

Softwares específicos utilizados no processamento de imagens de arte rupestre: uma revisão sistemática

Francisco Gerson Amorim de Meneses*

Lucas Renu Maia Castelo Branco**

Milena Sotero dos Santos***

John Lenon de Brito Vieira****

MENESES, F.G.A.; CASTELO BRANCO, L.R.M.; SANTOS, M.S.; VIEIRA, J.L.B.
Softwares específicos utilizados no processamento de imagens de arte rupestre: uma
revisão sistemática. R. Museu Arq. Etn. 42: 203-219, 2024.

Resumo: Inicialmente, o registro e o processamento de imagens de arte rupestre eram feitos manualmente. Com o avançar da tecnologia, o registro passou a ser feito com câmeras digitais e o processamento das imagens feitos com o uso de softwares genéricos. A partir dessa evolução surge a necessidade de termos softwares voltados especificamente para o processamento de imagens de arte rupestre e assim, por serem direcionados ao problema, possibilitarem uma melhor qualidade. Dessa forma, o objetivo desta revisão sistemática é apresentar os principais softwares específicos usados no processamento de imagens de arte rupestre. Esta revisão foi baseada na metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) e foi aplicada na base de dados Scopus. Inicialmente, é apresentada uma análise cronológica e evolutiva dos softwares e tecnologias usadas e, na etapa final deste estudo, são apontados os dois principais softwares específicos usados atualmente.

Palavras-Chave: Arte rupestre; software; processamento de imagens; DStretch; ERA.

Introdução

A arte rupestre é um patrimônio cultural existente há pelo menos 40.000 anos. Ocorre em todo o mundo e representa um dos poucos vestígios físicos deixados por civilizações antigas que são diretamente acessíveis, são representações

geralmente classificadas por pinturas rupestres (quando o desenho é pintado na rocha) ou gravuras rupestres (quando o desenho é talhado na rocha) (Chandler, Bryan & Fryer 2007; Bryan & Chandler 2008; Domingo *et al.* 2015; Cabrelles Lerma & Villaverde 2020). Por estarem registradas em superfícies de rochas, as artes rupestres são constantemente expostas e passíveis de deterioração através de diferentes agentes naturais e/ou humanos que as ameaçam, como a água corrente, a vegetação, o desprendimento das placas de rochas, a incidência do sol, os insetos e a ação humana (Domingo *et al.* 2015). É necessário, portanto, desenvolver mecanismos que protejam e possibilitem o registro da arte rupestre, provendo seu armazenamento para a posteridade, pois esse patrimônio arqueológico é também um patrimônio cultural e representa parte da

* Pós-Doutorando em Arqueologia pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). E-mail: gerson@ifpi.edu.br

** Graduando de Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). E-mail: lucasrenu@gmail.com

*** Graduanda de Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). E-mail: milenasantos00123@gmail.com

Graduando de Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). E-mail: john.lenonvbrito@gmail.com

memória e história da sociedade. Além disso, os registros digitais podem servir de base para estudos científicos, sem a necessidade da presença *in loco* do pesquisador (Chandler, Bryan & Fryer 2007).

A história dos estudos da arte rupestre é caracterizada pela busca contínua por técnicas de registro confiáveis e precisas. Em virtude disso, diferentes métodos foram tradicionalmente usados ao longo do tempo, inicialmente eram utilizados métodos manuais, como o desenho à mão livre, decalque e a sobreposição (Chandler, Bryan & Fryer 2007). No entanto, as técnicas manuais apresentam alguns problemas, dentre eles o principal é que elas oferecem riscos à conservação da arte rupestre, pelo fato de, em alguns casos, haver o contato direto do pesquisador com a superfície da rocha. Isso fez com que esses métodos fossem gradualmente substituídos por técnicas não invasivas.

Corroborando para isso, atualmente é diretriz da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) a utilização de métodos não invasivos de registro, visando à preservação do patrimônio cultural (Chandler, Bryan & Fryer 2007; Domingo *et al.* 2015; Cerrillo-Cuenca & Sepúlveda 2015; Gil-Docampo, Peña-Villasenín & Ortiz-Sanz 2020).

Buscando meios não invasivos e acompanhando a evolução da tecnologia, nas últimas décadas, graças à ciência da computação, surgiram uma grande variedade de softwares para edição e processamento de imagens. Esses softwares de características genéricas, foram muito bem aproveitados pelos pesquisadores em arte rupestre e arqueólogos, o que resultou na gradual substituição dos métodos manuais tradicionais por métodos automatizados, por meio de softwares (Domingo *et al.* 2015), (Le Quellec Duquesnoy & Defrasne 2015; Robert, Petrognani & Lesvignes 2016; Hollmann 2018).

O uso de softwares no processamento de imagens de arte rupestre tem uma série de vantagens, pois evitam o contato direto com os desenhos, como ocorre em alguns processos manuais de registro; colaboram na preservação da arte rupestre, criando registros que permitirão novas investigações, além de propiciar a implementação de intervenções de conservação; possibilitam análises mais objetivas e precisas tanto

para o reconhecimento quanto para a reprodução métrica da arte rupestre e da superfície rochosa; servem como ferramenta de pesquisa e obtenção de conhecimento, permitindo aos pesquisadores a oportunidade de gravar, processar, analisar, apresentar e compartilhar imagens digitais com desenhos que a princípio estavam muito deteriorados e por isso, não detectáveis a olho nu (Domingo *et al.* 2015; Cerrillo-Cuenca & Sepúlveda 2015; Hollmann, 2018; Cabrelles Lerma & Villaverde 2020; Monna *et al.* 2022).

Normalmente, as metodologias mais modernas que são utilizadas para o registro e processamento de imagens de arte rupestre podem ser divididas em dois procedimentos: o registro fotográfico da arte rupestre, gerando um arquivo digital da imagem e o posterior processamento das imagens por meio de um software (Hollmann 2018). Assim, a utilização de soluções computacionais na pesquisa da arte rupestre passou a ser uma área em franco desenvolvimento e, por isso, vem aumentando a gama de técnicas disponíveis. Toda essa evolução da computação aplicada no processamento de imagens de arte rupestre prima por técnicas e softwares que apresentem um baixo custo e uma boa usabilidade (Hollmann 2018). No entanto, a falta de softwares específicos para o processamento de imagens de arte rupestre fez com que os pesquisadores da área e arqueólogos, usassem por muito tempo, soluções improvisadas e excessivamente genéricas (Cerrillo-Cuenca & Sepúlveda 2015).

Desse modo, esta revisão mostra um panorama cronológico sobre o tema a partir de buscas de literaturas científicas relacionadas, feitas na base Scopus usando a *string* de busca: (“rock art” OR “rock paintings”) AND image AND digital AND software). A revisão sistemática, cujos resultados são analisados e apresentados baseado na metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), pontua as principais técnicas computacionais genéricas utilizadas ao longo do tempo e avança no sentido de pontuar algumas iniciativas que apresentam softwares específicos no processamento de imagens de arte rupestre. Para isso, nas seções a seguir, são apresentados os materiais e os métodos que nortearam a pesquisa; resultados nos quais foram destacadas e testadas as duas principais

ferramentas específicas no processamento de imagens de arte rupestre: Decorrelation Stretching (DStretch) e Extraction Rock Art (ERA); seguidos pela Discussão e, finalmente, a Conclusão.

Materiais e métodos

Essa revisão sistemática foi baseada na recomendação da metodologia PRISMA (Liberati et al. 2009). A busca teve como objetivo responder à seguinte pergunta: “Quais os softwares específicos para o processamento de imagens de arte rupestre?”. A coleta de dados ocorreu entre os meses de julho e novembro de 2023 e a base consultada foi a Scopus¹, devido sua grande abrangência e seu caráter interdisciplinar.

A busca foi feita nos campos *Title*, *Abstract* e *Keywords*, obedecendo à seguinte *string* de busca: ((“rock art” OR “rock paintings”) AND image AND digital AND software). A princípio foram considerados na pesquisa todos os tipos de artigos, sejam eles primários ou secundários (em todos os idiomas, sem limite de tempo nem distinção de autores). Após identificados, os artigos passaram por uma triagem na qual foram excluídos os artigos cujas aplicações dos

softwares não eram diretamente relacionadas ao processamento de imagens de arte rupestre.

Os artigos eleitos foram distribuídos de forma aleatória e lidos na íntegra por pares de pesquisadores. Dentre os artigos lidos, foram identificados os que utilizam softwares genéricos e os que utilizam softwares específicos, usados no processamento de imagens de arte rupestre. Posteriormente, o orientador da pesquisa revisou as anotações feitas pelos pares para compor o texto deste artigo.

Resultados

Foi identificado um total de 21 artigos, após uma triagem, a partir da leitura dos títulos e dos resumos, houve 2 exclusões. Os 19 artigos restantes foram lidos na íntegra e incluídos na análise (Tabela 1). A partir dessa análise foi observado que 4 softwares se revelaram como específicos e 2 foram destacados, um por ser o mais conhecido e o outro por ser o mais inovador lançado até o momento para o processamento de imagens de arte rupestre. A Figura 1 mostra o fluxograma com o percurso metodológico para a seleção dos artigos.

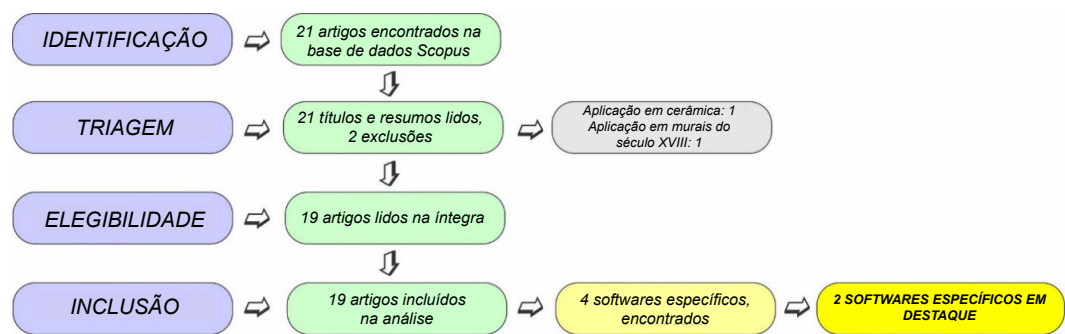


Fig. 1. Percurso metodológico para a seleção dos artigos. Ao final, foram destacados 2 softwares específicos para o processamento de imagens de arte rupestre.

Fonte: elaborado pelo autor.

Nas subseções a seguir, é feita uma análise cronológica dos softwares utilizados no processamento de imagens de arte rupestre e destacados os dois softwares

principais e específicos: DStretch e ERA. Finalmente, são feitos testes nesses dois softwares, usando imagens de pinturas e gravuras rupestres.

1 Para mais informações: <https://www.scopus.com/>

Nº	Autores	Título	Idioma	Ano	Citações	Revista	DOI
01	Fryer, J.G., Chandler, J.H., El- Hakim, S.F.	Recording and modelling an aboriginal cave painting: With or without laser scanning?	English	2005	19	International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 36 (5/W17)	
02	Chandler, J.H., Bryan, P., Fryer, J.G.	The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras	English	2007	49	Photogrammetric Record, 22(117), pp. 10-21	10.1111/j.1477- 9730.2007.00414.x
03	Bryan, P., Chandler, J.H.	Cost-effective rock-art recording within a non-specialist environment	English	2008	16	International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 37, pp. 259-264	
04	Earl, G., Martinez, K., Malzbender, T.	Archaeological applications of polynomial texture mapping: Analysis, conservation and representation	English	2010	102	Journal of Archaeological Science, 37(8), pp. 2040-2050	10.1016/j.jas.2010.03.009
05	Lerma, J.L., Navarro, S., Seguí, A.E., Cabrelles, M.	Range-based versus automated markerless image-based techniques for rock art documentation	English	2014	22	Photogrammetric Record, 29(145), pp. 30-48	10.1111/phor.12054
06	Defrasne, C., Bailly, M.	Les Oullas: An image bearing rockshelter on a Neolithic Alpine path?	English	2014	6	Around the Petit-Chasseur Site in Sion (Valais, Switzerland) and New Approaches to the Bell Beaker Culture: Proceedings of the International Conference (Sion, Switzerland – October 27th – 30th 2011), pp. 101-110	

continua...

Nº	Autores	Título	Idioma	Ano	Citações	Revista	DOI
07	Le Quellec, J-L., Duquesnoy, F., Defrasne, C.	Digital image enhancement with DStretch6: Is complexity always necessary for efficiency?	English	2015	45	Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2 (2-3), pp. 55-67	10.1016/j.daach.2015.01.003
08	Domingo, I., Carrión, B., Blanco, S., Lerma, J.L.	Evaluating conventional and advanced visible image enhancement solutions to produce digital tracings at el Carche rock art shelter	English	2015	25	Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2(2-3), pp. 79-88	10.1016/j.daach.2015.01.001
09	Cerrillo-Cuenca, E., Sepúlveda, M.	An assessment of methods for the digital enhancement of rock paintings: The rock art from the precordillera of Arica (Chile) as a case study	English	2015	26	Journal of Archaeological Science, 55, pp. 197-208	10.1016/j.jas.2015.01.006
10	Robert, E., Petrognani, S., Lesvignes, E.	Applications of digital photography in the study of Paleolithic cave art	English	2016	28	Journal of Archaeological Science: Reports, 10, pp. 847-858	10.1016/j.jasrep.2016.07.026
11	Rogério-Candelera, M.Á.	Digital image analysis-based strategies for quantitative monitoring of rock art sites	English	2016	8	Journal of Archaeological Science: Reports, 10, pp. 864-870	10.1016/j.jasrep.2016.06.041
12	Briola, D., Deufemia, V., Mascardi, V., Paolino, L.	Agent-oriented and ontology-driven digital libraries: the IndianaMAS experience	English	2017	9	Software – Practice and Experience, 47 (11), pp. 1773-1799	10.1002/spe.2494
13	Molada-Tebar, A., Lerma, J.L., Marqués-Mateu, Á.	Camera characterization for improving color archaeological documentation	English	2018	20	Color Research and Application, 43(1), pp. 47-57	10.1002/col.22152

continua...

Nº	Autores	Título	Idioma	Ano	Citações	Revista	DOI
14	Evans, L., Mourad, A.-L.	DStretch6 and Egyptian tomb paintings: A case study from Beni Hassan	English	2018	16	Journal of Archaeological Science: Reports, 18, pp. 78-84	10.1016/j.jasrep.2018.01.011
15	Hollmann, J.C.	Digital Technology in Research and Documentation of Hunter-Gatherer Rock Art in South Africa	English	2018	2	African Archaeological Review, 35(2), pp. 157-168	10.1007/s10437-018-9296-0
16	Schulz Paulsson, B., Isendahl, C., Frykman Markurth, F.	Elk Heads at Sea: Maritime Hunters and Long-Distance Boat Journeys in Late Stone Age Fennoscandia	English	2019	4	Oxford Journal of Archaeology, 38(4), pp. 398-419	10.1111/ojoa.12180
17	GiL-Docampo, M., Peña-Villasenfn, S., Ortiz-Sanz, J.	An accessible, agile and low-cost workflow for 3D virtual analysis and automatic vector tracing of engravings: Atlantic rock art analysis	English	2020	6	Archaeological Prospection, 27(2), pp. 153-168	10.1002/arp.1760
18	Cabrelles, M., Lerma, J.L., Villaverde, V.	Macro photogrammetry & surface features extraction for paleolithic portable art documentation	English	2020	7	Applied Sciences (Switzerland), 10 (19), art. no. 6908, pp. 1-16	10.3390/app10196908
19	Monna, F., Rolland, T., Magail, J., Esin, Y., Bohard, B., Allard, A.-C., Wilczek, J., Chateau-Smith, C.	ERA: A new, fast, machine learning-based software to document rock paintings	English	2022	0	Journal of Cultural Heritage, 58, pp. 91-101	10.1016/j.culher.2022.09.018

Tab. 1. Dados dos 19 artigos incluídos na análise.

Fonte: elaborado pelo autor com dados extraídos da base Scopus.

Análise cronológica dos artigos incluídos

De acordo com a ordem das publicações encontradas nesta revisão, nas primeiras ocorrências de softwares para uso em imagens de arte rupestre eram utilizados softwares genéricos e essas ocorrências surgiram a partir de 2005, quando Fryer *et al.* (2005) apresentam o desenvolvimento de uma técnica que aplicava a correlação de imagem de forma automatizada usando a fotografia digital. Para essa técnica, foi utilizado o Leica Photogrametric Suite (LPS) que é um módulo de software do pacote IMAGINE distribuído pela Leica Geosystems. O objetivo era produzir um Modelo Digital de Elevação (DEM) e ortofotografia. Essa técnica veio como uma alternativa ao uso da varredura a laser através de um scanner para modelar superfícies 3D, um método muito utilizado na época. Em seguida, em Chandler, Bryan e Fryer (2007) é reforçado o uso de uma metodologia considerada simples para registrar arte rupestre, a abordagem era baseada em software fotogramétrico digital comercial e câmeras digitais convencionais para DEMs, ortofotografias e criação de modelos *fly-through*; também era baseada no LPS. Continuando com a mesma ideia já citada acima e também utilizando o LPS, em Bryan e Chandler (2008) é ratificada a necessidade do uso de uma metodologia barata para o registro de imagens de arte rupestre.

Ainda na busca por uma alternativa de baixo custo para o registro de imagens de arte rupestre, em 2010 surgiu uma nova técnica, apresentada em Earl, Martinez e Malzbender (2010), que utilizava o Mapeamento de Textura Polinomial (PTM). Essa técnica de captura e processamento de imagem para a visualização de modelos 3D, foi aplicada na arte rupestre usando o software HP PTM Viewer. Em seguida, Lerma *et al.*, (2014) apresentam um estudo, baseado na fotogrametria, utilizando a visão computacional fotogramétrica automatizada de baixo custo para fornecer modelos 3D para documentação de arte rupestre. Para isso utilizava o software fotogramétrico para modelagem 3D FOTOGIFLE e o pacote de software de visão computacional VisualSFM. Já em Defrasne e Bailly (2014) é apresentada uma evolução no uso de softwares para o processamento de imagens de arte rupestre. Nesse avanço, além do registro

digital das imagens, o objetivo era o realce da área com arte rupestre, ressaltando detalhes a princípio não vistos a olho nu. Nesse quesito, o software DStretch (tratado com mais detalhes na seção a seguir) surgiu como algo inovador, sendo o primeiro software concebido especificamente para o processamento de imagens de arte rupestre.

Em Domingo *et al.* (2015), é citada a técnica de Estiramento de Decorrelação (DS) baseada na Análise de Componentes Principais (PCA), como uma alternativa computacional para o realce de imagens de arte rupestre. No artigo é apresentada como exemplo a ferramenta DStretch e são citadas opções de softwares genéricos. Em Le Quellec, Duquesnoy e Defrasne (2015), os autores tratam sobre o uso do DStretch e, em algumas etapas do tratamento de imagens, seu uso combinado com o Adobe Photoshop. Em Cerrillo-Cuenca e Sepúlveda (2015), é avaliada a aplicação de três técnicas genéricas que foram usadas no rastreamento digital de imagens de arte rupestre. São elas: PCA, K-Means e DS; as análises desse estudo foram implementadas no pacote PyDRA, sistema em linguagem python que utiliza diversas bibliotecas científicas para a análise digital de imagens. Já em Rogerio-Candelera (2016), são citadas e comparadas algumas técnicas de análise de imagens digitais aplicadas ao processamento de imagens de arte rupestre. Nesse caso foi usado a PCA, algoritmos de classificação digital e também alguns pacotes de software genéricos como o HyperCube e o ImageJ.

O DStretch é novamente citado em Robert, Petrognani e Lesvignes (2016), que mostram também as contribuições combinadas de várias técnicas genéricas usadas no processamento de imagens de arte rupestre, são citadas a fotogrametria, macrofotografia e DS. As duas publicações seguintes tratam de ferramentas computacionais específicas para o processamento de imagens de arte rupestre. Na primeira, Briola *et al.* (2017), é proposto o software Indiana MAS², desenvolvido na linguagem Java, um Sistema Multiagente (SMA) resultado de um projeto de pesquisa; a plataforma se propõe a ser uma biblioteca digital para a proteção digital e

2 Para mais informações sobre o software: <http://indianamas.dibris.unige.it/>

conservação de bens culturais, entre eles a arte rupestre. Para isso, fornece mecanismos para armazenamento, gerenciamento e classificação das imagens, de forma a apoiar arqueólogos e demais interessados na pesquisa científica. O sistema é dotado de uma ontologia que permite a integração semântica de dados heterogêneos de diferentes fontes.

Já na seguinte, Molada-Tebar, Lerma e Marqués-Mateu (2018), é apresentado o pyColorimetry, desenvolvido na linguagem Python, que trata especificamente da questão das cores nas imagens digitais de arte rupestre, estabelecendo um procedimento do ponto de vista colorimétrico para a caracterização de câmeras digitais. Ele segue diferentes modelos polinomiais, com o objetivo de permitir que os usuários controlem todo o processamento de aquisição da imagem digital e o fluxo de trabalho de dados colorimétricos, incluindo o processamento de dados brutos.

Evans e Mourad (2018) falam da aplicação do DStretch e seu uso em conjunto com a epigrafia digital. O DStretch é utilizado também em Hollmann (2018), nesse caso, em conjunto com as ferramentas genéricas Adobe Lightroom e Adobe Photoshop. Também usado como parte de uma solução em conjunto, em Schulz Paulsson, Isendahl, e Frykman Markurth (2019), o DStretch é aplicado com a espectroscopia PXRf não destrutiva. Em Gil-Docampo, Peña-Villasenín e Ortiz-Sanz (2020), o objetivo é apresentar um fluxo de trabalho acessível com ferramentas de uso genérico para o processamento de imagens de arte rupestre. Isso é feito a partir de vetorizações bidimensionais (2D), renderização do aprimoramento MeshLab Radiance Scaling, vetorizadores automáticos ou da publicação direta de modelos 3D aprimorados; técnicas atualmente possíveis por meio de plataformas como o Sketchfab. Em Cabrelles, Duquesnoy & Defrasne (2020) é proposta uma metodologia com um fluxo de trabalho que utiliza a fotogrametria para gerar um modelo 3D, além de tratamentos básicos em imagens raster; o modelo 3D resultante foi usado para gerar um DEM e macrofotografias ortoretificadas para documentar a arte rupestre; no processamento posterior foram usados os softwares HyperCube e DStretch. Finalmente,

em Monna *et al.* (2022) é apresentado o software Extração de Arte Rupestre (ERA), um software específico para o processamento de imagens de arte rupestre, que representa uma grande evolução na área. A ferramenta propõe-se a realizar as etapas de realce, segmentação e vetorização e será tratada com mais detalhes na seção a seguir.

Decorrelation Stretching (DStretch)

O Color Decorrelation Stretching ou DStretch foi desenvolvido em 2005 por Jon Harman com o objetivo de realçar artes rupestres muito claras que são praticamente impossíveis de serem vistas a olho nu, servindo também para distinguir pinturas rupestres sobrepostas. Ele é usado principalmente em pinturas rupestres, no entanto, em alguns casos, também é usado em gravuras rupestres (Defrasne & Bailly 2014; Domingo *et al.* 2015; Le Quellec, Duquesnoy & Defrasne 2015; Evans & Mourad 2018; Cabrelles, Duquesnoy & Defrasne 2020). A ferramenta é implementada em linguagem Java e utiliza a técnica de DS, originalmente desenvolvida pelo Laboratório de Propulsão a Jato da Califórnia, foi posteriormente usada em sensoriamento remoto para aprimorar imagens multiespectrais. Em 2004, o método foi empregado pela NASA para analisar fotografias tiradas pelo astromóvel Mars Rover (Domingo *et al.* 2015; Evans & Mourad 2018; Cabrelles, Duquesnoy & Defrasne 2020; Fuentes-Porto, Soto-Martín & Martín-Gutiérrez 2020).

Tecnicamente, por meio da aplicação de um algoritmo matemático em dados raster da imagem digital de arte rupestre, o DStretch transforma o espaço de cores RGB (Vermelho-Verde-Azul) em espaços de cores alternativos e artificiais, maximizando o contraste entre as cores (Evans & Mourad 2018; Paulsson, Isendahl & Markurth 2019). Assim, são utilizados vários espaços de cores personalizados e pré-configurados para realçar ou suprimir diferentes cores e tons na imagem. É importante salientar que cada imagem, dependendo das cores e da qualidade da fotografia original, tem resultados distintos, podendo ser utilizado para cada imagem um espaço de cor diferente (Evans & Mourad 2018; Paulsson, Isendahl & Markurth 2019).

A partir do seu lançamento em 2005, o DStretch passou a ser amplamente utilizado em todo o mundo e se destaca entre os pesquisadores e especialistas no estudo de arte rupestre pelo seu custo-benefício, por ter um rápido tempo de processamento e ser de uma boa usabilidade. Apesar de suas configurações originais serem customizáveis, o software se destaca por sua objetividade (Le Quellec, Duquesnoy & Defrasne 2015; Cabrelles, Lerma & Villaverde 2020).

O DStretch é um plug-in que funciona a partir do software de análise e processamento de imagens gratuito e de código aberto chamado ImageJ³ (Domingo *et al.* 2015; Evans & Mourad 2018) (Fig. 2). Ao adquirir o software, os interessados deverão colaborar financeiramente, há também uma versão aplicativo para uso em tablets e celulares, destinada a ser usada no campo durante pesquisa in loco (Evans & Mourad, 2018).

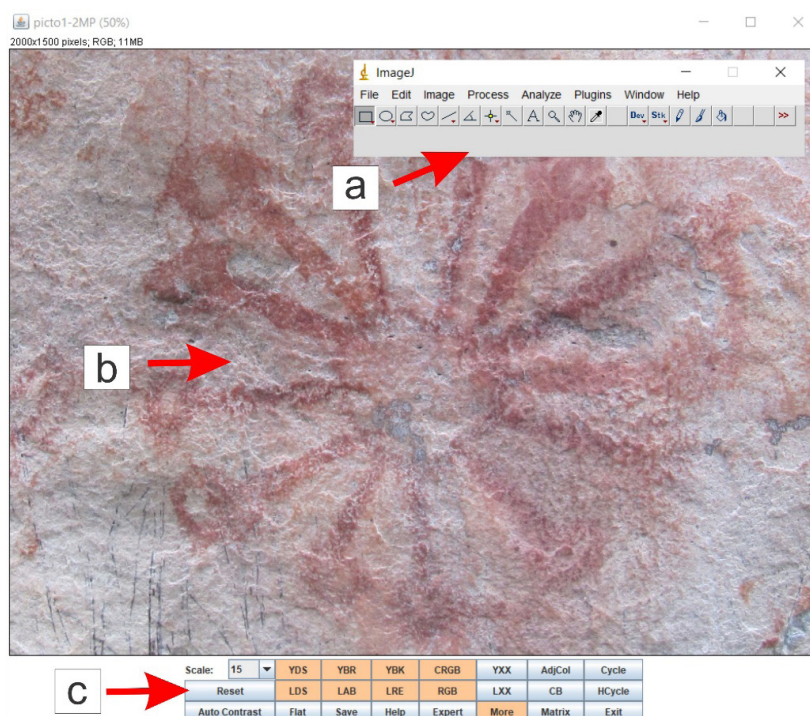


Fig. 2. Interface do software DStretch. Em (a) o menu principal do ImageJ, em (b) a tela principal do DStretch com uma imagem sendo processada e finalmente, em (c) os espaços de cores principais da ferramenta.

Fonte: elaborado pelo autor.

Extração de Arte Rupestre (ERA)

O software Extração de Arte Rupestre (ERA)⁴ é apresentado pelos seus próprios desenvolvedores (Monna *et al.* 2022) como uma ferramenta implementada e fornecida em

2022. Essa ferramenta propõe um avanço no processamento de imagens de arte rupestre, trazendo opções de realce, segmentação e vetorização. No aspecto técnico, o ERA é desenvolvido em linguagem Python e utiliza inicialmente, na aba de SUPERVISÃO, a

³ Para mais informações sobre o software: www.dstretch.com

⁴ Para mais informações sobre o software: https://gitlab.huma-num.fr/fmonna/era-extraction-from-rockart/-/tree/Paper_Supp_Mat

mesma técnica adotada pelo DStretch, o DS; no entanto vai mais além e apresenta quatro métodos de realce (Fig. 3a): PCA, Análise de Componentes de Fase Zero (ZCA), Decomposição de Cholesky (Cholesky) e Análise de Componente Independente (FastICA). Para cada um desses métodos são gerados automaticamente realces em vários espaços de cores já predefinidos (Fig. 3b): XYZ, HLS, HSV, LAB (CIELAB), Luv, CMY(K), YCrCb, YUV. Para os passos seguintes, o usuário tem a opção

de tentar melhorar o contraste, selecionando a parte relacionada à arte rupestre (Fig. 3c) e, após isso, incluir ou excluir pixels para serem segmentados (Fig. 3d). Ao continuar, na aba de DESENHO (Fig. 3e), finalmente tem-se a opção da escolha do algoritmo de aprendizado de máquina supervisionado, para isolar a parte relacionada à arte rupestre. A classificação dos pixels pode ser feita por Regressão Logística (LR), Máquina de Vetores de Suporte (SVM) ou k vizinhos mais próximos (kNN).

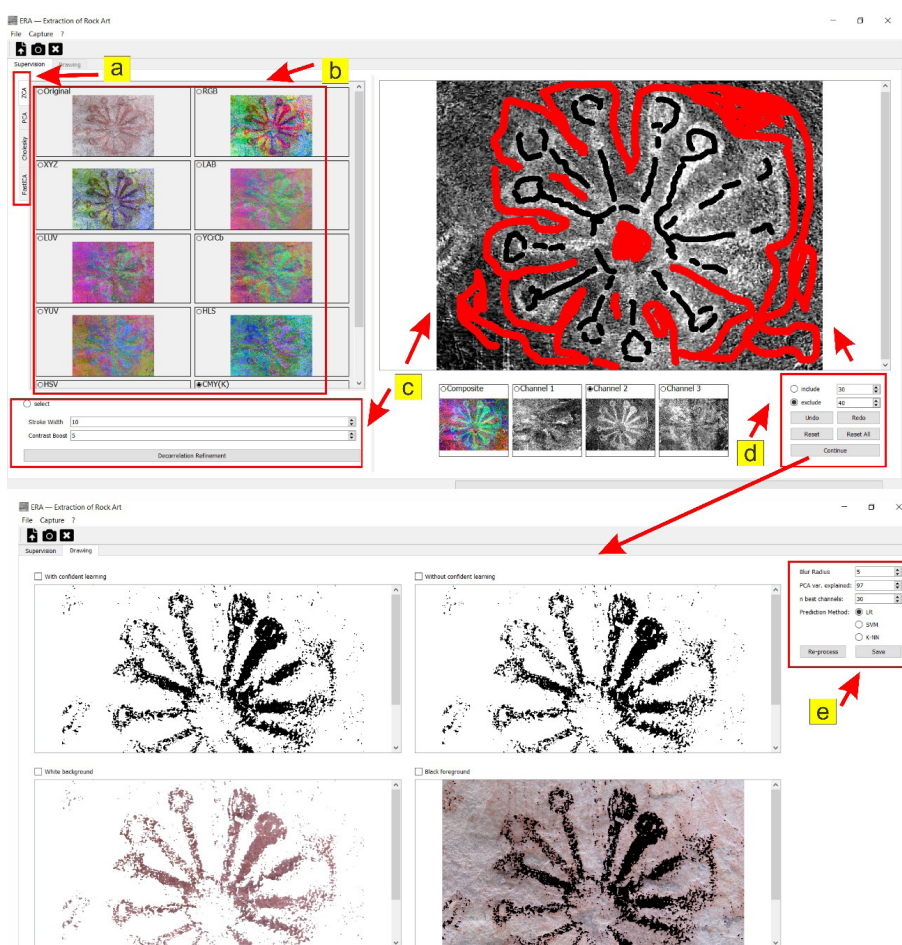


Fig. 3. Telas do software ERA. Na conclusão do processo, são gravadas 4 saídas de imagens processadas com a segmentação e 2 arquivos em formato SVG (vetorização).

Fonte: elaborado pelo autor.

Testes

Os testes nos softwares DStretch e ERA envolveram quatro imagens de artes rupestres, sendo duas imagens de pinturas rupestres e duas imagens de gravuras rupestres. Em ambos os casos (pinturas e gravuras), foram selecionados dois tipos de imagens de cada

estilo, uma apresentando apenas um desenho em destaque e outra um painel com vários desenhos. As pinturas rupestres (Fig. 4a, 4b) foram obtidas do Sítio Arqueológico do Arco do Covão, na cidade de Caxingó / Piauí(PI), Brasil, e as gravuras rupestres (Fig. 4c, 4d) foram obtidas do Sítio Arqueológico do Rio Pirangi, na cidade de Buriti dos Lopes/PI, Brasil.

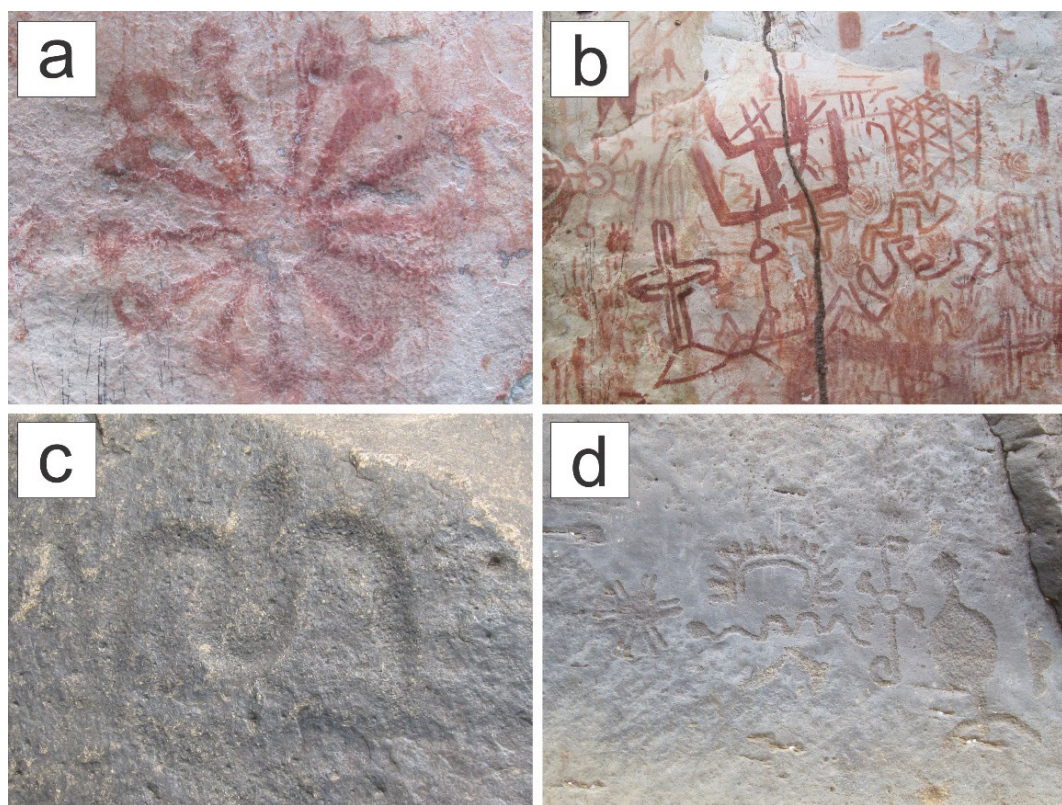


Fig. 4. Imagens de arte rupestre utilizadas nos testes. Uma imagem com uma pintura rupestre em destaque (a), um painel com várias pinturas rupestres e sobreposições (b), uma imagem de uma gravura rupestre (c) e um painel com várias gravuras rupestres (d).

Fonte: elaborado pelo autor.

Os registros fotográficos digitais foram feitos a partir de uma câmera Canon PowerShot SX200 IS, usando originalmente uma resolução de 12 megapixels e foram importadas para o software CorelDRAW2020. Depois disso foram enquadradas e exportadas cada uma para

um arquivo JPG com uma resolução de 2000 x 1500 pixels. As 4 imagens (Fig. 4) foram testadas nas duas ferramentas DStretch e ERA. O computador usado nos testes utilizou um processador intel® Core™ i7-8565U, com 8GB de memória RAM e uma placa de vídeo Nvidia® GeForce® MX110 2GB.

Resultados no DStretch:

Os melhores resultados de realce no DStretch para as 4 imagens são apresentados na Figura 5.

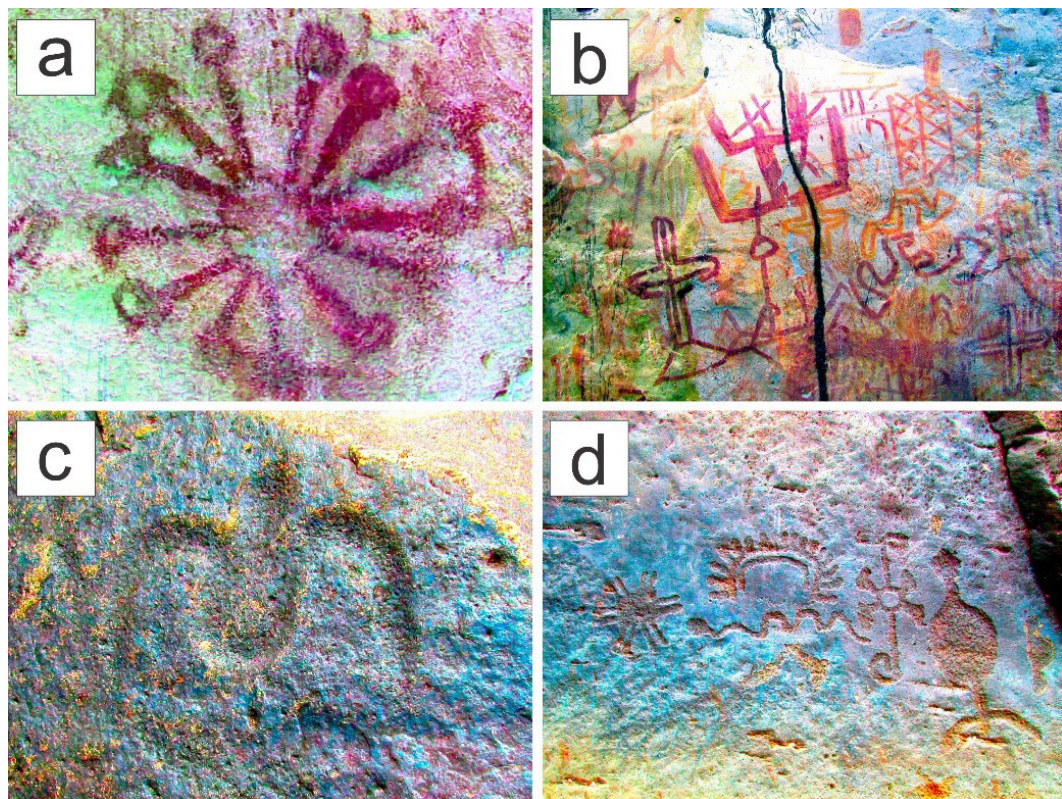


Fig. 5. A primeira imagem com uma pintura rupestre foi realçada utilizando o filtro CRGB (a), em seguida na imagem com várias pinturas rupestres foi utilizado o filtro LAB (b). A partir da aplicação desse filtro, conseguimos perceber algumas pinturas rupestres com a tonalidade de cor amarelada. Na imagem com uma gravura rupestre (c) foi aplicado o filtro LAB e na imagem com várias gravuras rupestres também foi aplicado o filtro LAB (d).

Fonte: elaborada pelo autor.

Resultados no ERA:

a. Para uma imagem de um painel com uma pintura rupestre em destaque (Figura 4a)

O melhor realce a princípio foi observado no whitening procedure ZCA com o colour space CMY(K), selecionando o Channel 2 (Fig. 6b). Visando acentuar o contraste, foi aplicado o Decorrelation Refinement, usando o valor 5 em Contrast Boost (Fig. 6c). Em seguida foram selecionados include e exclude na imagem (Fig.

6d) e finalmente foi obtido o resultado para as 4 saídas usando o classificador kNN (Fig. 6e). Depois do processo concluído no ERA, foi realizada uma etapa adicional usando um dos arquivos vetoriais (SVG) gerados e abrindo-o na ferramenta CorelDRAW2020, visando a eliminação de ruídos⁵ (Fig. 6f).

⁵ Consideram-se ruídos, neste caso, os fragmentos que persistem após a vetorização de uma imagem. Por estarem fora da área de interesse, no caso da arte rupestre, eles precisam ser eliminados.

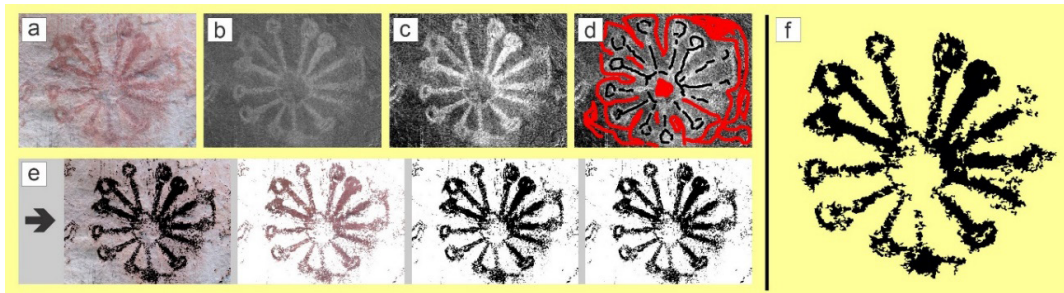


Fig. 6. Etapas do melhor resultado alcançado com o software ERA para uma imagem com uma pintura rupestre. Ao final, o arquivo vetorial gerado (SVG) foi editado na ferramenta CorelDRAW2020 visando à remoção de alguns ruídos.

Fonte: elaborada pelo autor.

b. Para uma imagem de um painel com várias pinturas rupestres em destaque (Figura 4b)

A princípio, o melhor realce foi observado no whitening procedure ZCA com o colour space CMY(K), selecionando a opção Composite (Fig. 7b). Visando acentuar o contraste, foi aplicado o Decorrelation Refinement, usando o valor 8 em Contrast

Boost (Fig. 7c). Em seguida, foram selecionados include e exclude na imagem (Fig. 7d) e, finalmente, foi obtido o resultado para as 4 saídas usando o classificador kNN (Fig. 7e). Depois do processo concluído no ERA, foi realizada uma etapa adicional, usando um dos arquivos vetoriais (SVG) gerados e abrindo-o na ferramenta CorelDRAW2020 visando à eliminação de ruídos (Fig. 7f).

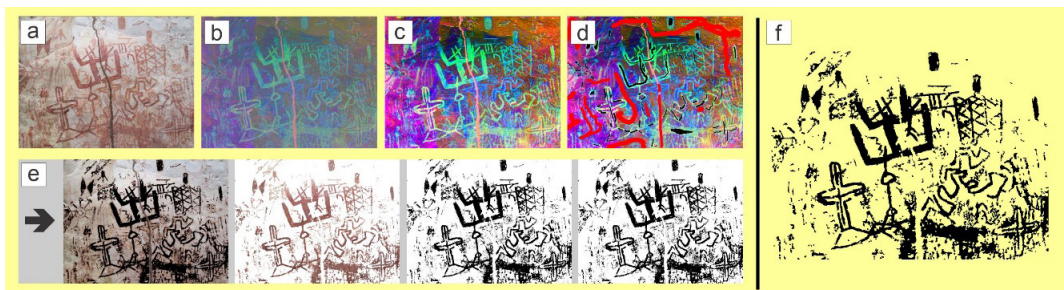


Fig. 7. Etapas do melhor resultado alcançado com o software ERA para uma imagem com várias pinturas rupestres. Ao final, o arquivo vetorial gerado (SVG) foi editado na ferramenta CorelDRAW2020 visando à remoção de alguns ruídos. Nesse caso, ao tentar retirar os ruídos, algumas partes da pintura rupestre foram perdidas.

Fonte: elaborada pelo autor.

c. Para uma imagem de um painel com uma gravura rupestre em destaque (Figura 4c)

O melhor realce a princípio foi observado no whitening procedure PCA com o colour space Original, selecionando a opção Composite (Fig. 8b). Visando acentuar o contraste, foi aplicado o Decorrelation Refinement, usando o Stroke Width (Fig. 8c).

Em seguida foram selecionados include e exclude na imagem (Fig. 8d) e finalmente foi obtido o resultado para as 4 saídas usando o classificador kNN (Fig. 8e). Depois do processo concluído no ERA, foi realizada uma etapa adicional usando um dos arquivos vetoriais (SVG) gerados pelo ERA e abrindo-o na ferramenta CorelDRAW2020, visando a eliminação de ruídos (Fig. 8f).

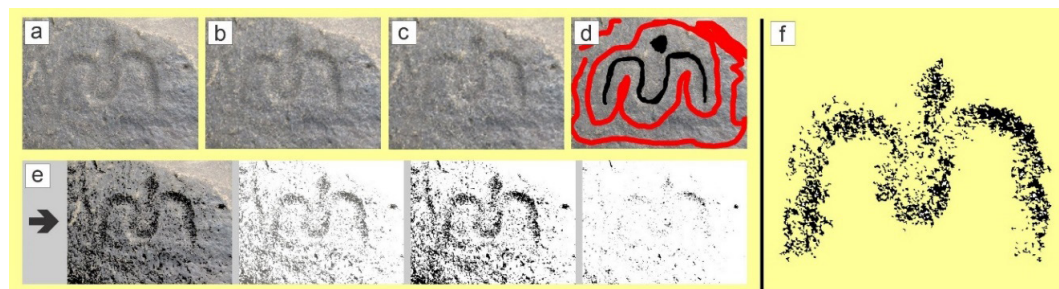


Fig. 8. Etapas do melhor resultado alcançado com o software ERA para uma imagem com uma gravura rupestre. Ao final, o arquivo vetorial gerado (SVG) foi editado na ferramenta CorelDRAW2020 visando a remoção de alguns ruídos.

Fonte: elaborada pelo autor.

d. Para uma imagem de um painel com várias gravuras rupestres em destaque (Figura 4d)

O melhor realce a princípio foi observado no whitening procedure ZCA com o colour space XYZ, selecionando a opção Composite (Fig. 9b). Visando acentuar o contraste, foi aplicado o Decorrelation Refinement, usando o valor 6 em Contrast Boost (Fig. 9c). Em

seguida foram selecionados include e exclude na imagem (Fig. 9d) e, finalmente, foi obtido o resultado para as 4 saídas usando o classificador kNN (Figura 9e). Depois do processo concluído no ERA, foi realizada uma etapa adicional usando um dos arquivos vetoriais (SVG) gerados pelo ERA e abrindo-o na ferramenta CorelDRAW2020, visando à eliminação de ruídos (Fig. 9f).

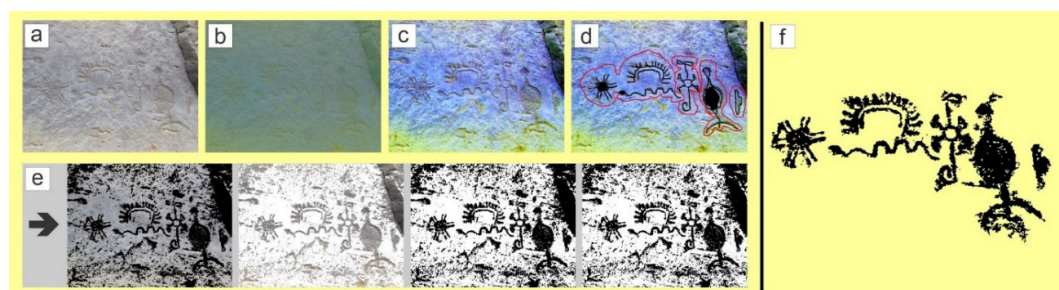


Fig. 9. Etapas do melhor resultado alcançado com o software ERA para uma imagem com várias gravuras rupestres. Ao final, o arquivo vetorial gerado (SVG) foi editado na ferramenta CorelDRAW2020 visando à remoção de alguns ruídos.

Fonte: elaborada pelo autor.

Discussão

A utilização de softwares para o processamento de imagens de arte rupestre foi intensificada a partir de meados dos anos 2000. A princípio, no processamento dessas imagens, eram usados softwares genéricos, no entanto a partir de 2005, com o surgimento da ferramenta DStretch, abriu-se a possibilidade

de adotar um software específico para processar imagens de arte rupestre. A partir de então, o DStretch passou a ser amplamente utilizado pela comunidade interessada no tema, pesquisadores e arqueólogos. Apesar de ser um software de extrema importância, por exaltar artes rupestres que, muitas vezes, não são possíveis de serem observadas a olho nu, o DStretch não processa as etapas de segmentação e vetorização,

limitando-se ao realce. Assim, para realizar as etapas de segmentação e vetorização, também muito necessárias, os usuários têm que utilizar outros métodos através de softwares genéricos.

Ao longo do tempo, com o uso do DStretch e demais ferramentas genéricas, a prática do processamento digital de imagens de arte rupestre teve uma visível evolução, acompanhando a evolução da computação como um todo. A utilização e o aprimoramento de vários algoritmos e o surgimento de outras ferramentas específicas como o Indiana MAS e o pyColorimetry nos anos de 2017 e 2018, respectivamente, promoveram a maturidade necessária para o surgimento, já em 2022, do software ERA. O ERA é, até o momento, a mais ousada proposta para o processamento de imagens de arte rupestre, além de ser um software de característica específica, ele vai além do realce das imagens, pois disponibiliza também recursos para a segmentação e a vetorização, utilizando a experiência do estiramento de decorrelação usada no DStretch e a incrementando com outras tecnologias e algoritmos, inclusive o aprendizado de máquina. Também de extrema importância, é o fato do código do ERA ser aberto, o que possibilitará o aperfeiçoamento compartilhado das técnicas.

Durante os testes no software ERA, algumas questões de acessibilidade, usabilidade e processamento foram observadas, como a limitação no tamanho das imagens. Nos testes, imagens acima de 2000 pixels de largura tiveram o processamento muito demorado e, em alguns casos, a ferramenta travou e fechou de forma abrupta. Isso ocorre devido à alta necessidade de processamento que alguns algoritmos da ferramenta necessitam. No nosso caso, o uso de um computador com uma memória RAM de 8GB pode ter sido um fator limitante.

Outra questão observada é o arquivo vetorial em formato SVG, que é gerado de forma automática no final do processo. Percebeu-se que ele carece de um aperfeiçoamento, buscando obedecer ao resultado da segmentação, e talvez abrindo a possibilidade para edição e eliminação de ruídos. Nos testes acima, a eliminação de ruídos foi feita na ferramenta CorelDRAW2020. Finalmente, destaca-se a necessidade de uma

acessibilidade mais voltada ao usuário final, incluindo aí a possibilidade da aplicação ser acessada a partir de um navegador web. Porém, entende-se que o ERA é algo inovador e que a tendência nas próximas versões é que essas questões, e outras que serão reportadas aos desenvolvedores, sejam sanadas e/ou melhoradas.

Conclusão

Essa revisão sistemática, apresentou de forma cronológica, o resultado de uma pesquisa a partir da base Scopus, mostrando a evolução dos métodos computacionais voltados para o processamento de imagens de arte rupestre, buscando responder à seguinte pergunta: “Quais os softwares específicos para o processamento de imagens de arte rupestre?”. Ao longo do tempo, os métodos manuais de registro e de processamento de imagens de arte rupestre foram sendo substituídos por métodos computacionais a partir do uso de câmeras digitais e softwares genéricos. Posteriormente, a partir de 2005, com o surgimento da ferramenta chamada DStretch, começaram a surgir os softwares específicos usados no processamento de imagens de arte rupestre.

O surgimento do DStretch apresentou um avanço, pois o software oferece aos seus usuários a possibilidade de realce das imagens digitais de arte rupestre, fazendo com que fossem revelados detalhes das imagens imperceptíveis a olho nu. Outras tentativas de ferramentas específicas surgiram ao longo do tempo, como os softwares Indiana MAS e o pyColorimetry. No entanto, foi em 2022, que surgiu o mais ousado software específico para o processamento de imagens de arte rupestre: trata-se do ERA, um software de código aberto, que apresenta, além do realce, a segmentação e a vetorização. Portanto, o lançamento do ERA é um novo marco no uso de softwares para processamento de imagens de arte rupestre. Destaca-se, no entanto, que nos softwares específicos citados acima, os resultados do processamento computacional em imagens com pinturas rupestres tendem a ser melhores do que em gravuras rupestres, devido ao contraste da tinta sobre a rocha.

MENESES, F.G.A.; CASTELO BRANCO, L.R.M.; SANTOS, M.S.; VIEIRA, J.L.B.
Specific software in processing rock art images: a systematic review. R. Museu Arq. Etn. 42: 203-219, 2024

Abstract: Initially, recording and processing images of rock art occurred manually. With the advance of technology, recording began to be done with digital cameras and image processing was done using generic software. This evolution requires software specifically designed to process rock art images and, given their aim, with better quality. Therefore, this systematic review aims to describe the main specific software in processing rock art images. This review was based on the PRISMA methodology and was applied to the Scopus database. This review first describes a chronological and evolutionary analysis of the software and technologies to then highlight the two currently used main specific software.

Keywords: Rock art; software; image processing; DStretch; ERA.

Referências bibliográficas

- Briola, D. et al. 2017. Agent-oriented and ontology-driven digital libraries: the IndianaMAS experience. *Software – Practice and Experience* 47/11: 1773-1799.
- Bryan, P.; Chandler, J.H. 2008. Cost-effective rock-art recording within a non-specialist environment. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives* 37: 259-264.
- Cabrelles, M.; Lerma, J.L.; Villaverde, V. 2020. Macro photogrammetry & surface features extraction for paleolithic portable art documentation. *Applied Sciences* 10/19:1-16.
- Cerrillo-Cuenca, E.; Sepúlveda, M. 2015. An assessment of methods for the digital enhancement of rock paintings: The rock art from the precordillera of Arica (Chile) as a case study. *Journal of Archaeological Science* 55: 197–208.
- Chandler, J.H.; Bryan, P.; Fryer, J.G. 2007. The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras. *Photogrammetric Record* 22/117: 10-21.
- Defrasne, C.; Bailly, M. 2014. Les Oullas: An image bearing rockshelter on a Neolithic Alpine path? In: M. Besse (Ed.). *Around the Petit-Chasseur Site in Sion (Valais, Switzerland) and New Approaches to the Bell Beaker Culture: Proceedings of the International Conference (Sion, Switzerland – October 27th – 30th 2011)*. Archaeopress Archaeology, Oxford, 101-110.
- Domingo, I. et al. 2015. Evaluating conventional and advanced visible image enhancement solutions to produce digital tracings at el Carche rock art shelter. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2/2-3: 79-88.
- Earl, G.; Martinez, K.; Malzbender, T. 2010. Archaeological applications of polynomial texture mapping: Analysis, conservation and representation. *Journal of Archaeological Science* 37/8: 2040-2050.
- Evans, L.; Mourad, A-L. 2018. DStretch® and Egyptian tomb paintings: A case study from Beni Hassan. *Journal of Archaeological Science: Reports* 18: 78-84.
- Fryer, J.G.; Chandler J.H.; El-Hakim, S.F. 2005. Recording and modelling an aboriginal cave painting: With or without laser scanning?

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives* 36/5/W17. Disponível em: <https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/5-w17/pdf/3.pdf>. Acesso em: 23/10/2024.
- Fuentes-Porto, A.; Soto-Martín, O.; Martín-Gutierrez, J. 2020. Analysis of digital images with DStretch as a support for the virtual restoration of an historical mural painting in San Cristóbal de La Laguna. *Conservar Patrimonio*, 34: 35-49.
- Gil-Docampo, M.; Peña-Villasenín, S.; Ortiz-Sanz, J. 2020. An accessible, agile and low-cost workflow for 3D virtual analysis and automatic vector tracing of engravings: Atlantic rock art analysis. *Archaeological Prospection* 27: 153-168.
- Hollmann, J.C. 2018. Digital Technology in Research and Documentation of Hunter-Gatherer Rock Art in South Africa. *African Archaeological Review* 35: 157-168.
- Le Quellec, J.L.; Duquesnoy, F.; Defrasne, C. 2015. Digital image enhancement with DStretch®: Is complexity always necessary for efficiency? *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2/2-3: 55-67.
- Lerma, J.L. et al. 2014. Range-based versus automated markerless image-based techniques for rock art documentation. *Photogrammetric Record* 29/145: p. 30-48.
- Liberati, A. et al. 2009. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *PLoS Medicine* 6/7: e1000100. Disponível em <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>. Acesso em: 23/10/2024.
- Molada-Tebar, A.; Lerma, J.L.; Marqués-Mateu, Á. 2018. Camera characterization for improving color archaeological documentation. *Color Research and Application* 43: 47-57.
- Monna, F. et al. 2022. ERA: A new, fast, machine learning-based software to document rock paintings. *Journal of Cultural Heritage* 58: 91-101.
- Paulsson, B.S.; Isendahl, C.; Markurth, F.F. 2019. Elk Heads at Sea: Maritime Hunters and Long-Distance Boat Journeys in Late Stone Age Fennoscandia. *Oxford Journal of Archaeology* 38: 398-419.
- Robert, E.; Petrognani, S.; Lesvignes, E. 2016. Applications of digital photography in the study of Paleolithic cave art. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10: 847-858.
- Rogério-Candelera, M.Á. 2016. Digital image analysis-based strategies for quantitative monitoring of rock art sites. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10: 864-870.
- Schulz Paulsson, B.; Isendahl, C.; Frykman Markurth, F. et al. 2019. Elk Heads at Sea: Maritime Hunters and Long-Distance Boat Journeys in Late Stone Age Fennoscandia. *Oxford Journal of Archaeology*, v. 38: n. 4, p. 398-419.