

REVISTA DE ARQUEOLOGIA

Volume 36 No. 1 Janeiro - Abril 2023

ARTIGO

CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA AUTOMATIZADA EM CERÂMICAS ASURINI DO XINGU

Karla Bianca da Silva Oliveira*

Ângelo Alves Corrêa**

Fabiola Andrea Silva***

RESUMO

Neste artigo apresentamos um experimento de análise morfológica, realizado a partir de preceitos da Morfometria Geométrica em vasilhas cerâmicas Asurini, do Xingu. Nosso objetivo é fomentar discussões sobre a construção de um protocolo de captura automática de perfil cerâmico, de baixo custo e complexidade, com alto grau de confiabilidade. Deste modo, com o auxílio de ferramentas da morfometria geométrica, buscamos capturar informações matemáticas de perfis de exemplares cerâmicos de alta variabilidade, e compará-los entre si. Para tal tarefa, adequamos o protocolo de execução a contextos não biológicos, no qual efetuamos uma dispersão de pontos de referência de modo arbitrário, aplicada igualmente a todos os exemplares. Com isso, efetuamos uma coleta de informações baseada em pixels de imagem. Os resultados confirmaram que a análise de representações digitais de artefatos usando a morfometria geométrica permite classificações semelhantes àquelas utilizadas pelos grupos sociais que os produziram. Além disso, tal análise pode fornecer indícios sobre possíveis mudanças de função e manutenção na morfologia de vasilhas cerâmicas. Isso demonstra o quanto análises exploratórias por meio de ferramentas digitais podem auxiliar na compreensão de mudanças e permanências nos conjuntos artefatuais. A análise explanatória proporcionada por este experimento se colocou como um passo relevante na construção de um algoritmo para análise morfológica automatizada, alinhada a um programa continuado de restituição histórica de longa duração dos povos associados ao tronco linguístico Tupi.

Palavras-chave: Classificação automatizada; classificação morfológica; morfometria geométrica; arqueologia Tupi; cerâmica Asurini.

* Pesquisadora Associada ao Laboratório de Arqueologia e estudos de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí - LATEC/UFPI.

** Universidade Federal do Piauí. Curso de Arqueologia.

*** Universidade de São Paulo.

AUTOMATED MORPHOLOGICAL CLASSIFICATION IN ASURINI CERAMICS FROM XINGU

ABSTRACT

This article presents a morphological analysis experiment, based on the precepts of Geometric Morphometry in Asurini ceramic vessels, from Xingu. We aim to foster discussions about the development of a low-cost and simple protocol to automatically capture ceramic profiles with high reliability. Therefore, with the help of geometric morphometric tools, we seek to capture mathematical information from highly variable ceramic specimen profiles and compare them with each other. For this task, we adapted the execution protocol to non-biological contexts, in which we carried out an arbitrary scattering of reference points, equally applied to all specimens. Thus we collected information based on image pixels. The results confirmed that the analysis of digital representations of artifacts using geometric morphometry allows classifications similar to those used by the social groups that produced them. This analysis can also provide clues about possible changes in function and maintenance in the morphology of ceramic bowls. This reinforces how exploratory analyses using digital tools can help us understand changes and permanence in the artifact sets. The explanatory analysis provided by this experiment is a relevant step in constructing an algorithm for automated morphological analysis, aligned with a continued program of long-term historical restitution of the people associated with the Tupi linguistic stock.

Keywords: Automated classification; morphological classification; geometric morphometry; Tupi archaeology; Asurini pottery.

CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA AUTOMATIZADA EN CERÁMICAS ASURINI DEL XINGU

RESUMEN

Este artículo presenta un experimento de análisis morfológico realizado con los preceptos de Morfometría Geométrica en vasos de cerámica Asurini del Xingu. Su objetivo es fomentar el debate sobre la construcción de un protocolo de captura automática de perfil cerámico, de bajo costo, baja complejidad y alto grado de confiabilidad. Con base en las herramientas de la morfometría geométrica, se busca recoger la información matemática de los perfiles de una muestra de cerámica con alta variabilidad para compararlos entre sí. Para ello, se adaptó el protocolo de ejecución a contextos no biológicos, en los que se realizó una dispersión arbitraria de puntos de referencia, aplicada por igual a toda la muestra. Así se recogió la información basada en píxeles de imagen. Los resultados confirman que el análisis de representaciones digitales de artefactos que utilizan la morfometría geométrica permite clasificaciones similares a las utilizadas por los grupos sociales que los produjeron. Además, dicho análisis puede proporcionar pistas sobre posibles cambios de función y mantenimiento en la morfología de los vasos cerámicos. Esto demuestra que los análisis exploratorios que utilizan herramientas digitales son útiles en la comprensión de los cambios y la permanencia en los conjuntos de artefactos. El análisis explicativo de este experimento fue relevante en la construcción de un algoritmo para el análisis morfológico automatizado, alineado con un programa en curso de restitución histórica a largo plazo de los pueblos que forman el tronco lingüístico Tupí.

Palabras clave: Clasificación automatizada; clasificación morfológica; morfometría geométrica; arqueología tupí; cerámica Asurini.

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais é difícil conceber a pesquisa arqueológica sem ferramentas digitais como a modelagem preditiva, vetorizações, modelagem 3D, banco de dados, teledetecção, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), entre tantas outras disponibilizadas pelas ciências da computação. Contudo, apesar da diversidade de técnicas disponíveis, a classificação digital de artefatos ainda é pouco usada no Brasil. Uma vez que a classificação de artefatos é realizada por meio de inspeção visual, a construção de modelos alinhados à visão computacional e aprendizado de máquina certamente é um caminho possível no desenvolvimento de ferramentas de classificação automatizada (VAN DER MAATEN *et al*, 2006).

Apresentamos neste artigo os resultados de uma experiência de automação para a classificação morfológica de vasilhas cerâmicas, utilizando os princípios da morfometria geométrica. Esta experiência teve como principal objetivo testar se os resultados alcançados por meio de uma classificação automática apresentariam correspondências com a classificação dada pelas pessoas que produziram as vasilhas, no caso, ceramistas assurinís. Ou seja, verificarmos se os agrupamentos resultantes possuem alguma semelhança com os procedimentos de classificação atribuídos pelas ceramistas. Dada essa característica comparativa, optou-se por não testar inicialmente um conjunto artefactual arqueológico. Este não permitiria apreender a relação entre a classificação realizada de modo automático e a classificação de quem o produziu e utilizou. Assim, para este experimento utilizamos um grupo de vasilhas etnográficas do povo Asurini do Xingu, por dispormos de informações sobre a produção e uso de cada vasilha (SILVA, 2000, 2009, 2019).

Neste experimento comparamos a forma de 44 vasilhas cerâmicas completas. Para esta tarefa fizemos uso da Morfometria Geométrica, uma abordagem de análise utilizada para verificar variações morfológicas entre estruturas biológicas (FORNEL; CORDEIRO-ESTRELA, 2012; WEBSTER; SHEETS, 2010). Possui um histórico de uso expressivo na pesquisa arqueológica, sobretudo para análise de material lítico (ARCHER; BRAUN, 2010; BUCHANAN; COLLARD, 2010; CARDILLO, 2010; GÖLDNER *et al*, 2022; HERZLINGER; GROSMAN, 2018; MACLEOD, 2018; OKUMURA; ARAÚJO, 2018; THULMAN, 2012). Originalmente, neste método são atribuídas coordenadas cartesianas a marcos anatômicos existentes em uma mesma estrutura que estão presentes em diferentes organismos. Estas coordenadas são sobrepostas por meio da *sobreposição generalizada de Procrustes*. Esta etapa remove informações relacionadas à posição, orientação e escala e nos dá como resposta os *resíduos da forma*. A análise morfométrica se dá a partir desses resíduos. Em resumo, é uma maneira de quantificar *diferenças de forma* entre indivíduos que nos oferece tanto demonstrações visuais de agrupamentos, quanto respostas numéricas que permitem analisar estatisticamente estas diferenças e possíveis relações entre elas.

De modo geral, os resultados do experimento foram bastante animadores e nos proporcionaram importantes questionamentos sobre a relevância de pesquisas multidisciplinares e o uso da tecnologia digital como meio de alcançar respostas para problemas arqueológicos que versam, em maior número, sobre tecnologias pretéritas. Nosso principal desafio esteve alinhado à busca por metodologias e ferramentas pré-existentes de baixo custo para a captura e análise morfológica comparativa. Neste percurso encontramos a morfometria geométrica como uma possibilidade favorável, dada sua ampla documentação sobre protocolos de análise e uso de softwares próprios. No entanto, como a análise se deu em um âmbito cultural e não biológico, não contávamos com marcos anatômicos para referenciar a localização dos pontos de referências (*landmarks*) e este foi o nosso segundo grande desafio (HERZLINGER; GROSMAN, 2018). Para superá-lo esboçamos um protocolo de dispersão desses pontos ao longo do perfil de cada vasilha, adotado em todos os exemplares e capaz de atender uma coleção de alta heterogeneidade. Elaboramos então a disposição de marcos matemáticos (DRYDEN; MARDIA, 2016) que não estivesse atrelada a atributos culturais do grupo ceramista.

Os agrupamentos morfológicos obtidos com a classificação morfométrica apresentaram uma consistência significativa com os agrupamentos êmicos. Ao longo da análise observamos, por exemplo, que os grupos previamente classificados como pertencentes à classe funcional de servir alimentos,

apresentaram uma maior proximidade com grupos da classe de preparo/cozimento de alimentos. Em consonância com as denominações das vasilhas, as análises exploratórias automatizadas podem nos dar indícios sobre processos de mudanças de função e manutenção da forma dos artefatos ao longo do tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleção Analisada

Como mencionado anteriormente, as vasilhas cerâmicas utilizadas neste experimento correspondem exclusivamente a exemplares inteiros, produzidas por mulheres ceramistas Asurini. A coleção analisada foi composta por 44 vasilhas (Quadro 1), dentre as quais apenas quatro não possuíam informações de origem e as demais são oriundas da Terra Indígena (TI) Koatinemo, município de Altamira, estado do Pará¹. A coleção foi subdividida em quatro classes, cujo princípio de distinção esteve diretamente relacionado à funcionalidade das vasilhas (cozimento/preparo, serviço, consumo e transporte/armazenagem). Ressaltando que a definição de classes e grupos morfológicos foi explicitada pelo próprio grupo ao longo da pesquisa de Silva (2000, 2009, 2019) com a população Asurini do Xingu, TI Koatinemo, desde meados de 1996, além de estudos anteriores (MÜLLER, 1984, 2002; RIBEIRO, 1982)². Estas classes foram subdivididas em 16 grupos morfológicos (FIGURA 1). Cada grupo foi representado por três exemplares, com exceção dos grupos *uira* e *pekia*, pois ambos possuíam apenas um único exemplar em nosso banco de dados.

Quadro 1. Conformação da coleção analisada

	Classes Funcionais	Grupo	Nº de Exemplares
Coleção	Servir alimentos	<i>Ja'e</i>	3
		<i>ja'eniwa</i>	3
	Preparar/cozinhar alimentos	<i>jape'e</i>	3
		<i>japepa</i>	3
		<i>japepa'i</i>	3
		<i>japepa'i / ja'eniwa</i>	3
		<i>japepa'i piri</i>	3
	Transportar/Armazenar líquidos	<i>kavioi</i>	3
		<i>pupijanekanawa</i>	3
		<i>japu</i>	3
		<i>yawa</i>	3
		<i>yawi</i>	3
	Consumir alimentos	<i>uira</i>	1
		<i>kume</i>	3
		<i>pekia</i>	1
		<i>jarati</i>	3

Fonte: Elaboração própria.

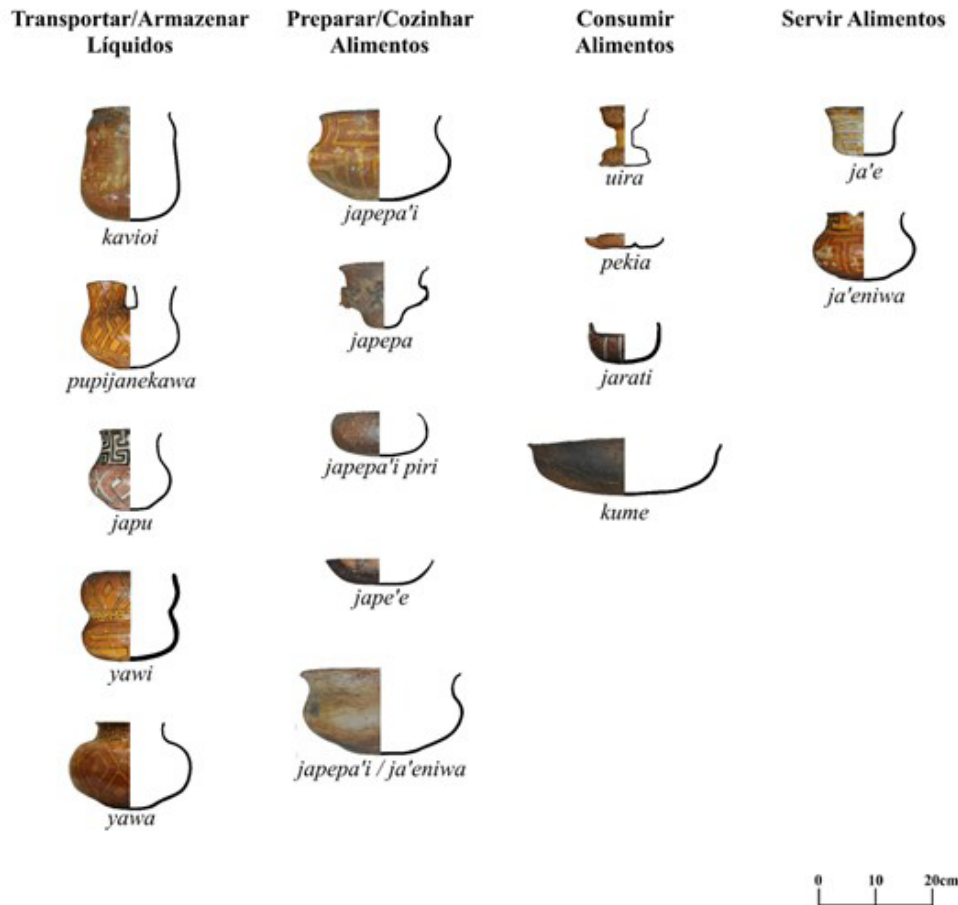
¹ As vasilhas analisadas advêm de coleções de diferentes instituições e acervos particulares, a saber: Museu do Índio/RJ; Museu Paraense Emílio Goeldi; Weltmuseum/Museu Etnográfico de Viena; Museu de Arqueologia e Etnologia/USP; Coleção Particular Regina P. Muller e Coleção Particular Fabiola Silva.

² Nosso conhecimento sobre nomenclaturas, funcionalidades e etapas da cadeia operatória de produção das vasilhas cerâmicas utilizadas por esta população tem se ampliado com o avançar das pesquisas. Para mais detalhes ver Silva (2000, p. 88).

Outro ponto relevante sobre o grupo de dados é que este experimento foi proposto e executado tendo como objeto de estudo apenas a representação de vasilhas cerâmicas por meio de fotografias e restituição fotogramétrica. Ou seja, ao longo de todo o percurso aqui descrito não houve o manuseio das vasilhas analisadas. Toda e qualquer inferência foi realizada a partir do acervo fotográfico, realizado por meio da fotogrametria e tabelamento das informações métricas e históricas de cada exemplar coletado no ato da pesquisa, nos acervos entre 2012 e 2015. Dada a natureza do experimento, a ausência de contato físico entre pesquisadores e vasilhas ao longo deste trabalho não foi de modo algum um obstáculo à sua realização.

Figura 1. Apresentação de um exemplar de cada grupo analisado ordenados por classes.

Fonte: Elaboração própria.



Isto posto, com a consciência da importância da adoção de parâmetros mínimos de confiabilidade no uso de representações digitais como substitutos confiáveis de objetos físicos, devemos ressaltar que a qualidade do levantamento fotográfico foi um dos pontos cruciais para o bom funcionamento deste trabalho (PEREZ *et al*, 2006; WEBSTER; SHEETS, 2010). Este levantamento foi efetuado por meio da fotogrametria e precedeu a elaboração desta pesquisa. Porém, o rigor na sua execução proporcionou os pré-requisitos necessários à atribuição de confiabilidade na coleta dos pontos. De forma breve, obrigatoriamente para este experimento precisamos que as imagens estejam em formato digital de alta qualidade; fotografadas a uma distância focal padronizada de 55 mm, com presença de escala métrica e câmera e vasilha nivelada (CORRÊA, 2014; GEISSLER, 2018; TEXEIRA, 2018).

Aquisição dos Dados Morfométricos

Esta etapa corresponde a captura da geometria bidimensional das imagens das vasilhas e as tornou comparáveis. Deste modo, e com base no método escolhido, definimos a posição para a disposição

dos pontos e semipontos de referência, por meio dos quais capturamos coordenadas cartesianas ao longo do contorno da imagem da vasilha. Segundo os preceitos da morfometria geométrica os pontos de referências correspondem a marcos anatômicos fixos e facilmente identificáveis de uma mesma estrutura em indivíduos distintos. Em contrapartida, os semipontos de referência são inseridos em locais de curvaturas ou de maneira livre em áreas isentas de pontos de referência ou com pontos insuficientes para capturar a informação desejada (BARDUA *et al*, 2019; FORNEL; CORDEIRO-ESTRELA, 2012; WEBSTER; SHEETS, 2010). Grosso modo, os semipontos seriam pontos acessórios e podem ser identificados como tais em ferramentas de análise morfométrica (função deslizante).

Captura do perfil

A aquisição do perfil teve início com a preparação das imagens para a captura dos pontos. A fotografia de cada exemplar foi recortada de modo que seus limites (superior, inferior, esquerdo e direito) coincidisse com as extremidades do exemplar (Figura 2a e 2b). Essa estratégia foi utilizada para obter as medidas proporcionais do exemplar a partir do número máximo de pixels (x_{max} , y_{max}) existente na imagem (Figura 2c) e, com isso, calcular em qual porcentagem da imagem cada ponto está localizado. Com o recorte feito e com auxílio do software *Inkscape* versão 0.92, foram dispostas sobre a fotografia 4 linhas retas alinhadas ao centro e rotacionadas da seguinte maneira: a primeira linha a 90° , a segunda a 180° , a terceira a -45° e a quarta a 45° (Figura 2c).

Figura 2. Preparação da fotografia em um exemplar *ja'e*. A figura 2a exibe a fotografia antes do recorte, a 2b após o recorte e a 2c exibe a disposição das linhas, capturando o valor máximo de x (x_{max}) e o valor máximo de y (y_{max}), os quais representam o número máximo de pixels (100%) em cada um dos eixos.

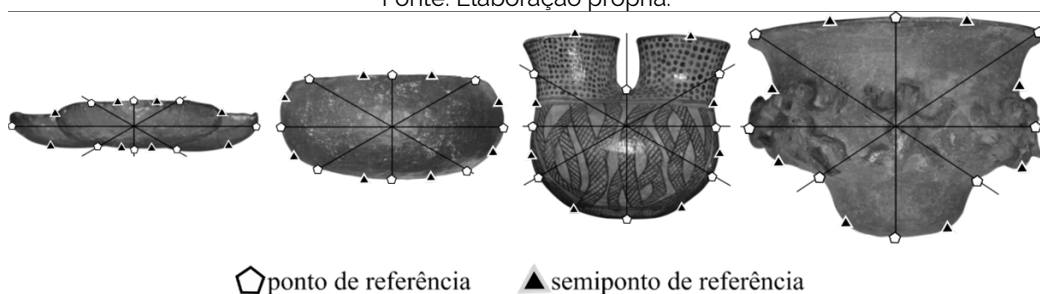
Fonte: Elaboração própria.



Os pontos de referência foram inseridos no local onde as linhas tocam as extremidades da vasilha cerâmica, totalizando oito pontos de referência para cada exemplar. Entre estes pontos foram alocados os semipontos de referência (Figura 3), dispostos de forma livre, porém buscando uma equidistância entre os pontos vizinhos (Figura 3). Para esta etapa utilizamos o software de processamento e análise de imagens *ImageJ* versão 1.51i (SCHINDELIN *et al*, 2012; 2015). Ao final desta etapa as coordenadas (x , y) de todos os exemplares fornecidas pelo *ImageJ*, foram agrupadas em um único arquivo, dando origem ao nosso TPS (*Thin Plate Spline*) para ser utilizado na etapa seguinte.

Figura 3. Exemplos de disposição de pontos e semipontos de referência.

Fonte: Elaboração própria.



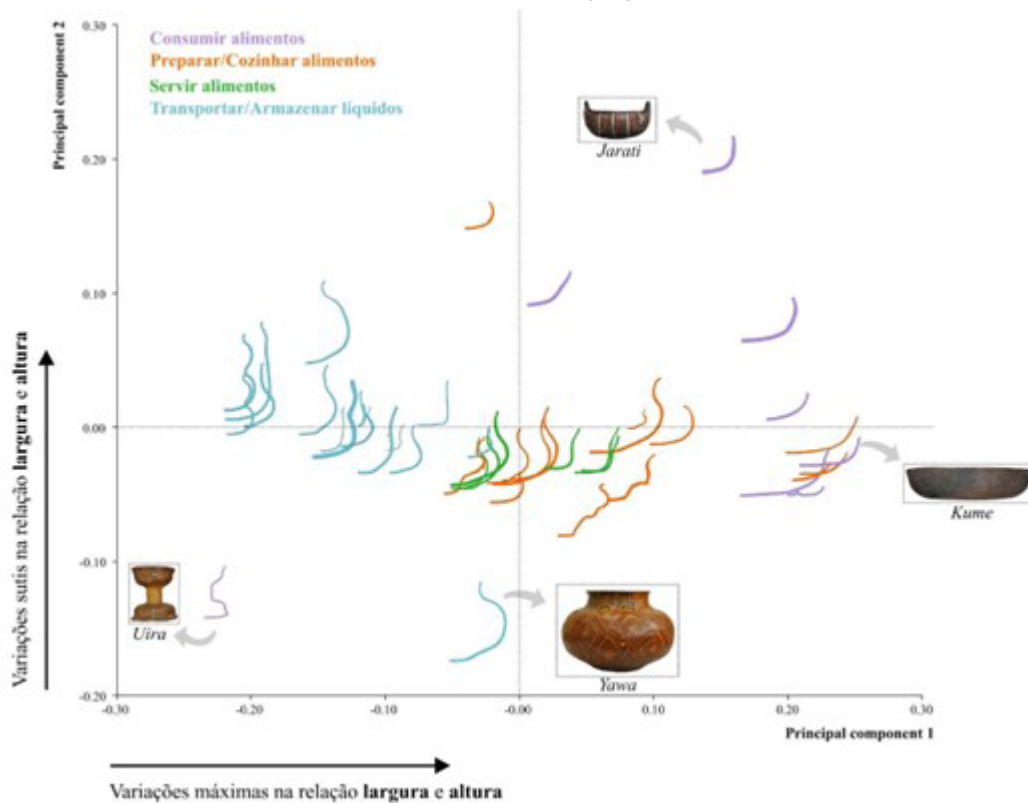
COMPARAÇÃO DAS FORMAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A busca por diferenças e similaridades entre as formas foi realizada por meio da sobreposição generalizada de *Procrustes*, onde as coordenadas de cada um dos exemplares foram sobrepostas e alinhadas a um centro comum utilizando o software *MorphoJ*, versão 1.06d (KLINGENBERG, 2011). Esse ajuste foi o responsável por remover as diferenças de “posição (translação), tamanho (proporcionalidade) e orientação (rotação)” (FORNEL; CORDEIRO-ESTRELA, 2012, p. 109), mantendo apenas as diferenças de forma. Após esta etapa alcançamos uma forma média padronizada ou configuração consenso que, no nosso caso, se assemelhou a exemplares do grupo *kavioi*.

Em seguida realizamos uma análise exploratória dos dados por Análise de Componentes Principais (PCA). De forma breve, a PCA rotaciona o espaço multidimensional para localizar os eixos com maior variância da amostra, cada componente principal é um eixo linear das variáveis originais. Esse processo pode ser observado graficamente, onde o primeiro componente (PC1) corresponde a maior variância possível entre as amostras e o segundo componente (PC2) se encarrega de capturar toda a variância restante possível. Além de fornecer um meio eficaz de analisar os principais modos de variação na forma.

Figura 4. Disposição das formas com base na variância obtida por PCA. As formas extremas de cada eixo são apresentadas com seu contorno completo.

Fonte: Elaboração própria.



A partir do gráfico acima observamos que para esta coleção o principal fator diferenciador entre os exemplares foi a relação altura/largura, tal como podemos observar em suas disposições ao longo do eixo das abscissas. Os pontos extremos neste eixo (PC1) correspondem às variações máximas da relação altura/largura dos exemplares analisados. No eixo x e próximo a zero estão dispostos os exemplares cuja altura é expressivamente maior que a largura, tal como o exemplar do grupo *uirá*. À medida que os exemplares se afastam de 0 sua altura tende a diminuir e sua largura a aumentar, alcançando a variação máxima (próxima a 0,30), como um exemplar do grupo *kume*.

Com esta análise exploratória podemos observar que as classes funcionais, representadas pela diferença de coloração, apresentam-se em agrupamentos mais bem definidos para algumas classes do que para outras. Os exemplares para armazenagem/transporte estão concentrados à esquerda da imagem, dada a relação altura maior que a largura. Ao centro concentram-se, em maior número, os exemplares para preparo de alimentos e serviço, que apresentam como principal característica uma altura aproximada da largura. À direita estão os exemplares para consumo e alguns exemplares de preparo (como assadeiras), ou seja, exemplares com altura menor que a largura. A junção desses exemplares de preparo com os exemplares de consumo já era esperada, dado que ambos possuem geometrias similares. A principal diferença entre ambas se deve à proporção dos exemplares de preparo, que chegam a possuir um tamanho até três vezes maior; contudo, a escala é um dos fatores removidos na etapa de sobreposição generalizada de *Procrustes*. Em caso semelhante, o único exemplar do grupo *uira* foi o que apresentou maior discrepância com os demais exemplares de sua classe (consumo) dado o padrão de sua geometria (altura > largura), que mais se assemelha, nesta análise, aos exemplares da classe de armazenagem/transporte.

Um ponto que merece atenção é a alta heterogeneidade no grupo da classe funcional referente ao consumo de alimentos. Neste grupo estão alocados os exemplares de maior variância entre a relação altura/largura. Além disso, a presença do único exemplar do grupo *uira*, ainda que a princípio figure-se como um possível *outlier*, consideramos que o distanciamento deste com os demais de sua classe se deu pela peculiaridade de sua morfologia. De forma analítica, poderia ser interpretada como a junção de dois exemplares do grupo *japepa'i/já'eniwa* unidos pela base o que lhe atribui uma altura singular em relação aos demais grupos de sua classe. Esse cenário nos leva às seguintes hipóteses: a) o protocolo efetuado foi suficiente e a classe possui uma alta variabilidade morfológica; b) o protocolo efetuado não foi suficiente para identificar corretamente a classe de consumo e precisamos ajustá-lo para aumentar a acurácia da análise. É necessário considerar que neste grupo residem funcionalidades diferentes, já que as vasilhas servem para o consumo de diferentes produtos. Isto pode levar a diferentes morfologias, por exemplo, entre aquelas para consumo de alimentos sólidos ou líquidos.

Uma discussão semelhante ocorre em relação aos grupos *ja'e* e *já'eniwa*, pertencentes à classe funcional de servir alimentos, que se aproximam dos grupos da classe funcional de preparo. A *já'eniwa* tem a mesma forma que o *japepa'i/já'eniwa*, com a base convexa. O que distingue a função aqui não é a forma, mas a decoração (ser pintada ou não) até porque *ja'e* é o vocábulo que designa panela e neste caso *iwa* é um sufixo que significa “o que dá; o que faz acontecer”; assim, *já'eniwa* pode ser traduzido como “o que dá panela”. Ainda é preciso dizer que, o que identifica uma vasilha como sendo *já'eniwa* ou *japepa'i/já'eniwa* é a sua base cônica, sendo que toda a manufatura de uma vasilha asurini inicia a partir de uma pré-forma cônica (SILVA 2000, p. 62, 2019, p. 12). Assim, esta morfologia se confirma como sempre relacionada a cozinhar, porém quando se pinta ela passa a servir para uma outra função, ou seja, é um exemplo de que uma mesma forma pode ter dupla função. Importante ressaltar que por meio deste experimento percebemos que de fato existem formas específicas na morfologia geral que formam conjuntos funcionais (armazenar e transportar; cozinhar; consumir).

Alinhada a PCA realizamos também a Análise de Variáveis Canônicas³ (CVA). Na CVA, tal como a PCA, os eixos são rotacionados buscando explicitar a variância entre os exemplares da coleção analisada. Contudo, na CVA informa-se como parâmetro um agrupamento pré-existente sobre o qual se deseja analisar a consistência. Assim, a análise busca maximizar a variância intergrupo e minimizar a variância intragrupo (WEBSTER; SHEETS, 2010). A CVA mostrou-se mais promissora para verificar

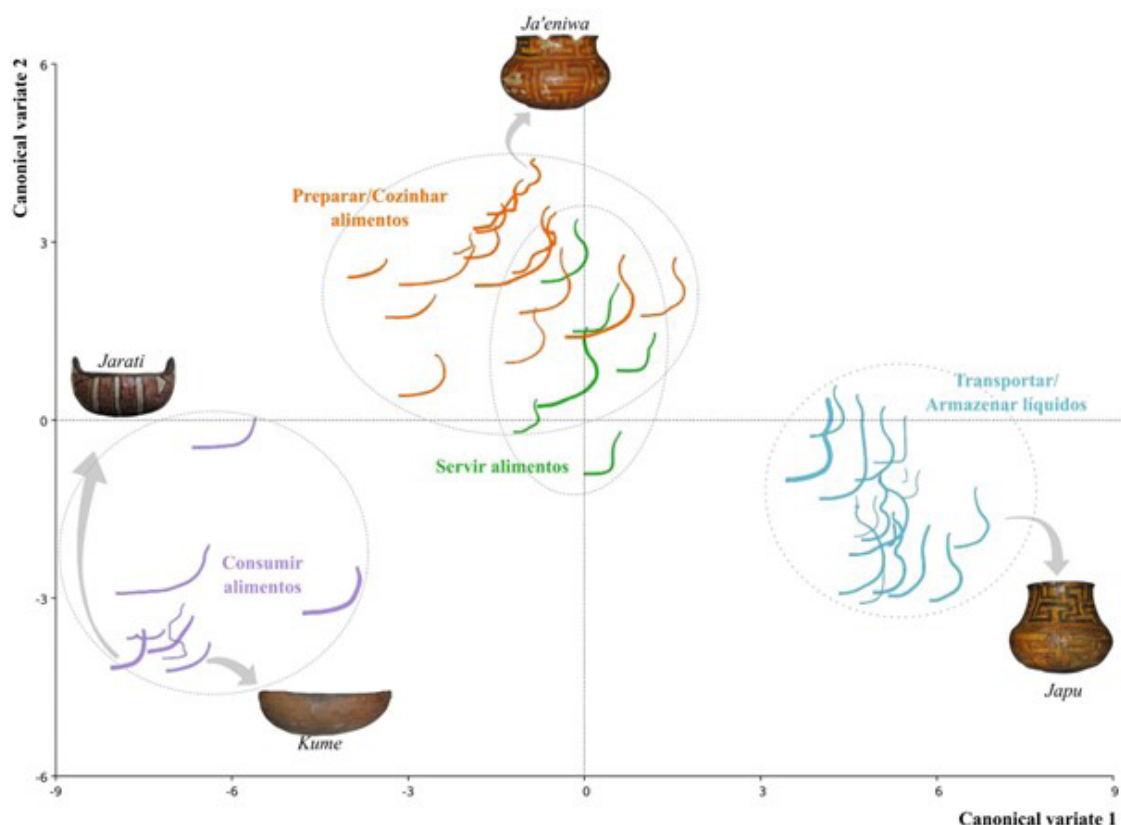
³ Busca suavizar a variância intragrupo e ressalta a variância intergrupo, partindo do pressuposto de que as classes previamente definidas possuem uma estrutura similar comum de variância e covariância.

que classes êmicas podem ser estatisticamente diferenciadas com base em suas morfologias (Figura 5). Quanto aos resultados, podemos destacar que não obtivemos inconsistência quanto aos exemplares de um mesmo grupo. As classes apresentaram uma distância significativa o que reforça a viabilidade de serem compreendidos enquanto distintos, evidenciando a capacidade de aplicativos de computadores realizarem autonomamente classificações com validade cultural.

Apesar da CVA individualizar melhor os agrupamentos de acordo com as classes morfológico funcionais, também possibilitou confirmar a similaridade entre vasilhas de produção e serviço já apontada pela PCA. As vasilhas de serviço *ja'é* e *já'eniwa* ficam tão próximas do agrupamento das vasilhas de produção que poderiam ser entendidas como uma única classe. Logo, nos reforça que as interpretações dos agrupamentos não devem ser pautadas apenas por suas feições geométricas. Ou seja, os fatores sociais nem sempre têm uma expressão métrica tão clara. Por isso, é importante considerar fatores situacionais e históricos de cada conjunto artefactual.

Figura 5. Resultado da Análise de Variação Canônica (CVA).

Fonte: Elaboração própria.



Tão relevante quanto obter e analisar a proximidade entre as vasilhas de uma mesma classe foi constatar o comportamento de exemplares idiossincráticos, como o da vasilha ritual *uira*, que na PCA se distanciou da classe de vasilhas usadas para o consumo. Ou no caso das *ja'é* que ficam inseridas no agrupamento da classe funcional de produção de alimentos e não individualizadas em um grupo de servir alimentos. Esse tipo de comportamento traz pistas importantes sobre como a morfologia das vasilhas está ligada com particularidades históricas e culturais de cada povo. Os resultados obtidos não apenas apontam para a correlação entre a classificação da máquina e a classificação asurini. Também permitem perceber que, ampliando a amostra e analisando vasilhas de períodos diferentes, poderíamos contribuir com interpretações sobre os usos, formas, processos de produção e suas transformações ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E NOVAS PERSPECTIVAS

Ainda que em arqueologia a análise morfológica possa soar, por vezes, como um fim em si mesmo, dada a relevância imputada à descrição de atributos físicos de artefatos. A premissa básica deste tipo de análise é que as características dos artefatos resultam de escolhas técnicas que permitem definir estilos tecnológicos. Estes por sua vez associados não apenas a performances funcionais em diversas dimensões dos artefatos, mas também a indissociabilidade entre estilo, função e a arbitrariedade das escolhas (CORRÊA, 2014; LYMAN, 2021). Nesta proposição, artefatos são compreendidos como elementos ativos que expressam mensagens de filiação social e identitária. Suas características físicas (ou atributos), expressam desde características de performance intrinsecamente relacionadas ao uso (SILVA, 2000; CORRÊA, 2014) a processos contínuos e complexos de ensino-aprendizagem (WENDRICH, 2012). Por este motivo, na arqueologia, a morfologia é considerada uma ferramenta poderosa no alcance dessas várias camadas de informações.

Assim, consideramos que a análise exploratória aqui delineada foi significativa para alcançar alguns dos possíveis significados da variabilidade morfológica. É certo que os passos adotados precisarão ser replicados a um grupo amostral com um número de exemplares numericamente mais expressivo. Assim, será possível verificar se o agrupamento continuaria a apresentar um comportamento similar, assim como a manutenção do seu nível de acurácia. No entanto, e de modo geral, este experimento foi um passo relevante rumo à escrita de um algoritmo capaz de desempenhar uma análise morfológica cada vez mais autônoma e independente de passos intermediários, tais como as etapas de recorte da imagem e inserção de pontos de referência para a captura do perfil. Isto é, na elaboração de uma sequência de passos lógicos e suficientes para que uma máquina desempenhe uma determinada função de modo consistente e satisfatório.

Neste contexto, cabe pontuar que a captura do perfil por meio da inserção de pontos de referência, tal como os passos aqui apresentados, pode não ser a melhor escolha para coleções amostrais com um maior número de exemplares. Por isso, consideramos em etapas futuras a inserção do uso de linguagens de programação habituais no campo da análise de dados, como R ou Python, de modo a automatizar as etapas de captura e exploração dos dados. Além disso, não seguimos alheios aos obstáculos que permeiam a adoção da morfometria geométrica para o alcance de respostas no âmbito cultural (OKUMURA; ARAÚJO, 2018), entre estes: onde os pontos de referência devem estar dispostos? Em locais de significância cultural ou arbitrariamente? Essa preocupação, amplamente exposta por Thulman (2012), ao que tudo indica tem causado menos alarde ao longo destes 10 anos (WANG; MARWICK, 2020). O avanço das pesquisas – assim como os afinamentos de metodologias e protocolos alinhados a projeção de *softwares* específicos e direcionados à pesquisa arqueológica – demonstra que a dispersão de pontos de maneira arbitrária tende a fornecer um número maior de *insights* em análises exploratórias de coleções arqueológicas.

No presente experimento não adotamos a premissa de significância cultural para a disposição dos pontos (por exemplo, carenas, apêndices, curvaturas e demais atributos específicos e recorrentes no grupo amostral a ser analisado). Eles foram estruturados de modo arbitrário e essa escolha se deve, sobretudo, à ampla heterogeneidade morfológica da coleção analisada. Ao alinhar pesquisas sob uma perspectiva de datificação⁴ da informação arqueológica (ANICHINI; GATTIGLIA, 2018), acreditamos que distribuir esses pontos de forma arbitrária e sistemática, ou alcançar meios completamente automáticos de captura de perfis cerâmicos, pôde fornecer informações até então despercebidas. Acreditamos que ao datificar, e não apenas digitalizar a informação arqueológica, seremos expostos a um cenário novo e inexplorado, no qual certamente visualizaremos correlações até então pouco

⁴ O ato de transformar algo em um formato quantificado, indo além da digitalização da informação (ANICHINI; GATTIGLIA, 2018; MEJIAS; COULDRY, 2019).

ou nunca abordadas. Teremos à nossa disposição análises matemáticas mais sofisticadas que nos auxiliarão na identificação de relações não lineares entre os dados e, quem sabe, na elaboração de análises preditivas massivas e robustas.

Para muitos pode parecer estranho o esforço de desenvolver análises de vasilhas inteiras e de conjuntos artefatuais com informações etnográficas sobre denominação e uso, enquanto em arqueologia o que realmente encontramos e analisamos são fragmentos de vasilhas, muitas vezes descontextualizados em termos históricos e etnográficos. Inicialmente, justificamos esta opção pela necessidade de termos uma amostra controlada, permitindo saber se os agrupamentos feitos pela máquina refletem ou não em alguma medida classificações das pessoas que produziram as vasilhas. Contudo, ressaltamos que com este experimento buscamos entender como estes tipos de classificação refletiriam a relação das pessoas com seus conjuntos artefatuais, inclusive em conjuntos arqueológicos. Temos milhares de vasilhas arqueológicas inteiras ou semi-inteiras depositadas em reservas e museus que nunca foram analisadas e que poderiam contribuir significativamente para nosso entendimento sobre os grupos humanos a que pertenceram. Além disso, nos baseando em análises estruturais ou componenciais (BROCHADO, 1984; BROCHADO; MONTICELLI, 1994; CORRÊA, 2014; LATHRAP, 1962; RAYMOND, 1995) incentivamos que os fragmentos de cerâmica não sejam considerados apenas fragmentos, e sim partes de vasilhas. E que, para serem corretamente compreendidos, deve-se fazer o esforço de fazer remontagens e reconstituições gráficas a fim de permitirem as comparações e classificações de suas estruturas.

Evidenciarmos que as PCA e CVA produziram agrupamentos semelhantes ao uso e denominação dos próprios Asurini. Destarte, entendemos que ao submetemos conjuntos arqueológicos aos mesmos procedimentos poderíamos obter agrupamentos que também poderiam refletir, em alguma medida, as classes morfológico-funcionais do grupo que os produziu. Mesmo não sendo possível determinar quais os usos específicos, já podemos considerar um grande avanço a constituição de agrupamentos próximos aos feitos pelo grupo, do que apenas tipologias e taxonomias heurísticas.

Ainda que pareça descabido realizar uma análise material sem contato direto (físico) a esta materialidade, esse experimento se propôs a pensar outros meios de acessar acervos arqueológicos que tornem o deslocamento de profissionais ao acervo, no qual o material em questão está salvaguardado, uma opção e não obrigatoriedade. Ou seja, tornar possível que qualquer pessoa, em qualquer lugar, possa construir, testar, replicar teorias e contribuir com a construção de conhecimento sobre populações pretéritas a partir de dados abertos, de fácil acesso e de baixo ou nenhum custo adicional. Além de reduzir o manuseio de artefatos e contribuindo, portanto, com sua preservação. Este ponto carece cada vez mais de reflexão por parte de profissionais de arqueologia e torna-se fulcral no contexto atual (pandêmico e pós-pandêmico), onde nosso direito de ir e vir pode ser suspenso em defesa da qualidade e manutenção da vida.

Além disso, a crescente dispersão dos acervos, alinhado ao aumento constante de material arqueológico resgatado no país em processos de Licenciamento Ambiental, nos instiga a pensar sobre a construção de meios de garantir a salvaguarda desse material a longo-termo. De forma que ele conte com registros e representações digitais com alto grau de confiabilidade e autenticidade amparada no avanço das tecnologias digitais. Com isso, poderíamos ainda tornar esse material e dados arqueológicos, amplamente acessíveis. E, ao mesmo, tempo reduzir as barreiras de custo e complexidade associados à pesquisa arqueológica, tornando-a cada vez mais acessível, replicável e menos elitista.

AGRADECIMENTOS

Ao povo Asurini por permitir a pesquisa e compartilhar seus conhecimentos conosco. A Francisco Silva Noelli pelas contribuições no desenvolvimento da pesquisa que deu origem a este trabalho e por permitir o uso das fotos e dados coletados por ele. A Gregoire van Harve, Leandro Surya Carvalho de Oliveira Silva, Daniel Ribeiro da Silva e toda a equipe do Laboratório de Arqueologia e Estudos de Tecnologias (LATEC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANICHINI, Francesca; GATTIGLIA, Gabriele. Big Archaeological Data: The ArchAIDE Project Approach. 2017, Venezia. *Papers* [...]. Venezia (ITA): Conferenza GARR 2017 – The Data Way to Science, 2017. p. 22-25.
- ARCHER, Will; BRAUN, David R. Variability in Bifacial Technology at Elandsfontein, Western Cape, South Africa: A Geometric Morphometric Approach. *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n. 1, p. 201-209, 2010.
- BARDUA, Carla et al. A Practical Guide to Sliding and Surface Semilandmarks in Morphometric Analyses. *Integrative Organismal Biology*, v. 1, p. 1-34, 2019.
- BROCHADO, José Proenza. *An Ecological Model of the Spread of Pottery and Agriculture into Eastern South America*. 1984. Dissertation (PhD Filosofia) – University of Illinois, Urbana (USA), 1984.
- BROCHADO, José Proenza.; MONTICELLI, Gislene. Regras práticas para a reconstrução gráfica das vasilhas de cerâmicas Guarani a partir dos fragmentos. *Estudos Ibero-Americanos*, v. 20, n. 2, p. 107-118, 1994.
- BUCHANAN, Briggs; COLLARD, Mark. A Geometric Morphometrics-Based Assessment of Blade Shape Differences Among Paleoindian Projectile Point Types from Western North America. *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n. 2, p. 350-359, 2010.
- CARDILLO, Marcelo. Some Applications of Geometric Morphometrics to Archaeology. In: ELEWA, Ashraf M. T (ed.). *Morphometrics for nonmorphometricians*. Berlin (GER): Springer Berlin Heidelberg, 2010, p. 325-341.
- CORRÊA, Ângelo Alves. *Pindorama de Mboia e Ikaré: continuidade e mudança na trajetória das populações Tupi*. 2011. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- DRYDEN, Ian L.; MARDIA, Kanti V. *Statistical Shape analysis: With applications in R*. Hoboken (USA): John Wiley & Sons, 2016.
- FORNEL, Rodrigo; CORDEIRO-ESTRELA, Pedro. Morfometria geométrica e a quantificação da forma dos organismos. In: MARINHO, Jorge Reppold; HEPP, Luiz U.; FORNEL, Rodrigo. (org.). *Temas em Biologia: Edição comemorativa aos 20 anos do Curso de Ciências Biológicas e aos 5 anos do PPG-Ecologia da URI Campus de Erechim*. Erechim: EDIFAPES, 2012. p. 101-120.
- GÖLDNER, Dominik et al. Practical and Technical Aspects for the 3D Scanning of Lithic Artefacts Using Micro-Computed Tomography Techniques and Laser Light Scanners for Subsequent Geometric Morphometric Analysis: Introducing the StyroStone Protocol. *PLoS ONE*, v. 17, n. 4, e0267163, 2022.
- HERZLINGER, Gadi; GROSMAN, Leore. AGMT3-D: A Software for 3-D Landmarks-based Geometric Morphometric Shape Analysis of Archaeological Artifacts. *PLoS ONE*, v. 13, n. 11, e0207890, 2018.
- KARASIK, Avshalom; SMILANSKY, Uzy. Computerized Morphological Classification of Ceramics. *Journal of Archaeological Science*, v. 38, n. 10, p. 2644-2657, 2011.
- KLINGENBERG, Christian Peter. MorphoJ: An Integrated Software Package for Geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, v. 11, n. 2, p. 353-357, 2011.
- LATHRAP, D. W. *Yarinacocha: Stratigraphic Excavations in the Peruvian Montaña*. Dissertation. (PhD Anthropology) – Harvard University, Cambridge (USA), 1962.
- LYMAN, Richard Lee. On the Past and Future of Discussing, Teaching, and Learning the Hows and Whys of Archaeological Systematics. *Journal of Archaeological Science*, v. 131, p. 105412, 2021.
- MACLEOD, Norman. Landmarks and Semilandmarks: Differences Without Meaning and Meaning Without Difference. *Palaeontological Association Newsletter*, v. 82, p. 32-43, 2013.
- MEJIAS, Ulisses A., COULDRY, Nick. (2019). Datafication. *Internet Policy Review*, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2019.

- MÜLLER, Regina A. Polo. Asurini do Xingu. *Revista de Antropologia*, v. 27-28, p. 91-114, 1984.
- MÜLLER, Regina A. Polo. Asurini do Xingu. *Instituto Socioambiental (ISA)*, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt/povo/asurini-do-xingu>. Acesso em 25 ago. 2017.
- OKUMURA, Mercedes; ARAÚJO, Astolfo G. M. Archaeology, Biology, and Borrowing: A Critical Examination of Geometric Morphometrics in Archaeology. *Journal of Archaeological Science*, v. 101, p. 149-158, 2018.
- PEREZ, S. Ivan; BERNAL, Valeria; GONZALEZ, Paula N. Differences Between Sliding Semi-landmark Methods in Geometric Morphometrics, with an Application to Human Craniofacial and Dental Variation. *Journal of Anatomy*, v. 208, n. 6, p. 769-784, 2006.
- RAYMOND, Scott J. Dos fragmentos às vasilhas: um primeiro passo para a construção de contextos culturais na Arqueologia da Floresta Tropical. *Amazônica-Revista de Antropologia*, v. 1, n. 2, p. 512-535, 2009.
- RIBEIRO, Berta G. A oleira e a tecelã: o papel social da mulher na sociedade Asurini. *Revista de Antropologia*, v. 25, p. 25-61, 1982.
- SCHINDELIN, Johannes *et al.* Fiji: An Open-Source Platform for Biological-Image Analysis. *Nature methods*, v. 9, n. 7, p. 676-682, 2012.
- SCHINDELIN, Johannes *et al.* The ImageJ Ecosystem: An Open Platform for Biomedical Image Analysis. *Molecular Reproduction and Development*, v. 82, n. 7-8, p. 518-529, 2015.
- SILVA, Fabíola Andrea. *As tecnologias e seus significados. um estudo da cerâmica dos Asurini do Xingu e da Cestaria dos Kayapó-Xikrin sob uma perspectiva etnoarqueológica*. 2000. Tese (Doutorado em Antropologia Social) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- SILVA, Fabíola Andréa. Mito e arqueologia: a interpretação dos Asurini do Xingu sobre os vestígios arqueológicos encontrados no parque indígena Kuatinemu-Pará. *Horizontes antropológicos*, v. 8, n. 18, p. 175-187, 2002.
- SILVA, Fabíola Andréa. A organização da produção cerâmica dos Asurini do Xingu: uma reflexão etnoarqueológica sobre variabilidade e padronização artefactual. *Arqueologia Suramericana*, v. 5, n. 2, p. 121-137, 2009.
- SILVA, Fabíola Andréa. Ceramic Production Technology Among the Asurini of Xingu: Technical Choices, Transformations, and Enchantment. *Virtual Brazilian Anthropology (Vibrant)*, v. 16, 2019.
- TEIXEIRA, Mateus Henrique Rodrigues. *Do 2D ao 3D: fotogrametria aplicada à digitalização dos objetos do Museu Memória do Bixiga*. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado em Educação, Arte e História da Cultura) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.
- THULMAN, David K. Discriminating Paleoindian Point Types from Florida Using Landmark Geometric Morphometrics. *Journal of Archaeological Science*, v. 39, n. 5, p. 1599-1607, 2012.
- TORCIDA, Sebastián; PEREZ, S. Ivan. Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista argentina de antropología biológica*, v. 14, n. 1, p. 131-141, 2012.
- VAN DER MAATEN, Laurens *et al.* Computer Vision and Machine Learning for Archaeology. In: CLARK, Jeffrey T.; HAGEMEISTER, Emily M. (ed.). *Digital Discovery: Exploring New Frontiers in Human Heritage: Caa2006: Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology: Proceedings of the 34th Conference*, Fargo, United States, April 2006. Budapest (HUN): Archaeolingua, 2007. p. 112-130.
- WANG, Li-Ying; MARWICK, Ben. Standardization of Ceramic Shape: A Case Study of Iron Age Pottery from Northeastern Taiwan. *Journal of Archaeological Science: Reports*, v. 33, p. 102554, 2020.
- WALLACE, Michawel *et al.* Searching for the Origins of Bere Barley: a Geometric Morphometric Approach to Cereal Landrace Recognition in Archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory*, v. 26, p. 1125-1142, 2019.

- WEBSTER, Mark A. R. K.; SHEETS, H. DAVID. A Practical Introduction to Landmark-Based Geometric Morphometrics. *Quantitative Methods in Paleobiology*, v. 16, p. 163-188, 2010.
- WENDRICH, W. *Archaeology and Apprenticeship: Body Knowledge, Identity, and Communities of Practice*. Tucson (USA): The University of Arizona Press, 2012.
- WILCZEK, J. *et al.* Morphometrics of Second Iron Age Ceramics: Strengths, Weaknesses, and Comparison with Traditional Typology. *Journal of Archaeological Science*, v. 50, p. 39-50, 2014.