Levantamento morfológico no sítio arqueológico do Crastoeiro, em Mondim de Basto (Norte de Portugal), com recurso a métodos clássicos e digitais

ANTÓNIO PEREIRA DINIS[1]
JOSÉ RIBEIRO[2]
A. MÁRIO DINIS[3]
RENATO HENRIQUES[4]

1 Lab2PT – Laboratório de Paisagens, Património e Território – Universidade do Minho; Câmara Municipal de Mondim de Basto; Coordenador do projeto CRASBASTO.

2 Mestre em Arqueologia pela Universidade do Minho; Projeto CRASBASTO.

3 Mestrando em Arqueologia na Universidade do Minho; Projeto CRASBASTO.

4 Instituto de Ciências da Terra – Polo da Universidade do Minho; Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho.

RESUMO

O presente trabalho agrega resultados de um ensaio metodológico de aplicação de técnicas de fotogrametria e novas técnicas de processamento ao estudo das Rochas 2 e 21 do Crastoeiro, em Mondim de Basto. Estas metodologias complementam os trabalhos de levantamento que têm vindo a ser desenvolvidos neste sítio arqueológico, visando o aumento do conhecimento do local e da sua transformação ao longo do tempo. Recentemente, foi ensaiado um conjunto de metodologias, baseado em fotogrametria e processamento digital de informação tridimensional, o qual tem contribuído para detalhar aspetos relacionados com a morfologia deste local, com especial enfoque no rico conjunto de blocos rochosos com gravuras. São apresentados alguns resultados preliminares desta intervenção, com o propósito de ilustrar o potencial que a conjugação destas novas técnicas com o trabalho previamente desenvolvido pode ter na valorização desta estação arqueológica.

PALAVRAS-CHAVE

Crastoeiro; Mondim de Basto (Norte de Portugal); gravuras rupestres; metodologia convencional; aerofotogrametria; fotogrametria de curta distância; *digital restoration of bas-relief prints*; distância geométrica de superfícies tridimensionais.

ABSTRACT

The present work aggregates some results of the methodological test of application of photogrammetry and new processing techniques to the study of Crastoeiro, in Mondim de Basto (Northern Portugal). These methodologies complement the vast set of survey work that has been developed at this archaeological site, with a view to increasing knowledge about the site and its transformation over time. Recently a set of methodologies based on photogrammetry and digital processing of three-dimensional information has been tested which has contributed to detail aspects related to the morphology of this site, especially the rich set of rock blocks with engravings. Some preliminary results resulting from this work are presented and the potential that the combination of these new techniques with the previously developed work may have in the valorisation of this archaeological site is illustrated.

KEYWORDS

Crastoeiro; Mondim de Basto (Northern Portugal); rock engravings; conventional methodology; aerophotogrammetry; close-range photogrammetry; geometric distance of 3D surfaces.

1. Introdução

Identificado em 1982, durante os trabalhos de prospeção orientados para a concretização da carta arqueológica municipal, o sítio arqueológico do Crastoeiro começou a ser estudado em 1984, tendo, até à data, sido contemplado com 15 campanhas de escavação, integradas em quatro projetos distintos, pensados em função das muitas questões colocadas[1]. Entre as diversas problemáticas suscitadas ressalta a da ocupação mais antiga do Crastoeiro, materializada num importante conjunto de motivos gravados na rocha, assunto que justificou as intervenções arqueológicas levadas a cabo entre 2005 e 2009[2], e a incorporação, na equipa de investigação, de especialistas de outras áreas do saber, capazes de auxiliar com novas abordagens metodológicas na resolução das complexidades encontradas.

Os trabalhos arqueológicos realizados de 2005 a 2009 incidiram em dois complexos de arte rupestre, com um total de 30 rochas gravadas, e tiveram como objetivo contextualizar, cronológico-culturalmente, os vários grupos de gravuras rupestres do Crastoeiro e estabelecer hipóteses acerca do significado destes locais. Além da escavação das áreas adjacentes às gravuras, procedeu-se ao decalque direto dos motivos insculturados e ao estudo da sua estratigrafia horizontal ou vertical, da organização interna de cada conjunto, assim como da sua contextualização geomorfológica e arqueológica.

Face às limitações do decalque direto[3], e considerando que o objetivo final deverá ser a reprodução mais fidedigna possível do original, permitindo ao investigador analisar os motivos representados e transmitir a informação a outros especialistas/investigadores e também ao público em geral, procedeu-se, em 2016 e 2017, ao levantamento de alguns blocos esculpidos, com recurso a fotogrametria de curta distância. Procedeu-se ainda a um levantamento aerofotogramétrico integral do sítio arqueológico.

1 Os resultados dos trabalhos dos primeiros dois projetos, correspondendo às seis primeiras intervenções arqueológicas, realizadas de 1985 a 1987 e de 1997 a 1999, já foram divulgados, quer em diversas publicações arqueológicas (Dinis, 1986a; 1986b; 1987; 1993-1994; 1994; 2005), quer reunidos na primeira monografia do sítio, editada pela Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho (Dinis, 2001).

2 Os resultados dos trabalhos desta terceira fase de investigação, que compreendeu cinco intervenções arqueológicas, foram divulgados, parcialmente, em alguns eventos arqueológicos e várias publicações da especialidade (Dinis, 2009a; 2009b; Dinis e Bettencourt, 2009), e serviram de matéria para os trabalhos académicos de Gonçalves (2013) e Seabra (2015).

3 A natureza e estado do suporte, a destreza dos executantes do decalque e as incidências de luz podem comprometer a interpretação das superfícies gravadas.

2. Localização e contexto geomorfológico-ambiental

O Crastoeiro situa-se a norte da aldeia de Campos, na freguesia de São Cristóvão de Mondim de Basto, concelho de Mondim de Basto, distrito de Vila Real[4]. Integrado na bacia hidrográfica do Tâmega, está implantado na margem esquerda do rio, a cerca de 3 km em linha reta, num pequeno morro que se destaca na meia encosta da vertente sudoeste do Monte Farinha, sobranceiro ao vale da ribeira de Campos, com excelente visibilidade para as serras da Lameira e da Cabreira.

O local, completamente antropizado pela exploração de granito e utilização florestal, conserva alguns carvalhos, sobreiros e medronheiros, de pequeno porte, resquícios do primitivo coberto vegetal.

O substrato rochoso integra a mancha hercínica, denominada de granito da Senhora da Graça, caracterizado por integrar duas micas, de grão médio, com esparsos megacristais. O Crastoeiro situa-se no rebordo sudoeste dessa mancha granítica, a curta distância da zona de contacto com a faixa de alternância de filitos e xistos com metassiltitos e metagrauvaques, onde ocorrem, em abundância, filões e massas de quartzo e aplitos (Pereira, 1987).

No interior da estação arqueológica afloram grandes massas graníticas, por vezes dispostas em grande caos de blocos, havendo algumas dezenas de exemplares gravados na pré e proto-história com representações de temática abstrata. Alguns destes afloramentos foram afeiçoados e trabalhados para a eles serem adossadas estruturas pétreas que formam edifícios ou muros perimetrais, delimitadores de núcleos habitacionais. No século passado, muitos dos rochedos existentes foram cortados para obtenção de esteios para as vinhas e blocos destinados à construção civil.

Os recursos aquíferos são abundantes na envolvência do Crastoeiro, jorrando a água de uma mina, já referenciada nas inquirições de D. Afonso III, localizada a poucos metros da muralha sul.

4 As coordenadas geográficas são as seguintes: Lat. 41°24'58" N; Long. 7°55'41" W; Alt. 453 m (Instituto Geográfico do Exército, 2012).

3. Caracterização do sítio arqueológico

De contorno ovalado e topografia descendente de norte para sul, o Crastoeiro ocupa uma área de aproximadamente 1 ha, onde se organizam vários recintos assimétricos e, nalguns casos, delimitados por afloramentos graníticos.

Embora sejam bem visíveis as marcas de destruição humana ao longo dos séculos, o sítio arqueológico conservou suficientes evidências arqueológicas que têm permitido clarificar o seu sistema defensivo, organização interna e caracterização de espaços funcionais, entre outras materialidades que lhe conferem um estatuto de monumento singular.

Os vestígios mais antigos reconhecidos integram um conjunto de várias dezenas de afloramentos graníticos com gravuras abstratas, realizadas pela técnica da picotagem e abrasão. Um pequeno fragmento de cerâmica tipo Penha, atribuível ao Calcolítico regional, e quatro fragmentos tecnologicamente inseríveis na Idade do Bronze, exumados nas imediações de um dos conjuntos de gravuras, poderão constituir indicadores da frequência destes locais durante a pré-história.

Na Idade do Ferro, a partir do século IV a.C. (segundo datações radiométricas), o Crastoeiro passa a ser habitado permanentemente. Fragmentos de argila utilizados no revestimento de cabanas construídas com materiais perecíveis, pavimentos em saibro muito compactados, áreas de combustão e fossas abertas no saibro, algumas preenchidas com sementes carbonizadas, são alguns registos desta segunda fase de ocupação. Séculos mais tarde, a defesa natural que o sítio já possuía foi reforçada com a construção de uma muralha de paramento duplo, revestido com blocos graníticos e miolo preenchido com terra e pedras, circuitando mais de dois terços do seu perímetro. Do lado nordeste, onde a vulnerabilidade era mais evidente, o sistema defensivo foi complementado com um fosso, cortado no substrato rochoso, destruído na década de 1990, aquando da construção de uma estrada. Durante esta fase, embora a construção primitiva ainda se mantenha, começam a ser levantadas estruturas habitacionais em pedra, reconhecendo-se alguma variabilidade formal, com predomínio da planta circular.

A romanização do sítio revelou-se pouco expressiva, sendo comprovada pela existência de edifícios quadrangulares e retangulares, alguns deles utilizando muros comuns, e por algum espólio cerâmico e moedas da República e de Augusto. Aceita-se que o Crastoeiro tenha sido abandonado durante o século I d.C., presumindo-se uma curta reocupação na Idade Média.

Na Idade Moderna e Contemporânea, o morro foi local de feitura de carvão vegetal, de produção de madeira e de extração de granito para esteios de vinha e para a construção civil.

4. Os trabalhos de decalque de 2005 a 2009

Os trabalhos arqueológicos realizados de 2005 a 2009 incidiram, especialmente, em dois complexos de arte rupestre, designados por Complexo I e II, compostos por 30 rochas com gravuras, executadas por picotagem e abrasão, 15 delas unicamente com covinhas e as restantes conjugando covinhas, semicírculos, círculos simples e concêntricos, sulcos, uma espiral, um motivo ovalado, segmentado, com nuvens de pontos no seu interior, etc. Como se disse, além da escavação das áreas adjacentes às gravuras, procedeu-se ao seu decalque direto, método convencionado e o mais utilizado pelos diversos investigadores, pelo menos, até final do século XX. Esta metodologia consistiu no decalque dos motivos gravados com canetas de acetato, resistentes à água, de cor azul, vermelha e preta (para diferenciar as gravuras das fissuras e do contorno rochoso), usando plástico de vinil de 0,8 mm, previamente cortado em retângulos, de 0,60 x 0,50 m, traçando-se margens de 0,05 m com a cor azul. Os retângulos foram dispostos sobre as superfícies gravadas, sobrepondo-se as suas margens e fixando-se com *bostik* à rocha. Todos os retângulos foram marcados no canto inferior esquerdo com uma seta de orientação para o Norte, um número de identificação, de acordo com o esquema previamente definido e acrónimo da estação, o ano do levantamento e o número da rocha ou núcleo.

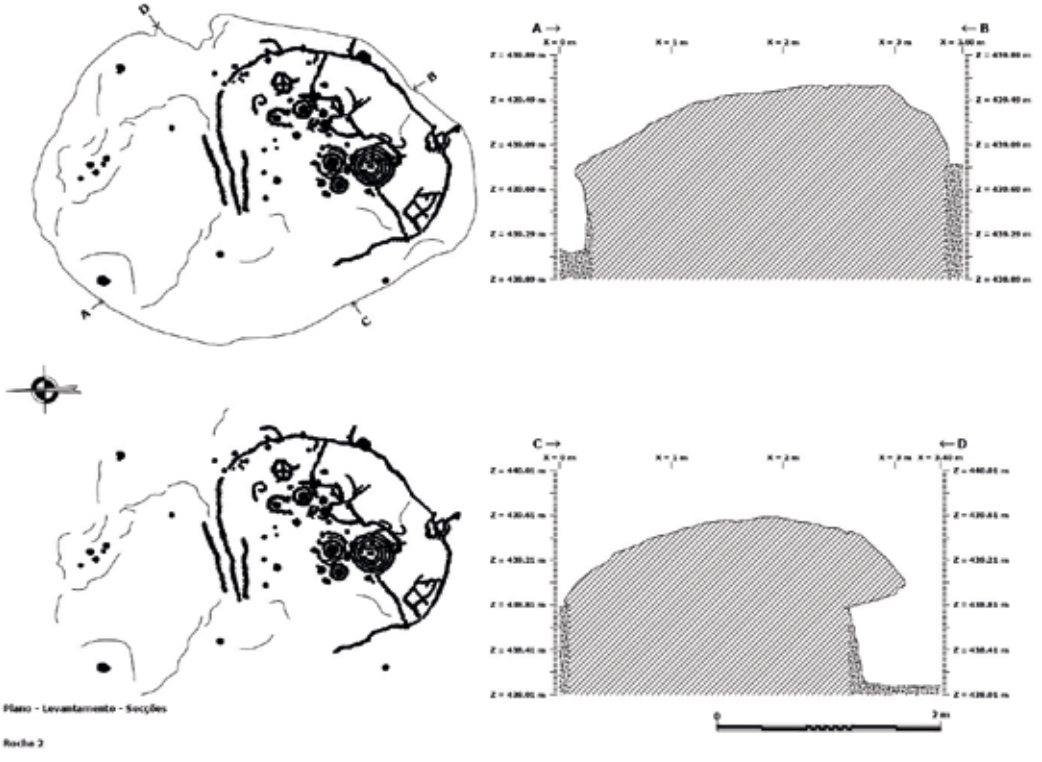

Figura 1 Plano, decalque e secções da Rocha 2 do Crastoeiro.

Figura 2 Decalque direto diurno da Rocha 2 do Crastoeiro.

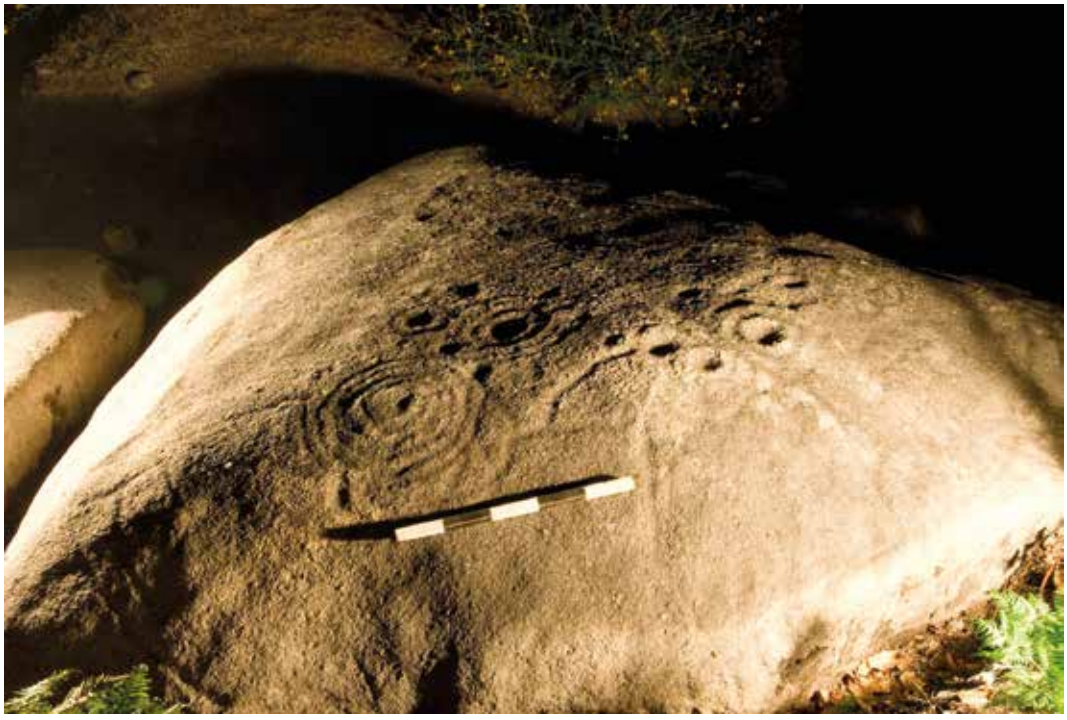

Figura 3 Preparação do decalque direto noturno da Rocha 2 do Crastoeiro.

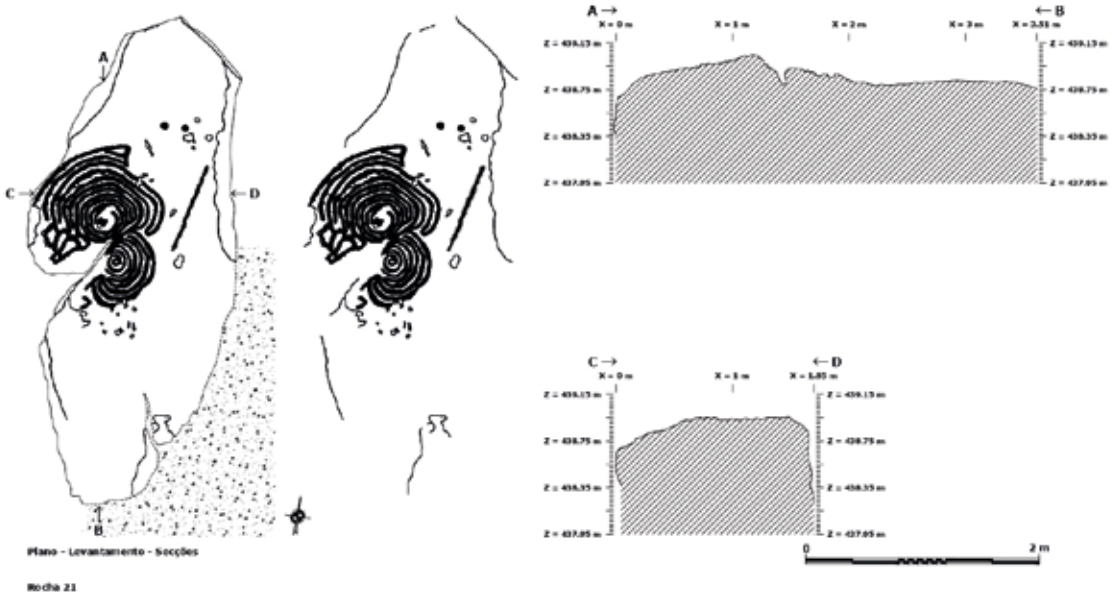

Figura 4 Plano, decalque e secções da Rocha 21 do Crastoeiro.

O decalque das rochas do Crastoeiro, realizado durante a noite com o apoio de um gerador e focos de luz rasante direcionáveis, para melhor perceção dos motivos gravados, foi complementado por registos gráficos (planos e secções), realizados à escala 1:20, conjuntamente com o levantamento topográfico, à escala 1:100. Foram efetuados, também, vários registos fotográficos, diurnos e noturnos, contemplando diversas incidências de luz sobre as insculturas, para auxílio nos trabalhos de gabinete. Mesmo com a utilização dos novos equipamentos e métodos digitais, esta será sempre uma escolha efetuada no momento da execução da fotografia pelo investigador que, posteriormente, na realização do decalque informático no gabinete, pode só contemplar determinadas áreas.

5. Levantamento aerofotogramétrico

Em 2017 e 2018, foram conduzidos dois levantamentos integrais da área do Crastoeiro com recurso a um veículo aéreo não tripulado (VANT). Este tipo de trabalho permitiu a obtenção do registo fotográfico da área levantada, bem como o modelo digital de superfície (3D) com elevado detalhe e precisão posicional, permitindo trabalhos de mapeamento e monitorização.

A metodologia consistiu na obtenção de várias fotografias de nadir, obtidas com recurso a um VANT, com sobreposição frontal e lateral de cerca de 75%. Para este efeito foi utilizado um software de planeamento que define fiadas laterais, destinadas a condicionar o padrão de voo do VANT, assegurando a sobreposição desejada. Cada voo foi realizado com fiadas de padrão cruzado a 90º, para eliminar ambiguidades de restituição posicional em latitude e longitude. Foi ainda usado um modelo de elevação SRTM da NASA, para condicionar a altura de voo do VANT, de modo a que este se deslocasse sempre à mesma distância da superfície. Este procedimento assegura que cada fotografia individual é obtida sempre com a mesma distância de amostragem do terreno, sendo, neste caso, de cerca de 1,4 cm/pixel. A altura de voo foi de 60 metros em relação ao ponto de levantamento do VANT. Foram ainda

Figura 5 Ortofotomapa integral com localização da Rocha 2 e da Rocha 21 do Castroeiro.

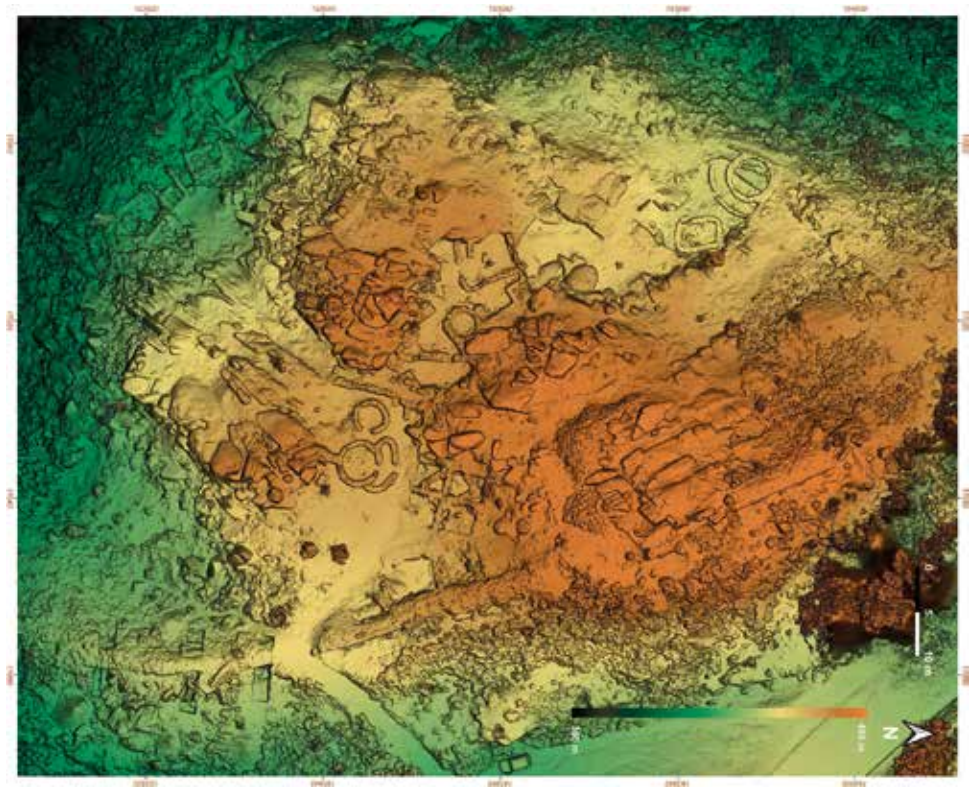

Figura 6 Modelo digital de superfície (DSM) integral do Crastoeiro.

Figura 7 Modelo tridimensional do Crastoeiro.

colhidos cinco pontos de controlo no solo, homogeneamente espaçados pela área, cujas coordenadas foram recolhidas com equipamento GNSS de precisão, destinados a calibrar as coordenadas dos produtos geodésicos finais. O material fotográfico colhido (cerca de 240 fotografias) foi processado fotogrametricamente, com recurso à aplicação *Agisoft Metashape*, seguindo a metodologia de Gonçalves e Henriques (2015). Os produtos finais obtidos foram um ortofotomapa, um modelo digital de superfície e um modelo tridimensional.

Os produtos obtidos são particularmente úteis para qualquer procedimento de mapeamento de estruturas. O facto de se poder repetir este tipo de levantamento ao longo do tempo permite mapear o constante desenvolvimento de trabalhos arqueológicos, com potencial exposição de novas estruturas, mantendo um registo atualizado de ocorrências.

Tratando-se de uma ocorrência ao ar livre, os materiais estão expostos ao intemperismo, bem como ao fluxo de pessoas, podendo conduzir a potencial degradação ao longo do tempo. Os levantamentos deste tipo permitem monitorizar e avaliar evidências de degradação, permitindo planear operações de proteção. Permitem ainda definir operações de planeamento e de valorização do local. São ainda úteis para registo e arquivo digital das ocorrências, podendo os materiais resultantes serem explorados das diversas formas que hoje são permitidas pela tecnologia, nomeadamente a exploração interativa com recurso à internet, de modo bidimensional ou tridimensional, acrescentando também evidente interesse educativo para o público em geral.

6. Fotogrametria de curta distância

Com o objetivo de registar e estudar detalhadamente a morfologia de rochas com gravuras, foram feitos levantamentos de pormenor de alguns blocos, recorrendo a fotogrametria de curta distância. Este método consiste em obter fotografias de diversos pontos de vista dos blocos, garantindo uma sobreposição frontal e lateral entre estas de 70% a 90%. Estas fotografias são obtidas de modo inteiramente manual, sendo importante a destreza e a experiência de quem faz este tipo de trabalho, no sentido de obter uma cobertura adequada ao processamento fotogramétrico. Com recurso a uma aplicação de processamento baseada na tecnologia Structure from Motion (SfM), é possível obter a restituição tridimensional de objetos a partir de sequências de imagens bidimensionais sobrepostas. A tecnologia SfM tem como princípio básico a avaliação da variação da posição de pontos geométricos comuns, entre pares consecutivos de fotografias, sujeitos ao efeito de paralaxe. A posição destes pontos é utilizada para resolver matematicamente a posição relativa do conjunto de todos os pontos luminosos capturados por cada fotografia, bem como o posicionamento inicial da câmara na altura da obtenção de cada fotograma. O resultado final é uma nuvem de pontos esparsa, que reflete, de modo geometricamente preciso, a morfologia do objeto

fotografado. O processo é análogo àquele que é utilizado pela própria visão estereoscópica humana, que permite obter uma perceção tridimensional do espaço envolvente e avaliar a profundidade de objetos. É um processo análogo também ao procedimento utilizado neste trabalho para processar informação do levantamento aerofotogramétrico, sendo os produtos finais obtidos muito semelhantes, embora a escalas diferentes, devido à distância das fotografias ao objeto fotografado.

A título de exemplo, será ilustrado neste trabalho o processamento e o tipo de resultados obtidos para dois blocos rochosos com gravuras do Crastoeiro – Rocha 2 e Rocha 21. Estes blocos foram levantados utilizando 417 fotografias para a Rocha 2 e 357 fotografias para a Rocha 21. Após processamento fotogramétrico, utilizando a aplicação *Agisof Metashape*, foi obtida com sucesso uma nuvem esparsa de pontos. Esta nuvem é, depois, calibrada geometricamente para dimensões reais, utilizando pontos de controlo previamente colocados nos objetos fotografados, e cuja posição é geometricamente determinada e introduzida na aplicação de processamento.

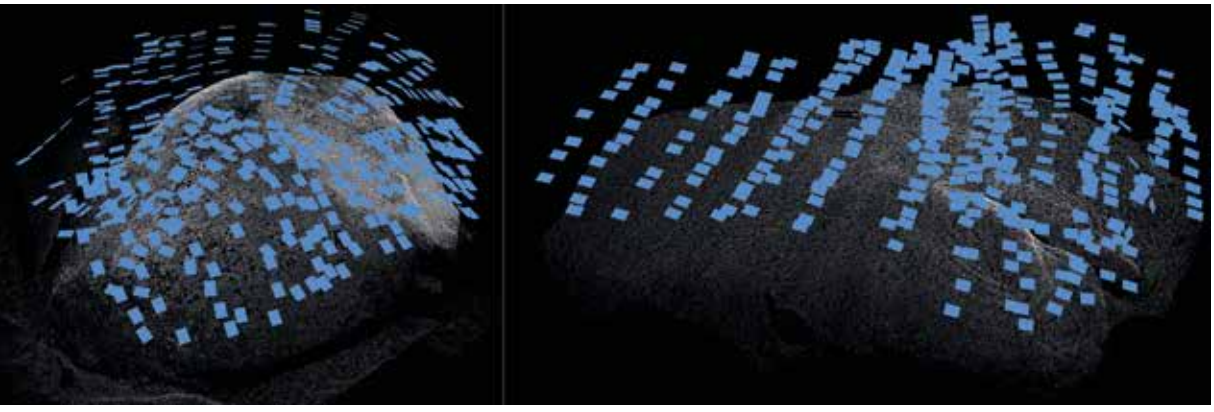

Figura 8 Nuvens esparsas da Rocha 2 (à esquerda) e da Rocha 21 (à direita). Os retângulos azuis representam a posição geométrica do plano do sensor da câmara na altura da obtenção de cada fotografia.

Após esta fase inicial, o processamento continua no sentido da densificação da nuvem de pontos esparsa para uma nuvem de pontos densa e, finalmente, a obtenção de uma malha. Uma das vantagens desta metodologia é que não só é obtida a informação posicional tridimensional dos pontos luminosos, mas é também mantida a informação radiométrica providenciada pelo sensor da câmara utilizada. Deste modo, é obtida a informação morfológica precisa do objeto, bem como a informação textural contínua da superfície, baseada no mosaico fotográfico resultante da junção de todas as fotografias.

No final, são obtidos registos digitais extremamente fiéis do ponto de vista geométrico e textural dos objetos levantados, que podem ser explorados em gabinete. As Rochas 2 e 21 levantadas neste trabalho foram obtidas com uma distância de amostragem, respetivamente, de 0,4 e 0,3 mm/pixel, o que ilustra bem a resolução com que é possível proceder a análises detalhadas da morfologia e textura destes modelos.

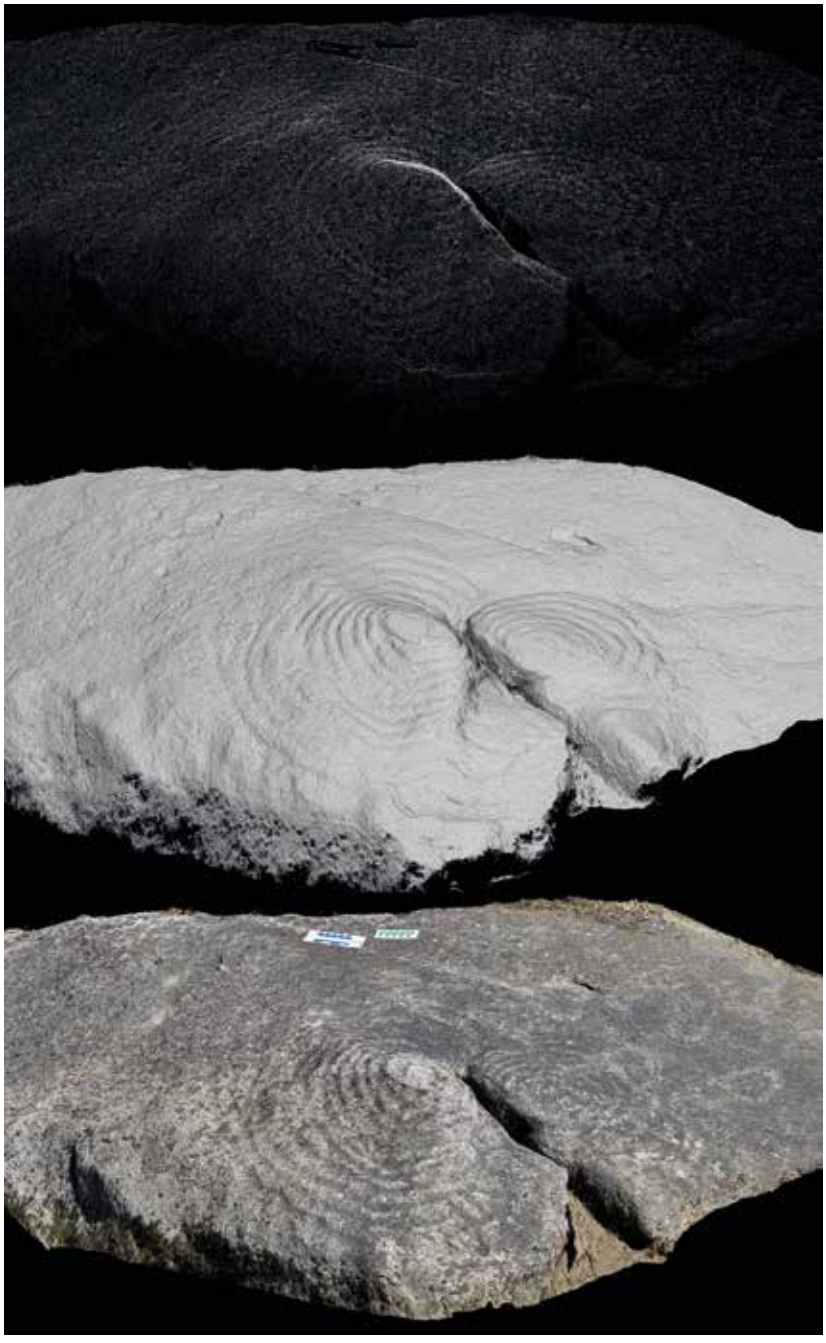

Figura 9 Fases do processamento fotogramétrico da Rocha 21: nuvem de pontos esparsa (em cima); nuvem de pontos densa (ao centro); malha tridimensional com textura fotográfica (em baixo).

Para além das vantagens já enumeradas para os produtos obtidos nos levantamentos aerofotogramétricos, comuns a este tipo de procedimento, o levantamento de proximidade destes blocos apresenta outras vantagens. Embora o levantamento baseado em fotogrametria de curta distância deva ser sempre usado em complemento com métodos clássicos de análise morfológica e textural, apresenta algumas vantagens importantes, que seguidamente serão descritas.

A primeira grande vantagem tem a ver com o facto de se tratar de uma análise distanciada do objeto, sem que tenha que haver contacto físico com este. Deste modo, ao contrário da metodologia clássica de decalque, não se sujeitam as ocorrências a qualquer fator de perturbação ou abrasão para a obtenção de informação morfológica e textural. Evitam-se também fontes de perturbação decorrentes de contaminação das estruturas com nanomateriais provenientes dos materiais utilizados para o decalque, bem como a ocorrência de microabrasão. Deste modo, é possível manter as estruturas sem qualquer perturbação, evitando comprometer a futura utilização de métodos de análise inovadores que possam utilizar quantidades ínfimas de materiais ou análises microestruturais.

A informação obtida é também, potencialmente, de melhor qualidade face aos métodos clássicos, pois elimina o fator de destreza de quem procede ao decalque com telas, bem como a dificuldade de colocar estas de modo adequado sobre objetos com formas proeminentes e mais complexas. Como é possível utilizar um conjunto sofisticado e cada vez mais poderoso de ferramentas de processamento digital, é possível fazer ensaios que são impossíveis de realizar no campo, bem como revelar estruturas difíceis de detetar no local. Nalguns casos, devido à dificuldade de acesso ou ao risco envolvido, é mesmo impossível realizar trabalhos de decalque clássico em alguns locais onde é facilmente exequível o "decalque" digital. Acrescenta-se a vantagem de o trabalho em fluxo digital já ser feito com material calibrado e geometricamente corrigido, podendo produzir elementos descritivos georreferenciados e perfeitamente fiéis às dimensões reais.

O facto de se ficar com o acervo digital permite também que se possa proceder à análise repetida do objeto levantado sem que isso implique deslocações ao campo e a mobilização de grande quantidade de material, tal como telas, focos de iluminação, etc. Tratando-se de objetos tridimensionais que retêm toda a informação morfológica e textural a escalas muito detalhadas, é também possível modificar o ponto de vista e os parâmetros físicos de análise, tal como a intensidade e a direção da luz, no sentido de fazer ensaios de observação que podem ser impossíveis de replicar em campo.

Finalmente, entre as muitas vantagens que podiam ser enumeradas, existe hoje a possibilidade de materializar as ocorrências em réplicas físicas bastante fiéis, recorrendo a tecnologia de maquinação digital ou de impressão 3D. Nalguns casos, em estruturas perecíveis ou quando ocorre vandalização das estruturas, este pode ser o único acervo que fica disponível. Salienta-se o caso recente da Catedral de Notre-Dame de Paris, parcialmente destruída por um incêndio, em que o único acervo passível de ser utilizado para reconstituição fiel dos materiais e traçado original é uma reconstituição fotogramétrica de elevada resolução feita para um videojogo.

7. Exemplos de processamento utilizando produtos de fotogrametria digital

7.1. Remoção de textura superficial

Uma das versatilidades dos produtos resultantes da fotogrametria digital é a possibilidade de trabalhar em ambiente 3D, com controle de um conjunto vasto de parâmetros físicos (por exemplo, a luz) e a possibilidade de trabalhar com camadas de informação, nomeadamente a utilização ou remoção de textura fotográfica. A utilização do objeto com textura permite ter uma perceção muito realista do aspeto que este tem no campo. Contudo, a existência de elementos naturais que cobrem a superfície (por exemplo, coberturas de líquenes ou briófitas) ou as circunstâncias pontuais de iluminação não permitem detetar corretamente todo o conjunto de gravuras, normalmente de baixo relevo. A simples eliminação da textura, sem que ocorra qualquer perturbação da morfologia do bloco, permite revelar facilmente gravuras de baixo relevo. A figura 10 ilustra como uma imagem com textura, fiel ao aspeto no campo da Rocha 2, revela algumas gravuras, enquanto outras são apenas marginalmente visíveis. A simples remoção da textura revela, de imediato, e sem qualquer tratamento digital posterior, um conjunto de gravuras que não eram facilmente percetíveis.

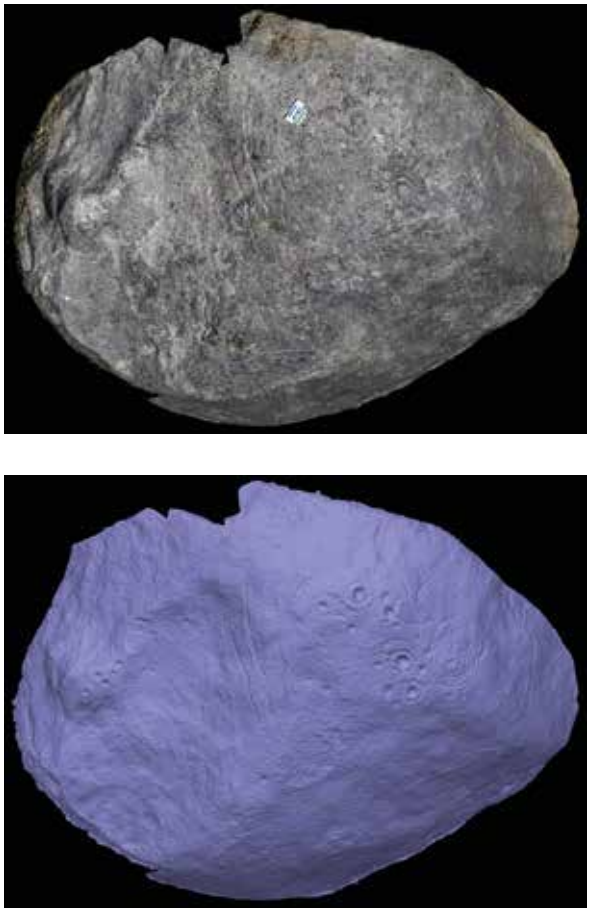

Figura 10 Exemplo do modelo tridimensional da Rocha 2 com textura (em cima) e sem textura fotográfica (em baixo).

7.2. Ensaios de direção de luz

Estes produtos abrem também a possibilidade de replicar a mudança de fatores físicos, tais como a luz incidente. Hoje em dia, a maioria das aplicações informáticas capazes de processar informação 3D permite replicar, com grande fiabilidade, a incidência de luz em objetos. Deste modo, é possível facilmente colocar qualquer objeto no ponto de vista desejado e mudar o número e a incidência de focos de luz, replicando em minutos um procedimento que demoraria muito tempo e meios para replicar em campo, com a vantagem de se poder proceder, de imediato, ao decalque "digital" georreferenciado das estruturas. A figura 11 ilustra um exemplo de um ensaio deste tipo feito na Rocha 2 – as colunas ilustram incrementos de 90º na direção da luz e as linhas ilustram incrementos de 20º na inclinação da luz entre 25º e 65º.

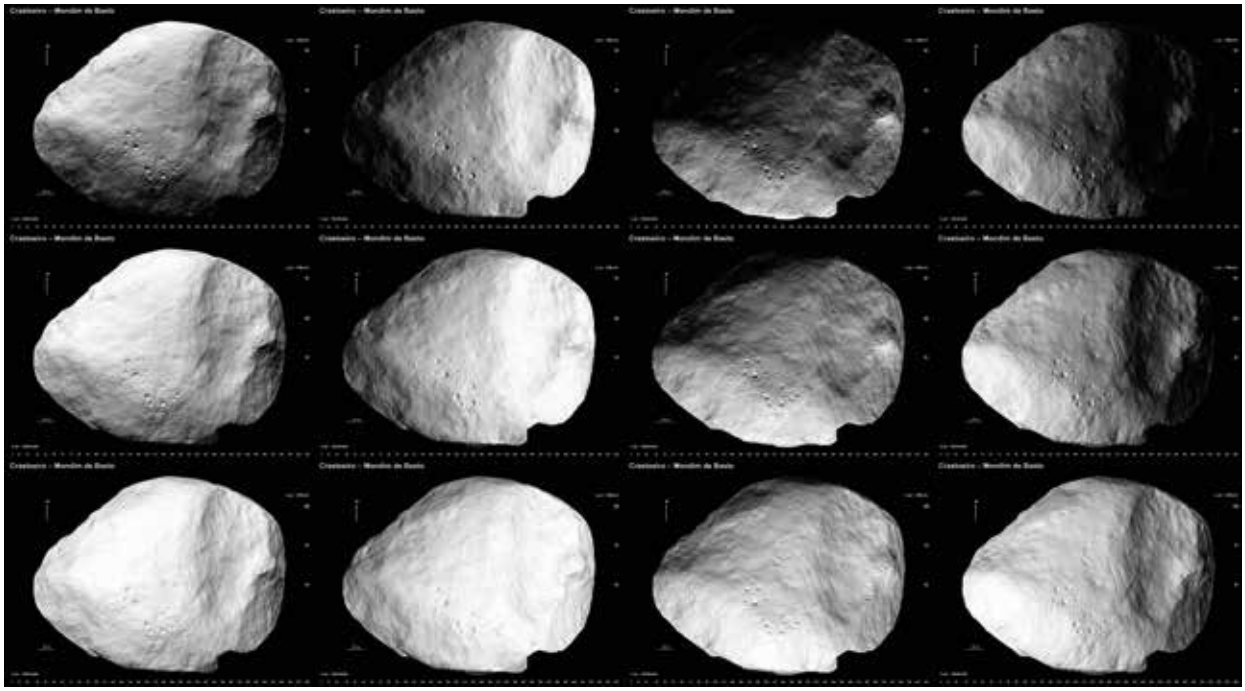

Figura 11 Exemplo da mudança da inclinação e direção da luz incidente sobre um modelo tridimensional da Rocha 2.

7.3. Processamento em ambiente SIG

Os sistemas de informação geográfica (SIG) apresentam hoje um conjunto vasto de ferramentas que podem ser utilizadas para processar e analisar produtos fotogramétricos, com a vantagem de poderem constituir um ambiente capaz de construir uma base de dados aferida ao objeto, diretamente como atributo aferido a cada pixel de informação ou a objetos vetoriais. Acresce ainda o facto de serem aplicações que permitem o decalque direto de estruturas, com ferramentas sofisticadas de desenho digital e produção de mapas finais. Estas aplicações permitem integrar e cruzar toda a informação recolhida de modo georreferenciado, incluindo toda a informação exemplificada neste trabalho, possibilitando uma análise detalhada e holística da informação. Permitem também que possa ir integrando informação nova que, entretanto, for sendo recolhida. Um dos exemplos deste tipo de aplicação, de código-fonte livre, é o *Quantum GIS*. Esta aplicação integra um conjunto vasto de ferramentas, algumas específicas para arqueologia, que podem ser utilizadas com sucesso para integração, processamento, criação e análise de informação arqueológica. A figura 12 ilustra o resultado da combinação do processamento recorrendo à rotina *Resampling Filter* do módulo SAGA (Conrad, *et al.*, 2015), integrado no *Quantum GIS*. Esta rotina é destinada à reamostragem de grelhas. Numa primeira fase (*Low Pass*), a grelha matricial é reamostrada para um tamanho desejado de cada célula de reamostragem, expresso como múltiplo do tamanho do pixel original (fator de escala). Trata-se de uma reamostragem de aumento de escala através da qual os valores das células são agregados como a média ponderada da área das células dentro do intervalo de amostragem. O segundo passo (*High Pass*) é o redimensionamento para baixo até ao tamanho original da célula, usando uma interpolação do tipo

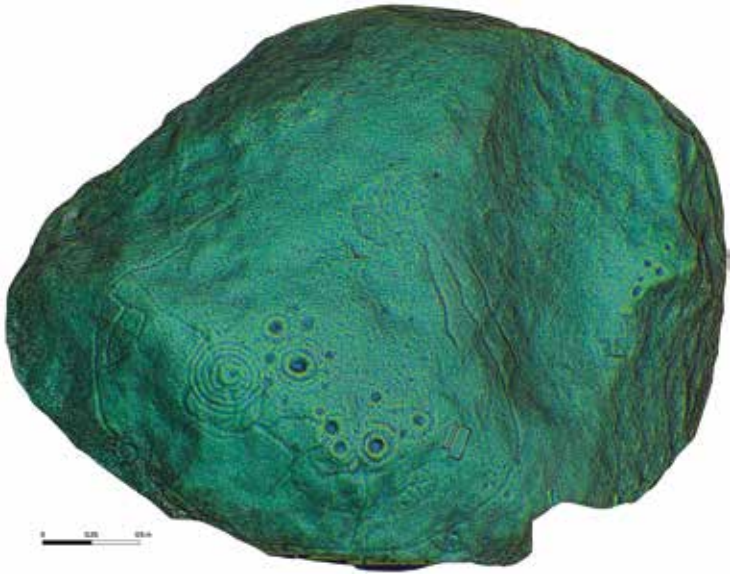

Figura 12 Exemplo da combinação do processamento da rotina *Resampling Filter* do módulo SAGA, integrado no *Quantum GIS*, aplicado a um modelo digital de superfície da Rocha 2.

spline. O resultado final, conjugado com a escolha de uma escala de cores de visualização adequada, resulta numa boa contrastação dos baixos relevos.

Esta técnica, embora poderosa e capaz de produzir excelentes resultados, em particular com informação altimétrica obtida por fotogrametria ou LIDAR, está otimizada para contrastar informação correspondente aos relevos residuais apenas ao longo do eixo Z (atributo altimétrico dos modelos digitais de elevação). Em blocos muito destacados do terreno ou em que haja uma grande tangencialidade de alguns painéis em relação à vista de nadir utilizada este método não é tão eficaz.

7.4. Distância geométrica

Com o advento de aplicações capazes de processar e integrar grande quantidade de informação georreferenciada tridimensional ou nuvens de pontos passou a ser possível analisar a informação tridimensional de modo independente do eixo de visualização, quer obtida com recurso a fotogrametria, quer obtida por LIDAR. Dentro deste contexto, é possível aplicar processamentos inovadores em ambiente 3D, com manifesta vantagem na análise de blocos com gravuras de baixo relevo.

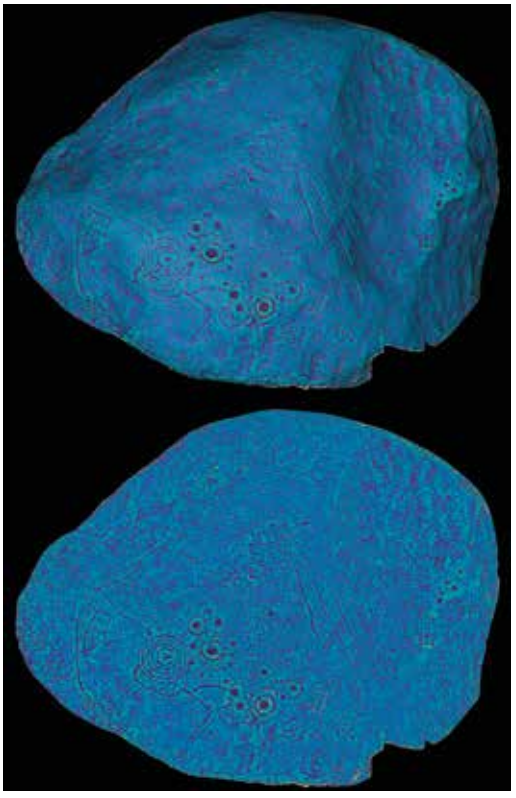

Figura 13 Exemplo de análise de distância geométrica aplicada à Rocha 2: vista de nadir com normais (ou superfície 3D) e pseudossombreado (em cima); vista de nadir sem normais (em baixo).

Neste trabalho foi feita a análise de distância geométrica baseada na superfície 3D dos dois blocos. Para este efeito utilizou-se a nuvem de pontos densa, que foi, posteriormente, convertida para uma malha tridimensional contínua, através de uma triangulação de Delaunay. Esta superfície é, depois, duplicada e adossada com um filtro laplaciano. A superfície original e a superfície adossada são, depois, operadas entre si para determinação das distâncias residuais entre as duas superfícies. Este procedimento permite contrastar os baixos relevos existentes na superfície original. Utilizando escalas de cor aplicadas ao espectro das distâncias obtidas é possível contrastar interativamente os baixos relevos, permitindo um grau de liberdade e de obtenção de detalhe que não é facilmente replicável noutras metodologias, indepen-

dentemente da direção de observação. A figura 13 ilustra o resultado de uma análise deste tipo aplicada à Rocha 2 em vista de nadir. A figura 14 demonstra a importância da escala da intensidade do filtro laplaciano na superfície adossada de referência. Valores muito altos de intensidade tendem a diluir os relevos. Valores muito baixos tendem a dar maior resolução a esses relevos e a salientar detalhes que não são visíveis com intensidades mais baixas, mas também aumentam o ruído. A escolha dos parâmetros deve ser variada, de modo a analisar o melhor compromisso entre detalhe e ruído.

A imagem 15 demonstra o potencial da exploração de modelos 3D com cálculo de distância geométrica, nomeadamente a mudança interativa de ponto de vista e escalas de cor diferenciadas.

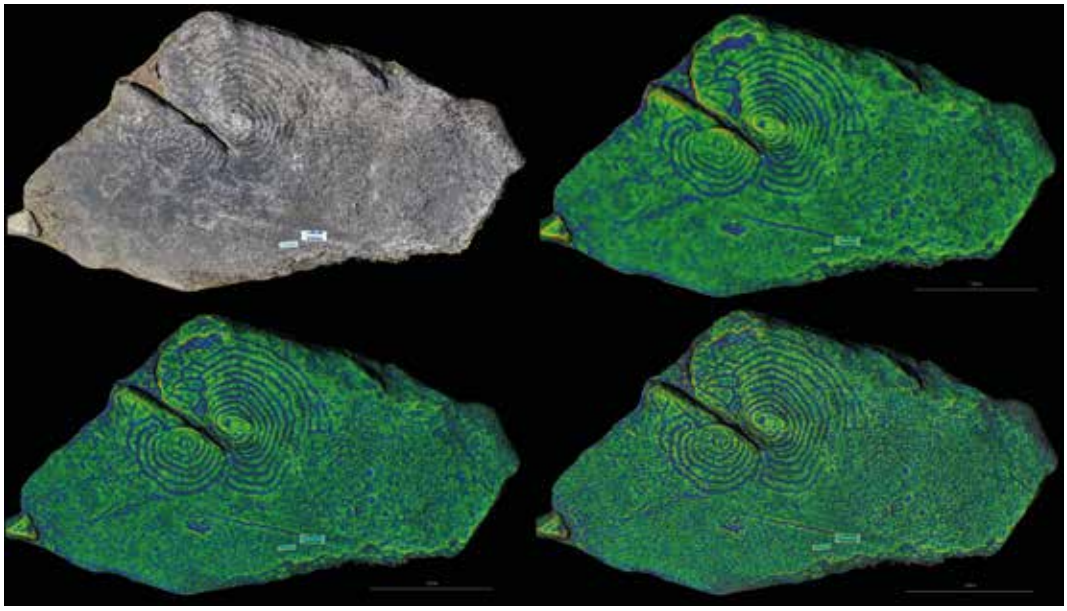

Figura 14 Exemplo de análise de distância geométrica aplicada à Rocha 21: modelo tridimensional original com textura (no canto superior esquerdo); distância geométrica com filtro laplaciano com 20 iterações e intensidade 1, repetido 6 vezes (no canto superior direito); distância geométrica com filtro laplaciano com 20 iterações e intensidade 1 (canto inferior esquerdo); distância geométrica com filtro laplaciano com 20 iterações e intensidade 0,3 (canto inferior direito).

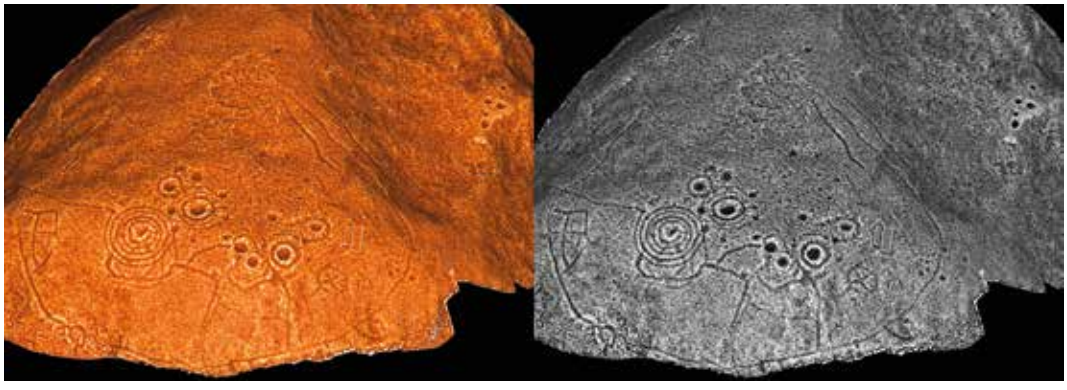

Figura 15 Distância geométrica da Rocha 2 com um ponto de vista diferenciado e com diferentes exemplos de escalas de cor.

8. Conclusão

A metodologia clássica de levantamento morfológico de rochas gravadas implica alguma subjetividade e está dependente de diversos fatores que podem facilitar ou dificultar o processo de restituição de gravuras. A natureza e estado do suporte, que pode apresentar diversas irregularidades que dificultam a colocação dos painéis de plástico de vinil, a destreza dos operadores e as várias incidências de luz podem constituir entraves na interpretação das superfícies gravadas, já que a aplicação desta metodologia é de natureza analítica, tendo que, obrigatoriamente, ser encarada como uma leitura do investigador.

Reconhecidas as limitações do decalque direto, e considerando que o objetivo final do trabalho deverá ser a reprodução o mais fiel possível do original, importa encontrar soluções que permitam ao investigador analisar os motivos representados e transmitir a informação, estando convencionado que o decalque deverá ser integral e obedecer a diversas premissas, como a representação total dos motivos gravados, respeitando a relação espacial entre eles, e utilizar métodos padronizados para a reconstituição bidimensional do suporte, geralmente com irregularidades, e que importa registar no decalque as suas características topográficas.

Os métodos de restituição digital baseados em fotogrametria permitem eliminar algumas das dificuldades e ambiguidades relacionadas com o decalque clássico. O potencial que representa a introdução de VANT em levantamentos de arqueologia permite a obtenção de produtos georreferenciados de grande qualidade e com um ponto de vista que é impossível obter a partir do solo.

Para elementos de maior detalhe, como blocos isolados, a fotogrametria de curta distância, conjugada com novos métodos de processamento e análise e a melhoria geral da capacidade computacional, permite um nível de detalhe inédito, possibilitando detetar morfologias que dificilmente seriam detetadas pelos métodos clássicos.

Os métodos digitais proporcionam uma flexibilidade muito grande de análise e criação de memória digital, permitindo o registo de acervo de objetos originais que poderão degradar-se ou desaparecer com o tempo.

A conjugação da metodologia clássica e digital de restituição de morfologia de ocorrências constitui uma ferramenta poderosa de análise de sítios arqueológicos, permitindo a validação cruzada de informação, no sentido de melhorar aspetos relacionados com a interpretação das formas. Espera-se que o trabalho desenvolvido e a subsequente interpretação dos resultados possam contribuir para o aumento do conhecimento e valorização deste singular local de interesse arqueológico.

Referências bibliográficas

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V. e Böhner, J., 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development,* 8, pp. 1991-2007.

Dinis, A., 1986a. Castro do Crastoeiro – Mondim de Basto (Vila Real) – 1984. *Informação Arqueológica*, 6, pp. 74-75.

Dinis, A., 1986b. Castro do Crastoeiro – Mondim de Basto (Vila Real) – 1985. *Informação Arqueológica*, 7, pp. 93-96.

Dinis, A., 1987. Castro do Crastoeiro – Mondim de Basto (Vila Real) – 1986. *Informação Arqueológica*, 8, pp. 97-99.

Dinis, A., 1993-1994. Contribuição para o estudo da Idade do Ferro em Basto: o Castro do Crastoeiro. *Cadernos de Arqueologia*, série II, 10-11, pp. 261-278.

Dinis, A., 1994. Castro do Crastoeiro – Mondim de Basto (Vila Real) – 1987. *Informação Arqueológica*, 9, pp. 33-34.

Dinis, A., 2001. *O Povoado da Idade do Ferro do Crastoeiro (Mondim de Basto, Norte de Portugal)*. Braga: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho (Cadernos de Arqueologia – Monografias, 13).

Dinis, A., 2005. A ocupação do Crastoeiro (Mondim de Basto, Norte de Portugal) no Ferro Inicial, Colóquio "Castro um lugar para habitar". *Cadernos do Museu*, 11, pp. 75-87.

Dinis, A., 2009a. O Crastoeiro e a ocupação da vertente Oeste do Monte da Senhora da Graça, Mondim de Basto (Norte de Portugal). *Revista Aqvae Flaviae*, 41, pp. 209-217.

Dinis, A., 2009b. O Monte Farinha ou da Senhora da Graça, Mondim de Basto: interpretações para a biografia de um "lugar". In: Ana M. S. Bettencourt e Lara Bacelar Alves (eds.), 2009. *Dos montes, das pedras e das águas. Formas de interação com o espaço natural da pré-história à atualidade*. Braga: CITCEM-APEQ. pp. 77-94.

Dinis, A. e Bettencourt, A., 2009. A Arte Atlântica do Crastoeiro (Norte de Portugal): Contextos e significados. *Gallaecia*, 28, pp. 41-47.

Gonçalves, J. A. e Henriques, R., 2015. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, pp. 101-111.

Gonçalves, L., 2013. *Estudo geoarqueológico com georadar. Aplicação aos contextos arqueológicos da Pré-história recente à Proto-história do NW de Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.

Instituto Geográfico do Exército, 2012. Carta Militar de Portugal. *Série M888*, Folha 87, 1:25.000. Lisboa: Serviços Cartográficos do Exército.

Pereira, E., 1987. *Folha 10-A – Celorico de Basto (1987)*. Carta Geológica de Portugal. Folha 10-A, 1:50.000. Amadora: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Seabra, L., 2015. *Estudo Paleoetnobotânico do Povoado da Idade do Ferro do Crastoeiro (Noroeste de Portugal)*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.