

Aplicação das tecnologias de modelagem 3D conjugada às técnicas tradicionais para o registro das gravuras rupestres do rio Madeira, Rondônia, Brasil

Application of 3D modeling technologies combined with traditional techniques for registering rock engravings in the Madeira River, Rondônia, Brazil

Renato Kipnis^I, Hélder Bruno Cipriano dos Santos^{II}, Michelle Mayumi Tizuka^{I,III},
Miguel Jorge Gomes Tavares de Almeida^{II}, Mônica Patrícia de Almeida e Silva Corga^{II}

^IScientia Consultoria Científica. São Paulo, São Paulo, Brasil

^{II}Grupo Dryas Octopetala. Coimbra, Portugal

^{III}Universidade de São Paulo/Museu de Arqueologia e Etnologia. São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo: Nos últimos anos, os estudos de arte rupestre no Brasil têm tido um grande avanço quanto à construção de modelos interpretativos deste tipo de vestígio arqueológico ainda pouco conhecido e explorado. Apesar dos desafios em localizar, registrar e preservá-las ao longo do vasto território brasileiro, um número pequeno, mas devotado, de pesquisadores tem documentado e estudado minuciosamente milhares de pinturas e gravuras rupestres em várias regiões do país por meio de técnicas tradicionais. Apresentamos aqui um estudo de caso realizado no rio Madeira, no estado de Rondônia, no qual conjugamos a metodologia tradicional com novas tecnologias para o registro de gravuras rupestres, o *laser scanning* terrestre e a fotogrametria de luz estruturada. Essas novas tecnologias proporcionam, entre outras vantagens, precisão, acuidade e rapidez na documentação de gravuras rupestres, assim como de seu entorno paisagístico. Em última instância, o trabalho do arqueólogo é gerar modelos interpretativos do registro arqueológico, baseados em uma documentação o mais fiel possível para que esses modelos possam ser testados e revistos. As tecnologias de modelagem 3D elevam nossa capacidade a um novo patamar metodológico.

Palavras-chave: Arte rupestre. Técnicas de registro. Modelação 3D. *Laser scanning*. Fotogrametria. Rio Madeira.

Abstract: In the past few years, rock art studies in Brazil have had important advances in constructing interpretative models of this poorly known, and seldom exploited archaeological record. Despite the challenges of discovering, registering, and preserving rock art along the vastness of the Brazilian territory, a few but devoted researchers have recorded and studied thoroughly thousands of rock paintings and engravings in many regions, by employing traditional techniques. We here present a case study carried out in the Madeira River, in the state of Rondonia, where we combined traditional methodology with new technologies for recording rock engraving, the terrestrial laser scanning and the structured light photogrammetry. These new techniques, among other advantages, significantly increase precision, acuity, and celerity in engravings documentation, as well as its surrounding landscape. Ultimately, the work of archaeologists is constructing interpretative models of the archaeological record based on the most reliable documentation, so the models can be tested and revised. The 3D modeling technologies raise our methodological parameters to a level above.

Keywords: Rock art. Registering technique. 3D Modelling. Laser scanning. Photogrammetry. Madeira River.

KIPNIS, Renato; SANTOS, Hélder Bruno Cipriano dos; TIZUKA, Michelle Mayumi; ALMEIDA, Miguel Jorge Gomes Tavares de; CORGA, Mônica Patrícia de Almeida e Silva. Aplicação das tecnologias de modelagem 3D conjugada às técnicas tradicionais para o registro das gravuras rupestres do rio Madeira, Rondônia, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 8, n. 3, p. 605-619, set.-dez. 2013.

Autor para correspondência: Renato Kipnis. Scientia Consultoria Científica Ltda. Rua Professor Campos Almeida, 75 – Jardim Bonfiglioli. São Paulo, SP, Brasil. CEP 05591-045 (rkipnis@scientiaconsultoria.com.br).

Recebido em 26/12/2012

Aprovado em 13/10/2013



INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a documentação da arte rupestre tem sido feita por meio de desenhos, fotografias, decalques, descrições realizadas em cadernos de campo e/ou fichas produzidas especificamente para isso. Mais raramente, são feitos moldes em resina ou látex como registro adicional. Essas atividades requerem tempo e esforço quando a quantidade de gravuras e/ou pinturas é expressiva. Por vezes, as condições de registro estão longe do ideal, devido a questões climáticas, localização dos suportes onde ocorrem as pinturas e/ou gravuras, posição delas em relação ao suporte e questões de tempo e custo.

Com o grande desenvolvimento recente da tecnologia digital, tornou-se possível a documentação mais acurada, rigorosa e eficiente, em relação ao que era possível há apenas alguns anos atrás. Apresentamos, aqui, um trabalho realizado no contexto do “Projeto de arqueologia preventiva nas áreas de intervenção do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Santo Antônio, RO”, ao longo do rio Madeira, no qual ocorrem centenas de gravuras rupestres associadas a afloramentos rochosos submersos sazonalmente e que, por estarem em área a ser inundada permanentemente pelo reservatório da hidrelétrica Santo Antônio, clamavam por ações complementares, eficientes e rigorosas. A solução encontrada foi a conjugação das técnicas tradicionais com novas tecnologias de registro digital em 3D, com altíssima resolução.

O objetivo principal foi gerar, de forma eficiente, a mais completa e rigorosa documentação possível de um conjunto muito significativo de gravuras rupestres, que ficará oculto pelo enchimento do reservatório do AHE Santo Antônio.

A arte rupestre é uma importante evidência arqueológica a respeito dos sistemas cognitivos das populações pretéritas, em razão de estar incorporada na paisagem e de ser uma manifestação material (por exemplo, pinturas e gravuras) de experiências físicas e espirituais de transe, rituais e mitos (Hays-Gilpin, 2004; Lewis-Williams e Pearce, 2004). É, por vezes, a materialização

de territorialidade e de paisagens culturais (Bradley, 1991; David e Cole, 1990; Deacon, 1988; Gould, 1990; Kipnis, 2002; Ribeiro, 2006; Smith, 1992; Taçon, 1999).

Uma discussão a respeito do conceito de arte, mesmo que restrita a como tem sido utilizada em antropologia e/ou arqueologia (Conkey, 1989; D’Azevedo, 1958; Dowson, 1994; Geertz, 1983; Whitney, 1996; Willcox, 1978), está além das pretensões do presente artigo. Seguimos, aqui, a caracterização feita por Morwood (2002, p. X-XI) sobre alguns atributos pertinentes ao estudo de arte rupestre:

It is produced by deliberate modifications of objects or surfaces by changing their form, removing sections and/or applying other materials, such as pigments. More specifically, rock art involves modifications of natural rock outcrops. Marks produced incidentally during other activities, such as sharpening of implements on sandstone, do not constitute art. It is a visual symbolic system in which the modifications can stand for other things or concepts. For this communication to occur there have to be conventions about meanings, which are shared by the artist and intended audience.

Nesse sentido, não trataremos aqui das dezenas de feições de polimentos identificadas e registradas ao longo do trecho pesquisado do rio Madeira, uma vez que estão associadas a modificações ocorridas na produção de artefatos líticos polidos.

Partimos do princípio de que, para se chegar a modelos interpretativos da arte rupestre, é crucial que estes sejam baseados em uma documentação fidedigna do registro arqueológico. Nosso objetivo aqui é apresentar uma metodologia considerada por nós como ideal para tal estudo.

ARTE RUPESTRE NA AMAZÔNIA

Segundo Prous (1992), as manifestações de arte rupestre na região amazônica podem ser ordenadas em um amplo conjunto denominado ‘tradição amazônica’, o qual é caracterizado pela presença de figuras antropomorfas simétricas e geométricas. A criação de um único estilo para

uma região tão vasta reflete bem o parco conhecimento que temos sobre a arte rupestre da região. Em 1992, Prous comentou que “os sítios rupestres são conhecidos exclusivamente por publicações antigas de viajantes do século XIX (Koch-Grünberg, por exemplo) ou um ‘aficionado’ (Artur da Silva Ramos), cujas informações são dificilmente aproveitáveis” (Prous, 1992, p. 527). O autor ainda comentou ter tentado levantar mais informações, notadamente documentação fotográfica, “com amigos, mas não se pode pretender chegar a uma ideia, mesmo aproximada, do que existe na imensidade amazônica” (Prous, 1992, p. 527-528).

Somente nos anos seguintes à publicação de Prous é que começam a ser publicados os primeiros resultados de estudos arqueológicos da arte rupestre na região amazônica brasileira, os quais se iniciaram timidamente na década de 1980 (Gaspar, 2003; Pereira, 2001, 2012). São estudos pontuais em diversas regiões da bacia amazônica, como em Roraima, Rondônia, Amazonas e Pará (Gaspar, 2003; Pereira, 2003, 2010; Valle, 2010), sendo também a primeira sistematização do conhecimento sobre a arte rupestre do estado do Pará (Pereira, 2003). Os estudos realizados até o momento indicam uma arte rupestre bastante diversificada e seus aspectos técnicos, temáticos e estilísticos (Pereira, 2010; Valle, 2010, 2012).

Apesar desse início promissor, a grande maioria dos estudos ainda carece de um contexto arqueológico. Se, por um lado, muitas das manifestações rupestres ocorrem em afloramentos sem condições de escavação arqueológica, por exemplo, ao longo do rio Negro (Valle, 2010, 2012), por outro, ainda são raros os casos onde ocorrem escavações em sítios que apresentem condições para tal, sendo associados espacialmente às pinturas e/ou gravuras rupestres (Roosevelt *et al.*, 1996).

Existem poucas pesquisas com relação aos registros rupestres para o estado de Rondônia, e especificamente para o alto rio Madeira as informações são raras. Destacam-se as referências para o município de Presidente Médici, efetuadas primeiramente por Miller (1992) e mais

recentemente pelo “Inventário dos sítios com registros rupestres da região centro-leste de Rondônia”, efetuado por Maria Coimbra, do Museu Regional de Arqueologia de Rondônia, em Presidente Médici.

O estudo pioneiro de Miller (1992), no estado de Rondônia, identificou três estilos de gravuras rupestres para a região das bacias do rio Abunã e alto rio Madeira; foram nomeados por ele como estilos A, B e C, e caracterizados da seguinte maneira: estilo A – predomínio da técnica do picoteado e alisamento, com motivos circulares concêntricos, espirais, linhas onduladas, linhas retas, figuras geométricas quadrangulares, figuras zoomórficas complexas e abstratas, e máscaras estilizadas; estilo B – predomínio da técnica do picoteado e alisamento, apresentando como motivo principal figuras humanas, representadas de maneira frontal e em baixo relevo; estilo C – caracteriza-se pela técnica de incisões finas de seção em ‘V’ e com motivos de linhas retas e curvas, linhas em zigue-zague paralelas, formando painéis quadrangulares, séries de pontos alinhados em retas e curvas, máscaras ou rostos zoomórficos de forma triangular e figuras geométricas.

O inventário realizado por Coimbra (2010) para a região do centro-leste rondoniense apresenta 62 sítios rupestres contendo gravuras. Porém, em toda a região, já foram localizados mais de 100 sítios, distribuídos em lito-cerâmicos (alguns destes com terra preta) e amoladores-polidores, muitos dos quais localizam-se às proximidades dos sítios rupestres, com grande diversidade temática e diferentes momentos gráficos na maioria dos lajedos (Coimbra, 2010).

Outro registro recente para a região é o “Atlas geoambiental de Rondônia”, no qual há um levantamento e mapeamento dos sítios conhecidos até o ano de 2002 (Figura 1). Este trabalho está inserido no Zoneamento Socioeconômico e Ambiental do Estado de Rondônia (Fernandes e Guimarães, 2002). As localidades onde estariam presentes sítios rupestres seriam nos municípios de Ji-Paraná, Presidente Médici e Cacoal, na sub-bacia dos rios Riachuelo e Molim.

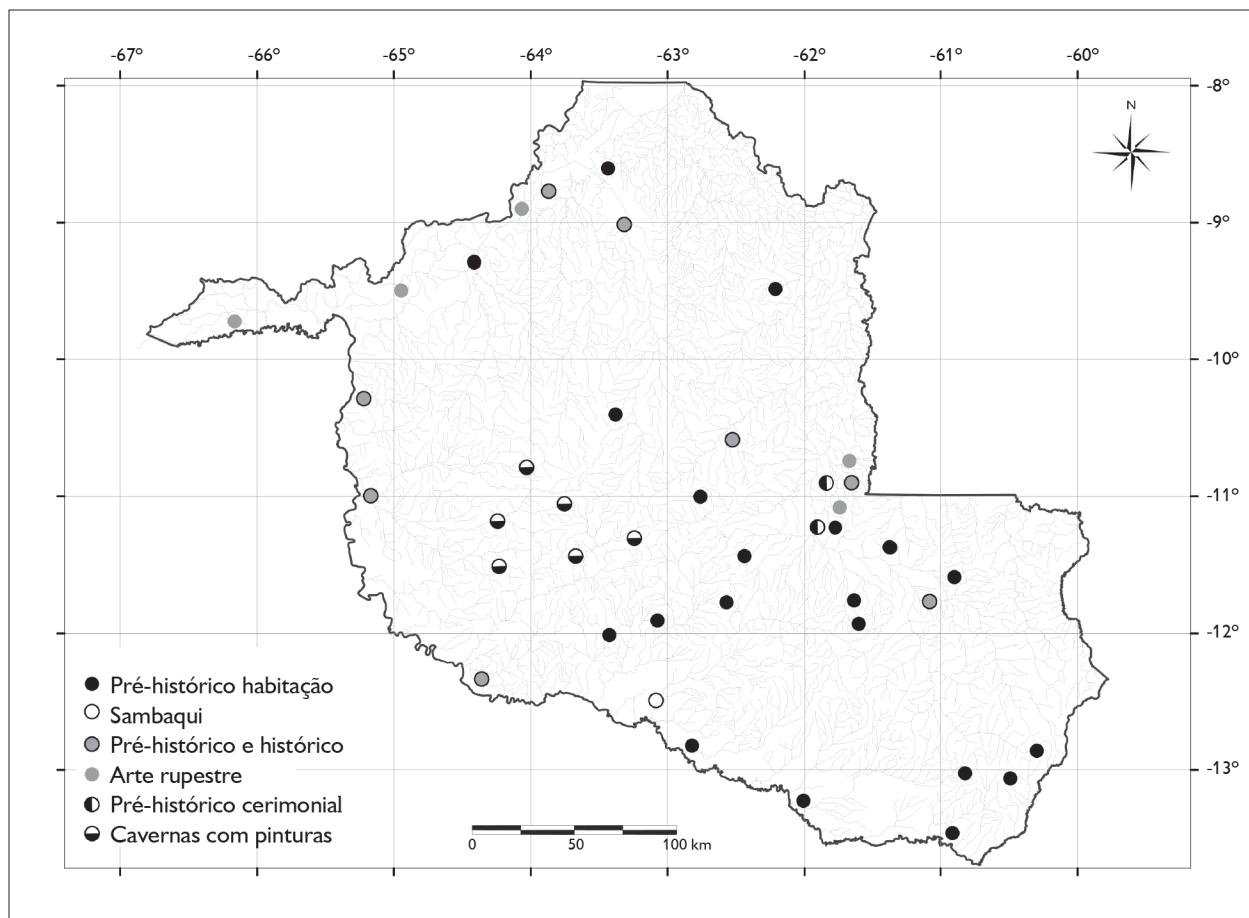


Figura 1. Mapa demonstrativo das áreas arqueológicas do estado de Rondônia. Fonte: Fernandes e Guimarães (2002, p. 134).

Na região encachoeirada do rio Madeira, de Porto Velho, rio acima, uma série de ilhas fluviais tem apresentado ocupações indígenas de longa duração, especialmente associadas a afloramentos rochosos que apresentam uma grande quantidade de gravuras rupestres. Os afloramentos rochosos encontram-se circundando as ilhas e provavelmente são responsáveis pela estabilidade delas, uma vez que o curso do rio Madeira está em constante transformação.

Durante as prospecções arqueológicas realizadas ao longo do reservatório do AHE Santo Antônio, foram identificados oito conjuntos apresentando gravuras, associados a afloramentos rochosos em ilhas e na margem do rio Madeira (Figura 2, Tabela 1). Com

exceção do sítio CPRM 2, onde não foi identificada nenhuma outra ocorrência associada espacialmente ou próxima, todos os outros sítios estão diretamente associados no espaço a ocorrências de vestígios arqueológicos de cultura material, por vezes vestígios orgânicos (sementes carbonizadas) e terra preta arqueológica em superfície e subsuperfície. Uma associação temporal e sistêmica entre os diferentes tipos de vestígios aguarda o término dos estudos dos vestígios arqueológicos escavados nos vários sítios.

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

O rio Madeira é o principal afluente da margem direita do rio Amazonas. Formado pelo encontro dos rios Beni

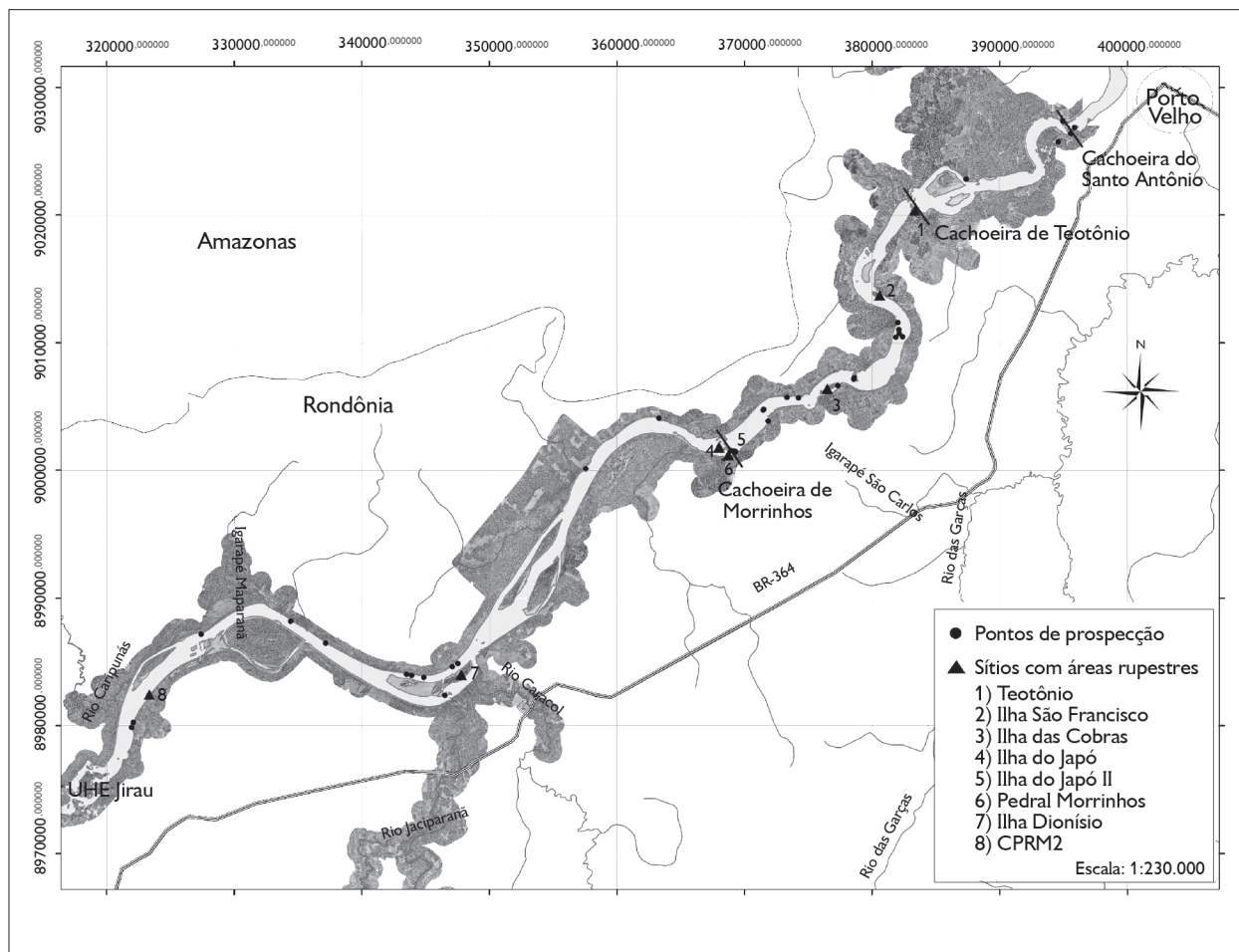


Figura 2. Localização dos sítios arqueológicos que apresentam gravuras rupestres (triângulos) e localização de feições de polimento (círculos).

Tabela 1. Quantidade de painéis por sítio arqueológico e quantidade de figuras em cada conjunto de painéis por sítio arqueológico.

Sítios	Petroglifos	
	Painéis	Figuras
Teotônio	1	1
Ilha São Francisco	5	45
Ilha das Cobras	101	660
Ilha do Japó	12	79
Ilha do Japó II	1	1
Pedral Morrinhos	12	32
Ilha Dionísio	8	67
CPRM 2	15	52
Total	155	937

e Mamoré, rios bolivianos que nascem na Cordilheira dos Andes. Neste trecho, é totalmente inserido no estado de Rondônia, ao contrário da foz, que ocorre no estado do Amazonas. A região compreendida entre Abunã e Porto Velho é conhecida como alto rio Madeira e possui extensão de aproximadamente 341 km, de sua nascente, na confluência dos rios Mamoré, Guaporé e Beni, até a cachoeira do Santo Antônio, distante cerca de sete quilômetros de Porto Velho. Desenvolve um padrão *anabranching* de baixa sinuosidade, podendo-se considerar que seja um típico rio de águas brancas da bacia amazônica, transportando alta taxa de sedimentos finos em suspensão.



Afloramentos rochosos (ou 'pedrais', como são conhecidos no local) estão presentes em toda a extensão deste trecho, sendo associados ou não às cachoeiras/corredeiras existentes nesse curso. Das dezenove existentes (Goulding *et al.*, 2003), três estão na área do presente trabalho: Morrinhos, Teotônio e Santo Antônio.

As formações geológicas que compõem os 'pedrais' encontrados ao longo do rio variam em composição e idade absoluta, conforme mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005). Nas margens e no centro do canal, são observados granitos e granitoides do Proterozoico e crostas lateríticas decorrentes de intemperismo mais recente e de conglomerados do Neoproterozoico (Formação Palmeiral). Os 'pedrais' com registros rupestres estão inseridos nas Suítes Intrusivas Santo Antônio (MP2ysa), Teotônio (MP2yt), São Lourenço Caripunas (MP2ylc) e Rondônia (MP2yro).

A hidrologia do rio Madeira recebe aqui uma atenção especial, pois o regime fluvial anual influencia na identificação dos 'pedrais' aflorantes e, conseqüentemente, na visualização dos registros rupestres. Isso também deve ter ocorrido no passado, quando da confecção dos mesmos por sociedades indígenas.

Uma série histórica dos últimos 40 anos, referente aos ciclos de cheias e vazantes, indica uma variação sazonal média de mais de 10 m do nível d'água (Figura 3). Quase todos os 'pedrais' identificados ficam submersos na maior parte do ano, sendo expostos na sua totalidade entre os meses de julho a novembro, com maior vazante no mês de setembro (Figuras 4 e 5).

METODOLOGIA

Foram realizadas prospecções visuais ao longo do rio Madeira em todos os afloramentos rochosos durante o

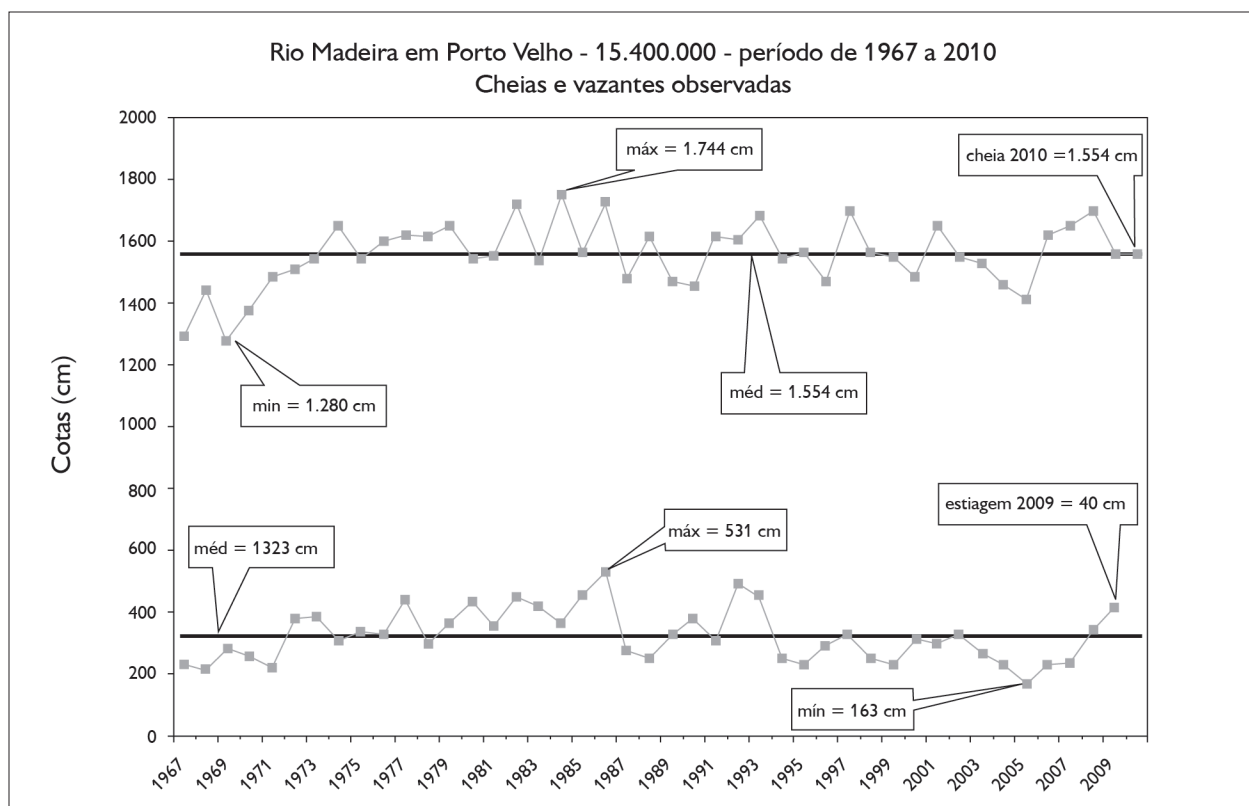


Figura 3. Hidrograma do rio Madeira em Porto Velho. Fonte: CPRM.





Figura 4. Pedraís expostos em setembro de 2010 na ilha das Cobras. Foto: Scientia Consultoria Científica.



Figura 5. Pedraís expostos em outubro de 2009 na ilha das Cobras. Foto: Scientia Consultoria Científica.

seu período de máxima vazante entre os anos de 2009 e 2011, sendo 2010 o ano de maior vazante registrado na série histórica do rio.

Ao serem identificadas nos afloramentos rochosos, as gravuras eram registradas por meio de GPS, trena, bússola e clinômetro, com o objetivo de localizar, orientar e mensurar os petroglifos; além do registro fotográfico, desenho de croquis e preenchimento de ficha específica, com o intuito de padronizar e sistematizar os dados coletados em campo. Também foram realizados *relevés* das gravuras (*'calco'* ou *frottage*). Nesta etapa, foram testados cinco tipos de técnica de decalque, a fim de verificar a mais adequada para o contexto ambiental e

da pesquisa, seguindo pressupostos metodológicos já estabelecidos na literatura.

A primeira técnica consistiu no emprego de plástico transparente e canetas hidrocor (tentou-se também com papel vegetal e lápis, Figuras 6 e 7) para tracejar os contornos das figuras gravadas nas rochas. É um método pouco eficaz, pois, devido a fatores da própria maneira de confecção das gravuras e processos erosivos, é muito comum os limites das gravuras não serem perceptíveis a olho nu. Com ela também se perde muito no que concerne à textura tanto das gravuras quanto do entorno rochoso.

Na segunda técnica, utilizou-se carvão vegetal triturado e uma esponja de látex, a fim de realizar o



Figura 6. Decalque do painel com papel manteiga e lápis grafite. Foto: Scientia Consultoria Científica.



Figura 7. Finalização do decalque do painel feito com papel manteiga e lápis grafite. Foto: Scientia Consultoria Científica.

decalque da gravura sobre papel manteiga. Na terceira, foi aplicado carvão vegetal triturado, com as próprias palmas das mãos, para realizar o decalque sobre o papel manteiga (tentou-se também a utilização de papel fosco para o desenho). Nesta técnica, os melhores resultados de reprodução da textura dos petroglifos foram conseguidos aplicando o pó de grafite com os dedos, com a posterior intensificação dos traços com lápis grafite 4B, com o intuito de conferir o contraste da forma.

A quarta técnica implementou uma pequena modificação da metodologia adotada por Martínez (2005), na Colômbia, com aplicação de papel carbono para o decalque sobre o pano branco (entretela). No presente trabalho, a sua adaptação baseou-se na utilização do tecido de revestimento morim e de carvão vegetal triturado, ao invés de papel carbono (Figura 8).

A quinta técnica testada, em sua integridade, foi a mesma empregada na Colômbia, que consistiu na adoção tanto do papel carbono como do pano branco morim (Figura 9), a qual demonstrou maior eficácia. Em virtude dessa avaliação prévia, o quinto procedimento foi escolhido para os demais painéis.

No conjunto de técnicas de registro tradicionalmente empregadas no estudo de gravuras rupestres, houve ainda a confecção de moldes e contramoldes dos petroglifos. Para a confecção dos contramoldes, foi adotado um procedimento bastante difundido e consagrado internacionalmente, adaptado para as condições técnicas e ambientais encontradas, com a aplicação de um desmoldante em cada gravura, para, em seguida, se fazer a aplicação de silicone branco líquido (Du Latex S.P.) em camadas reforçadas com gaze, a fim de garantir maior longevidade ao molde. Contou-se um dia para a total cura de cada molde, devido à alta umidade da região. Após sua retirada das gravuras, os contramoldes foram levados ao laboratório da Scientia, em Porto Velho, onde foram realizadas as réplicas. Para a confecção delas, foram utilizadas resina líquida de poliéster, reforçada com fibra de vidro, e técnicas de coloração (tinta acrílica

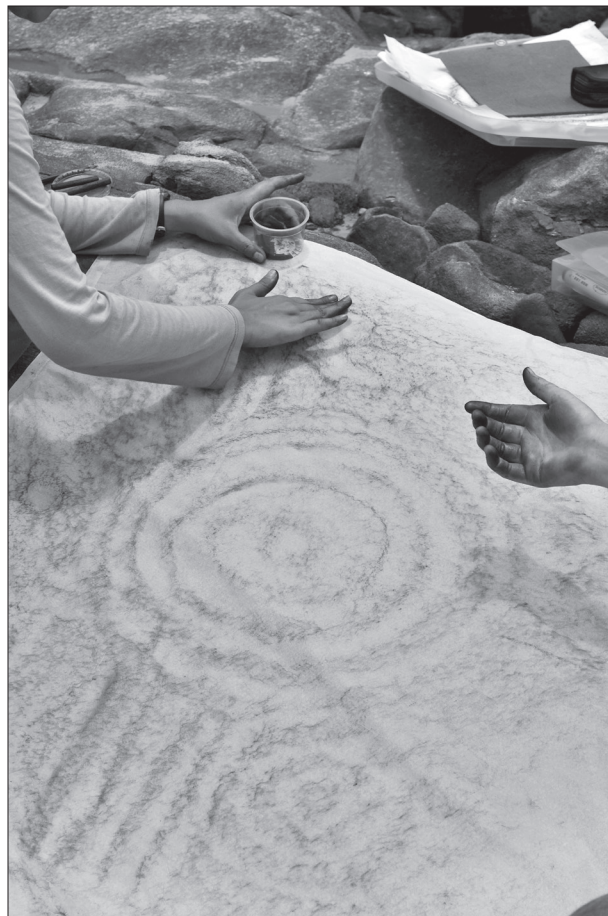


Figura 8. Decalque das gravuras com pó de grafite em tecido morim. Foto: Scientia Consultoria Científica.



Figura 9. Tecido morim e papel carbono como técnica de decalque. Foto: Scientia Consultoria Científica.

e pigmentos), segundo o padrão de cores registrado por meio de inúmeras fotografias (Figura 10).

Por último, foram realizados também um levantamento e modelização digital com base na aplicação combinada de duas tecnologias, utilizadas no presente trabalho como complementares: o *laser scanning* terrestre e a fotogrametria de luz estruturada.

O *laser scanning* terrestre é uma tecnologia baseada na emissão sucessiva de feixes *laser* por um dispositivo emissor, montado em um mecanismo automático de rotação nos eixos horizontal e vertical. Este sistema registra a posição tridimensional de cada ponto medido em coordenadas XYZ, calculadas com base na direção do feixe emitido e medição (por tempo de voo ou diferença de fase) do retorno do feixe *laser*. O sistema registra ainda os valores de intensidade e/ou cor RGB de cada ponto refletido. Estes registros permitem representar, em uma nuvem de pontos, o espaço envolvente observável desde o ponto de vista da posição (estacionamento) do sistema. A realização de vários estacionamentos próximos permite concatenar as nuvens de pontos, a fim de produzir uma nuvem de pontos global da área modelada, minimizando oclusões geométricas. No trabalho realizado no rio Madeira, foi utilizado um equipamento FARO Focus de diferença de fase, particularmente apto para a modelação de distâncias pequenas a médias (< 150 m), oferecendo melhor resolução espacial e maior velocidade de aquisição do que os seus pares baseados na tecnologia do tempo de voo. O sistema FARO Focus que auxiliou esta pesquisa emite até 976 mil feixes de *laser* por segundo, em 360° horizontais e 210° verticais, com precisão em torno de 2-5 milímetros.

O aparelho de *laser scanning* terrestre foi estacionado em diversas posições, estrategicamente selecionadas de modo a cobrir da forma mais completa possível a área de interesse. Para tal, foi necessário prever possíveis áreas de oclusão e o posicionamento de referências que permitiriam, na fase de processamento, alinhar os varrimentos (Figura 11).

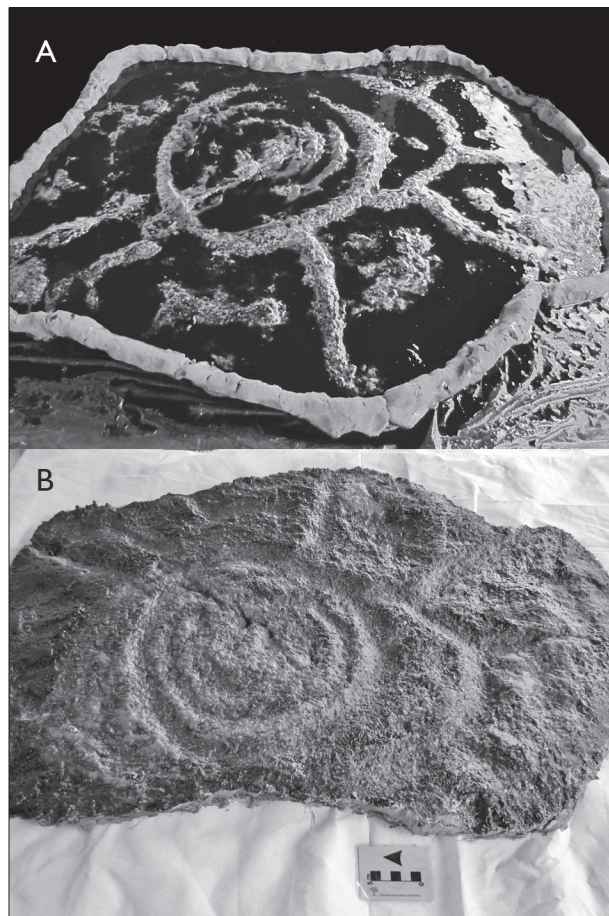


Figura 10. (A) Contra-molde; (B) réplica de petroglifo com cores semelhantes às reais (painel do sítio Ilha do Japó). Fotos: Mauro Agostinho Chagas.



Figura 11. Aquisição de dados com o *laser scanner* na ilha Dionísio. Foto: Scientia Consultoria Científica.

A fotogrametria de luz estruturada, por sua vez, é uma tecnologia que permite produzir modelos tridimensionais detalhados a partir de pares de fotografias.

O equipamento projeta um padrão de listas sobre a superfície em estudo, o qual permite estimar a sua forma tridimensional. O equipamento utilizado foi um Breuckmann Smartscan 3D-HE, que produz dados com uma precisão entre os 10-50 micra (Figura 12).

Como preparação para as sessões de aquisição, foi utilizada uma estrutura opaca, com o objetivo de reduzir e tornar homogênea a luminosidade interior. A estratégia de aquisição adotada para os dados consistiu em uma sequência de exposições regularmente espaçadas ao longo do painel, com uma sobreposição aproximada de 50%.

Após concluir as operações de aquisição no terreno, é necessário proceder com o processamento dos dados em laboratório. Nos casos dos varrimentos *laser*, a primeira operação a executar é o alinhamento deles em um referencial comum. No total, foram produzidos cerca de 350 varrimentos, executados ao longo de seis semanas de trabalho (Figura 13).

No que diz respeito aos dados fotogramétricos, o seu processamento também inclui uma fase de alinhamento, para a qual foram utilizados os croquis de campo, com a posição relativa dos varrimentos, depois ajustados semiautomaticamente graças às zonas de sobreposição dos varrimentos.

Após essa fase, segue-se a produção das malhas individuais em alta qualidade. Posteriormente, esses dados são fundidos em um único objeto e, finalmente, é aplicado um algoritmo de compressão que, dentro de um limite predefinido, reduz a redundância da malha, de forma a facilitar a sua manipulação (Figura 14).

RESULTADOS

Todas as gravuras e painéis foram primeiramente fotografados (Figura 15A); posteriormente, foram confeccionados calques utilizando papel carbono e tecido morim (Figura 15B); croquis em campo (Figura 15C) e, por fim, o registro fotográfico e/ou calque das gravuras e painéis foram digitalizados (isto é, escaneados e vetorizados) manualmente, com utilização de escaneadora e do programa Corel Draw (Figura 15D).



Figura 12. Digitalização de painel gravado da ilha das Cobras. Foto: Scientia Consultoria Científica.



Figura 13. Resultado do alinhamento dos varrimentos *laser scanner* na ilha do Japó.

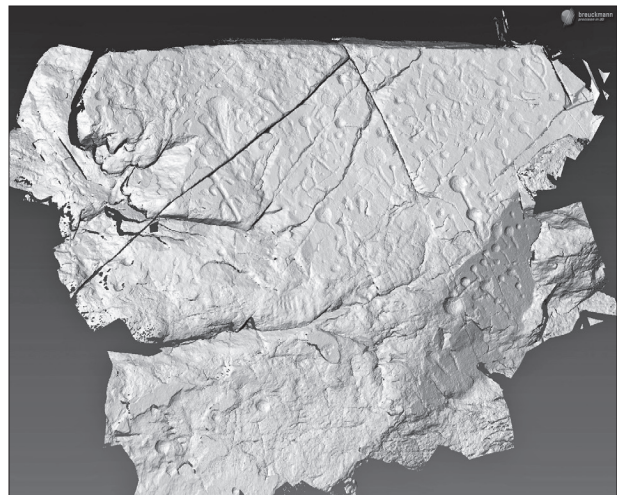


Figura 14. Resultado do processamento dos painéis gravados da ilha das Cobras.

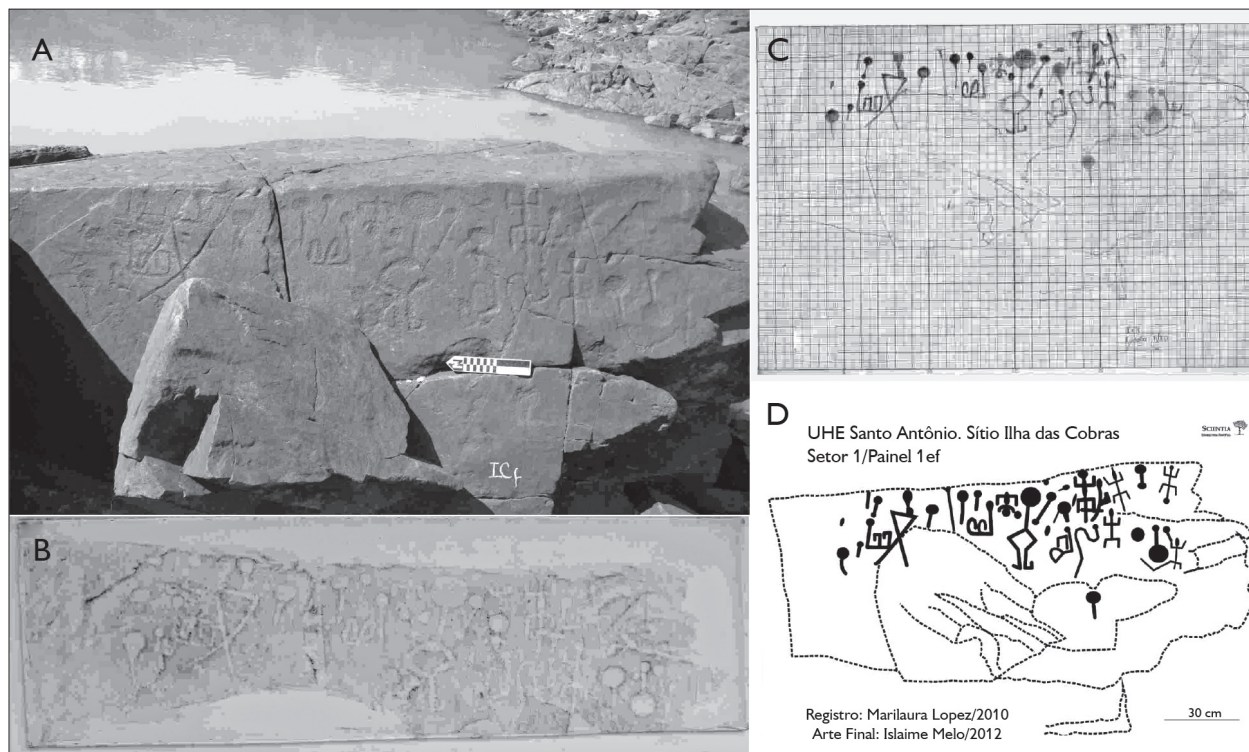


Figura 15. Painel ICf (ilha das Cobras) fotografado (A), com decalque emoldurado em tecido morim (B), croqui (C) e digitalização final (D). Foto: Scientia Consultoria Científica.

Aqui, deve-se dizer que tanto os elementos vetorizados quanto os rasterizados dos calques digitalizados, além do fato de se configurarem como uma forma de processamento da informação adquirida em campo, serão integrados nos modelos 3D, atualmente em fase de produção, com base nos dados *laser* e fotogramétricos.

A técnica de confecção dos petroglifos identificados consiste em picoteamento e abrasão, exibindo formas geométricas, na grande maioria, havendo também o registro de figuras zoomorfas e antropozomorfas. Algumas figuras não puderam ser identificadas, tratando-se de possível figura antropomórfica, geométrica ou composição (Figura 16).

O suporte mais utilizado é o próprio nível de base nos lajedos formados pelos afloramentos rochosos de granitos e granitoides, com cores superficiais cinza, sendo poucos os registros em matacões e blocos portáteis. A maioria dos petroglifos ocorre sob a forma de painéis,

sendo reduzido o número de unidades isoladas. No total, são mais de 900 figuras (Tabela 1), que ainda estão em estudo. O estado de conservação é bom em grande parte dos sítios, mesmo com a submersão anual de todos

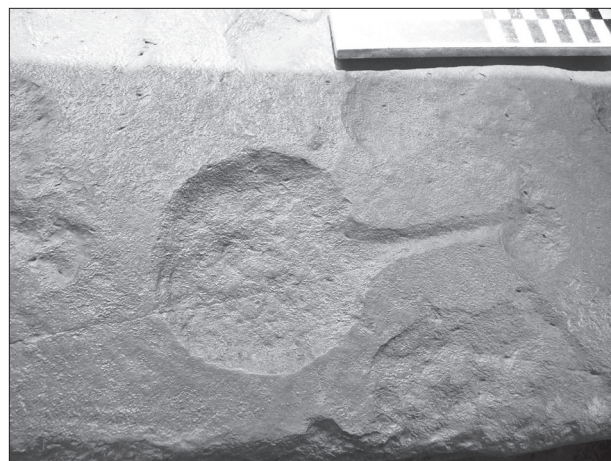


Figura 16. Forma indefinida recorrente no sítio ilha das Cobras (painel ICi). Foto: Scientia Consultoria Científica.

os painéis verificados. Ações climáticas (fluvial, pluvial e solar), entre outras, como proliferação de musgos sobre o embasamento, ocasionam alterações superficiais nas gravuras, de acordo com o passar do tempo.

Após quase três anos de prospecções e documentação ao longo dos afloramentos rochosos do rio Madeira, entre as cachoeiras de Santo Antônio e de Jirau, percebeu-se a necessidade de um registro mais rigoroso. O evento de uma vazante muito baixa do rio Madeira, poucos meses antes do enchimento do reservatório, demandou uma técnica que impusesse rigor, exaustividade, sistematização e, sobretudo, rapidez de execução.

De modo a cumprir os objetivos de documentação detalhada, foi implementado um projeto de modelação digital 3D, suportado por diferentes tecnologias de detecção remota, para obtenção de dados em diferentes escalas. Em razão da urgência do trabalho, esse tipo de registro foi realizado em cinco localidades com vestígios rupestres ao longo do trecho estudado, as quais eram acessíveis em razão da localização acima do nível da água: Teotônio, ilha das Cobras, ilha do Japó,

ilha Dionísio, CPRM 2 (Figura 2, Tabela 1). Ao todo, foram documentados 137 painéis e 859 figuras, 88% e 92%, respectivamente, do total de painéis e figuras identificados (Tabela 1).

No nível do enquadramento, cada área com 'pedrais' apresentando petroglifos foi modelizada com recurso a um *scanner laser* 3D, capaz de garantir velocidades de até 976.000 pontos por segundo, para precisões milimétricas do modelo final. Seguidamente, cada painel gravado foi digitalizado, recorrendo-se a um *scanner* fotogramétrico de luz estruturada, com precisão de 20 micra, especialmente adaptado para o trabalho detalhado sobre pequenos objetos. Foram produzidos, no total, aproximadamente 3.000 varrimentos ao longo de seis semanas de trabalho.

O resultado final é um modelo tridimensional de alta definição e precisão (Figura 17), cujo processamento de diversas variáveis (Figura 18) tem o potencial, entre outros, de deixar visíveis aspectos das figuras e dos painéis que não estariam a olho nu, nem seriam captados nas técnicas tradicionais de registro desta categoria de vestígio arqueológico.

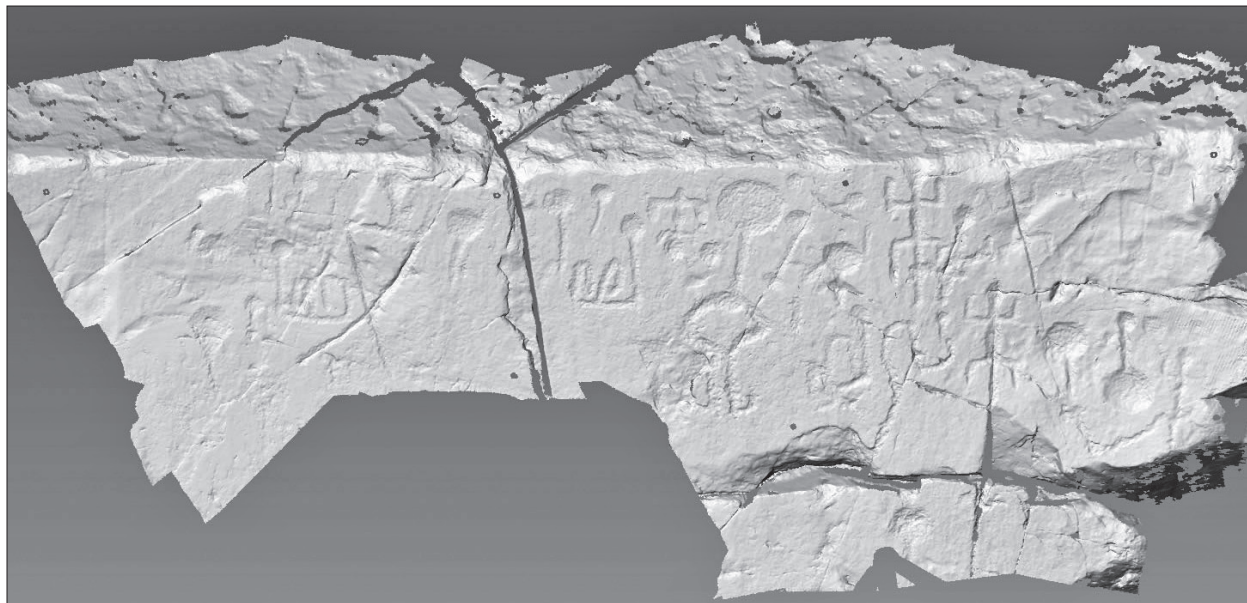


Figura 17. Painel ICf (ilha das Cobras), com resultado do alinhamento das aquisições fotogramétricas com *scanner* de luz estruturada.

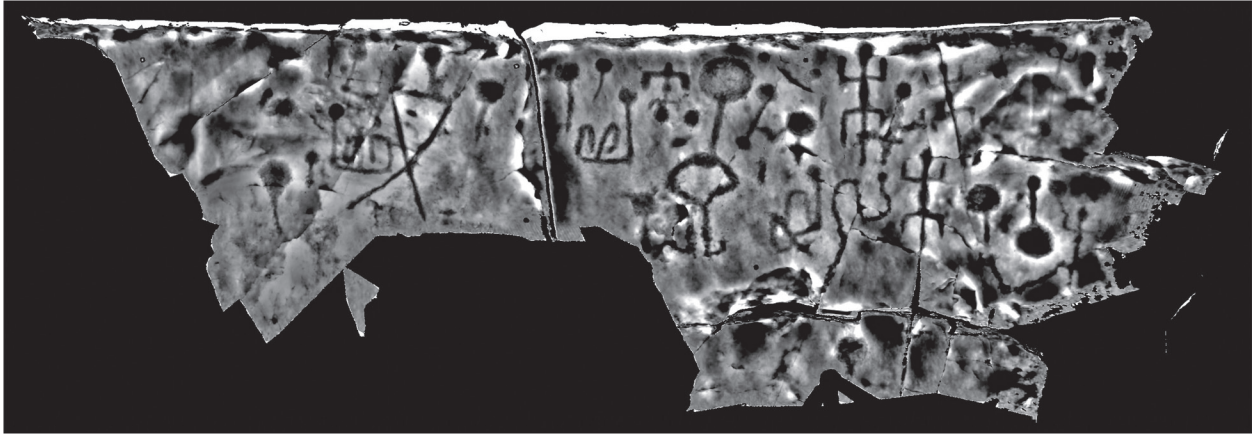


Figura 18. Painel ICf (ilha das Cobras), com resultado do processamento em mapa de profundidade (tons de cinza).

Ao invés da imagem fotográfica bidimensional, a tecnologia de *laser scanning* permite, entre outras vantagens, a caracterização geométrica das figuras, facilitando a visualização detalhada dos objetos modelizados, a navegação independente de um ponto de vista e a produção de projeções ortográficas a partir de qualquer direção (Figura 19). Possibilita também mensurações precisas de qualquer aspecto das gravuras.

Privilegiando esta abordagem integrada de diversas tecnologias de documentação, que autorizam uma análise dos vestígios em vários níveis, prevê-se ainda a realização de um modelo global do vale, com dados geoespaciais *multi-source* e integração exhaustiva da totalidade das fontes de informação existentes.

O produto final deste trabalho será um modelo digital do terreno, visualizável e explorável em várias escalas: desde a escala de cada painel, com precisão de 20 micra, à escala do sítio, com precisão de 2 mm; e também a escala de toda a área do vale do rio Madeira, na qual se localizam os sítios com gravuras, para integração e contextualização dos modelos de cada sítio. O modelo produzido (visualizável em escalas de cinza ou texturizado com cores realistas, recuperadas fotograficamente) será constituído pela composição da totalidade dos varrimentos realizados, indispensáveis para a produção deste modelo complexo, multiescala e *multi-source*.

Esse tipo de modelo 3D comporta, ainda, o potencial para incorporar toda a informação digitalizada e vetorizada dos levantamentos com métodos tradicionais,

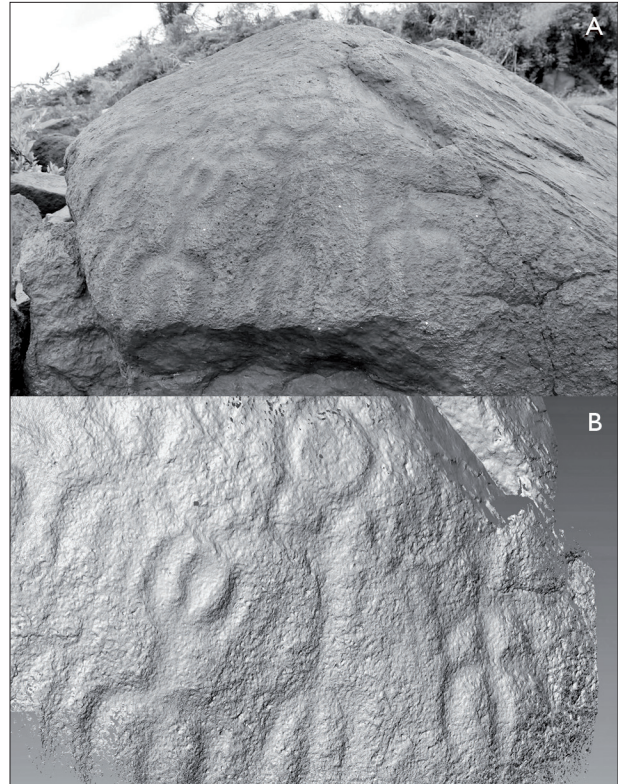


Figura 19. (A) Painel IJa do sítio Ilha do Japó; (B) detalhe do modelo do mesmo painel após processamento. Foto: Scientia Consultoria Científica.

Esse tipo de modelo 3D comporta, ainda, o potencial para incorporar toda a informação digitalizada e vetorizada dos levantamentos com métodos tradicionais, elevando, assim, nossa capacidade de análise e interpretação destes vestígios arqueológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os 'pedrais' com petroglifos do rio Madeira constituem um caso de estudo paradigmático do potencial da metodologia conjugada aqui proposta, em especial, da utilização das técnicas de *laser scanning* terrestre e de fotogrametria ativa de luz estruturada, na medida em que, graças à estratégia implementada, os resultados obtidos constituem uma fonte privilegiada de informação. Eles garantem o acesso a um vestígio arqueológico inacessível fisicamente devido ao contexto do empreendimento.

O modelo digital permite a correlação com outros dados espaciais e a extração de todos os planos, seções e cortes desejados, uma vez que assegura facilidade de comparação, manuseamento, visualização e exploração em numerosos domínios e diferentes escalas. A produção de modelos mensuráveis e fotorrealistas de paisagens arqueológicas em vias de desaparecimento permite a preservação digital de uma base de dados incomparável para: a) análises de risco, avaliação de patologias e comportamento estrutural; b) análises estratigráficas de sobreposição de gravuras; c) estudos morfotipológicos, estilísticos e tecnológicos, possibilitando, apesar da ausência de estratificação arqueológica associada, a comparação entre vestígios rupestres em diferentes escalas e uma aproximação ao tipo de comunidade que os produziram.

A partir dos modelos produzidos, pode-se ainda obter animações multimídia e modelos virtuais que apresentam um elevado potencial de comunicação, quer junto à comunidade científica quer, sobretudo, junto à comunidade não especializada, o que resulta em significativo impacto positivo na construção de uma consciência patrimonial, que permitirá não só usar e

desfrutar deste patrimônio cultural desaparecido, mas também enriquecê-lo, recriá-lo, preservá-lo, enquanto valor fundamental para toda a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Santo Antônio Energia S.A. a todo apoio logístico prestado. Renato Kipnis agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (CNPq/2D. Proc.# 300892/2005-5).

REFERÊNCIAS

- BRADLEY, R. Rock art and the perception of landscape. **Cambridge Archaeological Journal**, v. 1, n. 1, p. 77-101, 1991.
- COIMBRA, M. **Inventário dos sítios rupestres da região centro-leste de Rondônia-Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2010.
- CONKEY, M. Structural analysis of Paleolithic art. In: LAMBERG-KARLOVSKY, C. C. (Ed.). **Archaeological thought in America**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 135-154.
- DAVID, B.; COLE, N. Rock art and inter-regional interaction in Northeastern Australian prehistory. **Antiquity**, v. 64, n. 245, p. 788-806, 1990.
- D'AZEVEDO, W. L. A structural approach to esthetics: toward a definition of art in anthropology. **American Anthropology, New Series**, v. 60, n. 4, p. 702-714, 1958.
- DEACON, J. The power of place in understanding Southern San rock engravings. **World Archaeology**, v. 20, n. 1, p. 129-140, 1988.
- DOWSON, T. A. Reading art, writing history: rock art and social change in Southern Africa. **World Archaeology**, v. 25, n. 3, p. 332-345, 1994.
- FERNANDES, L. C.; GUIMARÃES, S. C. P. **Atlas Geoambiental de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, 2002. v. 2.
- GASPAR, M. **A arte rupestre no Brasil**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2003.
- GEERTZ, C. Art as a cultural system. In: GEERTZ, C. **Local knowledge: further essays in interpretive anthropology**. New York: Basic Books, 1983. p. 93-120.
- GOULD, R. A. Ecosystemic meaning in Ngatjatjara visual art. In: GOULD, R. A. **Recovering the past**. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1990. p. 137-159.



- GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. **The Smithsonian Atlas of the Amazon**. Washington: Smithsonian Books, 2003.
- HAYS-GILPIN, K. A. **Ambiguous images: gender and rock art**. Walnut Creek: Altamira Press, 2004.
- KIPNIS, R. Long-term land tenure systems in Central Brazil: evolutionary ecology, risk-management, and social geography. In: FITZHUGH, B.; HABU, J. (Eds.). **Beyond foraging and collecting: evolutionary change in hunter-gatherer settlement systems**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002. p. 181-230.
- LEWIS-WILLIAMS, J. D.; PEARCE, D. G. **San spirituality: roots, expression, and social consequences**. Walnut Creek: Altamira Press, 2004.
- MARTÍNEZ, D. **Propuesta para la documentación general de yacimientos rupestres: el petroglifo de la Piedra de Sasaima, Cundinamarca (Colombia)**. 2005. Disponível em: <http://www.rupestreweb.info/sasaima.html>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- MILLER, E. T. Adaptação agrícola pré-histórica no alto rio Madeira. In: MEGGERS, B. (Ed.). **Prehistoria Sudamericana: nuevas perspectivas**. Santiago: Taraxacum, 1992. p. 226-227.
- MORWOOD, M. J. **Visions from the past: the archaeology of Australian Aboriginal art**. Washington: Smithsonian Institution Press, 2002.
- PEREIRA, E. **A Arte Rupestre de Monte Alegre: Pará, Amazônia, Brasil**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2012.
- PEREIRA, E. Arte rupestre e cultura material na Amazônia brasileira. In: PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V. (Orgs.). **Arqueologia amazônica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010. v. 1, p. 261-283.
- PEREIRA, E. **Arte rupestre na Amazônia: Pará**. São Paulo: UNESP; Belém: MPEG, 2003.
- PEREIRA, E. Testimony in stone. In: MCEWAN, C.; BARRETO, C.; NEVES, E. (Eds.). **Unknown Amazon**. London: The British Museum Press, 2001. p. 214-229.
- PROUS, A. **Arqueologia brasileira**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1992.
- RIBEIRO, L. **Os significados da similaridade e do contraste entre os estilos de arte rupestre: um estudo regional das gravuras e pinturas do alto-médio São Francisco**. 2006. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- ROOSEVELT, A. C.; COSTA, M. L.; MACHADO, C. L.; MICHAB, M.; MERCIER, N.; VALLADAS, H.; FEATHERS, J.; BARNETT, W.; SILVEIRA, M. I.; HENDERSON, A.; SLIVA, J.; CHERNOFF, B.; REESE, D. S.; HOLMAN, J. A.; TOTH, N.; SCHICK, K. Paleindian cave dwellers in the Amazon: the peopling of the Americas. **Science**, v. 272, n. 5260, p. 373-384, 1996.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Estudos de viabilidade UHE Santo Antônio e Jirau**. Porto Velho: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005.
- SMITH, C. Colonising with style: reviewing the nexus between rock art, territoriality and the colonisation and occupation of Sahul. **Australian Archaeology**, v. 34, p. 34-42, 1992.
- TAÇON, P. Identifying sacred landscapes in Australia: from physical to social. In: ASHMORE, W.; KNAPP, B. (Eds.). **Archaeologies of landscape**. Oxford: Blackwell, 1999. p. 77-91.
- VALLE, R. **Mentes graníticas e mentes areníticas: fronteira geocognitiva nas gravuras rupestres do baixo rio Negro, Amazônia setentrional**. 2012. 600 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- VALLE, R. Registros rupestres do rio Negro, Amazônia Ocidental. In: PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V. (Orgs.). **Arqueologia amazônica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010. v. 1, p. 319-342.
- WHITNEY, D. **Replications: archaeology, art history, psychoanalysis**. Pennsylvania: The Pennsylvania State University Press, 1996.
- WILLCOX, A. R. An analysis of the function of rock art. **South African Journal of Science**, v. 74, p. 59-64, 1978.



