências sedimentares de idade cretácea (predominantemente areníticas) da Formação Urucuia, atingindo rochas pelíticas e carbonáticas (do Grupo Bambuí) à medida que o relevo se torna mais dissecado na altura de seu médio curso, passando a correr sobre coberturas Cenozoicas inconsolidadas na altura do baixo curso, na depressão do São Francisco.

Karmann *et al.* (2005), a partir de Piló (1989), propõe quatro compartimentos para a bacia do rio Peruaçu: Compartimento do Planalto dos Gerais, Compartimento da Zona de Transição, Compartimento Carstificado e Compartimento da Depressão Sanfranciscana.

O Compartimento do Planalto dos Gerais corresponde aproximadamente à Unidade Geomorfológica Planaltos do São Francisco de CETEC (1980), onde predomina uma superfície tabular resultante de processos de aplainamento sobre os arenitos da Formação Urucuia. Ocupando a zona de montante da bacia do rio Peruaçu, com cotas superiores a 760 m, apresenta um relevo suavemente ondulado sobre um planalto predominantemente sub-horizantalizado. Esse compartimento é dominado por sedimentos arenosos, resultantes da alteração superficial do arenito. A densidade de drenagens é baixa e o escoamento é dificultado pela topografia plana dos planaltos. A baixa permeabilidade dos siltitos posicionados na base dos colúvios arenosos favorece a exposição do nível freático em áreas deprimidas (Figura 9), dando origem a veredas (Moura, 2009).



Figura 9. Vista parcial de uma vereda no Compartimento do Planalto dos Gerais.

O Compartimento da Zona de Transição se posiciona na passagem entre o compartimento de cimeira, marcado pelo relevo de baixos gradientes, e a zona carstificada, onde predomina um relevo fortemente acidentado associado às sequências carbonáticas do Grupo Bambuí. Situado entre as cotas 720 e 760 m, apresenta superfície sub-horizontalizada com morros tabulares residuais (arenitos), com o surgimento gradual de formas cársticas, como afundamentos cônicos do terreno (dolinamentos), típicos de zonas de carste encoberto.



Figura 10. Morros tabulares sustentados por arenitos da Formação Urucuia (setas) marcam o Compartimento da Zona de Transição. Abaixo desse compartimento, no primeiro plano, é possível observar o topo das paredes do cânion do rio Peruaçu, no Compartimento Carstificado.

O Compartimento Carstificado corresponde ao trecho onde os calcários e dolomitos do Grupo Bambuí apresentam-se largamente dissecados. O Planalto Cárstico está situado entre as cotas de 750 e 500 m, caracterizando-se, segundo Piló (1997), pelo dinamismo dos processos de dissolução e de movimentos de massa no endocarste, associado à dissecação do planalto em superfície.

Uma das mais importantes referências sobre o Carste do rio Peruaçu, o trabalho realizado por Piló (1989), divide a zona carstificada do baixo curso do rio Peruaçu em quatro compartimentos: Topo, Fluviocarste, Depressões Cársticas Fechadas e Escarpamento Escalonado, cujas principais feições morfológicas estão sintetizadas no mapa denominado “Cenário Morfológico do Carste do rio Peruaçu” apresentado na Figura 11.

MORPHOLOGIC KARST SCENERY OF THE PERUAÇU RIVER VALLEY REGION JANUÁRIA - ITACARAMBI, MINAS GERAIS, BRAZIL

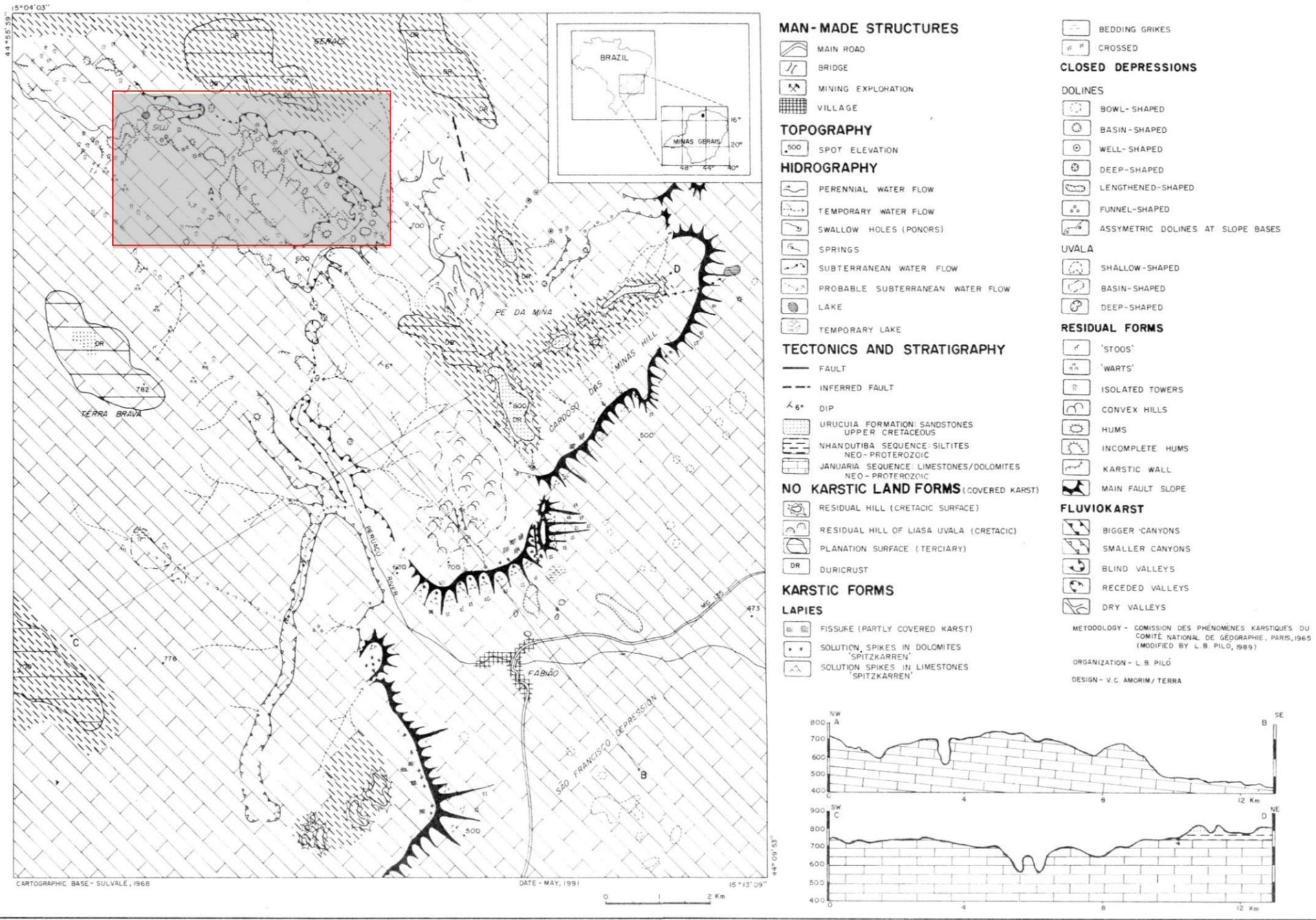


Figura 11. Cenário Morfológico do Carste do rio Peruaçu. No retângulo vermelho, a área de estudo. Fonte: Piló (1989).

No Compartimento do Topo, banquetas e verrugas constituem as primeiras formas cársticas nas partes mais altas das vertentes, em torno da cota 700 m. As banquetas caracterizam-se por afloramentos de rocha carbonática em meio ao solo, com até 0,5 m de altura e até 2 m de largura, com arestas retangulares. Segundo o autor, são as primeiras formas a surgirem por processos denudacionais nas vertentes, ocorrendo no topo convexo e na parte superior das vertentes, em função da horizontalidade da rocha. As verrugas instalam-se na meia encosta, devido a uma erosão mais acelerada do que no topo e constituem formas bem individualizadas, com até 2 m de altura.

O Compartimento do Cânion do Rio Peruaçu se situa entre as cotas 560 e 730 m, sendo representado por um trecho altamente encaixado do curso do rio Peruaçu, com aproximadamente 17 km de extensão. Constitui-se de um cânion originado do desmonte de um sistema subterrâneo pretérito, interrompido em vários trechos por sumidouros e ressurgências, representados por segmentos subterrâneos que resistem aos processos de abatimento. O cânion principal corresponde à calha do rio Peruaçu e lateralmente em posição perpendicular se desenvolvem cânions onde se observam drenagens tributárias intermitentes (vales secos). A área de estudo está localizada nesse compartimento de colapso (Figura 12).



Figura 12. Vista de trecho do cânion do Peruaçu, a calha do rio está indicada pela seta azul. No segundo plano, é possível observar grandes depósitos na forma de rampas de colúvio, geradas pelo recuo das paredes laterais do cânion (seta laranja).

Segundo Piló & Kohler (1991), o que garantiu e ainda hoje garante o fluxo constante de água no trecho do cânion é o fato de o rio Peruaçu constituir uma drenagem

alôgênica, ou seja, uma drenagem cuja cabeceira encontra-se no domínios dos arenitos, fora da zona carstificada. Isso foi, segundo os autores, de extrema importância para o desenvolvimento do Carste do rio Peruaçu, dada a baixa pluviosidade atual e as perdas comuns ao carste em função da alta porosidade secundária.

Nesse compartimento, diversas formas residuais foram descritas: paredões, torres e *humes*, com diferentes tipos de lapiás e feições somitais. Lapiás horizontais instalam-se na base e nas partes mais baixas, devido ao maior desenvolvimento dos planos de acamamento. Os paredões verticais são sulcados por caneluras e lapiás, devido ao fluxo das águas de chuva; e no topo feições ruiformes (predominantemente formas triangulares com lapiás verticais: *rillenkarren*), associadas a diáclases e mudanças de fácies do calcário e dolomito (Figura 13).



Figura 13. Feições ruiformes que ocupam o topo das paredes verticais do cânion. É possível observar lapiás do tipo *rillenkarren*.

O endocarste foi dividido pelos autores em dois grupos: um formado pelas cavernas ativas, como Brejal e Janelão, posicionadas ao longo da calha principal e drenadas pelo rio Peruaçu, que constitui o nível de base local; o outro grupo é composto por cavernas secas, posicionadas em níveis mais elevados na calha principal ou em vales secos tributários (Figura 14).

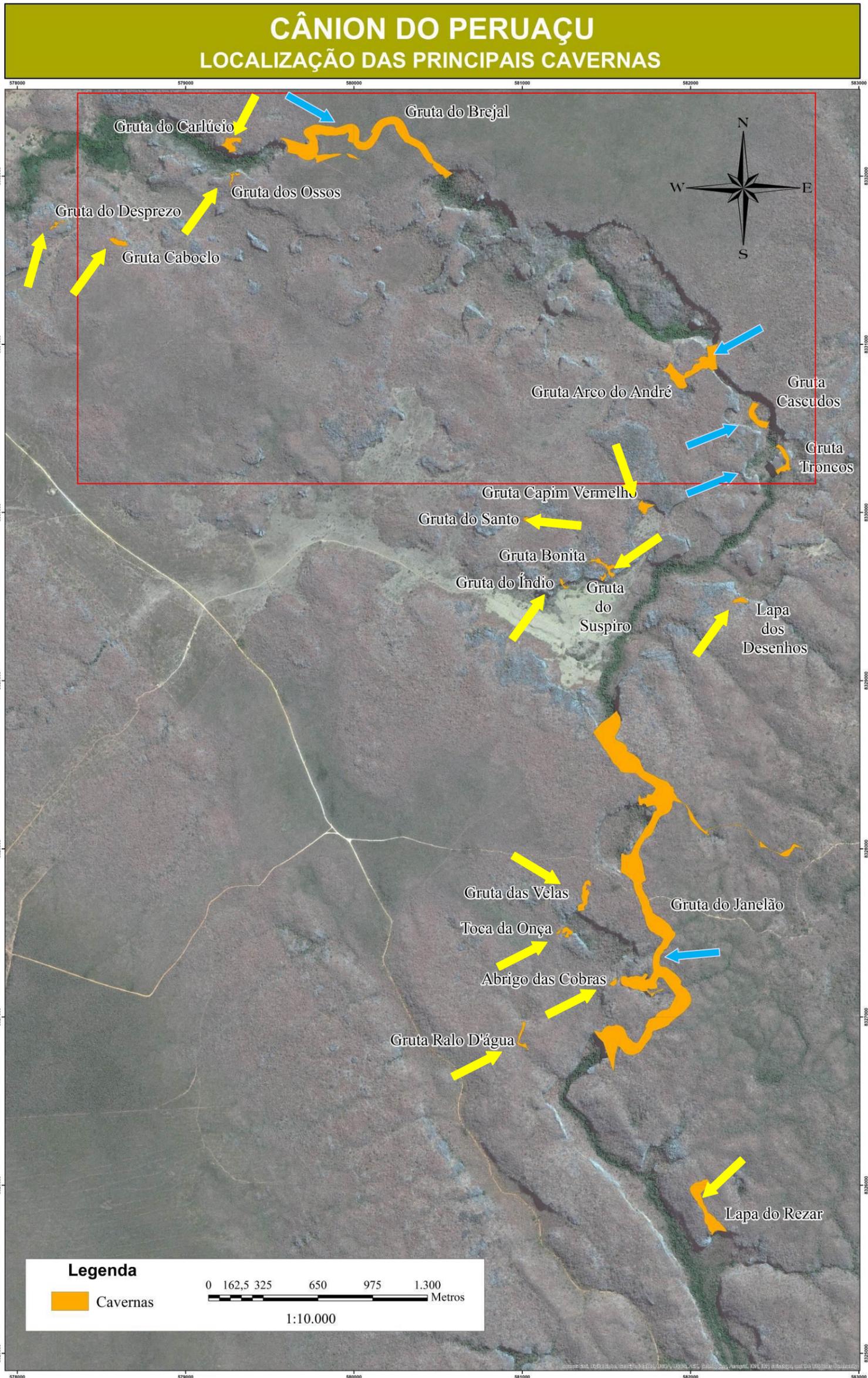


Figura 14. Vale cárstico do rio Peruaçu e as principais cavernas. As setas azuis indicam as cavernas drenadas atualmente pelo rio Peruaçu. As demais (setas amarelas) estão em posição mais elevada na calha principal ou em vales tributários. A área de estudo está indicada pelo retângulo vermelho. Fonte: Esri, Digital Globe, Geo Eye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community.

Localmente, a conexão entre o endocarste e a superfície se dá por grandes dolinas de colapso, que, ao longo do corredor principal, permitem o acesso às grandes cavernas. Associados a essas dolinas e à regressão paralela das paredes verticais do cânion, destacam-se importantes cones de blocos (Figura 15). Com dimensões que podem chegar a dezenas de metros de altura e centenas de metros quadrados de área, esses cones formam imponentes barreiras ao fluxo do rio Peruaçu nesse compartimento, constituindo feições de grande importância para esta pesquisa.



Figura 15. Uma claraboia gerada pelo colapso de parte do teto da gruta do Janelão (seta azul) é vista a partir do topo de um cone de sedimento clástico (seta laranja). Nesse segmento da gruta, o rio flui sob o material clástico.

O Compartimento da Depressão Sanfranciscana corresponde a uma superfície suavemente ondulada, cujo substrato é composto por materiais inconsolidados do Quaternário, coberturas detríticas areno-argilosas localmente laterizadas e cascalheiras localizadas. Ainda se observam nesse compartimento dolinas e uvalas, e o compartimento apresenta-se, segundo Piló (1989) como área de descarga parcial dos aquíferos cársticos, situando-se entre as cotas 500 e 450 m.

5.1.2.2. Aspectos climáticos, hidrológicos e hidrogeológicos

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, tropical com estação seca, ou tropical quente de acordo com Gaussen. Apresenta períodos seco e úmido bem definidos, com seis meses cada uma. O período chuvoso se estende de novembro a abril e corresponde ao período mais quente do ano. Entre maio e outubro, ocorre o período de estiagem, sendo o trimestre de junho a agosto o mais seco (Moura, 2009).

A temperatura média anual é de 24°C, com mínimas de 16°C e máximas de 34°C. As chuvas têm distribuição irregular, com média anual de 876,7 mm (Moura, 1997), com valores mínimos e máximos de 450 e 1400 mm, respectivamente. Os meses de dezembro e janeiro são os mais chuvosos do ano.

Segundo Moura (2009), com base em medidas da Estação Climatológica de Januária, o clima regional é regido pelas massas de ar Equatorial Atlântica (mEa), Tropical Atlântica (mTa), Equatorial Continental (mEc) e pela Frente Polar Atlântica (FPA), onde:

1. No inverno, período mais seco do ano, de junho a agosto, predomina a mEa, sendo responsável pela estiagem prolongada; a influência da Frente Polar Atlântica causa, nessa estação, a diminuição dos valores médios de temperatura.
2. Na primavera (de setembro a novembro), ainda predomina a mEa, com menor influência da FPA, o que acarreta aumento da temperatura.
3. No verão (dezembro a fevereiro), domina a mEc, com elevadas temperatura e umidade relativa. A atuação da FPA, que é fraca durante a estação, pode se intensificar de janeiro a fevereiro, causando nebulosidade, tempestades acompanhadas de trovoadas e pequena diminuição da temperatura.
4. No outono (março a maio), a mEa volta a predominar. As características se aproximam das do início do verão e das do final do inverno.

O mapeamento realizado por ocasião do Plano de Manejo do PNCP identificou cinco unidades hidrogeológicas na bacia do rio Peruaçu, associadas às litologias da área:

Na região de seu alto curso o rio Peruaçu se instala, segundo Karmann *et al.* (2005), em uma zona de alto potencial hidrológico, representado por aquíferos formados por arenitos de alta permeabilidade e grande capacidade de infiltração. Estima-se que a espessura média do pacote arenoso corresponda a aproximadamente 70 m (Karmann *et al.* 2005), constituindo um aquífero raso, cuja recarga depende de precipitações. Na base dos

arenitos, ocorre, de modo descontínuo, níveis siltsos pouco permeáveis, com espessura de até 2 m. Localmente, ocorrem afloramentos de argilitos do Grupo Bambuí. Nas áreas onde afloram, há predomínio do escoamento superficial.

Na altura de seu médio curso, o rio Peruaçu atinge a sequência carbonática do grupo Bambuí. Com espessura variável devido a altos do embasamento cristalino, estima-se um pacote rochoso de até 100 m, que, devido aos processos de carstificação, constitui um aquífero condicionado a condutos e galerias subterrâneos, geralmente orientado ao longo da intersecção entre fraturas subverticalizadas e o plano de estratificação da rocha. A recarga do aquífero cárstico ocorre de modo concentrado através dos sumidouros e difusa através de fraturas da rocha (Karmann *et al.* 2005).

Ao longo de algumas drenagens e na Depressão Sanfranciscana, ocorrem aquíferos de alta porosidade, associados a sedimentos inconsolidados arenosos e conglomeráticos de depósitos aluvio-coluvionares (Karmann *et al.* 2005).

As rochas do embasamento cristalino, representadas por granitos e granodioritos, ocorrem de modo pontual na área da bacia e, em geral, como blocos maciços pouco fraturados, constituindo uma unidade de baixa permeabilidade, classificada por Karmann *et al.* (2005) como um aquitarde. Aquíferos nessa unidade podem ocorrer no material de alteração dessas rochas, associados a zonas mais fraturadas. Os aquíferos existentes no embasamento cristalino e na Depressão do São Francisco têm sua recarga associada a precipitações e nascentes.

Medidas de vazão do rio Peruaçu no final do período úmido (abril) de 2003 apresentaram valores até 10 vezes superiores aos obtidos em agosto do mesmo ano. De um modo geral, a vazão tende a ser maior de montante para jusante no período úmido, enquanto que, no período seco, as maiores vazões são registradas nas cabeceiras e na gruta do Janelão (Karmann *et al.* 2005).

A Tabela 1 apresenta algumas medidas de vazão obtidas nas zonas de cabeceira e médio curso do rio Peruaçu, nos meses de abril e agosto de 2003.

Tabela 1. Medidas de vazão do rio Peruaçu nos meses de abril e agosto de 2003. Fonte: Karmann *et al.* (2005).

Local da amostragem	Vazão em abril	Vazão em agosto
Veredas do Peruaçu	0.406 m ³ /s	Não disponível
Ponte nas Veredas	Não disponível	0.606 m ³ /s

Local da amostragem	Vazão em abril	Vazão em agosto
Ressurgência Brejal	0.688 m ³ /s	0.058 m ³ /s
Ressurgência Janelão	1.130 m ³ /s	0.127 m ³ /s

6. RESULTADOS DA PESQUISA

6.1. ASPECTOS MORFOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Este item como objetivo apresentar uma análise dos aspectos morfológicos, hidrológicos e deposicionais da área estudada. Para tanto, é descrita de forma detalhada a morfologia do trecho estudado no cânion do rio Peruaçu, incluindo suas formas residuais e deposicionais, além do posicionamento altimétrico das principais feições. O comportamento do fluxo do rio Peruaçu nesse segmento também é descrito, de modo a fornecer uma base mais sólida para identificação dos pontos e dos fatores que possibilitaram os alagamentos.

6.1.1. O TRECHO CARLÚCIO - TRONCOS

O trecho abordado nesta pesquisa compreende o setor de montante do cânion de abatimento do rio Peruaçu, situado entre as grutas Carlúcio e Troncos. Esse segmento tem aproximadamente 5 km de extensão e representa cerca de um terço do comprimento total do cânion.

Na Figura 16, é apresentado o perfil longitudinal do segmento entre as grutas Carlúcio e Troncos. No perfil elaborado na pesquisa, é possível observar a correlação altimétrica entre as feições abordadas no texto. Para possibilitar a visualização de todo o segmento estudado, a escala horizontal foi desconsiderada, sendo mantida apenas a escala vertical para efeitos comparativos da altimetria, ferramenta fundamental nesta pesquisa.

PERFIL ESQUEMÁTICO DO TRECHO ENTRE AS GRUTAS CARLÚCIO E TRONCOS - PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

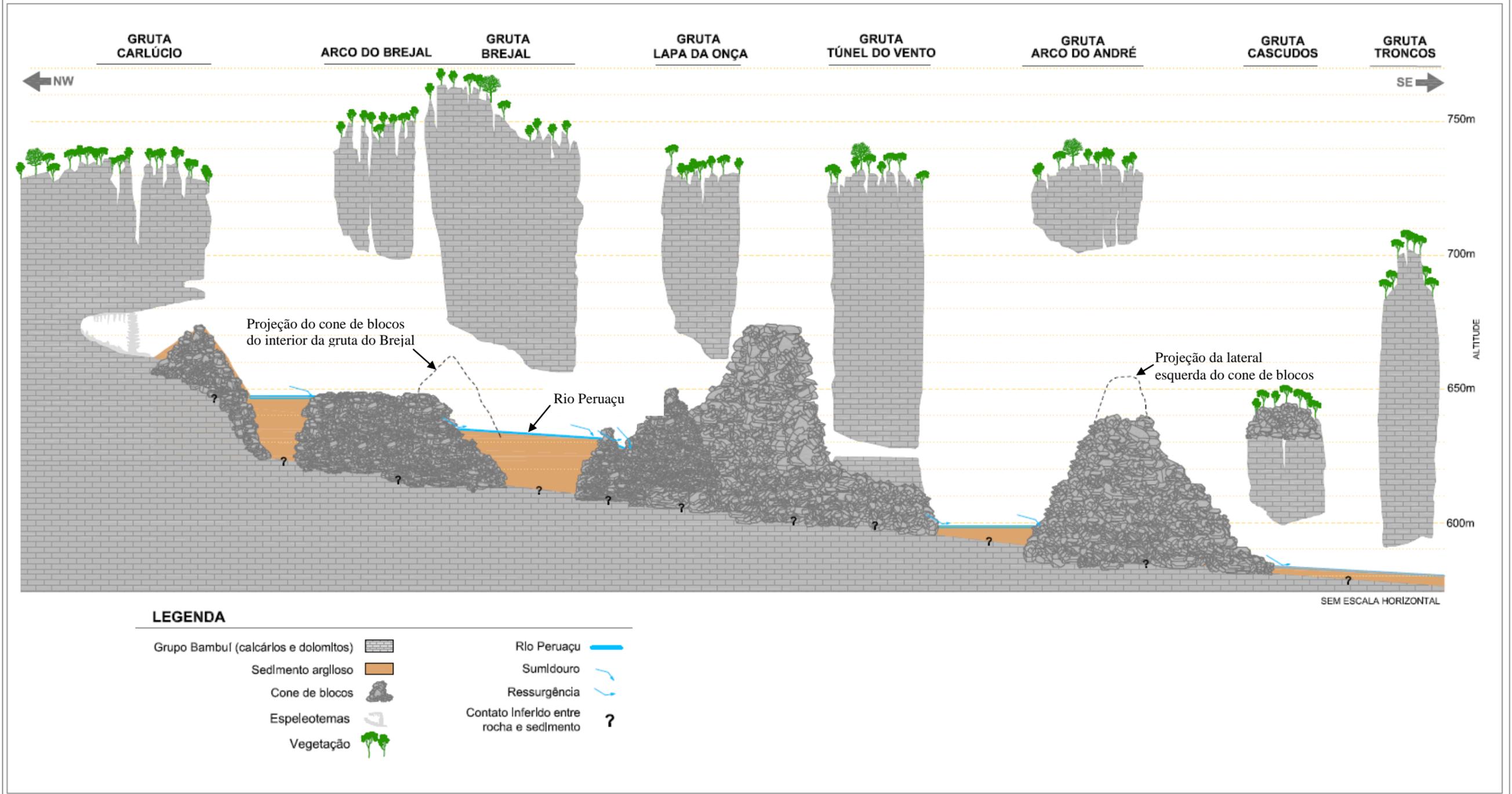


Figura 16. Perfil esquemático do trecho entre as grutas Carlúcio e Troncos. A escala horizontal foi desconsiderada para permitir a visualização de todo o segmento.

Com um desnível de aproximadamente 75 m e alinhado predominantemente ao eixo NW-SE, o segmento estudado se inicia na extremidade NW a montante, próximo à coordenada 578450 / 8332300, com altitude de aproximadamente 650 m e se estende até a coordenada 582500 / 8330200, a jusante da gruta Troncos no nível da cota 580 m.

Ao adentrar o cânion, o rio abandona um vale pouco encaixado, e passa a ser limitado na margem esquerda por paredes rochosas, em toda a extensão do segmento, até próximo à entrada de montante da gruta Troncos. Os topos dessas escarpas apresentam altitudes entre 730 e 760 m, e correspondem ao topo do compartimento carstificado definido por Piló (1989). Mais acima afloram os siltitos da Formação Inhandutiba.

Na margem direita, o relevo apresenta-se mais dissecado que na margem oposta (Figura 17). A superfície aplainada da margem esquerda dá lugar um relevo mais movimentado, marcado por escarpamentos descontínuos, interrompidos por rampas de colúvio (geradas pelo recuo paralelo das paredes do cânion), maciços isolados e imponentes torres.

A Figura 17 apresenta a vista em planta baixa da área de estudo, na escala 1:7.500. Essa escala foi reduzida para as análises subsequentes, de modo a permitir a visualização de feições morfológicas e depósitos clásticos relevantes ao estudo. Desse modo, o trecho entre as grutas Carlúcio e Troncos foi subdividido em quatro segmentos, que receberam a seguinte denominação:

- Segmento Carlúcio – Brejal;
- Segmento Brejal – Lapa da Onça;
- Segmento Lapa da Onça – Arco do André;
- Segmento Arco do André – Troncos.

No intuito de auxiliar na compreensão da descrição dos aspectos morfológicos da área de estudo, os mapas dos quatro segmentos acima mencionados, apresentados como figuras no texto a seguir, foram também incluídos como encartes avulsos no Anexo III.

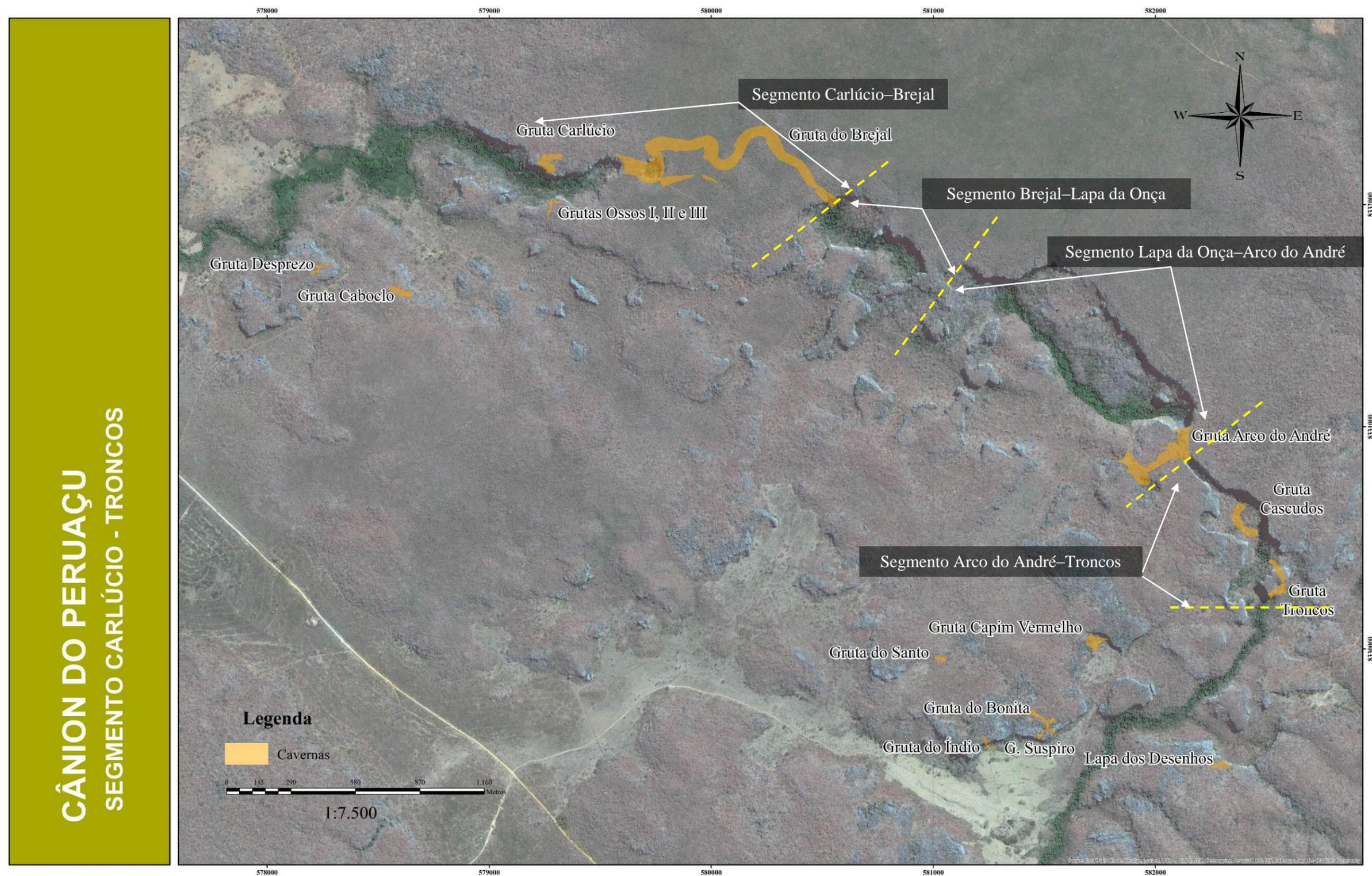


Figura 17. Vista em planta baixa da área de estudo, no trecho entre as grutas Carlúcio e Troncos. Estão destacados os quatro segmentos abordados na pesquisa. A linha tracejada amarela marca o limite entre os segmentos. Fonte: Digital Globe (2008).

6.2. Segmento Carlúcio–Brejal

O segmento Carlúcio–Brejal corresponde à extremidade mais a montante do Cânion do Peruaçu (Figura 18). Na margem esquerda, há um escarpamento contínuo em todo o segmento e, no topo, o planalto apresenta pouca dissecação. A margem direita, por sua vez, apresenta escarpamento mais fragmentado, descontínuo, com maciços e torres isoladas (Figura 19), formando também um corredor alinhado quase paralelamente ao cânion (Ponto 1).

Logo à entrada do cânion, há uma área de alagamento sazonal, conhecida como Lagoa do Silu (Figura 18). O rio Peruaçu flui em ambiente subaéreo, em direção sudeste até a coordenada próxima à entrada da gruta do Carlúcio, de onde passa a correr na direção ENE até as proximidades da entrada da gruta do Brejal (Ponto 2). A partir desse ponto, passa a drenar por debaixo de um cone de dejeção, voltando a ressurgir no interior da gruta. Nesse trecho, a planície aluvial do rio está limitada a larguras entre 100 e 200 m. A cota altimétrica no sumidouro é 647,5 m.

Nesse segmento, são registradas quatro grutas no interior do cânion, em paredes laterais: a gruta do Carlúcio e as grutas Ossos I, II e III. A gruta do Carlúcio está localizada na margem esquerda e tem sua entrada posicionada perpendicularmente à calha do rio, no topo de um cone de dejeção. O topo desse cone está na cota altimétrica 670 m. O piso no interior da gruta é mais baixo e está na cota 665 m. A cota altimétrica no rio, nesse ponto, corresponde a 654 m. As grutas Ossos I, II e III estão a aproximadamente 150 m a jusante, na margem direita. As três grutas estão inseridas na base de uma escarpa voltada para noroeste, posicionadas à meia encosta de uma rampa de colúvio (Figura 20 – Ponto 3), cujo topo está na cota 680 m. Outras duas grutas (Gruta do Desprezo e Caboclo) estão desconectadas do corredor principal do rio Peruaçu.

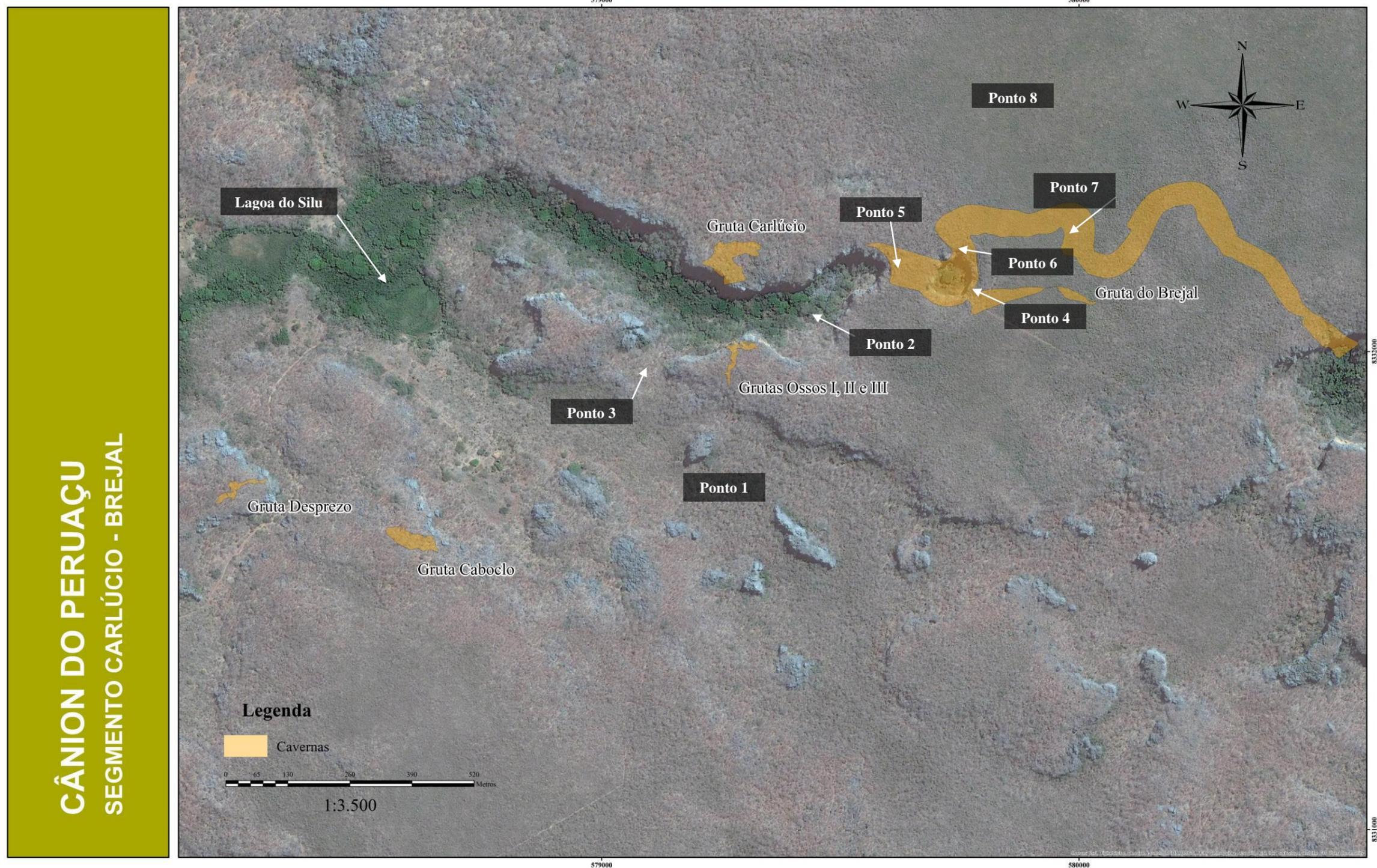


Figura 18. Vista do subsegmento Carlúcio–Brejal e os pontos abordados no texto. Fonte: Digital Globe (2008).



Figura 19. Maciços isolados com torres calcárias na superfície dissecada da margem direita do rio Peruaçu (Ponto 1).



Figura 20. Vista da escarpa da margem esquerda (segundo plano) onde é possível observar a parte superior da gruta do Carlúcio (seta amarela). No primeiro plano, a vegetação recobre uma rampa de colúvio (Ponto 3), gerada pelo desmonte de parte da parede direita do cânion. A seta azul indica a localização aproximada das grutas Ossos I, II e III.

O trecho entre o sumidouro e a ressurgência do rio, no interior da gruta do Brejal é marcado pela presença de grandes cones de matacões de calcário, que entulham o piso de uma lateral a outra. Esses cones são resultantes do colapso de partes do teto e de paredes laterais, responsáveis pela formação de um imponente arco rochoso, cujo teto está separado do da gruta por uma claraboia (Ponto 4).

Os cones de montante da gruta do Brejal são compostos predominantemente por matacões angulosos, alguns com dimensões que podem atingir uma dezena de metros (Figura 21). Ocorrem também calhaus e fragmentos de tamanho seixo, de forma subordinada. Em geral, apresentam pouco material de granulometria fina, como areia, argila, ou silte (Figura 21). A presença de sedimento de textura argilosa é mais comum em cones gerados pelo desmonte lateral das paredes do cânion e naqueles posicionados abaixo do arco. Esse sedimento, diferentemente do que é encontrado nas proximidades das margens do rio, que tem coloração castanho-escuro, apresenta coloração avermelhada e é proveniente da captura de Solos (possivelmente litólicos) que recobrem o compartimento carstificado (Figura 22).

Os topos dos cones de blocos estão próximos à parede direita do cânion e da gruta e estão acima da cota 680 m. As menores alturas, posicionadas na lateral esquerda, estão na cota 650 m (Figura 22).

A gruta do Brejal tem aproximadamente 1300 m de extensão em seu conduto principal e é a primeira gruta drenada pelo rio Peruaçu, atualmente. O rio ressurgue no interior da gruta, na lateral oeste do conduto, próximo à entrada, na base de um cone de blocos (Ponto 6), na cota 637 m. Nesse segmento, o conduto tem direção N-S e poucos metros a jusante retoma o alinhamento leste-oeste.



Figura 21. Cone de matacões a montante da gruta do Brejal (próximo ao Ponto 2), com pouca participação de sedimento de granulometria fina.



Figura 22. Cone de dejeção na entrada de montante da gruta do Brejal (Ponto 6). Nesse cone, é possível observar a presença de sedimento argiloso de coloração vermelha junto aos matacões. O desnível entre o topo na lateral direita e a base, na lateral esquerda, é de aproximadamente 30 m. No segundo plano, é possível observar a claraboia e a entrada da gruta à esquerda. A escala humana está indicada com seta vermelha.

O teto na entrada da gruta tem aproximadamente 40 m de altura e, nesse trecho, predominam seções retangulares resultantes de abatimentos condicionados aos planos verticalizados de fraturas e do acamamento horizontalizado. O rio é constantemente desviado pelas extremidades dos cones de blocos e argila depositados no piso. Também nesse trecho, os cones de blocos mais expressivos se posicionam na margem direita do rio (Figura 23) e avançam de forma descontínua cerca de trezentos metros em direção ao interior da gruta, terminando em um grande cone isolado, na margem direita do rio (Ponto 7). O topo desse cone está 26 m acima do nível atual do rio e atinge a cota 666 m. Acima desse cone, é possível observar a cúpula gerada pelo colapso do teto. No topo e em um dos flancos do cone, ocorrem depósitos químicos, alguns com espessura superior a 2 m (Figura 24). No topo do cone foram registrados troncos (ver Item 7.1).

Nesse ponto, o conduto faz uma curva para sul e, cerca de 100 m a jusante, curva-se novamente, dessa vez para NE, e segue nesta direção por aproximadamente 200 m. A cota altimétrica desse setor no nível do rio é de 637 m e na superfície acima da caverna chega a 770 m (Ponto 8). Essa cota corresponde, de acordo com a compartimentação geomorfológica proposta por Piló (1989), ao nível das coberturas de siltitos da Formação Nhandutiba.



Figura 23. Entrada de montante da gruta do Brejal com cone de dejeção na lateral da entrada. A seta indica a cota e a posição aproximada da ressurgência (Ponto 6).

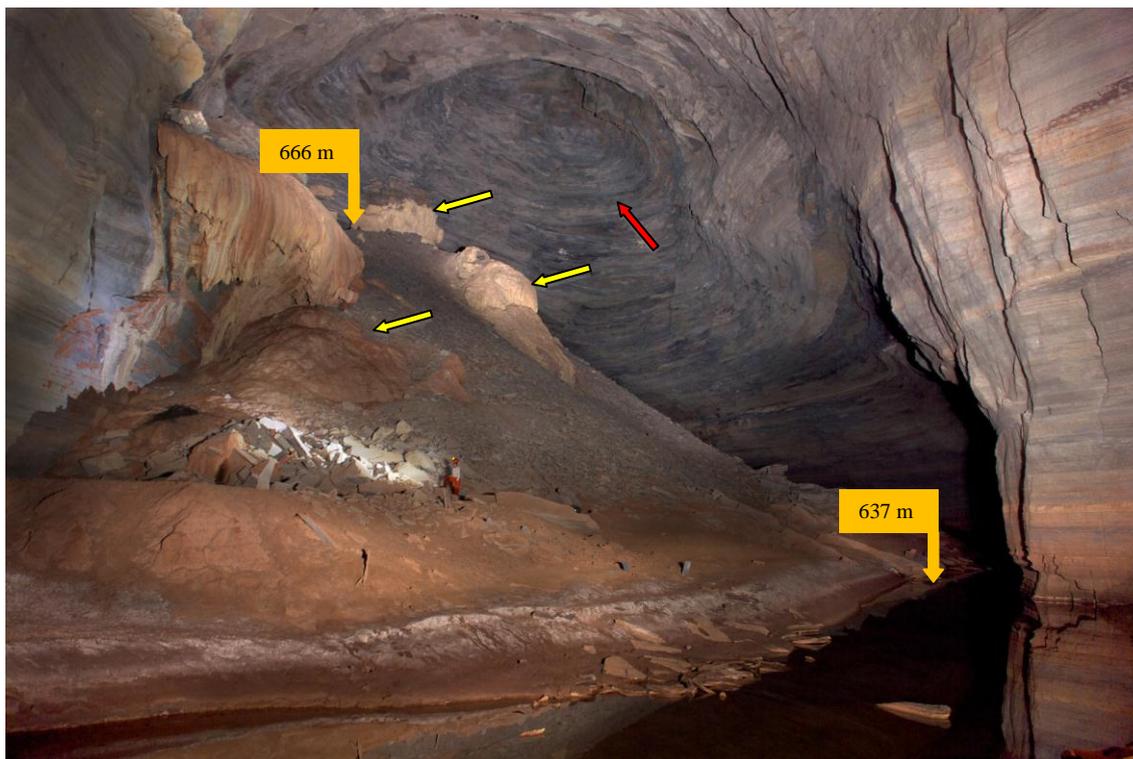


Figura 24. Cone de dejeção no interior da gruta do Brejal (Ponto 7). O rio pode ser visto no primeiro plano à direita. Acima do cone é possível observar a cúpula gerada pelo colapso de parte do teto (seta vermelha). Os espeleotemas depositados sobre o cone estão indicados com setas amarelas. As cotas do rio e do topo do cone estão indicadas em laranja.

A jusante do Ponto 7, não ocorrem feições de abatimentos significativas no interior da gruta. O rio flui na direção sudeste sobre sedimento argiloso até sua ressurgência na entrada de jusante da gruta, com altitude de 635 m. O teto nesse setor é arqueado, com alturas entre 22 e 25 m e o conduto preserva feições do tipo *Scallops*, indicativos de paleofluxo turbulento (fluxo primário) (Ford & Willians, 2007). São observados poucos depósitos químicos nesse trecho; esses tornam-se mais expressivos próximos à entrada de jusante (Figura 25 – Ponto 9).

O sedimento observado no interior da gruta pode ser dividido em função de sua origem autogênica ou alogênica. Os sedimentos autóctones são gerados pelo colapso de teto e paredes, e sua granulometria varia entre calhaus e matacões, com predominância dos últimos. Esse tipo de sedimento ocorre, em geral, na forma de cones de acumulação. Os sedimentos alogênicos têm origem fluvial e estão distribuídos ao longo de todo o conduto, em alturas que raramente ultrapassam dois ou três metros. São compostos predominantemente por argilas de coloração castanho-escuro.

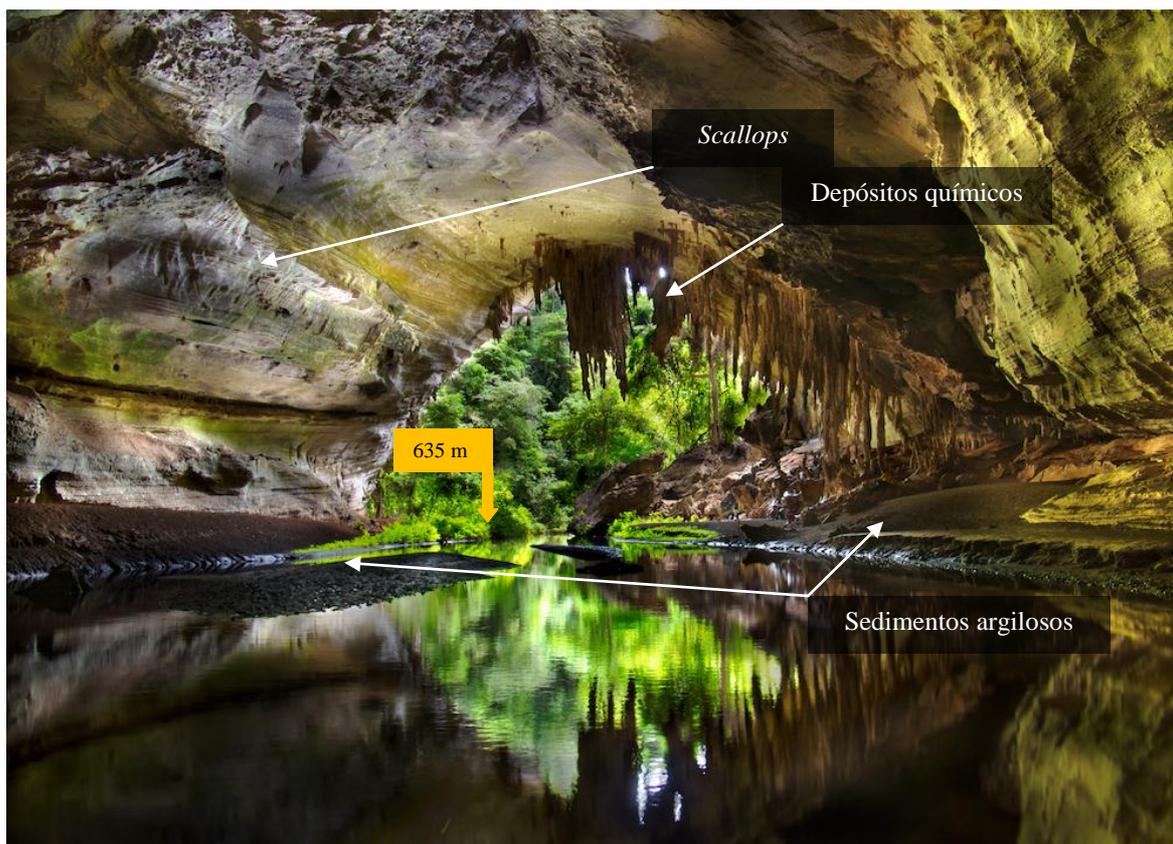


Figura 25. Entrada de jusante da gruta do Brejal (Ponto 9) vista do interior, onde é possível observar o sedimento argiloso depositado no piso. O teto predominantemente arqueado apresenta pouca deposição química no interior da gruta; esse tipo de depósito torna-se mais expressivo próximo à entrada.

6.3. Segmento Brejal–Lapa da Onça

A partir da ressurgência da gruta do Brejal, o rio Peruaçu atravessa um trecho subaéreo com direção predominante sudeste, com aproximadamente 400 m de comprimento e largura entre 150 e 350 m (Figura 26). Esse trecho se estende da entrada de jusante da gruta do Brejal até um arco rochoso denominado Lapa da Onça (Ponto 10). Visto em planta, esse setor do cânion possui alargamentos laterais resultantes da coalescência de dolinas subcirculares (geradas pelo colapso do teto da rede subterrânea) ao longo da calha do rio (Figura 26). A dolina de montante tem forma próxima à elíptica, com maior comprimento equivalente a 400 m, alinhado ao eixo SSO – ENE e largura de 200 m. As bordas NE, NO e O desta dolina atingem a cota altimétrica de 740 m, que corresponde ao topo do Compartimento Carstificado definido por Piló (1989), e estão conectadas à

superfície de cimeira. A borda sul também atinge a cota 740 m, no topo de um maciço residual, desconectado da superfície de cimeira (Figura 26 - Ponto 11).

Uma rampa de colúvio está depositada na base da escarpa da borda NE e forma um leque de sedimento inclinado em direção à margem esquerda do rio (Ponto 12). A borda sudoeste encontra-se erodida e, no local (Ponto 13), a superfície colapsada dá lugar a uma rampa de colúvio, em cujo topo há um corredor com 50 m de largura limitado lateralmente por escarpas rochosas. O piso desse corredor é extremamente inclinado, com declives íngremes nas direções SO e NE. O topo atinge a cota de 700 m. A sudeste, no ponto de conexão entre as duas dolinas é possível observar uma torre residual (Ponto 14), isolada do escarpamento.

CÂNION DO PERUAÇU

SEGMENTO BREJAL - LAPA DA ONÇA

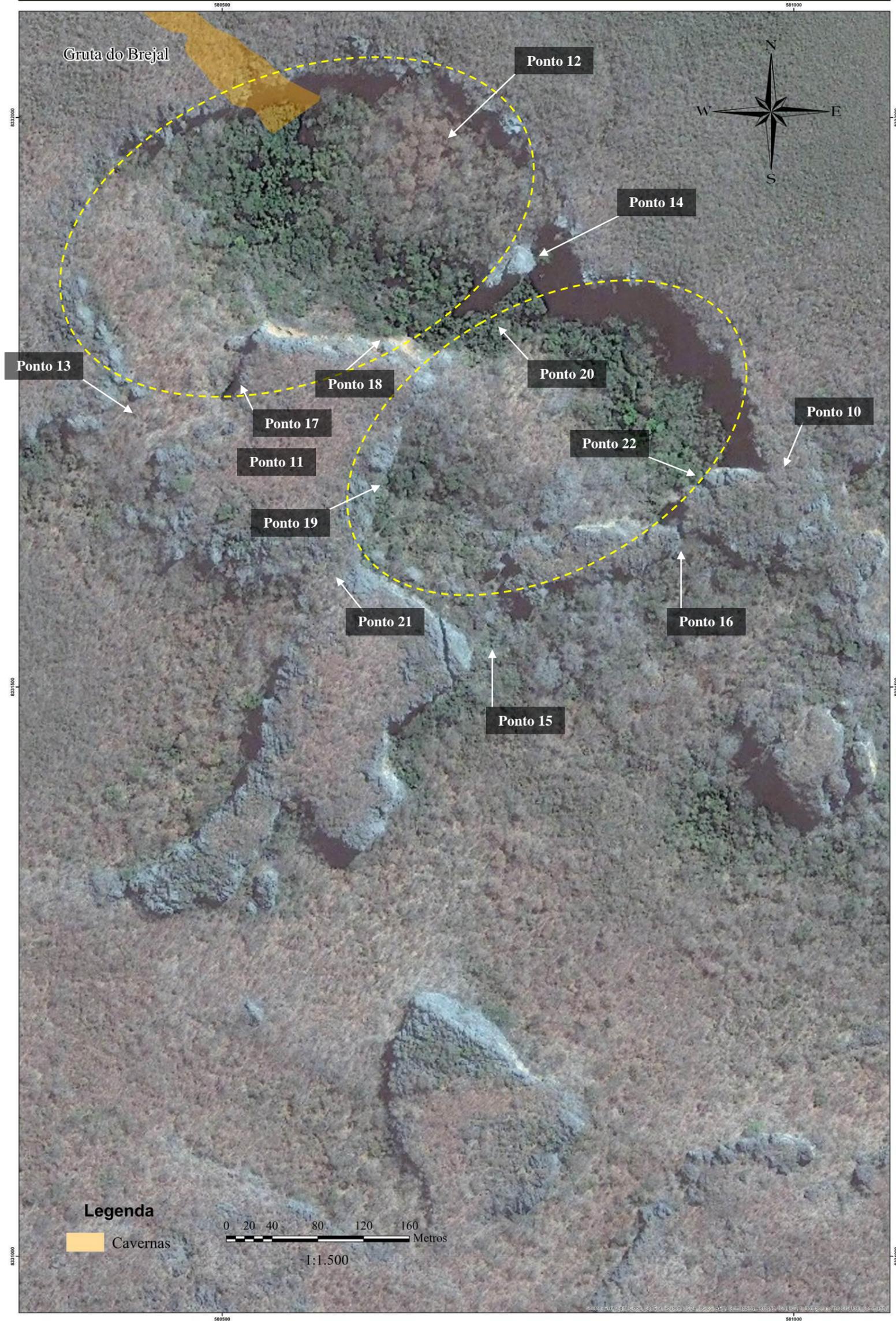


Figura 26. Vista do subsegmento Brejal-Lapa da Onça e os pontos descritos. A forma elíptica das duas depressões está delimitada com linha pontilhada. Fonte: Digital Globe (2008).

A dolina de jusante tem seu maior comprimento alinhado ao eixo SO-NE, com 350 m e largura de aproximadamente 260 m. Apenas as bordas NE e E estão conectadas ao planalto, as demais ocorrem na forma de maciços isolados. A cota 740 m é atingida apenas nas bordas NE e SO. Um estreito corredor gerado por colapso interrompe a continuidade entre as bordas S e SO (Ponto 15). O piso nesse ponto está coberto por matacões e a altitude é de 690 m. A borda S e SE estão no topo de um maciço isolado com altitude equivalente a 730 m e estão conectadas à borda leste por uma estreita fenda, cuja base está acima da cota 700 m (Ponto 16).

Uma gruta de nome desconhecido foi registrada nesse subsegmento e será, para efeito desta análise, provisoriamente denominada “Norim”. A gruta possui três entradas, todas voltadas para o interior do segmento (Pontos 17, 18 e 19). A entrada norte (Ponto 18) é a topograficamente mais baixa (Cota 650 m) e está posicionada numa parede rochosa voltada para o rio, a aproximadamente 10 m acima do piso externo. A entrada oeste (Ponto 17) está na base do maciço, entre esse e a rampa de colúvio (Ponto 13). Essa entrada encontra-se bastante rebaixada em relação ao piso externo onde se registra a cota 700 m (Figura 27). A entrada correspondente ao Ponto 19 está posicionada acima do piso interno da caverna e dá acesso a uma área deprimida envolta por cones de matacões.



Figura 27. Entradas norte e oeste da gruta “Norim” (A e B respectivamente).

Dois arcos rochosos (de nomes desconhecidos) foram registrados nesse segmento (Pontos 21 e 22). O arco do Ponto 21 está localizado em uma estreita conexão entre dois maciços rochosos e conecta o segmento Brejal–Lapa da Onça com uma área mais dissecada a sudoeste a partir da cota 720 m. O segundo arco (Ponto 22) está localizado a cerca de 50 m a oeste da Lapa da Onça, na mesma escarpa rochosa. O piso no interior desse arco está acima da cota 700 m e conecta-se ao topo do Compartimento Carstificado por uma claraboia (Figura 28).



Figura 28. Arcos rochosos identificados pelos Pontos 21 (A) e 22 (B).

A calha do rio nesse segmento está entulhada por blocos, o que faz com que seu fluxo seja drenado por entre matações e calhaus, sendo desviado de seu curso em alguns pontos. Próximo ao ponto de conexão entre as duas dolinas, o rio atravessa um curto trecho subterrâneo, sob os depósitos clásticos e parte de seu fluxo é desviado em direção à parede sul, onde escoar rente à escarpa até retornar à calha principal algumas dezenas de metros a jusante (Figura 29). Nesse ponto, o rio é capturado por um sumidouro na base de um grande cone de blocos (Ponto 20). A cota altimétrica do rio nesse local é 630 m.



Figura 29. Rio Peruaçu escoando por entre os matacões próximo ao Ponto 20 (à esquerda) e na base da parede sul do cânion (à direita – seta).

Esse segmento do cânion termina a jusante na gruta Lapa da Onça (Ponto 10). Essa gruta tem a forma de um arco, com aproximadamente 70 m de largura e 70 m de extensão, e está alinhada à calha principal do rio. Nesse ponto, o rio Peruaçu escoa de forma subterrânea, sob os blocos abatidos. O piso da gruta (cota 635 m) é inclinado de fora para dentro em função de cones de blocos posicionados a montante e a jusante. As partes mais rebaixadas dos topos dos cones de montante e jusante se posicionam nas cotas 650 e 676 m, respectivamente. O teto da gruta é sub-horizontalizado e seu ponto mais baixo está na parte central do conduto, com aproximadamente 32 m de altura (cota 667 m), nove metros abaixo do ponto mais rebaixado do topo do cone de blocos de jusante (Figura 30). Esse cone ocupa toda a área que se estende desde a entrada da gruta até as imediações da gruta Túnel do Vento (Ponto 23).



Figura 30. (A) Entrada da gruta Lapa da Onça vista de montante. É possível observar como o cone de dejeção obstrui claramente o conduto, formando um barramento ao fluxo superficial do rio Peruaçu. As setas indicam a cota altimétrica do piso e teto. **(B)** Entrada da gruta Lapa da Onça vista de jusante, com a indicação do local aproximado da cota 676 m.

O cone de blocos é composto por sedimento de granulometria bastante variada, ocorrendo desde fragmentos pequenos, como seixos, até grandes matacões com dimensão superior a uma dezena de metros. Destaca-se o grande volume de material argiloso depositado entre os clastos mais grosseiros e observado em toda a extensão abrigada do cone. A presença de argila torna o cone menos poroso que nos trechos subaéreos, onde ele apresenta pouco material de granulometria fina superficialmente. A baixa porosidade e o grande volume desse cone o transformam em uma imponente barreira física para um possível escoamento em superfície.

Esse segmento do cânion, devido a suas formas e aos depósitos clásticos nele existentes, representa um sistema fechado ao escoamento superficial do rio Peruaçu. Em outras palavras, não há possibilidade de escoamento superficial até o nível mais rebaixado do topo do cone de blocos, que está na cota 676 m. Em caso de obstrução total das rotas subterrâneas, o rio Peruaçu só atingiria o segmento de jusante da Lapa da Onça após se elevar até a cota 676 m.

A Figura 31 apresenta a hipsometria do trecho entre as grutas Carlúcio e Lapa da Onça.

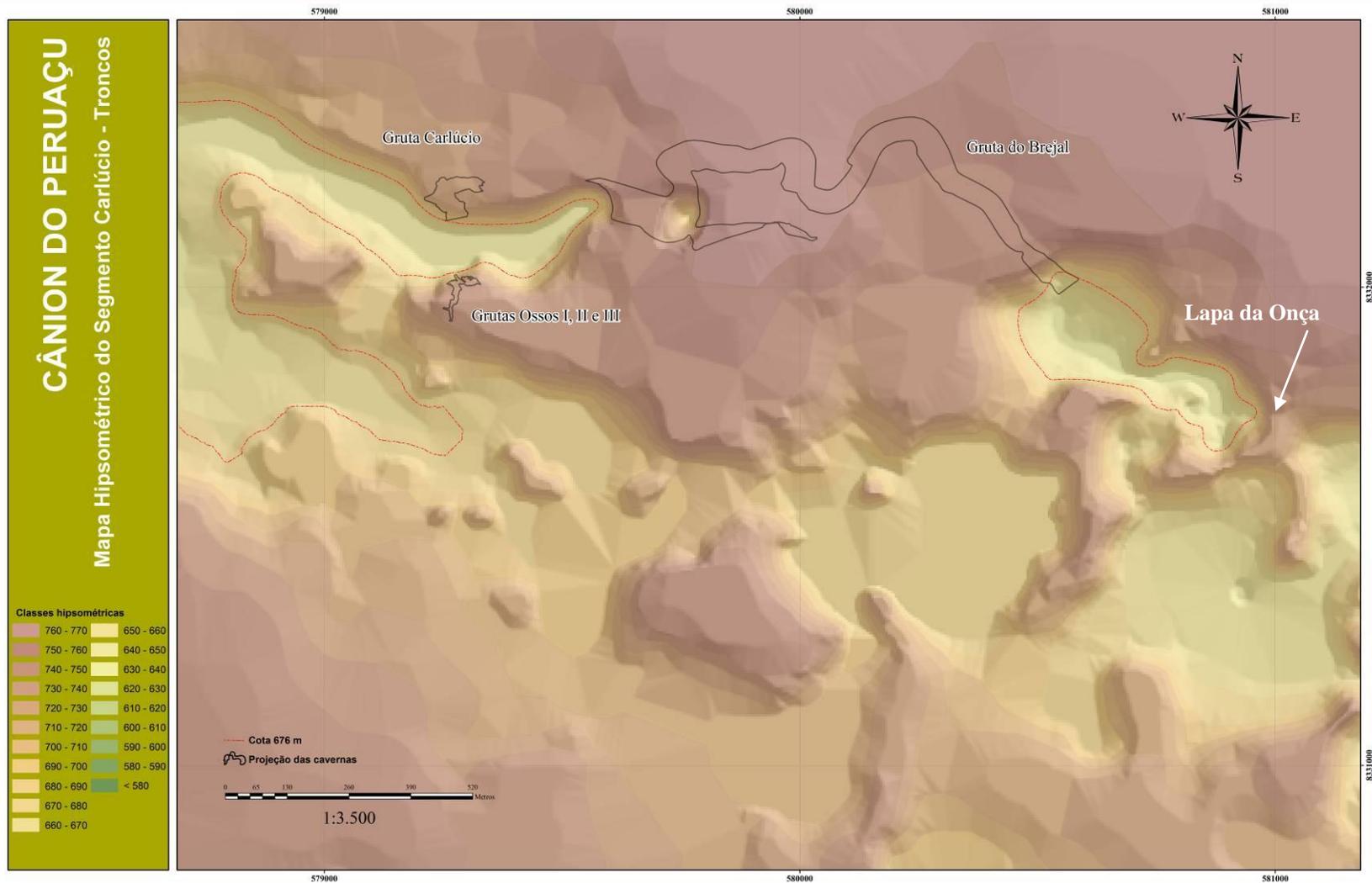


Figura 31. Mapa hipsométrico do trecho entre as grutas do Carlúcio e Lapa da Onça, com destaque para a cota 676 m (linha vermelha). As grutas estão abaixo dessa cota.

6.4. Segmento Lapa da Onça–Arco do André

O segmento Lapa da Onça–Arco do André é o maior trecho subaéreo da área estudada (Figura 32). Tem 1.300 m de comprimento, alinhado ao eixo NO-SE e largura máxima em torno de 800 m. A margem esquerda está ocupada por rampas de colúvio em toda a extensão do segmento e, no topo dessas as paredes escarpadas, atingem a cota 730 m. Poucas torres são registradas nessa margem do cânion, sendo a mais expressiva a torre posicionada em frente ao Arco do André (Ponto 24). A margem direita está mais dissecada: nota-se o predomínio de extensas áreas rebaixadas em relação às cotas de topo do cânion. A altitude nessas áreas mais deprimidas varia entre 650 e 670 m, com caimento suave para NE, que se torna abrupto nas proximidades da margem do rio. Em meio a essas áreas deprimidas, ocorrem torres e maciços residuais bem individualizados, cujas cotas de topo estão entre 700 e 740 m.

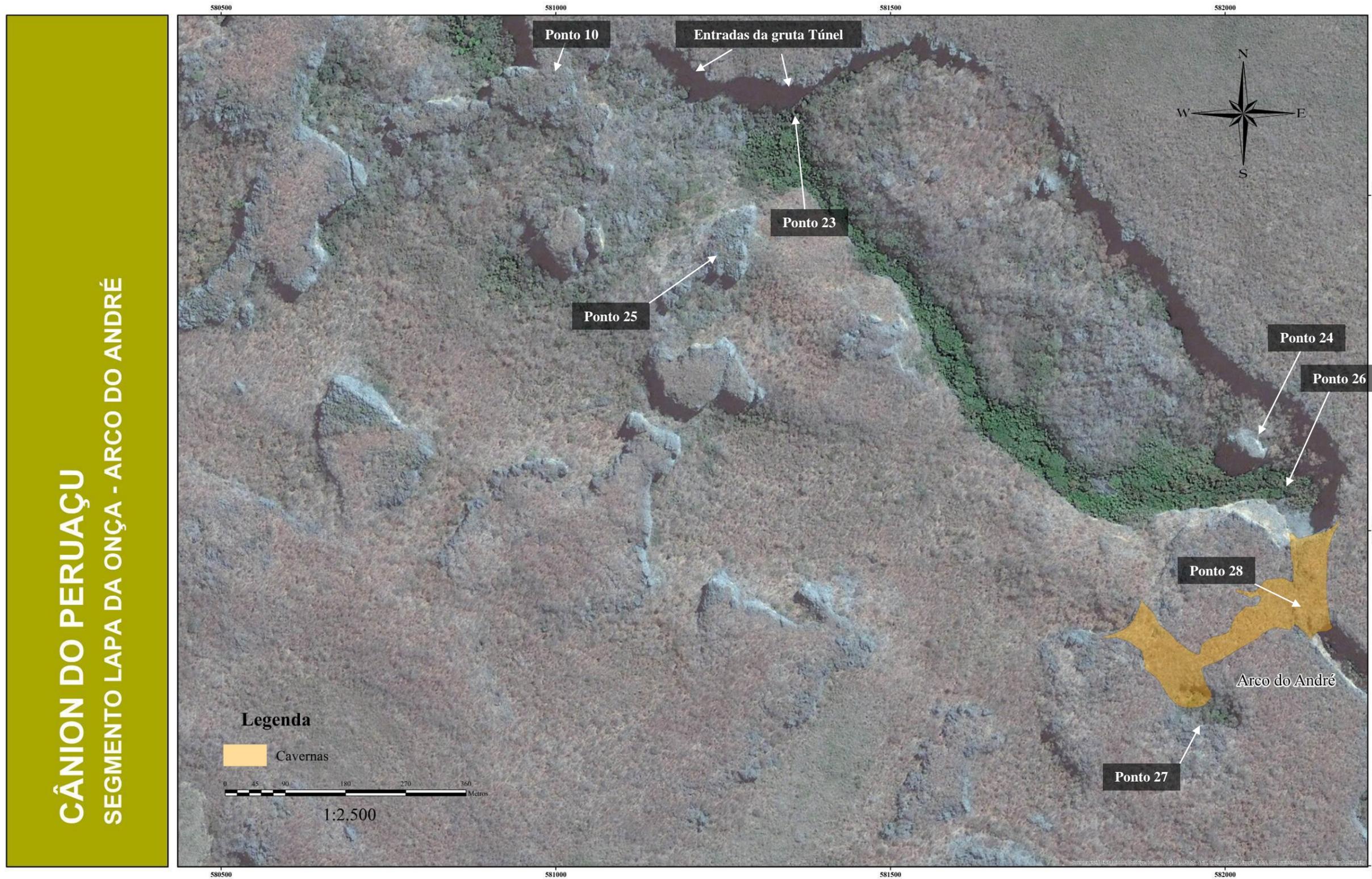


Figura 32. Segmento Lapa da Onça–Arco do André com indicação dos pontos descritos no texto. Fonte: Digital Globe (2008).

Desde o sumidouro na base de um cone de blocos a montante da Lapa da Onça (Ponto 20), o rio Peruaçu percorre um trecho subterrâneo de 640 m até a ressurgência (Ponto 23) nas imediações da gruta Túnel do Vento. O rio, nesse ponto, está na cota altimétrica 601 m.

A gruta Túnel do Vento está na escarpa rochosa da margem esquerda e em posição elevada em relação à calha do rio, desenvolvendo-se paralelamente a essa. A gruta é formada por um conduto retilíneo com pouco mais de 80 m de extensão, com teto arqueado e altura de nove metros na entrada NO e 12,7 m na entrada SE, onde possui um degrau abrupto parcialmente recoberto por espeleotemas. A entrada NO está na base da escarpa, em frente ao cone de dejeção que se inicia na Lapa da Onça. A cota altimétrica do piso no interior da gruta varia de 624 a 627 m e é recoberto por sedimentos argilosos na maior parte do conduto. Cones de blocos ocorrem próximos às duas entradas (Figura 33).



Figura 33. Conduto da gruta Túnel do Vento visto da extremidade SE. No segundo plano, pode-se observar o cone de blocos na área externa (seta amarela) e um cone de colapso de teto no interior da gruta (seta laranja). À direita da fotografia, escorrimentos recobrem um degrau no piso.

Abaixo da entrada SE da gruta Túnel do Vento, há uma gruta de nome desconhecido. Essa gruta, assim como a Túnel do Vento, está desconectada da calha principal do rio Peruaçu. Uma gruta foi identificada na margem oposta, a jusante da ressurgência e próxima à base de um maciço residual (Ponto 25). A gruta tem aproximadamente 300 m de extensão e comporta uma surgência tributária do rio Peruaçu, com vazão registrada em período úmido.

O rio flui em ambiente subaéreo da ressurgência até próximo à entrada do Arco do André, aproximadamente 950 m a jusante. Nesse percurso, o desnível é de aproximadamente um metro e a calha de drenagem é frequentemente ajustada lateralmente

em função da presença de material coluvionar depositado na base das paredes do cânion (Figura 34 e Figura 35). O sumidouro está localizado na base de um cone de blocos na entrada do Arco do André (Ponto 26). No entanto, antes de atingir o sumidouro, parte do fluxo é desviado em direção à parede leste, onde é capturado entre blocos abatidos. A cota altimétrica no sumidouro é 600 m.

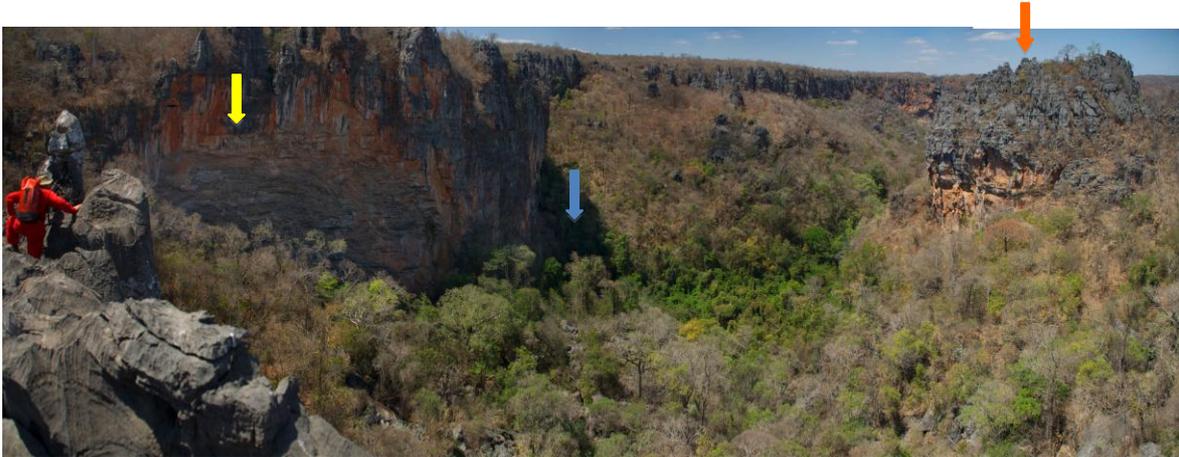


Figura 34. Vista panorâmica de parte do segmento Lapa da Onça–Arco do André. A seta amarela indica a escarpa onde está inserida a entrada de montante da gruta Túnel do Vento. A seta azul indica a posição aproximada da ressurgência (Ponto 23) e a seta laranja, o maciço residual, em cuja base está a surgência tributária do rio Peruaçu na margem direita (Ponto 25). É possível observar a grande rampa de colúvio na margem esquerda do rio nesse trecho.

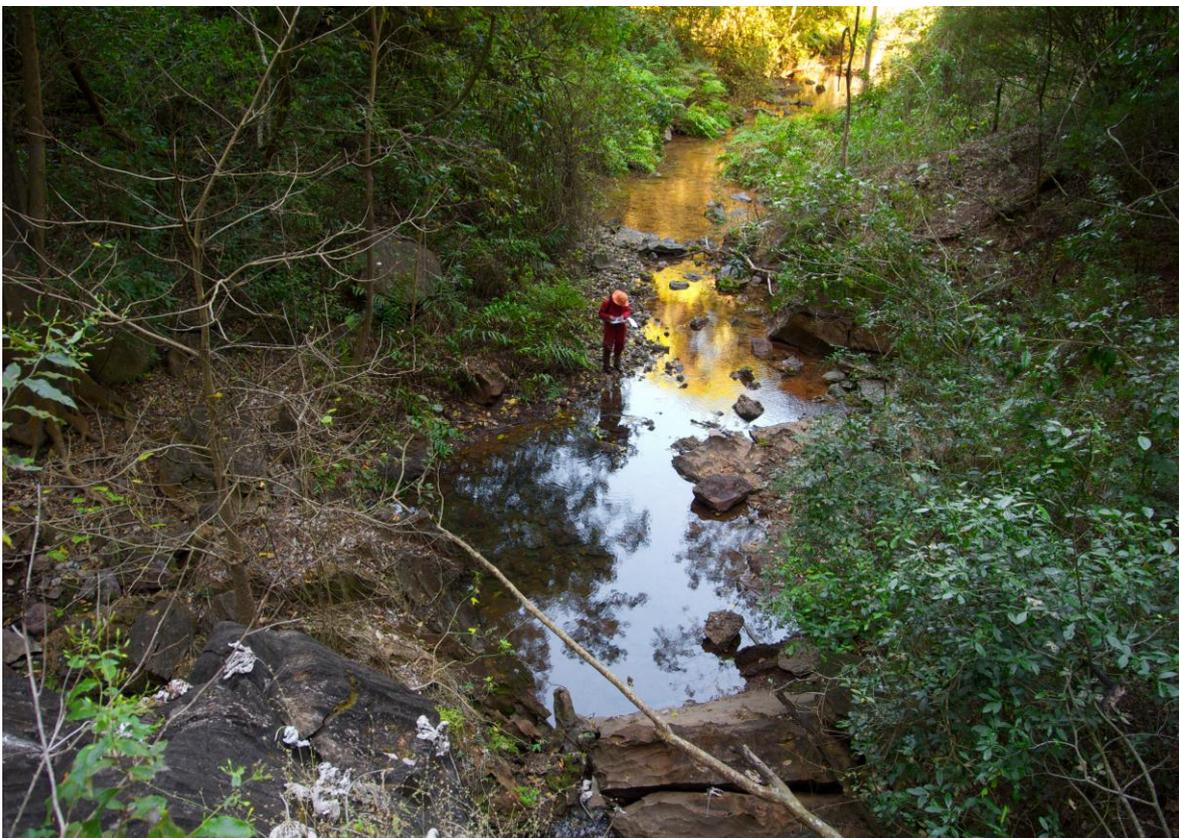


Figura 35. Ressurgência do rio Peruaçu nas proximidades da gruta Túnel do Vento (Ponto 23).

A gruta Arco do André tem 630 m de projeção horizontal e desnível de 52 m. Possui dois condutos subparalelos, posicionados em suas extremidades oeste e leste, alinhados aproximadamente aos eixos SE-NO e S-N, respectivamente. A planta baixa da gruta é apresentada na Figura 36. O mapa completo consta no Anexo IV. Esses dois condutos são ligados por um conduto mais estreito com direção leste oeste, onde ocorre grande quantidade de troncos, que evidenciam o alagamento desse setor. O conduto a oeste tem entrada voltada para NNO, na cota altimétrica 720 m. Na outra extremidade, o conduto possui uma claraboia (Ponto 27), que injeta material clástico e matéria orgânica para o interior da caverna (Figura 37). O piso na base da claraboia está bem acima da cota 650 m e parte do sedimento que entra por ela atinge a extremidade oeste do conduto central.

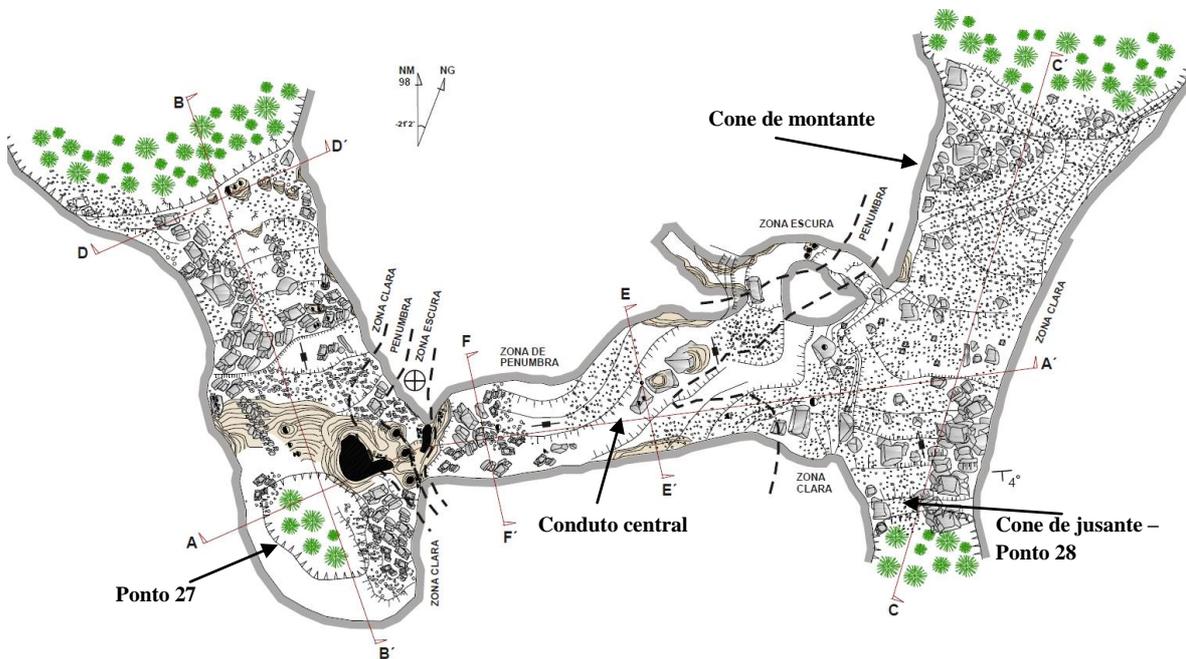


Figura 36. Planta baixa da gruta Arco do André, com a indicação dos pontos abordados. Modificado de GBPE (2004).



Figura 37. Claraboia da gruta Arco do André vista do interior (Ponto 27). As setas indicam a posição de troncos introduzidos por gravidade.

O conduto leste é o segmento da calha do rio Peruaçu. Tem aproximadamente 60 m e 30 m de largura nas entradas de montante e jusante, respectivamente. O pórtico é imponente e apresenta alturas de até 100 m. Nesse conduto, a forma arqueada da seção já se mostra parcialmente obliterada por processos de incasão, principalmente no teto, que apresenta trechos condicionados aos planos sub-horizontalizados do acamamento. Alguns vazios podem ser observados no teto do arco: no piso, sob esses vazios ocorrem expressivos depósitos de argila (Figura 38).

O piso do arco está totalmente entulhado por matacões e clastos menores, misturados localmente a argila vermelha e restos vegetais. Destacam-se dois imponentes cones, o primeiro está a montante, posicionado na lateral oeste do conduto; seu topo está na cota 630 m. O piso na base desse cone está na cota 612 m. O segundo se inicia na confluência com o conduto central, obstruindo-o até a cota 640 m (Figura 38). Esse cone se estende ainda em direção à entrada de jusante, onde atinge seu ponto mais alto na cota 654 m, na parede leste do conduto (margem esquerda); seu ponto mais rebaixado está na parede oposta, encontrasse na cota 641 m (Ponto 28).



Figura 38. Arco do André e cones de dejeção: (A) vista da entrada de montante. A seta vermelha indica a posição de algumas claraboias que injetam solo da superfície no interior da caverna; (B) Entrada de montante vista do interior do conduto, destaca-se o cone de matacões na lateral; e (C) Vista do topo do cone de jusante do Arco do André (Ponto 28), com indicação das cotas altimétricas.

As entradas de jusante e do conduto central estão totalmente bloqueadas pelo cone de blocos até a cota de 641 m. Esse cone se estende ainda por 450 m em direção SE, até a entrada da Lapa dos Cascudos; foi gerado pelo colapso do teto do conduto em seu segmento de jusante. Sob o ponto de vista morfológico, pode-se afirmar que o segmento entre a Lapa da Onça e o Arco do André constitui um sistema fechado ao escoamento superficial até a cota 641 m, o que constitui outro importante ponto de barramento. No mapa hipsométrico, apresentado na Figura 39, pode ser observada a área abrangida pela cota 641 m dentro do segmento.

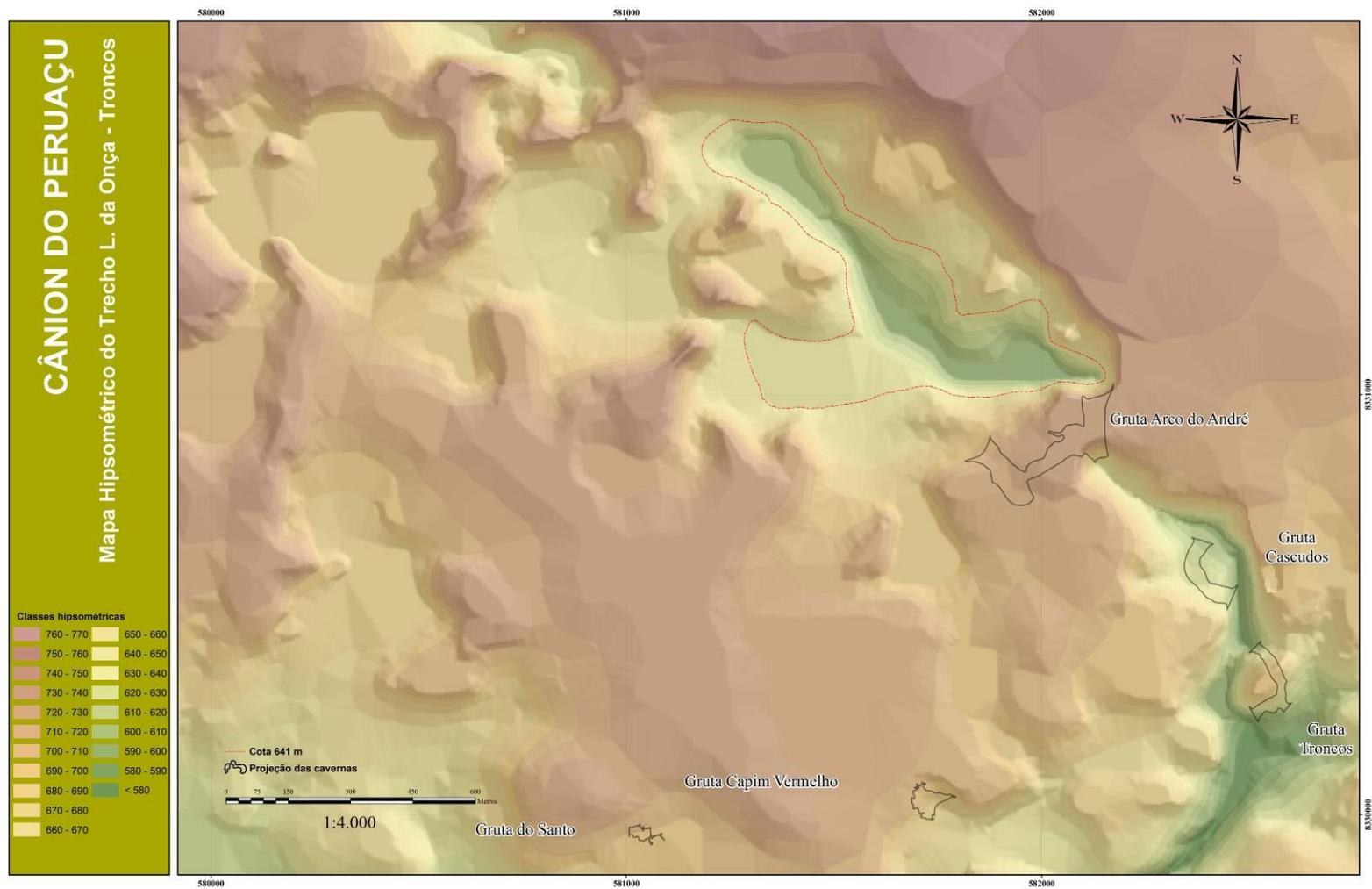


Figura 39. Mapa hipsométrico do trecho entre a Lapa da Onça e a gruta Troncos. Em vermelho, a área de abrangência aproximada da cota 640 m, com base em curvas de nível de equidistância de 10 m.

6.5. Segmento Arco do André–Troncos

O segmento de jusante do Arco do André até a gruta Troncos tem aproximadamente 900 m de extensão e constitui o segmento mais encaixado da área estudada (Figura 40). A largura varia entre aproximadamente 40 e 250 m e o desnível é de 40 m, contados a partir do topo do cone até a saída de jusante da gruta Troncos, que está na cota 580 m. O desnível total do rio nesse segmento é de 20 m e, entre o sumidouro no Arco do André e a ressurgência na Lapa dos Cascudos, de 19 m.

CÂNION DO PERUAÇU
SEGMENTO ARCO DO ANDRÉ - TRONCOS

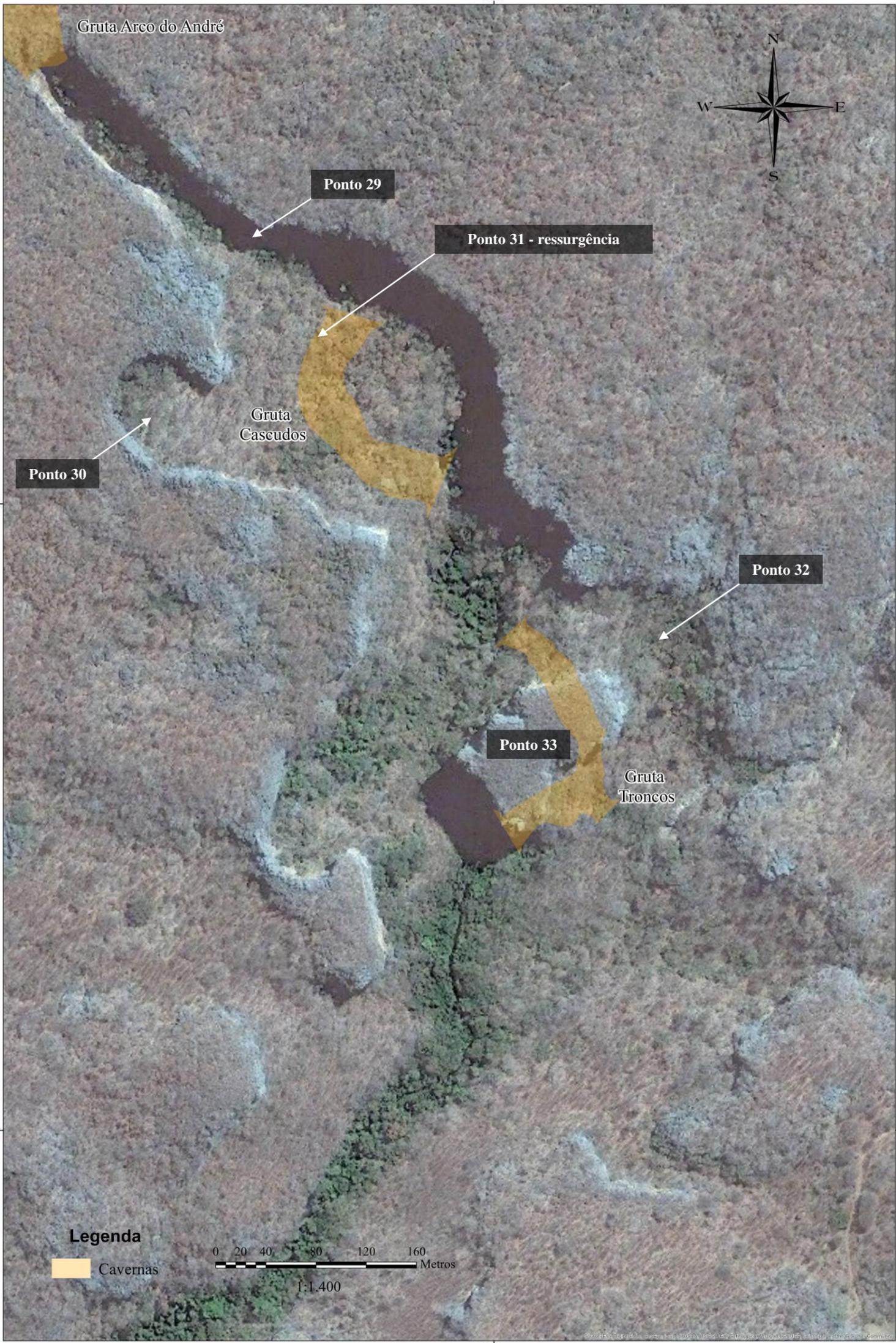


Figura 40. Segmento Arco do André-Troncos, com indicação dos pontos abordados no texto. Fonte: Digital Globe (2008).

No trecho entre a entrada de jusante do Arco do André até próximo da entrada da Lapa dos Cascudos, o cânion forma um corredor estreito de 230 m com direção SE, limitado lateralmente por paredes verticais com altura de até 80 m de altura. O corredor foi gerado pelo colapso do teto do conduto leste do Arco do André, não sendo afetado significativamente por processos de regressão lateral do escarpamento, como ocorreu em outros segmentos do cânion (Figura 41). Em seguida, esse corredor se abre lateralmente (Ponto 29), dando lugar a uma dolina de forma elíptica com 270 m no maior eixo (SE-NO). Essa dolina está conectada a oeste, a uma dolina menor, cuja base está topograficamente mais elevada. Ela tem forma subcircular e diâmetro de aproximadamente 80 m (Ponto 30).



Figura 41. Trecho de jusante do Arco do André visto do topo do compartimento carstificado. As setas indicam as cotas altimétricas. No primeiro plano, o corredor formado entre a entrada do Arco e a Lapa dos Cascudos.

Todo o segmento está entulhado por matacões de calcário. A calha do rio está soterrada por grande volume de material, que se estende desde o Arco do André até próximo à entrada de montante da Lapa dos Cascudos. Esses depósitos formam um pavimento irregular no trecho mais encaixado (entre o Arco do André e o Ponto 29), com maiores alturas na margem esquerda. Os desníveis chegam a superar 20 m em alguns

pontos (Figura 42). Nessa lateral, o topo do depósito está localmente cimentado por calcita. Isso ocorre onde as paredes apresentam inclinação negativa, permitindo que a água saturada proveniente de fissuras da rocha atinja o topo do cone de blocos. Na lateral oposta, mesmo sob paredes com inclinação negativa, não foram observados espeleotemas no piso. Nessa margem, os blocos adentram uma área abrigada, onde a parede direita do cânion foi solapada na base (Figura 42). Próximo à entrada de montante da Lapa dos Cascudos, o pavimento de blocos cimentados por calcita está erodido, restando apenas uma estreita faixa mais elevada, rente à parede esquerda.

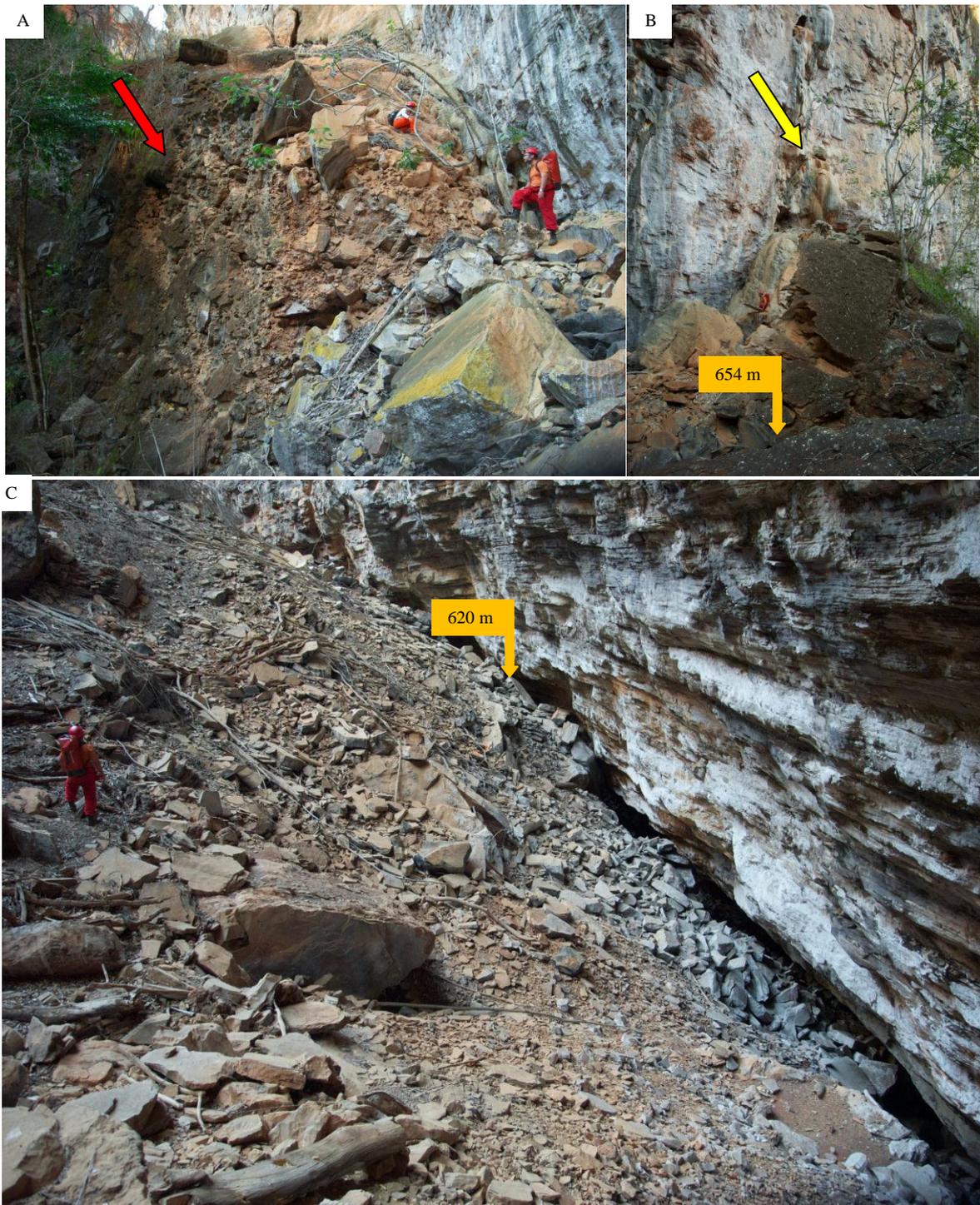


Figura 42. Pavimento de blocos entre o Arco do André e Cascudos: (A) trecho da lateral esquerda onde os blocos estão cimentados por calcita. É possível observar a parte erodida do depósito (seta vermelha); (B) depósitos químicos na parede e sobre o cone de blocos na lateral esquerda do cânion (seta amarela); e (C) a lateral direita, mais rebaixada e sem depósitos químicos sobre os blocos abatidos.

No trecho mais largo (a jusante do Ponto 29), o depósito tem a forma de uma rampa de colúvio, cujo topo está na dolina de oeste, na cota 690 m (Ponto 30) e a base na extremidade NE da dolina maior (cota 620 m), onde se mistura aos depósitos do segmento

mais encaixado (Figura 43). Nesse ponto, todo o material está depositado sobre uma escarpa rochosa de aproximadamente 30 m de altura, voltada para NE, na qual se insere a entrada de montante da Lapa dos Cascudos.

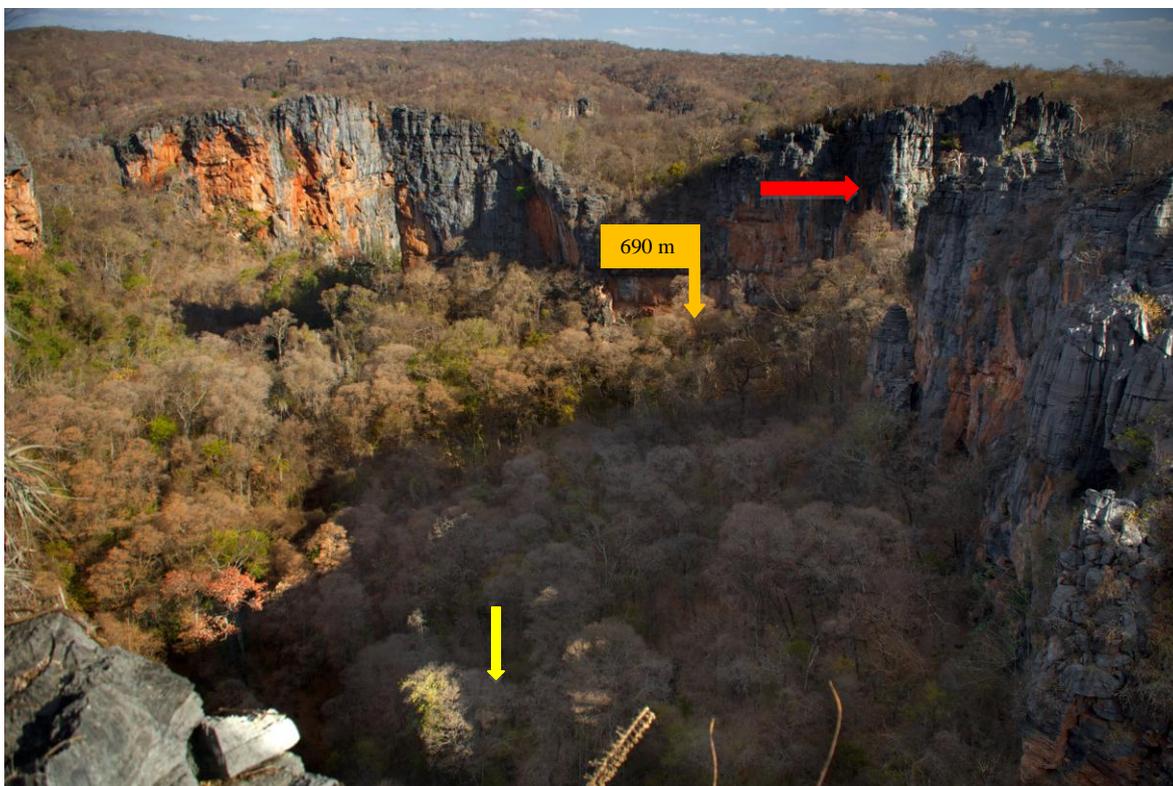


Figura 43. Vista da dolina no trecho mais alargado entre o Arco do André e Cascudos. A floresta estacional recobre o material coluvionar depositado sobre a escarpa em que encontra a Lapa dos Cascudos (cuja posição aproximada é indicada pela seta amarela). A seta vermelha indica a posição da dolina oeste (Ponto 30). A cota 690 está no topo da rampa de colúvio.

A Lapa dos Cascudos está na cota 581 m e o rio ressurge na lateral NO do conduto, próximo à entrada (Ponto 31). O Teto tem entre 20 e 25 m com forma tabular, condicionada pelos planos de acamamento da rocha. O conduto tem 220 m de extensão (projeção horizontal) e é curvilíneo, com ângulo de aproximadamente 90° e convexidade voltada para oeste. A entrada de jusante está direcionada para SE. Depósitos de colapso recobrem todo o piso e são mais expressivos na porção de montante da gruta e na margem esquerda ao longo do rio. A Figura 44 apresenta a planta baixa da gruta Lapa dos Cascudos. O mapa topográfico elaborado pelo Grupo Bambuí (GBPE, 2004) em versão integral é apresentado no Anexo IV. A Figura 45 mostra a entrada de montante da gruta, vista a partir do interior.

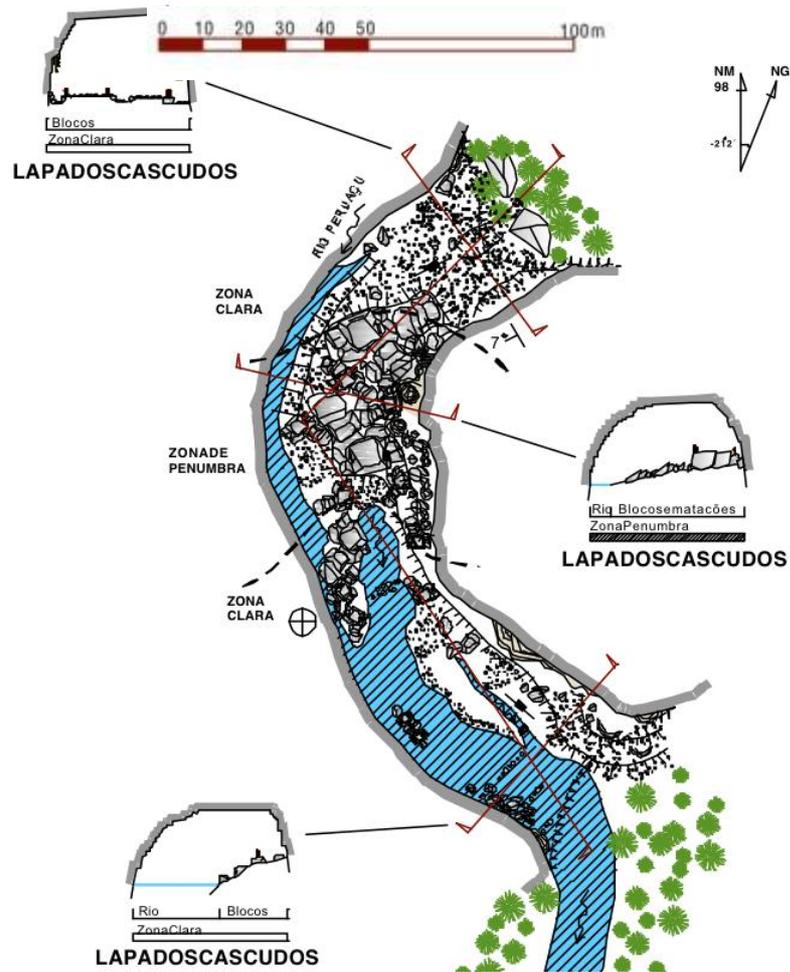


Figura 44. Planta baixa e seções da Lapa dos Cascudos. Modificado de GBPE (2004).

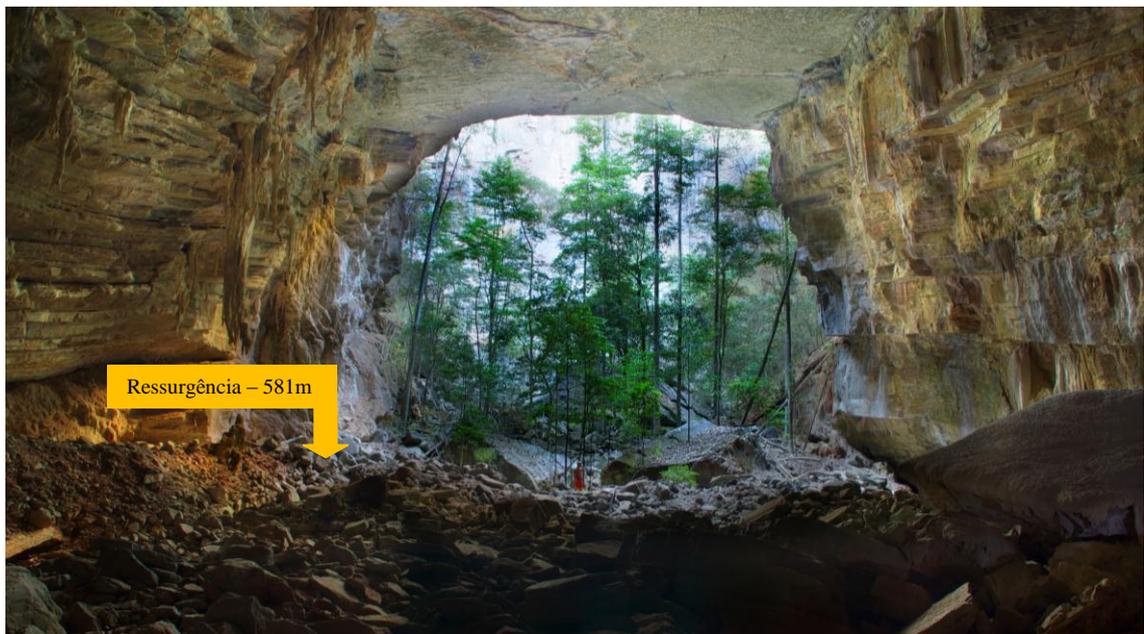


Figura 45. Entrada de montante da Lapa dos Cascudos. A seta indica a posição aproximada da ressurgência do Peruaçu.

A jusante da Lapa dos Cascudos, o rio flui por um pequeno trecho subaéreo (aproximadamente 150 m) até a gruta Troncos. A planta baixa e seções transversais dessa gruta podem ser observadas na Figura 46. O mapa topográfico (GBPE, 2004) em versão integral consta no Anexo IV. Nesse curto segmento, as margens são limitadas lateralmente por rampas de colúvio depositadas na base do escarpamento. Acima da entrada de montante da gruta Troncos, a escarpa da margem esquerda é descontínua, e o compartimento de topo dá lugar a um vale suspenso com aproximadamente 300 m de extensão e 70 m de largura. O vale faz uma curva de leste para sul e está alinhado paralelamente ao curso do rio (Ponto 32). A margem SE desse vale é formada por uma imponente torre residual, sob a qual se desenvolve parte da gruta Troncos (Ponto 33). Na extremidade sul, o vale suspenso se conecta novamente ao vale principal do Peruaçu, em sua margem esquerda, num trecho menos encaixado do cânion.

A gruta Troncos tem 180 m de extensão e possui conduto curvilíneo, alinhado aos eixos NNO-SSE (a montante) e SSO-NNE (a jusante). O teto tem forma tabular sub-horizontalizada, interrompida por degraus gerados pelo processo de incisão. Próximo à curva do conduto, houve colapso de teto na lateral sul, que culminou com a abertura de uma claraboia. A altura do teto varia de 15 a 22 m aproximadamente e a largura do conduto, entre 20 e 30 m.

O desnível do rio no interior da gruta é inferior a um metro e ocorrem expressivos depósitos de argila em ambas as margens. Depósitos de colapso se concentram no segmento central do conduto e próximos à claraboia.

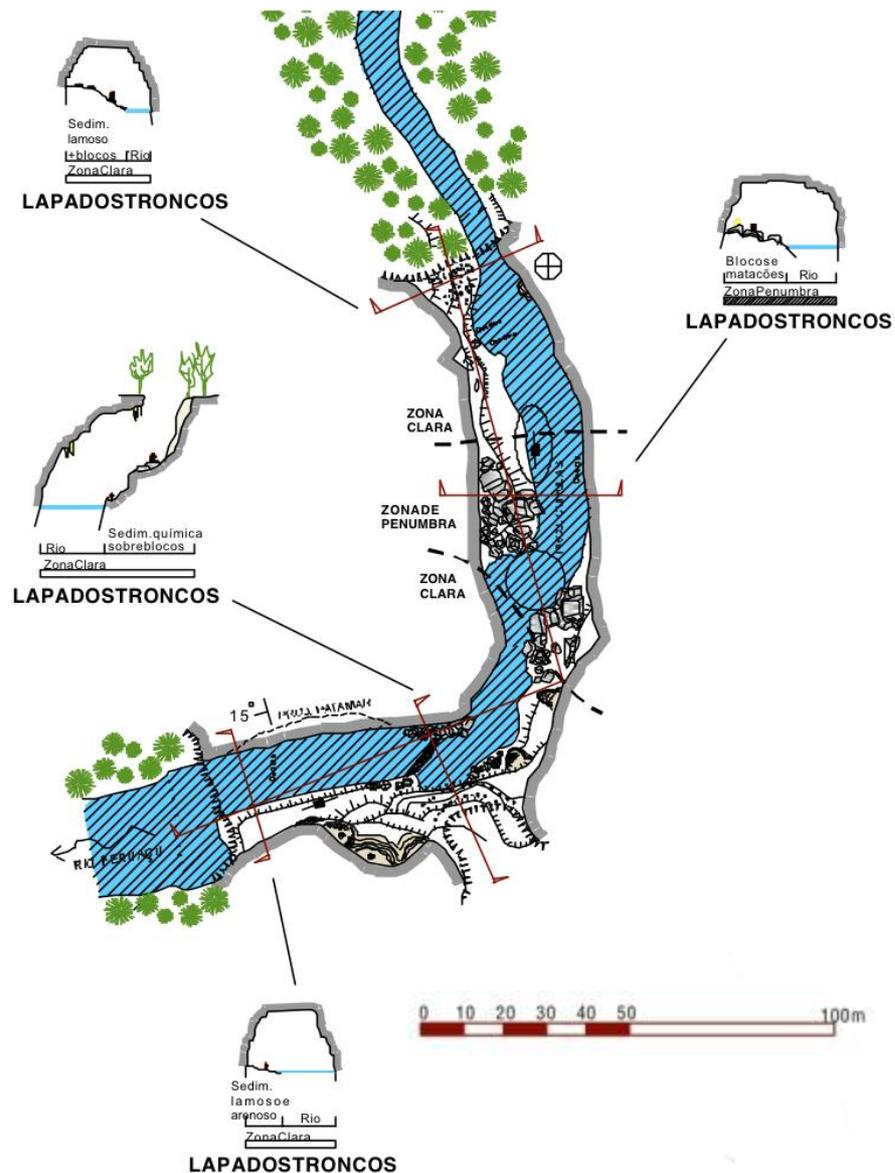


Figura 46. Planta baixa e seções da gruta Troncos. Modificado de GBPE (2004).

A partir da entrada de jusante (Figura 47), o cânion torna-se menos encaixado, com paredes laterais mais recuadas. O rio nessa entrada está na cota 580 m e percorre um longo trecho subaéreo até ser introduzido novamente no endocarste, através da monumental gruta do Janelão.



Figura 47. Ressurgência do rio Peruaçu na gruta Troncos, na cota 580 m.

6.6. Discussão sobre os aspectos morfológicos

A partir do detalhamento da morfologia, constata-se que o curso do rio Peruaçu no interior do cânion é fortemente afetado pela sedimentação clástica, em especial a resultante do colapso parcial do sistema subterrâneo pretérito. Ao longo do percurso entre as grutas Carlúcio e Troncos, o curso do rio teve que se ajustar a diversos bloqueios laterais, originados por rampas de material coluvionar depositadas nas bases das paredes do cânion. Esses sedimentos fizeram com que a calha do rio se ajustasse lateralmente, principalmente nos pontos em que as rampas de colúvio apresentam material de granulometria mais fina associado a blocos. Em alguns trechos, foram observadas obstruções parciais do curso principal, gerados por matacões depositados na calha, o que fez com que parte do fluxo fosse direcionado para as laterais.

Entulhamentos mais expressivos ao longo da calha, em geral associados a cones de colapso de teto, forçaram o rio a buscar rotas subterrâneas. Três grandes entulhamentos

foram identificados no segmento estudado: o primeiro na entrada de montante da gruta do Brejal; o segundo na Lapa da Onça; e o terceiro no Arco do André.

Esses entulhamentos são gerados por blocos e, em alguns casos, solo, que obstruem totalmente os condutos drenados pelo rio nessas cavidades. As cotas altimétricas dos pontos mais baixos dos topos dos cones de blocos são:

- Cone da entrada do Brejal – 650 m
- Cone da Lapa da Onça – 676 m
- Cone do Arco do André – 641 m

Esses cones de blocos foram os únicos pontos identificados, com capacidade (em função de sua forma e composição) de bloquear o curso do rio em caso de entupimento parcial ou total das rotas subterrâneas, fazendo com que o nível do rio se elevasse até os níveis das referidas cotas altimétricas.

No caso do cone de entrada do Brejal, a cota 650 m, medida em seu ponto mais baixo, é pouco superior ao nível de base do rio a montante, que corresponde a 647,5 m. No caso dos cones da Lapa da Onça e do Arco do André, a diferença altimétrica entre os topos e os níveis de base do rio são mais expressivas: 46 m na Lapa da Onça e 41 m no Arco do André.

O cone de blocos da Lapa da Onça é o primeiro bloqueio significativo ao fluxo superficial do rio no interior do cânion, capaz de elevar o nível do rio a cotas muito superiores às dos níveis de base. Nesse ponto, uma possível interrupção do fluxo subterrâneo por entupimento, ou a elevação súbita da vazão a níveis superiores à capacidade de escoamento pelas rotas subterrâneas, poderia causar o alagamento de todo o setor do cânion à montante desta gruta.

O cone de blocos do Arco do André é o segundo ponto de barramento. A retenção do fluxo nesse segmento elevaria o nível do rio até a cota de base do rio na entrada de montante da gruta Brejal.

A partir da Figura 16, é possível observar desníveis mais pronunciados nos trechos entulhados por blocos. Nesses trechos, a calha do rio apresenta relação desnível / comprimento (gradiente hidráulico) significativamente superior às observadas em ambiente subaéreo, ou mesmo no interior de cavernas. Os desníveis entre sumidouros e ressurgências nos segmentos onde o rio é drenado sob os cones de blocos chegam a ser 45 vezes superiores aos desníveis nos demais segmentos. Essa relação é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Relação entre desnível e comprimento linear da calha do rio Peruaçu.

Trecho de montante para jusante	Cota a montante (m)	Cota a jusante (m)	Comprimento linear do trecho em Projeção horizontal (m)	Desnível (m)	Desnível/comprimento (m/m)	Ambiente
Carlúcio–Sumidouro Brejal	652	647,5	210	4,5	2,1	subaéreo
Sumidouro–Ressurg. Brejal	647,5	637	290	10,5	3,6	sob blocos
Ressurg. Brejal–Entr. Jusante Brejal	637	635	880	2	0,2	subterrâneo
Entr. Jusante Brejal–Blocos prox. Ponto 20	635	635	120	0	0,0	subaéreo
Blocos prox. Ponto 20–Sumid. Lapa da Onça	635	630	190	5	2,6	sob blocos
Sumid. Lapa da Onça–Ressurg. Túnel do Vento	630	601	640	29	4,5	sob blocos
Ressurg. Túnel do Vento–Sumid. Arco do André	601	600	950	1	0,1	subaéreo
Sumid. Arco do André–Ressurg. Cascudos	600	581	470	19	4,0	sob blocos
Ressurg. Cascudos–Troncos	581	580	410	1	0,2	subterrâneo

* Comprimento linear em projeção horizontal

Nota-se que os segmentos que apresentam os maiores desníveis correspondem aos cones de blocos da Lapa da Onça e do Arco do André, com desníveis de 29 e 19 m de altura, respectivamente, entre seus pontos de montante e jusante.

Outro aspecto observado nos segmentos entulhados por blocos é o posicionamento das ressurgências nas paredes laterais do cânion ou das grutas. Na ressurgência no interior do Brejal, o rio está na lateral esquerda, na base do cone de blocos, junto à parede. A jusante da gruta Túnel do Vento, o rio ressurgue na base do cone de blocos, junto à parede esquerda do cânion e, na Lapa dos Cascudos, junto à parede direita do conduto. Isso pode

indicar que, na zona de contato entre os depósitos clásticos e as paredes do cânion, a porosidade é mais elevada que no interior dos depósitos clásticos.

7. EVIDÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E CRONOLOGIA

Foram encontrados dois tipos de evidências de elevação do rio Peruaçu:

1. Restos vegetais (troncos e galhos) – com dimensões, espessuras e formas variadas. O estado de conservação desses materiais também apresentou variações;
2. Marcas de nível d'água – caracterizadas pela alteração da coloração da superfície rochosa em paredes e teto, na forma de linhas ou faixas com continuidade lateral e em posição horizontal.

Não se sabe ao certo o tempo necessário para a decomposição de um tronco em ambiente subaéreo. No interior de grutas, estima-se, a partir de datações realizadas por Oliveira (2008) e no presente estudo, que troncos podem ser conservados por até 1.600 anos. Obviamente, esse tempo pode variar significativamente em função do tipo de vegetal e das condições climáticas.

A idade obtida por meio da datação de troncos pelo método de radiocarbono corresponde à da morte do vegetal e pode ser anterior ao alagamento responsável por seu transporte e deposição. Um vegetal depositado por flutuação no interior de uma gruta já poderia estar morto antes mesmo de ser transportado. É importante salientar que a deposição do material vegetal ocorreu no momento em que o nível d'água foi rebaixado. Outro aspecto que deve ser considerado é a possibilidade de reposicionamento de troncos depositados no interior das cavernas por cheias anteriores, durante um evento mais recente. Nesse caso, um tronco depositado em um ponto baixo após uma cheia, ou mesmo depositado próximo à margem do rio em condições de fluxo normal, pode ser recolocado em posição mais elevada em uma cheia mais recente. O contrário também pode ter ocorrido, ou seja, o tronco ser recolocado em uma posição inferior àquela em que foi inicialmente depositado. Esses fatores devem ser considerados, quando consideradas as idades obtidas pela datação dos troncos. Em resumo, as idades obtidas pela datação dos troncos constituem apenas um referencial cronológico para os eventos de alagamento, uma vez que podem estar associadas ao momento em que ocorreram os alagamentos, ou serem anteriores a eles.

As marcas de nível d'água impressas nas paredes das grutas podem estar associadas a momentos de estabilidade, em que o volume de água permaneceu inalterado por algum tempo. A marcação da superfície da rocha pode se dar pela precipitação de minerais, como a calcita, gipsita, ou mesmo hidróxido de ferro (Palmer, 2007). Nesses casos, a água deverá estar saturada desses minerais. As marcas também podem estar associadas à corrosão da rocha em superfície, quando a água que está em contato com a rocha é pouco saturada.

A seguir serão apresentadas as evidências de alagamento registradas em cada segmento analisado, assim como as idades obtidas pela datação de algumas amostras pelo método C¹⁴ (AMS).

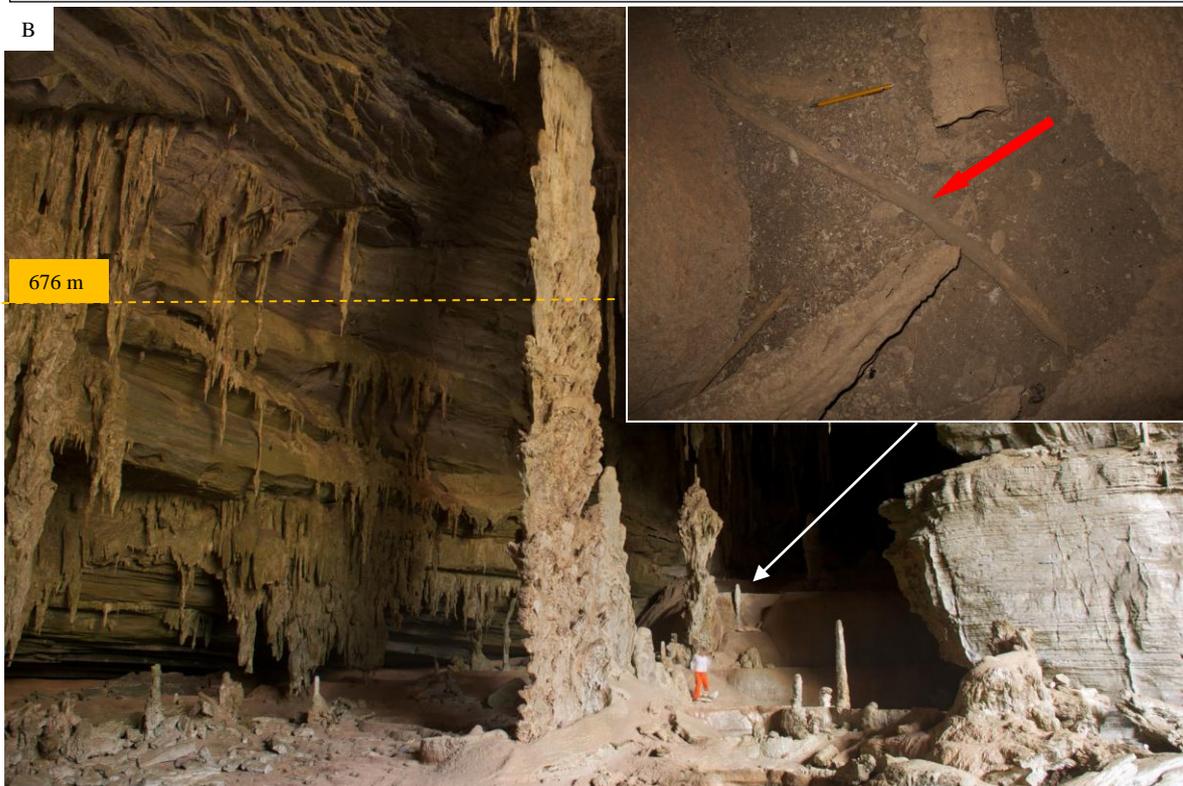
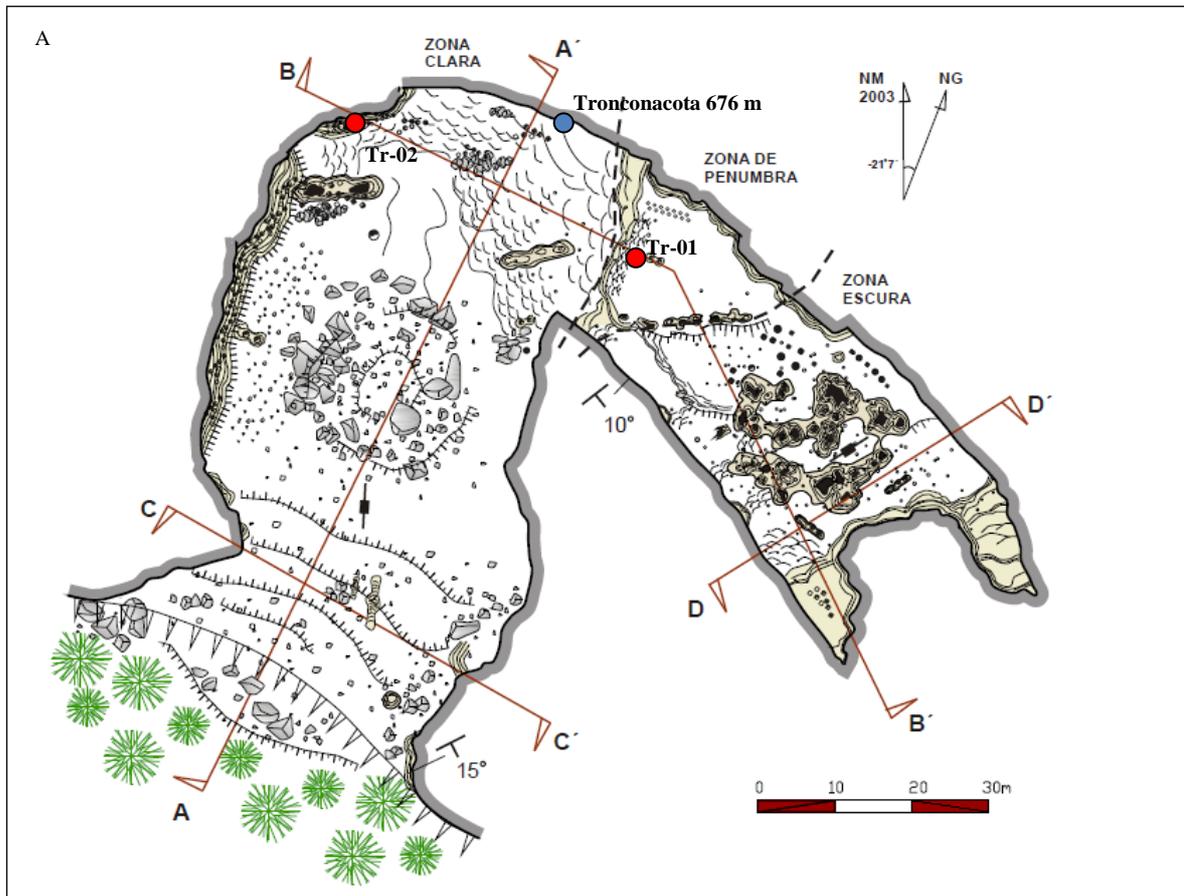
7.1. Segmento Carlúcio–Lapa da Onça

Gruta do Carlúcio: um grande número de fragmentos vegetais foi identificado no interior da gruta do Carlúcio. Alguns estão depositados no piso, ao longo do conduto principal, mas ocorrem diversos troncos em posição mais elevada, sobre espeleotemas e frestas nas paredes.

A possibilidade de introdução de parte desse material por ação antrópica não foi descartada, tendo em vista o histórico de ocupação humana no vale do Peruaçu. Em função disso, foram considerados relevantes à pesquisa troncos posicionados em locais pouco acessados, como no topo de alguns espeleotemas. Os troncos localizados no piso, onde é comum o acesso de pessoas, foram desconsiderados como evidências de alagamento, assim como troncos com sinais de carbonização.

A altura dos troncos registrados na gruta varia entre as cotas 668 e 676 m. Grande parte desses troncos se espalha pelo piso da gruta. Foram encontrados, também, troncos depositados no interior de represas de travertino e presos a espeleotemas em partes elevadas das paredes. Foram datadas duas amostras de troncos dessa caverna. A amostra Tr-01 foi coletada no interior de uma represa de travertino, na cota altimétrica 669 m. A idade obtida por meio de datação por radiocarbono foi de 340 ± 20 anos AP. A amostra Tr-02 foi coletada na parede oeste do conduto de entrada, na cota 672 m. A idade obtida é de 800 ± 20 anos AP. Na Figura 48, podem ser observados os locais onde se encontravam os troncos Tr-01 e Tr-02, além de sua posição na planta baixa da gruta (o mapa topográfico

(GBPE, 2004) em versão integral, consta no Anexo IV). Também está indicada a posição do tronco em posição mais elevada, correspondente à cota 676 m.



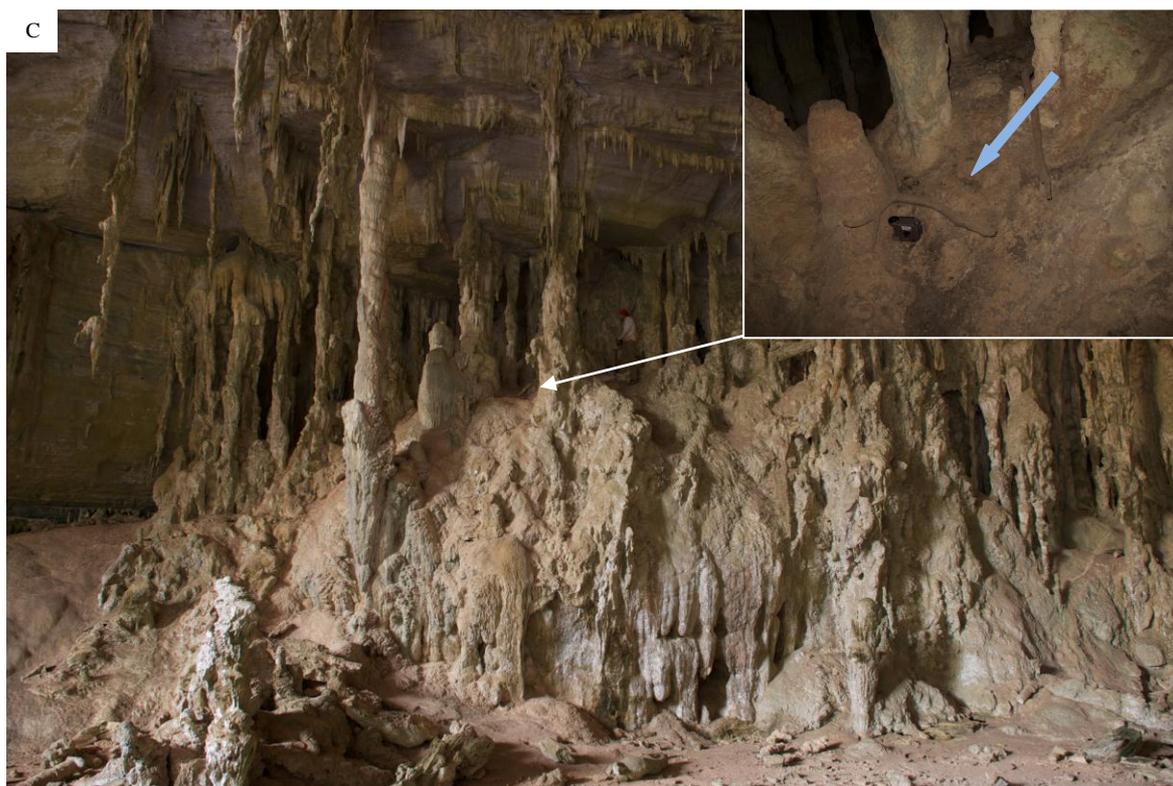


Figura 48. (A) Planta baixa da gruta do Carlúcio com a localização das amostras datadas (pontos vermelhos) e do tronco (ponto azul) em posição mais elevada (Modificado de GBPE, 2004). (B) Vista do interior da gruta do Carlúcio, represas de travertino estão no segundo plano (seta laranja). No detalhe acima à esquerda, a amostra Tr-01 (seta vermelha). A linha pontilhada indica o nível máximo de deposição na gruta, na cota 676 m. (C) Conjunto de espeleotemas na lateral esquerda do salão de entrada da gruta. No detalhe a amostra Tr-02 (seta azul). A seta indica a posição em que a amostra foi encontrada.

Oliveira (2008) apresentou um estudo detalhado sobre a presença de conchas de moluscos aquáticos e troncos no interior da gruta do Carlúcio. Segundo o estudo, a presença desses elementos pode ser explicada pelo alagamento da gruta, em função da elevação do rio Peruaçu. O piso elevado na entrada da gruta teria sido, segundo a autora, responsável pelo represamento da água no interior da gruta, mantendo-a alagada após o rebaixamento do nível do rio. Datações por ^{14}C de amostras de tronco e conchas indicaram as seguintes idades: (i) 1.610 ± 50 anos AP (tronco); (ii) 3.260 ± 50 anos AP (concha); e (iii) 9.650 ± 40 anos AP (concha). As conchas tiveram as idades obtidas pelo método ^{14}C calibradas por meio de datações $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de capeamentos de calcita que cobriam as amostras. O estudo de Oliveira (2008) aborda registros identificados até a cota de 19,6 m em relação ao nível do rio na entrada da gruta. Considerado o nível do rio na cota 654 m (de acordo com o levantamento topográfico aqui apresentado), os registros estudados por Oliveira (2008) estariam entre as cotas 665 (piso da gruta) e 674 m.

A altitude dos registros encontrados na gruta do Carlúcio não confirma a hipótese de que os alagamentos ali ocorridos sejam decorrentes do barramento do rio Peruaçu, pelo cone de blocos da entrada de montante da gruta do Brejal (Ferreira *et. al.*, (2003) e Oliveira (2008)). O levantamento topográfico demonstrou que esse cone de blocos tem capacidade de represamento até o nível da cota 650 m, que corresponde à parte mais rebaixada de seu topo.

No presente estudo, um tronco preso à parede da gruta atingiu a cota 676 m. Essa cota corresponde ao nível máximo de alagamento registrado em todo o seguimento de montante do cânion. Esse tronco (Figura 49) está 22 m acima do nível do rio, nesse segmento. Na posição em que se encontra o tronco, não foi possível sua coleta de modo seguro, sendo necessária a instalação de equipamentos de escalada e a devida autorização junto à gerência do Parque Nacional. Salienta-se que a cota 676 m corresponde à altura do topo do cone de blocos na gruta Lapa da Onça, o que corrobora a hipótese de que esse tenha sido o verdadeiro responsável pelo represamento do rio, causando a deposição dos troncos no interior da gruta do Carlúcio.

Em síntese, as idades dos registros de alagamento nesse segmento variam entre 340 ± 20 anos AP, da amostra Tr-01 e 9.650 ± 40 anos AP de uma concha (Oliveira, 2008).



Figura 49. Tronco posicionado na cota máxima de alagamento registrada no interior da gruta do Carlúcio (seta vermelha). A seta branca indica sua posição na parede na gruta.

Trecho entre as grutas Carlúcio e Brejal: as grutas Ossos I, II e III estão posicionadas em cotas altimétricas inferiores a 680 m. Essas grutas não apresentaram registros seguros de alagamento. Poucos restos vegetais foram identificados no interior dessas grutas, a maior parte desse material encontra-se no piso em locais de acesso (com marcas de pisoteio). Alguns troncos encontrados na gruta Ossos II apresentaram sinais de queima na extremidade, o que pode indicar que tenham sido introduzidos por pessoas (Figura 50). De modo conservador, os troncos encontrados nessas grutas não foram considerados registros de alagamentos.



Figura 50. Troncos parcialmente carbonizados no interior da gruta Ossos II.

Um terraço foi identificado em uma pequena gruta próxima à gruta do Carlúcio, na cota 658 m, quatro metros acima do nível atual do rio Peruaçu. É composto de sedimento areno-argiloso, com estratificações cruzadas e fragmentos de crosta ferruginosa. Está parcialmente recoberto e preenchido por calcita. A hipótese desse material ter sido depositado durante eventos de cheia foi descartada, em função da composição e das estruturas deposicionais observadas. Ele está aparentemente associado a um antigo nível de base do rio e constitui um depósito mais antigo, tendo sido apenas afetado pelos alagamentos (Figura 51).



Figura 51. Terraço identificado em uma pequena gruta próxima à gruta do Carlúcio. No detalhe acima à esquerda, é possível observar estruturas de deposição e fragmentos de couraça laterítica.

Gruta do Brejal: uma marca inicialmente interpretada como marca de nível d'água foi registrada na entrada de montante da gruta Brejal (Piló *et. al.*, 2005). Ela está posicionada na parede da margem esquerda do rio, próxima à base do cone de blocos, na cota altimétrica 650 m. A marca tem coloração marrom e é constituída por uma delgada camada de argila depositada na superfície da rocha. A altura dessa marca em relação ao piso da gruta é de aproximadamente 1,6 m. Fragmentos de um terraço fluvial composto por sedimento areno-argiloso de cor marrom avermelhada, seixos angulosos de calcário e crosta ferruginosa foram identificados no piso, logo abaixo da marca (Figura 52). Nesse

ponto da gruta, o piso de blocos está recoberto em alguns pontos por areia e argila, resultantes do desmonte desse terraço. É provável que a marca na parede seja resultante do contato com o terraço, hoje parcialmente erodido.

A sedimentação atual no interior da gruta é composta predominantemente por material de granulometria fina (silte e argila). Sedimento arenoso, ou mesmo cascalhos, são incipientes e quase não são observados ao longo da calha do rio no interior da gruta. Isso pode estar associado a um seccionamento exercido pelos blocos por entre os quais o rio flui antes de atingir o interior da gruta.

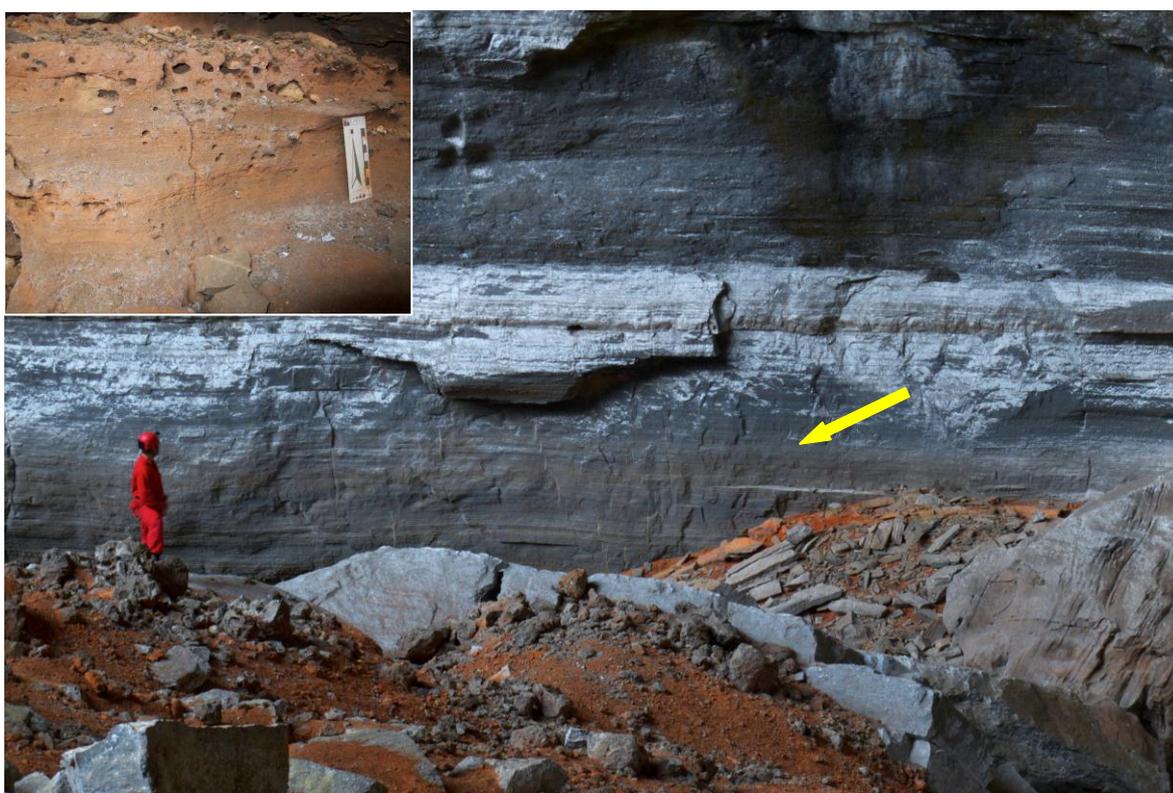


Figura 52. Provável marca deixada por um terraço fluvial depositado na lateral esquerda da gruta do Brejal, próximo à entrada de montante (seta amarela). O sedimento avermelhado no piso é resultante do desmonte desse terraço, que pode ser observado no detalhe acima à esquerda.

No interior da gruta, foram identificados pelo menos três sítios de deposição de troncos nas cotas 664 e 666 m. Esses troncos estão entre 27 e 29 m acima do nível atual do rio, no topo de um grande abatimento na lateral do conduto. Uma amostra coletada na cota 666 m apresentou idade de 750 ± 20 anos AP (Tr-03). Duas amostras anteriormente coletadas (Piló, comunicação verbal) na altura da cota 664 m, apresentaram idades de 510 ± 30 (Tr-04) e 390 ± 25 (Tr-05) anos AP (Figura 53).



Figura 53. Tronco depositado no interior da gruta do Brejal (no detalhe). A linha pontilhada indica o nível atingido pela água no momento da deposição do tronco.

Gruta Norim: a posição topográfica da entrada norte está abaixo do nível de alagamento registrado na gruta do Carlúcio. A gruta esteve certamente alagada no momento em que as grutas de montante (Brejal e Carlúcio) estiveram. Foram identificados troncos nessa entrada (Ponto 18 – cota 650 m, 21 m acima do nível de base atual). A possibilidade de deposição desse material por flutuação se mostrou bastante frágil, uma vez que a entrada está próxima das copas das árvores (Figura 27), podendo ter sido invadida pelos galhos, causando a deposição dos troncos por gravidade. Próximos à entrada oeste, no interior da gruta, foram encontrados troncos na base de uma rampa de colúvio. Esses vegetais, por motivos de precaução, não foram interpretados como registros de alagamento, pois podem ter entrado na gruta por gravidade.

Gruta Lapa da Onça: foi identificada uma marca de nível d'água na parede da gruta, em sua porção de montante. Essa marca (aqui denominada M-1) é bastante tênue e pode ser identificada em função da coloração ligeiramente mais clara da parede e parte do teto da gruta, onde esta foi impressa (Figura 54). Sua altura em relação ao piso da gruta é de 29 m, ou seja, está 36 m acima do nível atual do rio, na cota 666 m. A altura impossibilitou

uma análise mais detalhada de sua constituição. Não se sabe se foi gerada por deposição de minerais ou matéria orgânica, ou pela corrosão superficial da rocha, por água rica em CO_2 .



Figura 54. Marca de nível d'água(M-1) na gruta Lapa da Onça (seta).

Na lateral norte da gruta, foi identificado um tronco depositado sobre um depósito de matacões, encostado na parede. Esse tronco, ao contrário de vários outros encontrados ao redor, não pode ser introduzido na gruta por gravidade, e sim por flutuação. Encontra-se na cota altimétrica 662 m, 32 m acima do nível atual do rio Peruaçu nesse segmento (Figura 55).



Figura 55. Tronco depositado por flutuação no interior da gruta Lapa da Onça.

Conforme apresentado anteriormente, o cone de blocos da gruta Lapa da Onça bloqueia totalmente o conduto, impossibilitando qualquer tipo de escoamento superficial até a cota altimétrica 676 m. O cânion, desde seu setor de montante até esse ponto, não possui áreas arrasadas com altitude inferior a essa cota altimétrica em nenhuma das laterais. Isso permite afirmar que os alagamentos responsáveis pela deposição de troncos ou marcação das paredes no interior das grutas Carlúcio (cota máxima 676 m), Brejal (cota máxima 666 m) e Lapa da Onça (cota máxima 666 m) foram decorrentes do bloqueio causado pelo cone de blocos da gruta Lapa da Onça. Esses alagamentos, a partir das evidências deixadas, atingiram em seu nível máximo a cota 676 m, gerando um lago com 46 m de profundidade na parte de jusante (Figura 56). Esse nível corresponde à posição do tronco mais elevado identificado no interior da gruta do Carlúcio e corresponde à altura mínima do topo do cone de blocos da Lapa da Onça. A elevação do nível do rio até essa cota deixou a gruta do Carlúcio parcialmente alagada. As grutas Ossos I, II e III e Brejal ficaram submersas.

A cota 666 m relativa à marca M-1 corresponde à altura máxima dos troncos identificados na gruta do Brejal. Um alagamento até esse nível não atingiria a gruta do Carlúcio.

PERFIL ESQUEMÁTICO DO TRECHO ENTRE AS GRUTAS CARLÚCIO E TRONCOS - PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

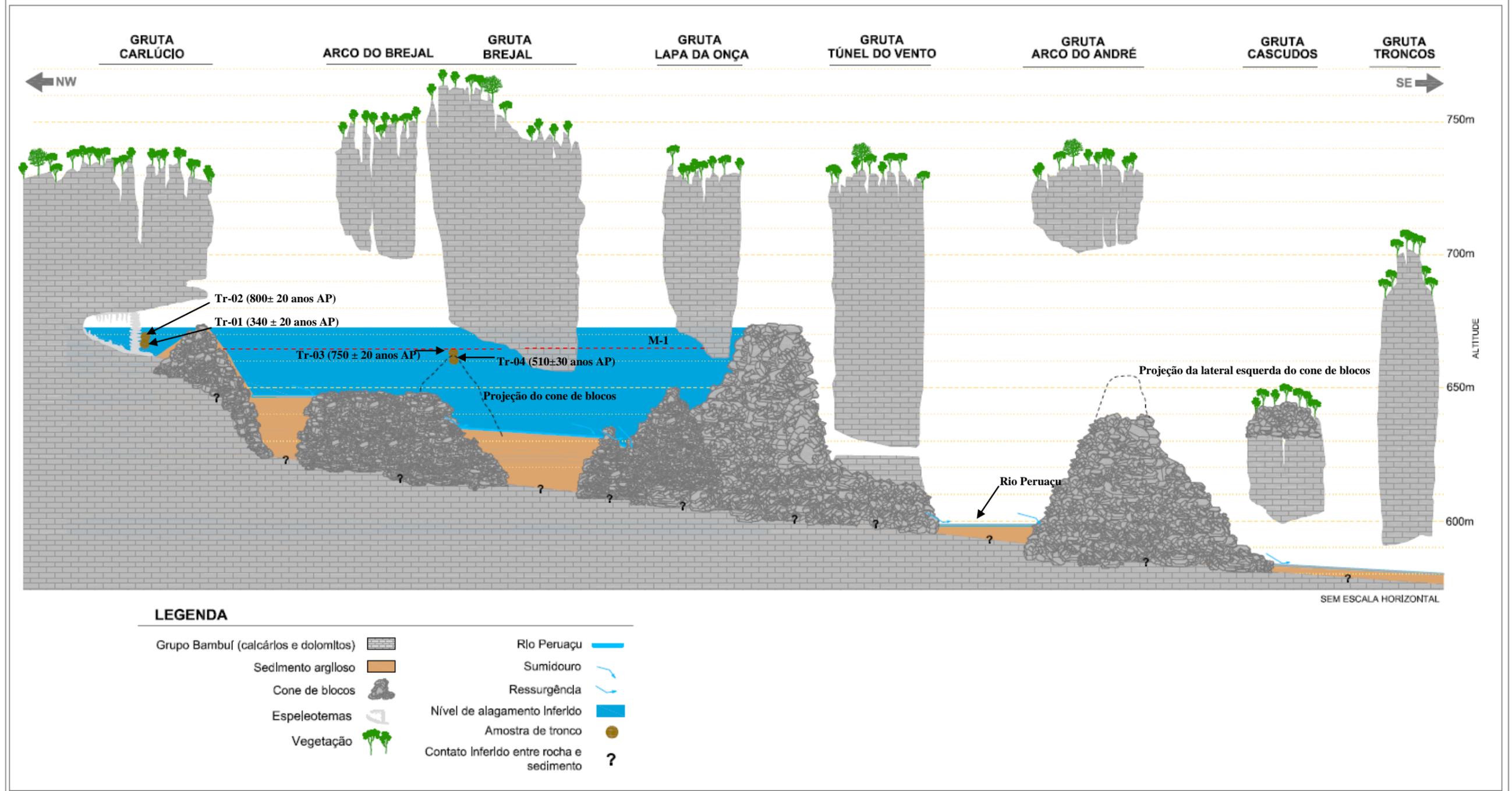


Figura 56. Perfil esquemático da área de estudo, com indicação do nível máximo de alagamento do setor de montante. A posição dos troncos datados é indicada com círculos marrons. O nível de alagamento máximo atinge a cota 676 m. A cota relativa à marca M-1 é indicada com a linha tracejada vermelha.

De acordo com as idades obtidas com troncos das grutas Carlúcio e Brejal, observa-se que o nível do rio foi elevado em diferentes momentos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Cronologia e altitude dos registros de alagamento identificados no setor de montante do cânion.

Gruta	Amostra	Cota	Idade
Carlúcio	Tr-01	669 m	340 ± 20 AP
	Tr-02	672 m	800 ± 20 AP
	F-03*	673 m	1.610 ± 50 AP
Brejal	Tr-03	666 m	750 ± 20 AP
	Tr-04**	664 m	510 ± 30 AP
	Tr-05**	664 m	390 ± 25 AP

* Amostra de tronco datada por Oliveira (2008); ** amostras datadas por Piló (comunicação verbal).

Uma vez que as datas acima se referem à da morte do vegetal, não se descarta a hipótese de que idades próximas estejam relacionadas a um mesmo evento de deposição. Desse modo, é possível que os troncos Tr-01 e Tr-05 nas grutas Carlúcio e Brejal tenham sido depositados em decorrência de um evento ocorrido há, no máximo, 340 ou 390 anos AP. Os troncos Tr-02 e Tr-03, por sua vez, podem estar relacionados a um evento anterior, ocorrido há, no máximo, 750 ou 800 anos AP.

A relação entre a altimetria e as idades das amostras não possibilita identificar diferentes eventos. Elas podem refletir o reposicionamento de troncos depositados durante eventos mais antigos, por cheias mais recentes. Esse parece ser o caso do tronco TR-04 (510 ± 30 anos AP), que possivelmente já se encontrava no interior da gruta do Brejal (na cota 664 m), quando foram depositados os troncos Tr-01 (340 ± 20 anos AP – cota 669 m) no Carlúcio e Tr-05 (390 ± 25 anos AP – cota 664 m) no Brejal. O mesmo parece ter ocorrido com o tronco F-03 (1.610 ± 50 anos AP – cota 673 m) que, aparentemente, foi depositado na gruta do Carlúcio em um evento anterior à cheia que depositou os troncos Tr-02 (800 ± 20 anos AP – cota 672 m) na mesma gruta e Tr-03 (750 ± 20 anos AP – cota 666 m) no Brejal. Deve-se lembrar que, devido ao cone de sedimento na entrada dessa gruta, parte da água ficaria represada no interior da gruta após o rebaixamento do nível externo. O que, segundo Oliveira (2008), foi responsável pelo aprisionamento de grande quantidade de material orgânico introduzido na gruta pelos alagamentos.

A marca de nível d'água M-1 indica que o nível da água possivelmente se manteve estável na cota 666 m por tempo suficiente para que a coloração da parede fosse alterada.

Apesar dessa cota altimétrica corresponder à mesma cota da amostra Tr-03, não se pode afirmar que a idade dessa última (750 ± 20 anos AP) seja a mesma em que a parede da Lapa da Onça foi marcada.

7.2. Segmento Lapa da Onça–Arco do André

Gruta Túnel do Vento: foram identificados sete sítios de deposição de troncos no interior da gruta, em geral sobre espeleotemas e reentrâncias (Figura 57). A cota altimétrica desses troncos varia de 624 a 634 m. Esses troncos estão entre 23 e 33 m acima do nível do rio Peruaçu nesse seguimento.

Em relação ao topo do cone de blocos de jusante da gruta Arco do André (cota 641 m), esses troncos encontram-se entre sete e 17 m abaixo, e foram depositados em decorrência do estrangulamento do fluxo do rio nessa gruta.



Figura 57. Troncos depositados sobre espeleotema no interior da gruta Túnel do Vento (setas).

Gruta Arco do André: no interior da gruta Arco do André, foi encontrada grande quantidade de troncos, depositados em locais que não poderiam chegar por gravidade. Foram registrados nove sítios de deposição, oito dos quais localizados no conduto central da gruta. A maior parte encontra-se no piso, mas foram identificados troncos aprisionados em fendas na parede ou no interior de frestas existentes em espeleotemas (Figura 58). Quatro amostras de troncos (Tr-06, Tr-07, Tr-08 e Tr-09) foram coletadas e datadas: as idades obtidas constam na Tabela 4.



Figura 58. Troncos depositados no interior da gruta Arco do André (indicados com setas): (A) em reentrância no interior de um espeleotema; (B) Tr-08 e Tr-09; (C) Tr-06; e (D) Tr-07 preso em uma fenda na parede da gruta.

Além dos troncos, foram registradas duas marcas de nível d'água impressas nas paredes da gruta. Uma dessas marcas já havia sido identificada em trabalhos anteriores (Piló *et. al.* 2005). Essa marca (denominada “M-2”) está posicionada na parede oeste do conduto leste da gruta e encontra-se na cota 641 m, 41 m acima do nível atual do rio, nesse segmento. A segunda marca (denominada M-3) foi identificada na confluência da parede sul do conduto central e o conduto leste. A marca está posicionada na cota altimétrica 653 m, 53 m acima do nível atual do rio Peruaçu (Figura 59).

A marca M-2 é formada por uma delgada camada de coloração branca (provavelmente composta por calcita), que recobre a superfície da rocha e de alguns espeleotemas depositados na parede. Está mais visível no trecho de confluência entre os condutos leste e central. A marca M-3 está em posição muito elevada em relação ao piso da gruta, o que impediu uma observação detalhada. Trata-se de uma marca bastante discreta, que tornou a coloração da parede ligeiramente mais clara nos locais atingidos pela água.



Figura 59. Marcas de nível d'água identificadas na gruta Arco do André: (A) marca M-2 indicada com seta vermelha; (B) marca M-3 (seta azul); e (C) vista panorâmica da gruta com a posição das duas marcas indicadas pelas setas. As linhas tracejadas indicam os níveis atingidos pelas águas do rio. O círculo amarelo indica a escala humana (Fotografia: Luciana Alt).

Na Figura 60, é possível observar a distribuição dos sítios deposicionais, bem como a localização dos troncos amostrados e as marcas de nível d'água.

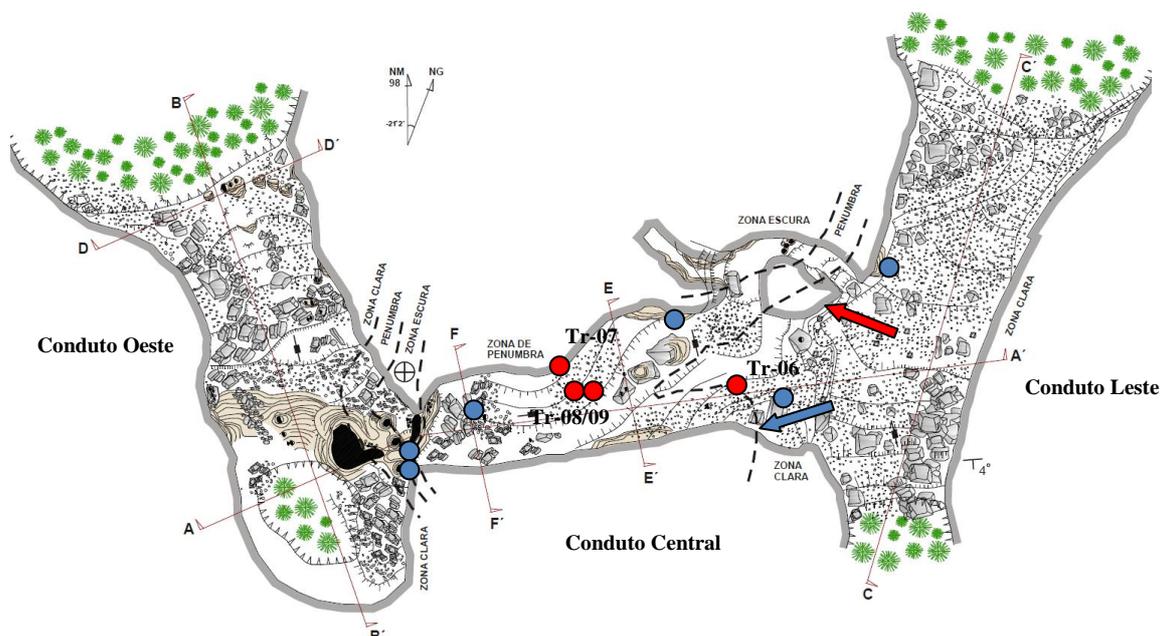


Figura 60. Sítios de deposição de troncos (por flutuação) na gruta Arco do André (círculos azuis) e troncos amostrados (círculos vermelhos). A seta azul indica a posição aproximada da marca de nível d'água M-2. A posição da marca M-3 é indicada com seta vermelha.

As idades obtidas com a datação dos troncos (Tabela 4) indicam a ocorrência de pelo menos três momentos de deposição desse tipo de material na gruta. O primeiro, no máximo há 1.590 ± 20 anos AP (Tr-07), o segundo no máximo há 1.380 ± 20 AP (Tr-06) e o último bem recentemente, por volta de 100 e 140 anos atrás (Tr-08 e Tr-09). A diferença de aproximadamente 210 anos entre as amostras Tr-06 e Tr-07 é um período relativamente curto, considerando-se que esses troncos foram preservados por aproximadamente 1.600 anos no interior da gruta, como é o caso da amostra Tr-07.

Tabela 4. Cronologia e altitude dos registros de alagamento identificados na gruta Arco do André.

Gruta	Registro	Cota	Idade
Arco do André	Tr-06	646 m	1.380 ± 20 AP
	Tr-07	645 m	1.590 ± 20 AP
	Tr-08	640 m	140 ± 25 AP
	Tr-09	640 m	100 ± 25 AP

Um ponto que chama a atenção quando se correlaciona as idades obtidas com a altimetria dos vestígios é o fato de que os troncos mais recentes estão em posição mais rebaixada que o mais antigos. É possível observar que nenhum dos troncos mais novos (Tr-

08 e Tr-09) está acima da cota da marca M-02 (641 m), enquanto que os troncos Tr-06 e Tr-07 mais antigos estão acima dessa marca e abaixo da marca M-03 (653 m).

Comparando-se a altura das marcas com os dois níveis de topo do cone de blocos de jusante da gruta (o único nesse segmento capaz de barrar as águas do rio), nota-se que a marca M-02 está bem próxima ao nível mais baixo do topo do cone, que é 641 m (lateral direita). Essa é a maior altura de represamento possível nos dias atuais. A marca M-03 encontra-se bem acima desse nível e abaixo do nível mais alto do topo do cone. O represamento das águas do rio Peruaçu até esse nível não é mais possível nos dias atuais. Na lateral esquerda do topo do cone de blocos, existe um nível mais elevado que atinge a cota 654 m. É bastante provável que esse nível represente o antigo nível de base do topo do cone de blocos, responsável pelo represamento que depositou os troncos Tr-06 e Tr-07. Isso implica dizer que foi erodido um depósito de blocos e provavelmente solo, com pelo menos 12 m de altura entre no máximo 1.380 anos atrás e os dias de hoje.

Os alagamentos do Arco do André deixaram a gruta Túnel do Vento submersa. Esses alagamentos foram responsáveis pela deposição dos troncos ali encontrados.

O perfil esquemático contendo a indicação da posição das amostras datadas e o nível do alagamento é apresentado na Figura 61.

PERFIL ESQUEMÁTICO DO TRECHO ENTRE AS GRUTAS CARLÚCIO E TRONCOS - PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

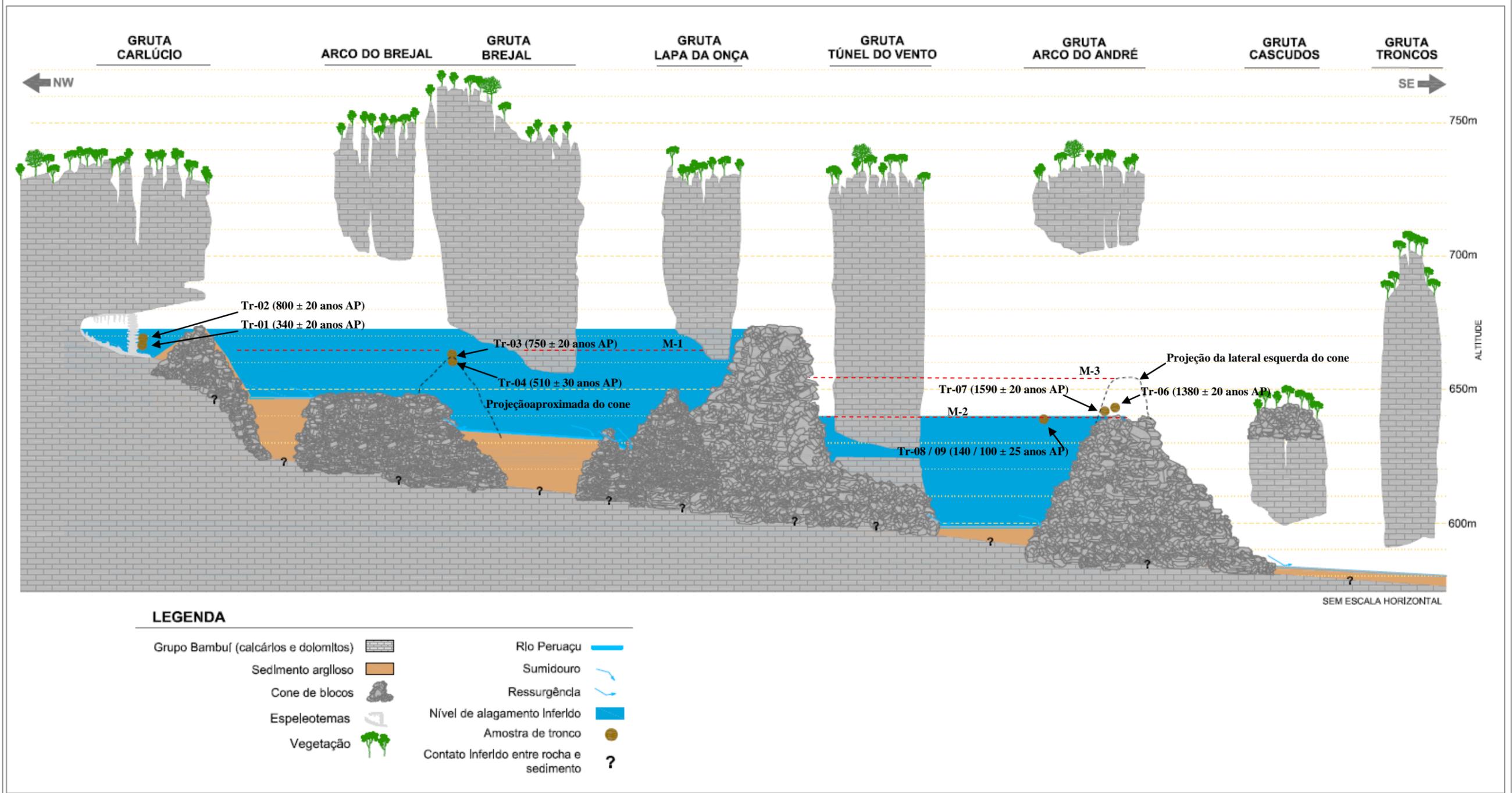


Figura 61. Perfil esquemático da área de estudo com a posição dos registros de alagamento e os níveis de alagamento nos segmentos Carlúcio–Lapa da Onça e Lapa da Onça–Arco do André. A linha tracejada em vermelho corresponde ao nível de alagamento responsável pela impressão das marcas de nível d’água M-01, M-2 e M-3.

7.3. Segmento Arco do André–Troncos

Não foram identificados troncos ou restos vegetais que indicassem deposição por flutuação no interior das grutas Cascudos e Troncos. Como pode ser observado no perfil topográfico, sintetizado na Figura 61, essas grutas não seriam afetadas diretamente pelo barramento do Arco do André. A ausência de vestígios vegetais não quer dizer que essas grutas não tenham, ao longo de sua longa história evolutiva, sido afetadas por alagamentos. Alagamentos mais antigos podem ter ocorrido e o material orgânico não ter se preservado até os dias atuais. Para que esse setor do cânion fosse alagado, seria necessária a retenção do fluxo na gruta do Janelão, a única drenada pelo rio a jusante.

Um terraço composto por sedimento predominantemente argiloso, com estruturas de acamamento sub-horizontal foi identificado próximo à curva principal da gruta Troncos (Figura 62). Diferentemente do terraço identificado nas proximidades da gruta do Carlúcio, constituído por material mais grosseiro (areia e pequenos seixos), a composição desse terraço é mais próxima da observada nos sedimentos fluviais depositados ao longo do rio, principalmente após sua passagem pelo primeiro cone de blocos da gruta Brejal. Isso indica que ocorre uma filtragem dos sedimentos fluviais naquele setor do cânion. Esse e outros depósitos identificados ao longo deste trabalho constituem importantes fontes de informação sobre a evolução do cânion.

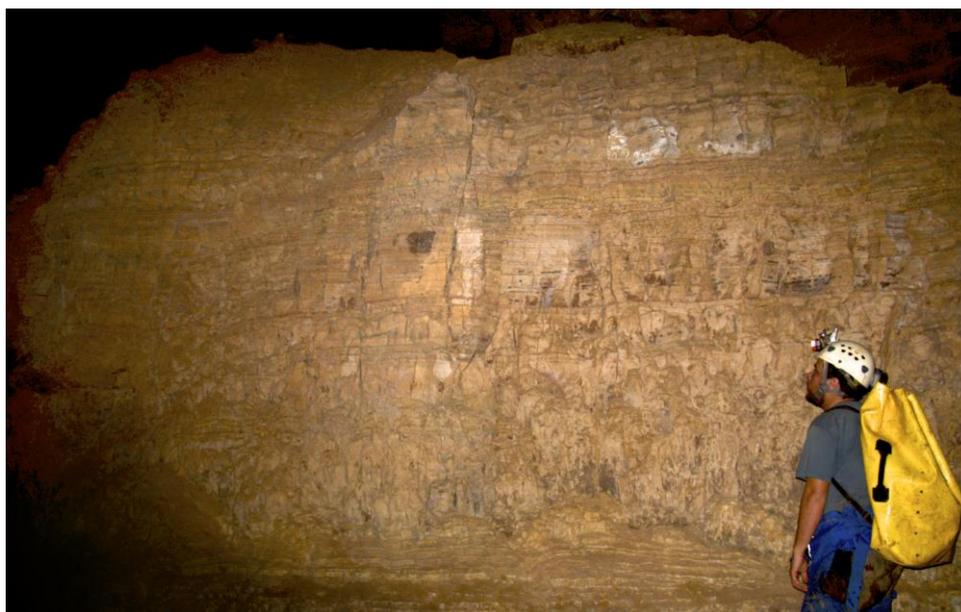


Figura 62. Terraço argiloso depositado em um patamar da gruta Troncos.

7.4. Discussão sobre as evidências de alagamento

A listagem completa dos vestígios de alagamento registrados ao longo da pesquisa é apresentada na Tabela 5. Também consta nessa tabela a posição altimétrica e o desnível existente entre os vestígios e nível de base atual, representado pelo rio Peruaçu. Os vestígios se concentram nos segmentos: Carlúcio–Lapa da Onça e Lapa da Onça–Arco do André. No segmento de jusante, que abrange as grutas Cascudos e Troncos, não foram identificados restos vegetais com indícios de terem sido depositados por flutuação. O terraço fluvial identificado na gruta Troncos não foi interpretado como um vestígio de alagamento. Assim como o terraço identificado próximo à gruta do Carlúcio, ele está aparentemente associado a um antigo nível de base do rio.

Tabela 5. Registros de alagamento identificados na área de estudo, sua altitude e correlação altimétrica com o rio Peruaçu.

Gruta	Evidência de alagamento	Cota altimétrica (m)	Cota atual do rio no ponto mais próximo (m)	Altura em relação ao nível atual do rio Peruaçu (m)
Carlúcio	Tronco (base B99)	676	654	22
Carlúcio	Tronco (base B100)	674	654	20
Carlúcio	Tronco Tr-01 (340 ± 20 AP)	669	654	15
Carlúcio	Tronco (base B101)	669	654	15
Carlúcio	Tronco Tr-02 (800 ± 20 AP)	672	654	18
Carlúcio	Tronco F-03 (1.610 ± 50 AP)*	673	654	19
Brejal	Tronco Tr-03 (750 ± 20 AP)	666	637	29
Brejal	Tronco Tr-04 (510 ± 30 AP)	664	637	27
Brejal	Tronco Tr-05 (390 ± 25 AP)	664	637	27
Norim	Tronco (base B46.1)	650	630	20
Lapa da Onça	Tronco (base B36.5)	662	630	32
Lapa da Onça	Marca M-1	666	630	36
Túnel do Vento	Tronco (base B30.2)	627	601	26
Túnel do Vento	Tronco (base B30.4)	631	601	30
Túnel do Vento	Tronco (base B30.5)	624	601	23
Túnel do Vento	Tronco (base B30.6)	626	601	25
Túnel do Vento	Tronco (base B30.8)	631	601	30

Gruta	Evidência de alagamento	Cota altimétrica (m)	Cota atual do rio no ponto mais próximo (m)	Altura em relação ao nível atual do rio Peruaçu (m)
Vento				
Túnel do Vento	Tronco (base B30.9)	631	601	30
Túnel do Vento	Tronco (base B30.10)	634	601	33
Arco do André	Marca M-2	641	600	41
Arco do André	Marca M-3	653	600	53
Arco do André	Tronco Tr-07 (1.590 ± 20 AP)	645	600	45
Arco do André	Tronco (base B2.1)	647	600	47
Arco do André	Tronco Tr-06 (1.380 ± 20 AP)	646	600	46
Arco do André	Troncos Tr-08 e Tr-09 (100 e 140 ± 25 AP)	640	600	40
Arco do André	Tronco (base B2.5)	647	600	47
Arco do André	Tronco (base B2.7)	647	600	47
Arco do André	Tronco (base B2.9)	641	600	41
Arco do André	Tronco (base B3)	649	600	49
Arco do André	Tronco (base B5.2)	617	600	17

* - Amostra coletada e datada por Oliveira (2008)

O rio Peruaçu, antes de atingir o Arco do André, passa por diversos bloqueios gerados pelos cones de blocos descritos ao longo deste trabalho. Isso deve ser levado em conta quando se analisa as possíveis causas de um alagamento capaz de elevar o nível do rio Peruaçu em até a cota + 53 m (nível da marca M-3). O cone de blocos da gruta Lapa da Onça, no entanto, constitui a primeira grande barreira ao fluxo superficial. Segundo os registros identificados, esse barramento foi o responsável pela elevação do nível do rio a montante até a cota 676 m.

Entupimentos das rotas subterrâneas são comuns em sistemas cársticos e podem ocorrer em função do acúmulo de sedimentos de granulometria fina, como argila, silte e areia em condutos ou entre depósitos sedimentares originados de colapso do endocarste, em geral compostos por matacões. Os efeitos gerados por esses entupimentos são diversos e capazes de alterar significativamente a rota de drenagem, assim como a própria morfologia do sistema subterrâneo, como alargamento dos condutos ou a criação de novas rotas de escoamento. Estudos detalhados sobre o tema são apresentados por Palmer (2007).

Os alagamentos aqui analisados podem estar relacionados a entupimentos ocorridos no sumidouro da Lapa da Onça e no Arco do André. Entupimentos também podem ter ocorrido em outros locais, e certamente ocorreram, mas no segmento estudado, nenhum atingiu tal magnitude. Outra possível causa para esses alagamentos é a elevação significativa da vazão do rio em função do aumento da pluviosidade. Nesse caso, deve-se levar em conta que o rio Peruaçu é uma drenagem com recarga alogênica, com uma ampla bacia superficial, com área de aproximadamente 113.000 hectares a montante do cânion cárstico. Também é possível que entupimentos e aumentos de vazão tenham ocorrido de modo simultâneo, ou seja, que a rota subterrânea em uma ou outra gruta estivesse entupida durante períodos de alta pluviosidade, ou eventos de pluviosidade extrema.

A partir dos dados cronológicos, é possível verificar que o aporte de material vegetal para o interior das grutas em ambos os segmentos encontra-se numa faixa temporal que abrange desde, no máximo, 1.600 anos atrás (amostras F-03 e Tr-07), até 100 anos (amostra Tr-09), aproximadamente. Agrupando-se as idades mais próximas entre si, nota-se que, com exceção de F-03 e Tr-07 (Gr-01), todos os demais troncos com idades próximas encontram-se na mesma gruta (Tabela 6). Os dados cronológicos não permitiram afirmar que esses troncos foram depositados durante um mesmo evento. No entanto, a hipótese não deve ser descartada (tendo em vista a curta duração de um tronco em ambiente subaéreo), uma vez que os intervalos de tempo entre os grupos (entre aproximadamente 100 e 600 anos) são bastante superiores àqueles observados entre os registros de um mesmo grupo (inferiores a 50 anos).

Tabela 6. Agrupamento dos registros em função da proximidade de suas idades. Nota-se que ocorrem intervalos mais longos (de 100 a 600 anos) entre os grupos que aqueles observados entre os registros de um mesmo grupo (máximo 50 anos).

Grupo	Amostras	Idade máxima	Local do barramento	Intervalo aprox. entre os eventos
Gr-01	F-03	Entre 1.590 ± 20 AP	Lapa da Onça	+/- 200 anos
	Tr-07	e 1.610 ± 50 AP	Arco do André	
Gr-02	Tr-06	1.380 ± 20 AP	Arco do André	+/- 600 anos
Gr-03	Tr-03	Entre 750 ± 20 AP	Lapa da Onça	
	Tr-02	e 800 ± 20 AP	Lapa da Onça	+/- 300 anos
Gr-04	Tr-04	510 ± 30 AP	Lapa da Onça	+/- 150 anos
Gr-05	Tr-01	340 ± 20 AP	Lapa da Onça	
	Tr-05	390 ± 25 AP	Lapa da Onça	+/- 300 anos
Gr-06	Tr-09	100 ± 25 AP	Arco do André	
	Tr-08	140 ± 25 AP	Arco do André	

Não deve ser descartada a possibilidade das amostras F-03 (1.610 ± 50 anos AP) coletada na gruta do Carlúcio e Tr-07 (1.590 ± 20 anos AP), coletada no Arco do André, terem sido depositadas durante um mesmo evento. Para que isso ocorresse, seria necessário o extravasamento do rio Peruaçu para acima da cota 676 m (no cone da Lapa da Onça) e retenção do fluxo no Arco do André até a cota 641 m. Isso implica dizer que, ou os dois sumidouros estavam entupidos, ou as chuvas foram suficientes para elevar o fluxo do rio a uma vazão acima da capacidade de drenagem dos dois sumidouros. Nesse caso, uma possibilidade não descarta a outra, ou seja, a elevação do fluxo do rio pode também ter ocorrido no momento em que os dois sumidouros estavam bloqueados.

Também deve ser considerada a contribuição da bacia que abrange o segmento entre a Lapa da Onça e o Arco do André. Não se sabe se apenas o volume de água captado por essa bacia (considerando o aporte de águas subterrâneas, tendo em vista que se trata de um aquífero cárstico) seria suficiente para elevar o nível do rio até a cota 653 m no Arco do André, caso o fluxo superficial do rio estivesse completamente bloqueado na Lapa da Onça.

A Figura 63 apresenta a área total ocupada pelo alagamento até a cota 676 m, a partir de montante da Lapa da Onça e até a cota 653 m, entre esta e o Arco do André. Como é possível observar na figura, o alagamento até a cota 676 m afetou uma grande área a montante do cânion cárstico. As grutas Túnel do Vento, Lapa da Onça, Norim, Brejal, Carlúcio e Ossos I, II e III foram atingidas pelas águas ao longo dos dois segmentos. As grutas Desprezo e Caboclo aparentemente não foram afetadas. Ressalta-se que essas duas grutas não foram incorporadas ao perfil topográfico, sendo essa interpretação feita a partir das curvas de nível disponíveis em ortofotocartas (1:10.000).

A área total de alagamento corresponde a aproximadamente 340 hectares, sendo 309 hectares a montante da Lapa da Onça e 31 hectares entre essa e o Arco do André. Os volumes superficiais das áreas ocupadas pelos alagamentos nos dois segmentos equivalem a aproximadamente $290.243.000 \text{ m}^3$ (a montante da Lapa da Onça) e $33.642.000 \text{ m}^3$ (entre a Lapa da Onça e Arco do André).

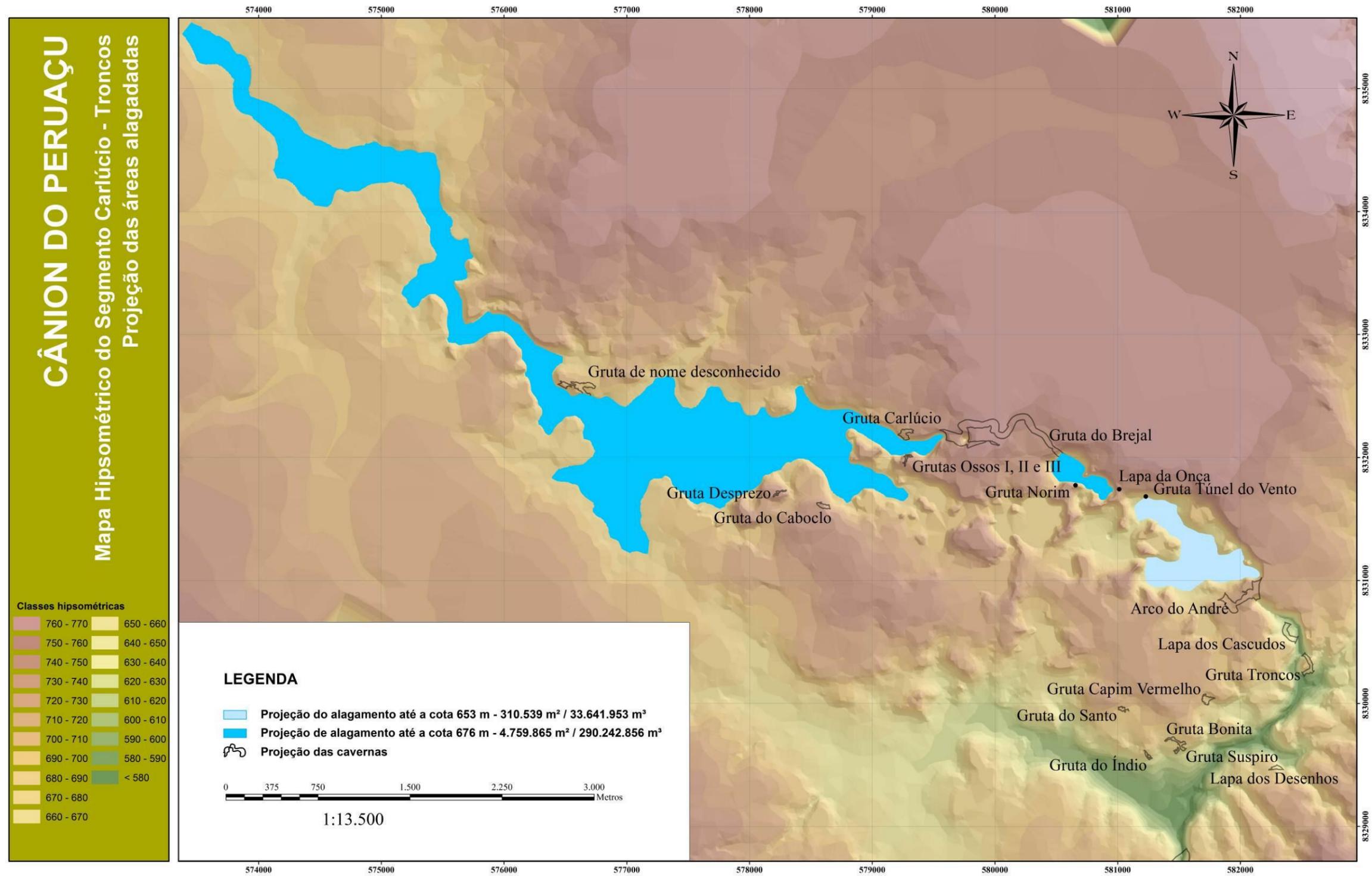


Figura 63. Mapa hipsométrico da área de estudo com indicação das áreas atingidas pelos alagamentos.

8. CONCLUSÕES

A utilização do perfil topográfico se mostrou um método bastante eficaz no estudo das relações altimétricas entre as feições morfológicas e deposicionais do cânion com os registros de alagamento. Datações radiocarbônicas balizaram esses registros. Seguem as conclusões e interpretações da pesquisa.

► Por meio do perfil e das avaliações de campo, foi possível identificar dois pontos de barramento do rio Peruaçu no setor estudado do cânion. Os dois barramentos foram gerados por grandes cones de abatimento, capazes de elevar significativamente o nível do rio em função de entupimento ou aumentos expressivos de vazão, causados por eventos pluviométricos extremos. O primeiro ponto de barramento, de montante para jusante, encontra-se na Lapa da Onça e gerou alagamentos onde o nível máximo do rio atingiu a cota altimétrica 676 m (46 m acima do nível atual do rio naquele setor). Durante esse evento, a gruta do Brejal esteve completamente submersa. O barramento na Lapa da Onça foi também o responsável pelos alagamentos ocorridos na gruta do Carlúcio. As grutas Ossos I e II estão abaixo da cota 680 m e também foram atingidas por alagamentos. O segundo ponto de barramento encontra-se no Arco do André. A altura máxima dos alagamentos desse setor atingiu a cota 653 m, o que corresponde a uma elevação de 53 m em relação ao nível atual do rio Peruaçu. O segmento a jusante do Arco do André dentro da área estudada, que compreende a Lapa dos Cascudos e a gruta Troncos, não foi afetado por esses alagamentos. Para que essas grutas fossem atingidas, seria necessária a retenção da vazão do rio Peruaçu, provavelmente na gruta do Janelão, segmento não abrangido por esta pesquisa.

► A correlação altimétrica entre os registros de alagamento, juntamente com os dados cronológicos, permitiu constatar que diferentes eventos de alagamento foram responsáveis pela deposição de troncos no interior das grutas.

► Os terraços fluviais identificados nas proximidades da gruta do Carlúcio, na gruta do Brejal e na gruta Troncos foram interpretados, em função de sua composição e estrutura, como decorrentes da incisão da drenagem, e não como registro de alagamento. Ressalta-se que os terraços da gruta Brejal e aquele próximo à gruta do Carlúcio estiveram submersos quando o rio atingiu a cota 676 m.

► O perfil topográfico demonstrou que os desníveis identificados ao longo da calha do rio são mais pronunciados nos locais onde a drenagem está entulhada por blocos abatidos. Esses entulhamentos geraram desníveis significativos ao longo da calha do rio. Não deve ser descartada a hipótese de que esses degraus estejam relacionados ao entulhamento da calha do rio pelos enormes volumes de sedimento de origem gravitacional (de colapso do antigo sistema subterrâneo), em parte recobertos por depósitos fluviais mais recentes. A comprovação dessa hipótese requer estudos mais detalhados sobre a sedimentação do rio.

► As datações ^{14}C de restos vegetais revelaram idades relativamente recentes (inferiores a 1.600 anos AP), que podem estar associadas ao limite máximo de tempo de preservação dos restos vegetais no interior das grutas. Deve-se ressaltar que datações de conchas realizadas por Oliveira (2008) apresentaram idades de até 9.650 ± 40 anos AP, obtidas pelo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de capeamentos de calcita que cobriam as amostras. A presença de idades recentes descarta a possibilidade de que os grandes alagamentos tenham relação com mudanças climáticas. Podem ser entendidos como decorrentes de eventos de pluviosidade extrema e/ou entupimento das rotas subterrâneas.

► As marcas de nível d'água identificadas nas paredes das grutas Lapa da Onça e Arco do André foram interpretadas como decorrentes de períodos de estabilidade do nível d'água. Essa estabilidade parece estar associada a entupimentos da rota subterrânea e não à ocorrência de eventos de chuva extremos. A marca M-02, formada por precipitação de minerais (possivelmente calcita) na superfície da rocha, pode indicar a retenção de águas mais saturadas. No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para se determinar com precisão a causa da impressão dessas marcas.

► A marca de nível d'água M-3, posicionada a 653 m acima do nível atual do rio Peruaçu no Arco do André, permitiu identificar que houve remoção de um grande volume de material clástico do topo do cone de blocos da parte de jusante do conduto. O nível de base do topo do cone atualmente está na cota 641 m (lateral direita). A remoção do material clástico pode estar associada a movimentos de massa, gerado pela pressão da lâmina d'água sobre o topo do cone, que constitui a parte mais delgada desse depósito. No entanto, não é possível afirmar, a partir dos dados obtidos na pesquisa, se isso foi o que realmente ocorreu: sabe-se apenas que o rompimento ou erosão do topo do cone ocorreu entre no máximo 1.380 anos AP e os dias de hoje. Atualmente, um alagamento no Arco do André atingiria, em seu nível máximo, a cota 641 m. Depósitos químicos na lateral esquerda do topo de cone (que atinge a cota 654 m) podem, caso sejam passíveis de

datação, fornecer dados cronológicos acerca da idade mínima do colapso desse trecho da gruta.

► Constatou-se, a partir das formas observadas em alguns dos segmentos estudados (destacam-se os segmentos entre o Brejal e a Lapa da Onça, e entre o Arco do André e Cascudos), que a evolução do cânion teve importante contribuição de processos de dolinamento. Nos segmentos mencionados, foi constatado que a coalescência de dolinas de colapso resultou em trechos mais ou menos encaixados do cânion.

► Os dolinamentos de colapso geraram grande volume de material clástico, que ficou depositado ao longo da calha do rio. Em função disso, o fluxo do rio Peruaçu teve que se ajustar a esses entulhamentos, buscando rotas subterrâneas sob os depósitos clásticos, ou entre esses e as paredes escarpadas do cânion. Os cones de blocos afetaram também a dinâmica sedimentar do rio, observando-se uma clara diminuição da granulometria do material depositado no interior do cânion.

► Como mencionado anteriormente, depósitos químicos como tufas podem ocorrer em cânions cársticos e são capazes, segundo Nicod (1997), de formar lagos que bloqueiam a incisão do talvegue, modificando a dinâmica evolutiva do cânion. No segmento estudado do cânion do Peruaçu, não foram observados depósitos químicos capazes de represar o fluxo do rio a ponto de gerar lagos, ou mesmo bloquear a incisão do talvegue; no rio Peruaçu, o bloqueio foi ocasionado por grandes volumes de depósitos clásticos.

Em síntese, houve um avanço importante sobre o conhecimento da morfologia, da sedimentação e dos grandes alagamentos ocorridos nesse setor do cânion do rio Peruaçu. As questões formuladas no início da pesquisa foram respondidas. Outras questões surgiram durante o andamento dos trabalhos. Algumas dessas questões conduziram a interpretações importantes, colocadas no trabalho na forma de hipóteses que poderão ser testadas em trabalhos futuros.

Fragilidades e sugestões para novos estudos

O perfil topográfico apresentado na pesquisa abrangeu o segmento de montante do cânion do Peruaçu; sua “amarração” com a coordenada de entrada da gruta Troncos foi feita de modo provisório para fins de análise junto às demais bases cartográficas utilizadas. O correto posicionamento do perfil requer a utilização de no mínimo duas coordenadas coletadas com equipamento GPS de alta precisão (geodésico). Isso permitirá revelar a precisão atingida pela topografia. Para esse fim, foram marcadas duas bases topográficas

nas paredes do cânion: a bases B89, próxima à gruta do Carlúcio e a base B104, na entrada da gruta Troncos.

As idades obtidas por meio das datações radiocarbônicas de troncos permitiram correlacionar apenas de modo aproximado possíveis eventos de alagamento. É importante salientar que essas datas correspondem ao momento da morte do vegetal, que pode ter ocorrido antes ou durante a elevação do nível da água. A possibilidade de incorporação de carbono decaído (*efeito da água dura*) pelos troncos analisados não deve ser descartada. O balizamento por meio da datação de outros elementos e com métodos distintos poderão minimizar possíveis imprecisões. Outro aspecto a ser considerado sobre as datações em troncos é o fato de que um tronco muito grosso pode apresentar diferenças nas idades, a depender do ponto onde a amostra foi coletada, isso em decorrência de idades distintas entre os anéis de crescimento da planta. Estudos detalhados do material vegetal, tais como a análise dos anéis de crescimento, poderão oferecer maior precisão cronológica, assim como uma melhor compreensão do ambiente pretérito.

As marcas de nível d'água precisam ser melhor estudadas. Elas podem ser de grande importância para a compreensão da hidrodinâmica no carste do rio Peruaçu.

E, por fim, a ampliação do perfil topográfico até o segmento de jusante do cânion, que inclui a gruta do Janelão, poderá fornecer informações importantes sobre a altimetria, que aliada a dados cronológicos, morfológicos e da sedimentação clástica e química, permitirá avançar no conhecimento sobre a evolução do monumental cânion cárstico do rio Peruaçu.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364.

AULER, A.(1994). "Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos – Pedro Leopoldo Karst, Brazil". Masters Theses & Specialist Projects.Paper 927. <http://digitalcommons.wku.edu/theses/927>.

AULER, A. (2006). Histórico da espeleologia brasileira – O Brasil colonial e a época dos naturalistas. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2004. Disponível em: < <http://www.redespeleo.org/artigos.php?ID=16>>. Acesso em 16 Out..

AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. (2001). As Grandes Cavernas do Brasil. Belo Horizonte: G.B.P.E. p. 27.

AULER, A. S.; Piló, L. B.; Saadi, A. Ambientes Cársticos. In: Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. de. (2005).Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos. p. 321-342.

AZEVEDO, L.G. (1966). Tipos Eco-Fisionômicos da Vegetação da Região de Januária, MG. *Anais da Academia Brasileiras de Ciências*. V. 38. suplemento.

BLACK, M. D. (1955). Natural Dams of Havasu Canyon, Supai, Arizona. *Science*, vol. 121 n. 3147 pp. 611-612.

BÖGLI, A. (1960). Solution of limestone and karren formation. In: Sweeting, M. M. (Ed). 1983. *Karst Geomorphology*. Hutchinson Ross Publishing Company : Benchmark Papers in Geology, n.59, 12p.

BRETZ, J. H. (1923a).Glacial drainage on the Colombia Plateau, *Journal of America Bulletin*, 34, 573-608.

BRETZ, J. H. (1923b). The Channeled Scablands of the Colombia Plateau, *Journal of Geology*, 31, 617-649.

BRETZ, J. H. (1929). Valley deposits immediately east of the Channeled Scablands of Washington, *Journal of Geology*, 31, 617-649.

BRETZ, J. H. (1942). Vadose and phreatic features of limestone caves. *J. Geol.* v.50, n.6, p. 75- 811. Brewer, R. 1976. Fabric and mineral analysis of soils. Hunston / N. York: Robert E. Krieger Publs. Co. 482p.

BRETZ, J. H. (1969). The Lake Missoula floods and the Channeled Scabland, *Journal of Geology*, 77, 505-543.

BONACCI, O. (2004). Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst, 4, 655–661.

BONACCI, O. & ZIVALJEVIC, R. (1993). Hydrological explanation of the flow in karst: example of the Crnojević a spring, *J. Hydrol.*, 146, 405–419.

BONACCI, O. LJUBENKOV, I.; ROJE-BONACCI, T. (2006). Karst flash floods: an example from the Dinaric karst (Croatia). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 195–203. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/195/2006/

BOSKOVIC, M. & ZIVALJEVIC, R. (1986). Hidrolosko osvrt na poplavu Cetinja od 18. do 20.02.1986. (Hydrologic review of the 1986 Cetinje flood), *Vodoprivreda*, 18, 102–103, 259–264.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Orgs.).(2007). Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

CSD - GEOKLOCK. (2005).Localização do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Plano de Manejo do PNCP – MG. Resumo Executivo.Brasília.

COSTA, J. E.; SCHUSTER, R. L. (1987). The Formation and Failure of Natural Dams. U.S. Geological Survey, Open-File Report 87-392. Vancouver, Washington.

CULVER, D. C. & WHITE, W. B. (eds.).(2005). Encyclopedia of Caves. Burlington, MA, Elsevier, Academic Press, 654 p.

CVIJIC, J. (1893). Das Karstphanomen. Versuch einer morphologischen Monographie, Geographische Abhandlungen heraus- gegeben von A Pench, Bd., V.H, 3. Wien, p. 218–329. [The section on dolines, pp. 225–76, is translated into English in Sweeting (1981).]

DARDENNE, M. A. (1978). A Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil central. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Anais.*

DORALE, J.A.; EDWARDS, R.L.; ALEXANDER, E.C.; Shen, C.C.; RICHARDS, D.A.; CHENG, H. (2003). U-series dating of speleothems: Technics, limits and applications. In *Studies of Cave Sediments* (Sasowsky, I.D.; Mylroie, J.E. eds.). Kluwer Academic/Plenum Press, New York, in press.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A. (2002). Recursos Hídricos e Suporte Tecnológico a Projetos Hidroagrícolas (HIDROTEC) Bacia do Alto São Francisco. Viçosa: UFV; Belo Horizonte : RURALMINAS; Brasília : ANA.

FERGUSON, C. W. (1971). Tree-Ring Dating of Colorado River Driftwood in the Grand Canyon. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona, Tucson, Arizona.

FERREIRA, R. L. (2003). Depósitos em cavernas: registros de vida passada. *Bios, Belo Horizonte*, v. 11, n. 11, p. 39-52.

FORD, D.C. (1971). Geologic structure and a new explanation of limestones cavern genesis. *cave Res. Gp., G.B., Trans.*, v.13, n.2, p. 81-94.

FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*, Unwin Hyman, London, 601 p.

FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. (2007). *Karst Geomorphology and Hidrology*. United Kingdom: Wiley.

GAMS, I. (1978). The polje: The problem of definition. *Zeits. Geomorph.* n.22, p. 170-181.

GROSSI SAD, J.H., CARDOSO, R.N., COSTA, M.T. (1971). Formações Cretácicas em Minas Gerais: Uma Revisão. *Rev.Bras.Geoc.*, 1:2-13.

GUNN, J. (2004) Bambuí Karst, Brazil, in Encyclopedia of Caves and Karst Science (ed. J. Gunn), Fitzroy Dearborn, New York, p. 275-279.

JENNINGS, J.N. (1985). Karst Geomorphology, Basil Blackwell, Oxford, 293 p.

KARMANN, I. (1994). Evolução e Dinâmica Atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Ribeira de Iguape, Sudoeste do Estado de São Paulo. 228p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

KARMANN, I. (2000). O ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: Teixeira, W.; Toledo, M. C. M. de; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Org.). Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de textos, p. 113-138.

KARMANN, I., FRAGA, R., FERREIRA, T. D'AMBRÓSIO., VARZACACOU, N. (2005). Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Encarte 3. CSD - GEOKLOCK. Brasília, DF, p. 3.7-3.11.

KING, L. C. (1956). A Geomorfologia do Brasil Oriental. In: Revista Brasileira de Geomorfologia 18(2).

KOHLER, H. C. (1994). Geomorfologia Cárstica. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Org. Guerra, J.T. & Cunha, S.B. da. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 7, p. 309-334.

KOHLER, H. C. (1998). Geomorfologia cárstica. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.309-334.

LEMOS, G. S.; STOLL, H. (2014). The Use of Marks Mapping to Understand Flood Overflow Events Inside Karstic Cavities: Cueva Fría and Cueva Rosa (Asturias, NW Spain). University of Oviedo, Department of Geology, Oviedo, Spain.

MARÉCHAL, J.C.; LADOUCHE, B.; DÖRFLIGER, N. (2008). Karst flash flooding in a Mediterranean karst, the example of Fontaine de Nîmes. *Engineering Geology* p. 99, 138–146.

MIJATOVIC, B. F. (1987). Catastrophic flood in the polje of Cetinje in February 1986, a typical example of the environmental impact of karst, in: Proc. 2nd Multidisciplinary Conf.

on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst, Orlando, 9–11 February 1987, edited by Beck, B. F., and Wilson, W. L., p. 299–303.

MOLINA, M. & Mc DONALD, F. (1987). Sinkhole management and flooding in Jamaica, in: Proc. 2nd Multidisciplinary Conf. on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst, Orlando, 9–11 February 1987, edited by Beck, B. F. and Wilson, W. L., p. 293–298.

MOURA, M.T.T de.(1997). A Evolução do Sítio Arqueológico Lapa do Boquete na Paisagem Carstica do Vale do Rio Peruaçu, Januária (MG). Dissertação para Obtenção do Título de Mestre em Geografia Física; Universidade de São Paulo. São Paulo.

MOURA, M.T.T de. (2009). A Dinâmica de Evolução da Paisagem do Vale do Rio Peruaçu. Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico. Belo Horizonte, p. 41-73.

NICOD, J. (1997) Les canyons karstique “nouvelles approches de problèmes géomorphologiques classiques” (spécialement dans les domaines méditerranéens et tropicaux). Quaternaire, 8(2–3), p. 71–89.

OLIVEIRA, I. P. M. (2008). Barramentos Naturais no Vale do Rio Peruaçu: Consequências Ecológicas e Ambientais de Eventos Pretéritos e Futuros. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PALMER, A. N. (1991). Origin and morphology of limestone caves. Geological Society of America Bulletin, v.103, p.1-21.

PALMER, A. N. (2007). Cave Geology. Ohio: Cave Books.

PARISE, M. (2003). Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences 3: 593–604.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A.; RIBEIRO, A. S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SIEFEDDINE, A. F.; SCHEELYBERT, R. (2005). Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. de. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos, p. 75-93.

PFLUG, R. & RENGER, F. (1973). Estratigrafia e Evolução Geológica da Margem NE do Cráton Sanfranciscano. Anais do 27º Congresso Brasileiro de Geologia. Aracaju, 2:5-9.

PILÓ, L. B. (1989). A morfologia cárstica do baixo curso do Rio Peruaçu, Januária/Itacarambi, MG. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 80 f..

PILÓ, L. B. (1997). Caracterização regional do Vale do Rio Peruaçu. O Carste, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 22-29.

PILÓ, L.B. (1998). Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú, Carste de Lagoa Santa, MG. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

PILÓ, L. B. (2000). Geomorfologia cárstica. Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 88-102.

PILÓ, L. B. & KOHLER, H. C. (1991). Do vale do Peruaçu ao São Francisco: Uma viagem ao interior da Terra. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, n. 3, Publicação Especial n.2 (excursões). Belo Horizonte, p.57-73.

PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; CHABERT, C.; BOULLIER, N.; AULER, A. (2005). Dados topográficos, morfológicos e orgânicos evidenciam grandes inundações no cânion do Rio Peruaçu - Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - MG. In: Workshop - Cadastro e Mapeamento de Cavernas. Belo Horizonte, MG. Resumos. Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, v. 1, p. 15.

PILÓ, L.B. & RUBBIOLI, E. (2002). Cavernas do vale do Rio Peruaçu. Januária – Itacarambi, MG. In: Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM-CPRM, p.453-460.

RABELLO, E. A.; LOPES, O. F.; COSTA, P. C. G. (1977). Geologia da região de Januária/Itacarambi. Belo Horizonte: Projeto Bambuí Norte/METAMIG, 37p.

RADAMBRASIL. (1982). Folha SD. 23 Brasília; Geologia Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. Ministério das Minas e Energia. 660p.

- RAVBAR, N. & KOVACIC, G. (2009). Natural hazards in Slovene karst areas: Flood risk areas in the Upper Pivka valley. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-1641.
- RODET, J.; RODET, M. J.; WILLEMS, L.; POUCKET, A. (2009). Abordagem geomorfológica da bacia do Rio Peruaçu e implicações geoarqueológicas. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*. Belo Horizonte, p. 75-103.
- RIBEIRO, J. F. & SCHIAVINI, I. (1998). Recuperação de Matas de Galeria: Integração entre a oferta ambiental e a biologia das espécies. In: Ribeiro, J. F. (Ed.). *Cerrado: Matas de Galeria*. EMBRAPA – Planaltina-DF. p. 137-153.
- RIZZINI, C.T. (1979). *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. HUCITEC-EDUSP. São Paulo, SP.
- RODET, J. & RODET, M. J. (2001). Evolution karstique et ressources lithiques archéologiques L' exemple de Rio Peruaçu. *Atas do 11 Congrès National de Spéléologie*. Société Suisse Spéléologie, Genève. p. 129-134
- RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B. (2004). Do Brejal ao Janelão, uma historia geomorfológica do Terra Brava. In: *Encontro Brasileiro de Estudos do Carste*, 1., 2004, Belo Horizonte. Resumos. Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, p. 23.
- RUBBIOLI, E. (1999). Cavernas do Peruaçu: tópicos abordados no levantamento espeleológico da área de proteção ambiental. *O Carste*, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 34-37.
- RUBBIOLI, E. & MOURA, V. (2005). *Mapeamento de cavernas: guia prático*. São Paulo. Redespeleo Brasil. 92 p.
- SHEFFER, N.A., RICO, M., ENZEL, Y., BENITO, G.; GRODEK, T. (2008). The palaeoflood record of the Gardon River, France: A comparison with the extreme 2002 flood event. *Geomorphology* 98: 71-83.
- SALINO, A. & LOMBARDI, J. A. (2009). *Vegetação do Vale do Rio Peruaçu*, Minas Gerais, Brasil. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*. Belo Horizonte, p. 113-129.

SIMÕES, P. R. (2007). Caracterização Física de Ambientes Cársticos Através de Sensoriamento Remoto e SIG: O Caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu – Januária/Itacarambi, MG. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, 110 p.

SPRINGER, G. S. (2002). Caves and their potential use in paleoflood studies, in House, P. K., Webb, R.H., Baker, V.R., and Levish, D.R., eds., *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology: American Geophysical Union Water Science and Application Series*, v. 5, p. 329-343.

SPRINGER, G. S. & KITE, J. S. (1997). River-derived slackwater sediments in caves along Cheat River, West Virginia: *Geomorfology*, 18, p. 91-100.

WHITE, E. L. & REICH, B. M. (1970). Behaviour of annual floods in limestone basins in Pennsylvania, *J. Hydrol.*, 10, 193–198.

WHITE, W. B. (1988). *Geomorphology and hidrology of Karst Terrains*. 1.ed. Oxford: Oxford University Press. 464p.

WHITE, W. B. (1990). Surface and near-surface karst landforms, in: *Groundwater geomorphology: the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms*, edited by Higgins, C. G. and Coates, D. R., *Geol. Soc. Am.*, spec. paper, 252, 157–175.

WHITE, W. B. & CULVER, C. D. (2012). Editores, Chennai: Academic Press, 966 p. ISBN: 978-0-12-383832-2

WHITE, E. L. & WHITE, W. B. (1984). Flood hazards in karst terrains: lessons from the Hurricane Agnes storm, in: *Hydrogeology of karst terrains*, edited by Burger, A. and Dubertret, L., 1, 261– 264.

WILLIAMS, P.W. (1985). Subcutaneous hydrology and the development of dolines and cockpit Karst. *Z. Geomorph. N.F.* 29; 4, p.463-482.

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

ANEXO IV