

# REVISTA DE ARQUEOLOGIA

Volume 36 No. 2 Maio - Agosto 2023

ESPECIAL ARQUEOMETRIA

## O ENSINO DO INVISÍVEL TORNADO VISÍVEL: UMA DISCUSSÃO PRELIMINAR DO USO DA MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA PARA O ESTUDO DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS

Thandryus Augusto Guerra Bacciotti Denardo\*

### RESUMO

A microscopia de força atômica ainda é muito pouco utilizada para o estudo de cerâmicas arqueológicas, especialmente para aquelas cuja única forma de tratamento de superfície foi o alisamento. Queremos demonstrar, neste artigo, a possibilidade do uso dessa técnica arqueométrica para comparações intersítios. Especificamente, discutiremos como as imagens obtidas pelo microscópio permitem aprofundar a compreensão do processo de ensino-aprendizagem, mostrando como a agência de mestres e aprendizes é refletida em escala nanométrica.

**Palavras-chave:** microscopia de força atômica; cerâmica Jê; teoria da atividade; ensino-aprendizagem.

\* Doutorando em Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo.  
E-mail: [thandryus@gmail.com](mailto:thandryus@gmail.com). Orcid: <http://orcid.org/0009-0002-0309-8560>.

## THE TEACHING OF THE INVISIBLE MADE VISIBLE: A PRELIMINARY DISCUSSION OF THE USE OF ATOMIC FORCE MICROSCOPY FOR THE STUDY OF ARCHAEOLOGICAL POTTERY.

---

### ABSTRACT

Atomic Force Microscopy is still very little used for the study of archaeological ceramics, especially for those whose only form of surface treatment was smoothing. In this article, we want to demonstrate the possibility of using this archeometric technique for inter-site comparisons. Specifically, we will discuss how the images obtained by the microscope allow for a deeper understanding of the teaching-learning process, showing how the agency of masters and apprentices is reflected on a nanometric scale.

**Keywords:** atomic force microscopy; Jê pottery; activity theory; teaching-learning.

## LA ENSEÑANZA DE LO INVISIBLE HECHO VISIBLE: UNA DISCUSIÓN PRELIMINAR DEL USO DE LA MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA PARA EL ESTUDIO DE LA CERÁMICA ARQUEOLÓGICA.

---

### RESUMEN

La microscopía de fuerza atómica es muy poco utilizada en el estudio de cerámicas arqueológicas, especialmente para aquellas que solo contaban con el alisado como forma de tratamiento superficial. En este artículo, se propone demostrar la posibilidad de usar esta técnica arqueométrica para comparaciones entre sitios. Específicamente, se discutirá cómo las imágenes obtenidas por el microscopio permiten una comprensión más profunda del proceso de enseñanza-aprendizaje, mostrando cómo la agencia de maestros y aprendices se refleja a escala nanométrica.

**Palabras clave:** microscopía de fuerza atómica; cerámica Jê; teoría de la actividad; enseñanza.

Em 1973, David Clarke disse que as novas técnicas da Física que estavam sendo utilizadas por seus colegas causaram uma “perda de inocência” da Arqueologia, uma vez que levaram ao que ele chamou de autoconsciência crítica sobre a prática arqueológica e os conhecimentos que ela estabeleceu (CLARKE, 1973). Cinquenta anos depois, a consolidação da arqueometria como área de estudo auxiliou em novas discussões dentro da área de instrumentação e levou a novos questionamentos sobre a própria prática científica e a análise de dados (SALMON, 1982), e, principalmente, possibilitou novos conhecimentos dentro da Arqueologia, Física e Química através da intersecção destas três grandes áreas.

No entanto, ainda há muito a avançar. Existem percalços na comunicação entre as diferentes comunidades, por conta principalmente da linguagem científica utilizada que muitas vezes diminui a acessibilidade mesmo para conhecimentos produzidos de forma conjunta. Isso gera outra questão: ainda existem possibilidades pouco exploradas no campo da arqueometria?

Temos aqui por intuito explorar uma dessas possibilidades: a Microscopia de Força Atômica. Emami, Volkmar e Trettin (2008, 2011) e Arenas-Alatorre et al (2010) são exemplos de pesquisadores que inseriram a análise de força atômica em seus trabalhos de análise para cerâmica, decoradas e não decoradas, embora cada um desses trabalhos tenha realizado a técnica para apenas um fragmento. Vamos seguir a mesma linha, argumentando que essa análise pode servir para averiguar a persistência de conhecimentos dentro de sistemas de ensino-aprendizagem ao fazer comparações intersítios.

Dessa forma, o presente artigo será dividido em quatro seções. Na primeira delas, explicaremos um pouco sobre a técnica e sobre o modo que foi utilizado. Depois, falaremos um pouco sobre os fragmentos cerâmicos analisados e o que já sabemos a respeito deles. Na terceira seção, apresentaremos e discutiremos os resultados obtidos a fim de poder discutir finalmente sobre as interpretações arqueológicas que podemos dar a eles na última seção.

#### UMA BREVE INTRODUÇÃO À MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA (AFM)

A Microscopia de Força Atômica (*Atomic Force Microscopy – AFM*<sup>1</sup>) é um tipo de Microscopia de Varredura (*Scanning Probe Microscopy – SPM*), uma família de técnicas na qual a superfície de uma amostra é varrida e analisada de acordo com as interações com uma sonda.

A primeira modalidade de SPM, a Microscopia de Tunelamento (*Scanning Tunnelling Microscopy – STM*), foi desenvolvida por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer em 1981, e representou uma “revolução na ciência das superfícies” (COLTON; ALTMAN; HUES, 1994), o que lhes rendeu o Nobel de Física em 1986. Naquele mesmo ano, Binnig, Quate e Gerber (1986) desenvolveram a Microscopia de Força Atômica a partir da tecnologia criada anteriormente, mas superando algumas de suas limitações, principalmente a necessidade do material analisado ser condutor, o que fazia com que fosse necessário revesti-lo por filmes que conduzissem eletricidade, geralmente ouro, para que sua topografia pudesse ser analisada. Assim, a AFM permitiu a investigação de superfícies de materiais isolantes e semicondutores, e, a partir do desenvolvimento anterior, permitiu a obtenção de imagens de alta resolução de uma grande variedade

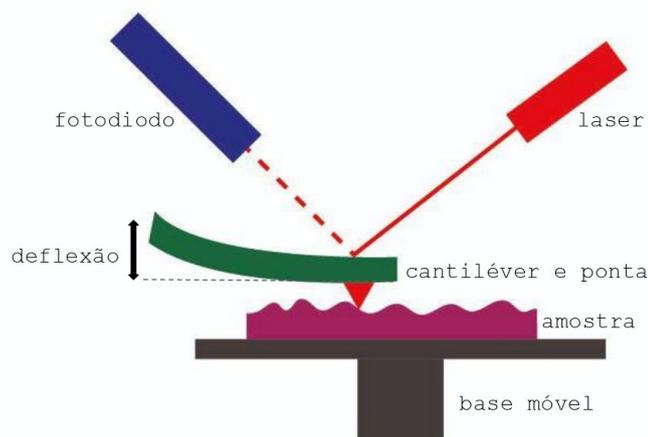
---

<sup>1</sup> Uma vez que as siglas em inglês são recorrentemente utilizadas, mesmo em artigos em outros idiomas, optou-se por utilizá-las a fim de facilitar futuras pesquisas.

de materiais em diferentes condições de pressão, estado da matéria etc., o que levou a diferentes aplicações nas mais diversas áreas (COLTON; BURNHAM, 1989). Hoje em dia, existem outros microscópios de varredura, como os Microscópios de Força Elétrica (*Electric Force Microscope* – EFM e *Kelvin Force Microscope* – KFM), Microscópio de Força Magnética (*Magnetic Force Microscope* – MFM), Varredura Termal (*Scanning Thermal Microscope* – SThM), Varredura de Capacitância (*Scanning Capacitance Microscope* – SCM) etc. A resolução de um microscópio de varredura pode chegar à nuvem eletrônica de um átomo.

Um microscópio de força atômica é composto de um cantiléver com uma ponta na sua extremidade solta e um sensor acoplado, que em geral corresponde atualmente a um laser e fotodiodo. Conforme a ponta faz a varredura da amostra, o cantiléver sofre deflexões por conta das diferentes alturas na topografia da superfície, e essas deflexões são medidas pelo sensor. De certa forma, o funcionamento lembra o de uma agulha de toca-discos lendo um vinil (HANSMA et al., 2012). Ao contrário do toca-discos, é a base em que é colocada a amostra, que se move sob a ponta, enquanto o cantiléver se mantém parado. Isso permite que sejam definidos diversos ângulos de varredura (*scan angle*). Todas as imagens obtidas a partir da técnica do AFM resultam das interações entre as estruturas da superfície e a ponta utilizada (FIGURA 1).

**Figura 1.** Esquematização de um microscópio de força atômica.

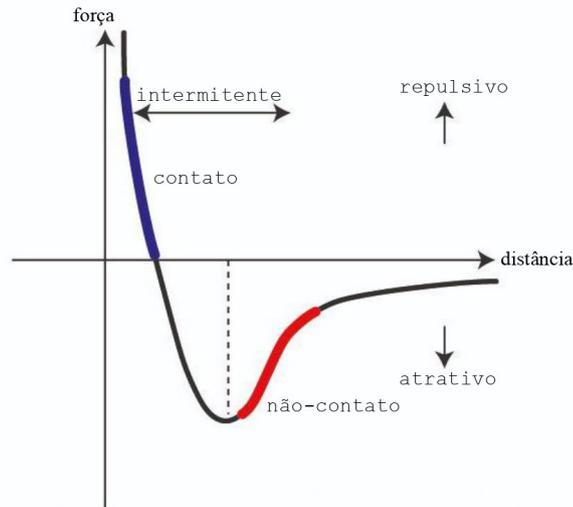


Fonte: Elaboração do autor.

A ponta não toca a superfície da amostra, mas se mantém muito próxima. A “força atômica” em jogo é a força de Van der Waals, que nada mais é que a soma das forças eletrostáticas que ocorrem pela interação dos dipolos elétricos atômicos (devido à nuvem de elétrons) ou moleculares. O potencial associado a essa força tem uma característica muito particular: para distâncias grandes, a força resultante será próxima de 0; será atrativa até uma certa distância  $r$  (cerca de 2 nanômetros); e, por fim, será repulsiva para distâncias menores que  $r$ . Essa característica permite que um microscópio de força atômica opere de três formas diferentes: contato, não-contato e intermitente (*tapping*) (FIGURA 2).

No primeiro modo, a ponta é mantida a distâncias em que a força resultante de Van der Waals é repulsiva. Durante a varredura, a altura do cantiléver é corrigida a cada ponto de acordo com a deflexão sofrida pela repulsão com a superfície da amostra, de forma que a topografia é imageada ponto a ponto.

**Figura 2.** Gráfico do potencial de Van der Waals mostrando as regiões nos quais funcionam os modos de contato, não contato e intermitente.



Fonte: Elaboração do autor.

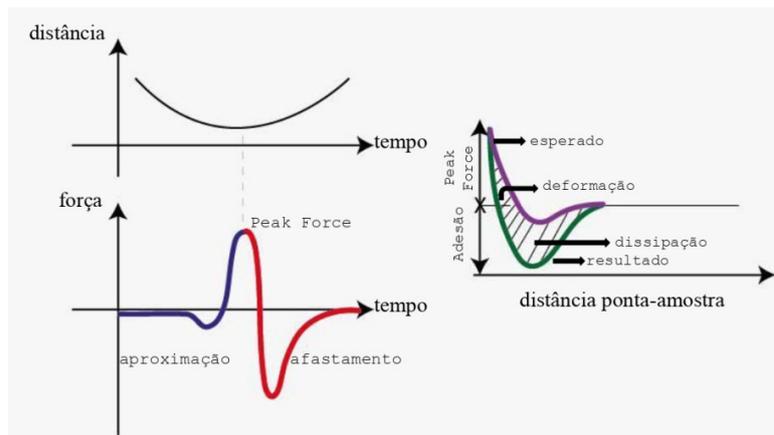
Já o modo de não-contato opera com a força de Van der Waals atrativa, a distâncias que podem chegar a unidades ou dezenas de nanômetros, e a interação será muito menor que no modo de contato, o que também leva a uma resolução menor. O cantiléver é colocado para oscilar em sua frequência de ressonância, que é medida por um sistema no próprio microscópio de acordo com a ponta utilizada. Dessa forma, ele funciona como um oscilador harmônico forçado amortecido, e, quando a ponta se aproxima da superfície da amostra, a força de Van der Waals perturba o movimento oscilatório. É essa perturbação, em comparação com a frequência de ressonância, que permite criar a imagem da topografia. Esse modo é recomendado em superfícies que não podem sofrer deformação pelo modo de contato, como líquidos, ou mesmo em superfícies não planas.

Por fim, o modo intermitente opera de uma maneira semelhante ao de não contato. Nele, o cantiléver também oscila, mas mantendo distâncias que permitam com que a ponta se aproxime suficientemente da superfície para que a força de Van der Waals se torne repulsiva. A topografia é obtida ao se manter a amplitude da oscilação constante, o que leva a uma correção da altura do cantiléver ponto a ponto, como no caso do modo de contato.

Nesses diferentes modos, a topografia que será obtida vai depender da ponta utilizada. Uma das grandes vantagens da microscopia de força atômica é a grande variabilidade de pontas para usos específicos. Neste trabalho, optou-se pelo uso do mapeamento nanomecânico quantitativo (*quantitative nanomechanical mapping* – QNM).

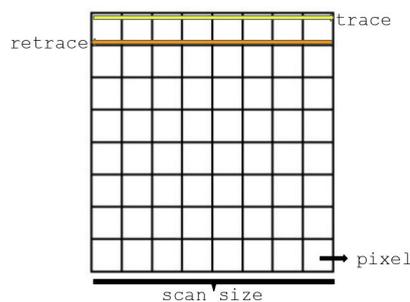
O QNM permite a análise das características mecânicas superficiais da amostra. Isso ocorre porque o cantiléver é colocado para oscilar em uma frequência menor que em sua frequência de ressonância. Conforme a ponta se aproxima da superfície, a força de Van der Waals aumenta, até atingir a força máxima repulsiva (*Peak Force*). Essa força é então medida e o microscópio a realiza sobre o cantiléver, forçando-o contra a amostra, e, diferentemente do que seria esperado (apenas pela força de Van der Waals no movimento de oscilação), a observação permite calcular a adesão, a deformação e a dissipação da superfície<sup>2</sup> (FIGURA 3).

<sup>2</sup> Em escalas microscópicas, materiais duros como a cerâmica se comportam de maneira que não segue muito o senso comum. Cada superfície, portanto, se deformará pela força realizada sobre elas,

**Figura 3.** Esquematisações do funcionamento do QNM Peak Force.

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez escolhido o modo de operação e a ponta a ser utilizada<sup>3</sup>, é estabelecida a dimensão da varredura (*scan size*) e uma malha de pixels. A base móvel sobre a qual está a amostra se move de acordo com as instruções inseridas no computador. Normalmente, os microscópios possibilitam utilizar duas imagens diferentes: *trace* e *retrace*. A primeira imagem vem do caminho de “ida”, quando a base se move meio pixel e volta para o início (*retrace*) a fim de iniciar uma nova linha de varredura. As imagens obtidas pelos caminhos vão apresentar diferenças, até mesmo causadas por sujidades que podem ter sido arrastadas pela ponta no caminho inicial (FIGURA 4).

**Figura 4.** Esquematisação do *trace* e do *retrace*.

Fonte: Elaboração do autor.

## O PROJETO QUEBRA-ANZOL E A CULTURA MATERIAL ANALISADA

A cultura material analisada no presente artigo é proveniente das escavações realizadas no âmbito do Projeto Quebra-Anzol, coordenado por Márcia Angelina Alves desde 1980, quando foi realizada a primeira campanha de escavação intensiva

---

e essa deformação será medida em unidades de comprimento (por exemplo, nanômetros); o módulo elástico está relacionado com a resistência do material de se deformar, e é medido por uma curva da tensão ou tração aplicada dividida pela deformação causada; a dissipação está relacionada à energia dissipada na superfície durante a aplicação de uma força; e, por fim, a adesão está relacionada à capacidade do material de aderir ou grudar na ponta durante o contato com a ponta.

<sup>3</sup> Além do material, a variedade de pontas depende da geometria, que em geral tem a forma de haste ou de pirâmide (com diferentes ângulos).

no sítio Prado, na fazenda do Engenho Velho, em Perdizes/MG. Desde então, diversas outras campanhas foram realizadas a fim de compreender a ocupação humana no Vale do Paranaíba, nas bacias do rio Quebra-Anzol, do rio Espírito Santo, do rio Piedade e do rio Araguari, localizados no Triângulo Mineiro. Ao todo, já foram realizados estudos em dez sítios: Prado, Inhazinha, Menezes, Rodrigues Furtado, Santa Luzia, Silva Serrote, Rezende, ATM-691, Antinha e Pires de Almeida, os dois últimos apenas prospectados. Os sítios apresentam características de lugares persistentes: todos estão em interflúvios, à meia vertente (FIGURA 5).

**Figura 5.** Localização dos sítios arqueológicos estudados pelo Projeto Quebra-Anzol.



Fonte: Denardo (2018).

As pesquisas realizadas até aqui mostram uma história de longa duração, com sítios relacionados primariamente a atividades de caça e coleta e com vestígios exclusivamente líticos, com datações variando entre 7300 anos A.P., no sítio Rezende, e 2920 anos A.P., no sítio ATM-691, até sítios que estão relacionados a povos agricultores-ceramistas. Entre estes últimos, o sítio Santa Luzia apresenta a datação mais antiga: cerca de 1830 anos A.P., datação obtida por termoluminescência (DENARDO, 2018). A análise da cultura material, além do levantamento de documentos históricos acerca da região<sup>4</sup>, permitiu inferir que ela foi produzida por povos Kayapó meridionais que, diante do avanço colonizador através das chamadas “guerras justas”, roubo de terras e genocídio, migraram para o norte, sendo provavelmente hoje o povo Panará do Xingu (ARTIAGA, 1959; GIRALDIN, 1997).

<sup>4</sup>Um exemplo é o livro *Corografia brasílica*, escrito por Aires de Casal em 1817. Nele, a região foi designada como Caiapônia devido à presença de povos Kayapó.

Particularmente, os vestígios cerâmicos provenientes dos diferentes sítios estudados no âmbito do projeto têm características comuns de, grosso modo, não terem decoração ou engobo, terem alisamento de médio a bom, seleção de grãos ruins, com vasilhames, principalmente piriformes e trapezoidais, e volumes que indicam adensamento populacional (FIGURA 6).

**Figura 6.** Exemplos de vasilhames encontrados no sítio Santa Luzia.



Fonte: Denardo (2018).

Denardo (2018) analisou a cultura material cerâmica proveniente do sítio Santa Luzia através das seguintes técnicas arqueométricas: emissão de raios X induzida por partículas (*Particle-Induced X-Ray Emission* – PIXE); difração de raio X (DRX); análise de lâminas petrográficas; e ativação neutrônica. Os resultados podem ser resumidos da seguinte forma:

- os principais elementos detectados nas amostras foram potássio, cobalto, titânio, vanádio, manganês, fósforo, alumínio, ferro, níquel, zinco e, principalmente, cobalto, elementos também encontrados na argila próxima do sítio;
- a alta taxa de potássio detectada provavelmente está relacionada com o uso de fertilizantes no solo por técnicas agrícolas recentes;
- os principais grãos observados foram quartzita, quartzo (mono e policristalino), biotita, muscovita, mica, ferrita e goetita;
- possivelmente, foi utilizada matéria orgânica como tempero;
- a queima foi realizada entre 600 e 800°C.

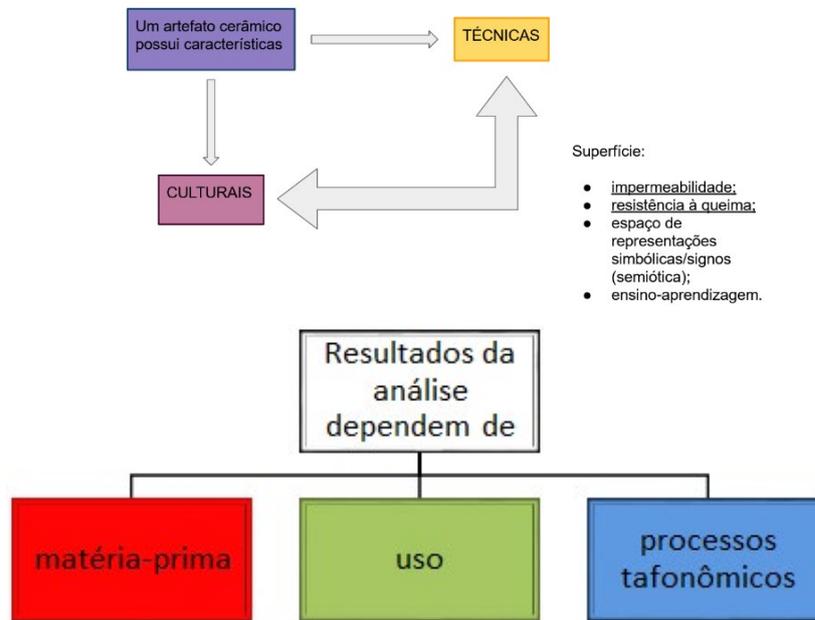
Não foi utilizada nenhuma técnica específica para análise da superfície uma vez que ela não apresentava polimento, engobo, barbotina, brunidura ou pintura. No entanto, superfície é um importante meio pelo qual é possível ver a variabilidade e a continuidade artefactual, especialmente ao levar em consideração que um artefato cerâmico é formado por características culturais e técnicas que estabelecem relações indissociáveis e dialógicas entre si. Assim, na superfície, podemos ver tratamentos que podem levar a maior ou menor impermeabilidade e resistência à queima dentro do universo técnico, mas também representações, signos, transmissão de conhecimento etc., dentro do universo cultural. Vale também lembrar que um vestígio recuperado para a pesquisa é o resultado da matéria-prima utilizada, dos usos e reusos que o objeto teve e dos processos tafonômicos pelos quais ele passou. O resultado de qualquer análise arqueométrica dependerá desses fatores (FIGURA 7).

Assim, foram levantadas três questões:

1. Como estudar a superfície de cerâmicas que foram apenas alisadas? Que técnicas utilizar?
2. É possível utilizar o AFM como diferenciador de proveniência para diferentes sítios arqueológicos?
3. É possível diferenciar técnicas, ou ainda, atividades dentro do contexto de ensino-aprendizagem?

**Figura 7.** Esquemática das características que os artefatos cerâmicos apresentam e de quais fatores as análises arqueométricas dependem.

**Desembarançando o emaranhamento**



Fonte: Denardo (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINAR.

Foram escolhidos dois fragmentos cerâmicos distintos provenientes da Trincheira 1 do sítio Santa Luzia e um fragmento cerâmico proveniente de coleta de superfície no sítio Antinha<sup>5</sup>, com cerca de 800 anos A.P. (FIGURA 8). Foi quebrado um pequeno pedaço de cada um desses fragmentos para que pudesse ser colocado sobre a base móvel do microscópio NanoScope IIIA, da Digital Instruments (hoje pertencente à Bruker) (FIGURA 9). Os fragmentos foram escolhidos de forma a garantir que não eram parte do mesmo vasilhame.

**Figura 8.** Fragmentos escolhidos para se retirarem as amostras.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

<sup>5</sup> Cedido pela arqueóloga Melina Pissolato.

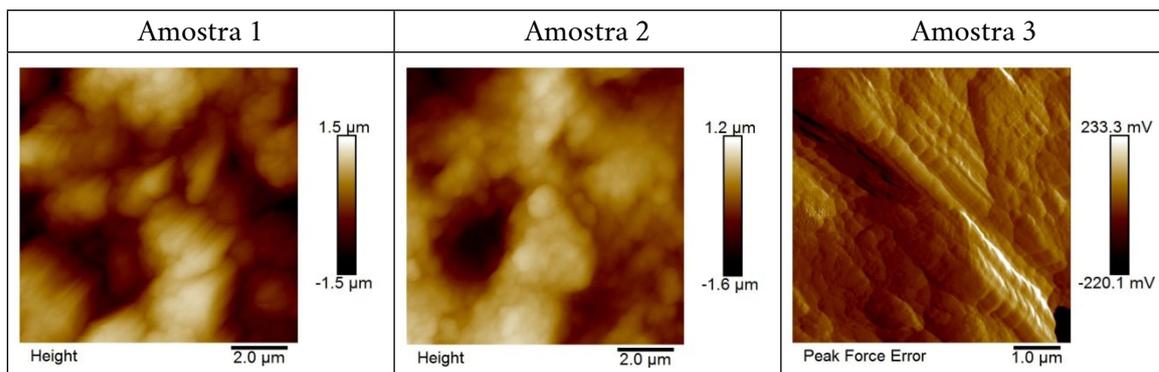
**Figura 9.** Amostras utilizadas.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

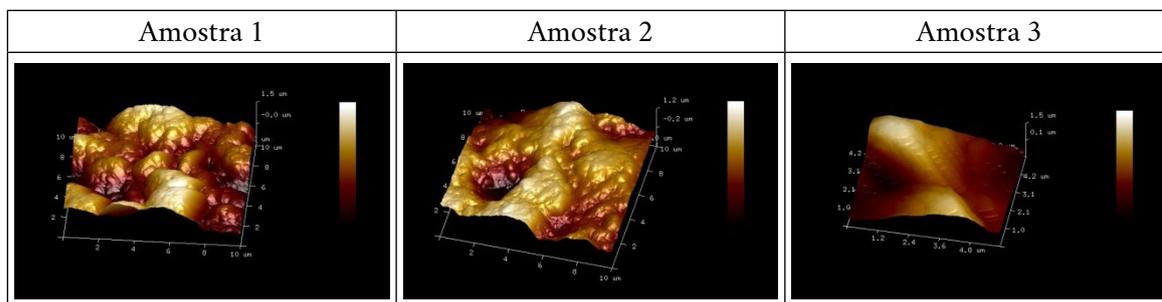
Para as análises, foi utilizado o modo QNM, na janela retrace, com uma ponta em forma de haste. O scan size foi de 10  $\mu\text{m}$ , em um quadrado de 512  $\times$  512 pixels. O *scan angle* utilizado foi de  $|45^\circ|$ , uma vez que foi observado um artefato de medição chamado de convolução das pontas<sup>6</sup> para outros ângulos. A partir desses parâmetros, foram obtidas imagens 2D (FIGURA 10), transformadas em imagens 3D (FIGURA 11) via software. Vale notar que a Amostra 3 apresentou um artefato no seu canto inferior direito por ter uma estrutura mais profunda que a altura da ponta, que, portanto, não alcançou a superfície nessa região.

**Figura 10.** Resultado obtido através da microscopia de força atômica.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

**Figura 11.** Resultado 3D para as amostras.



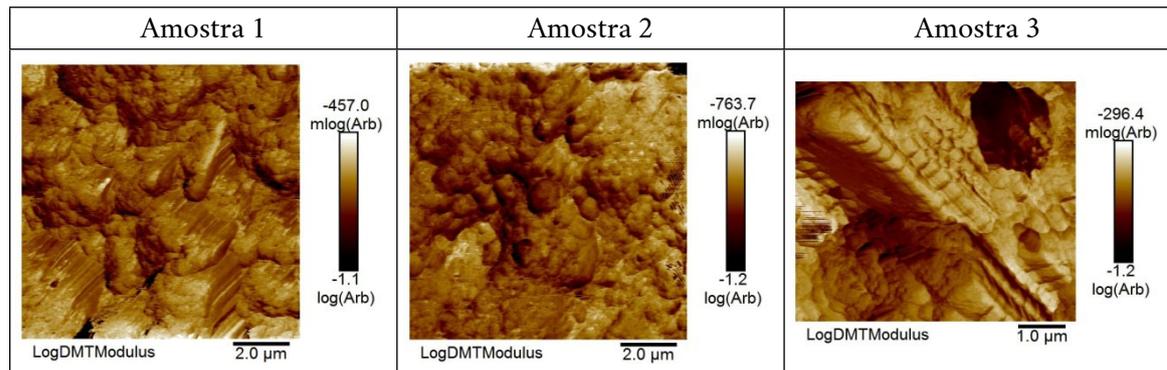
Fonte: Elaboração do autor (2019).

<sup>6</sup>Artefatos são erros na obtenção da imagem que geram uma distorção em relação à observação real. No caso, a convolução das pontas é causada quando a superfície apresenta estruturas mais finas que o ângulo da ponta, de forma que esta se arrasta pela estrutura, gerando uma imagem com uma topografia falseada correspondente ao ângulo associado à geometria da ponta.

Como foi dito anteriormente, o modo QNM permite também o estudo de características mecânicas da superfície: módulo elástico, dissipação, deformação e adesão.

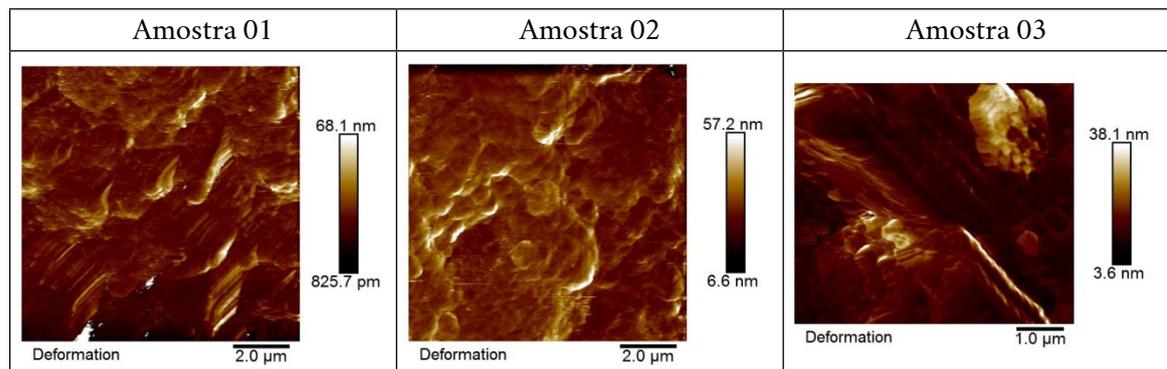
O módulo elástico não apresenta grandes diferenças, a não ser por uma questão de escala: os valores máximos obtidos para as amostras provenientes do sítio Santa Luzia são muito maiores que os obtidos na amostra proveniente do sítio Antinha, que é cerca de  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{2}{3}$  menor (FIGURA 12). Esse mesmo fenômeno aparece de forma mais clara ao analisar a deformação, na qual as Amostras 1 e 2 apresentam valores próximos, enquanto a Amostra 3 apresenta um valor cerca de  $\frac{1}{3}$  menor (FIGURA 13).

**Figura 12.** Módulo elástico observado para as amostras.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

**Figura 13.** Deformação observada para as amostras.



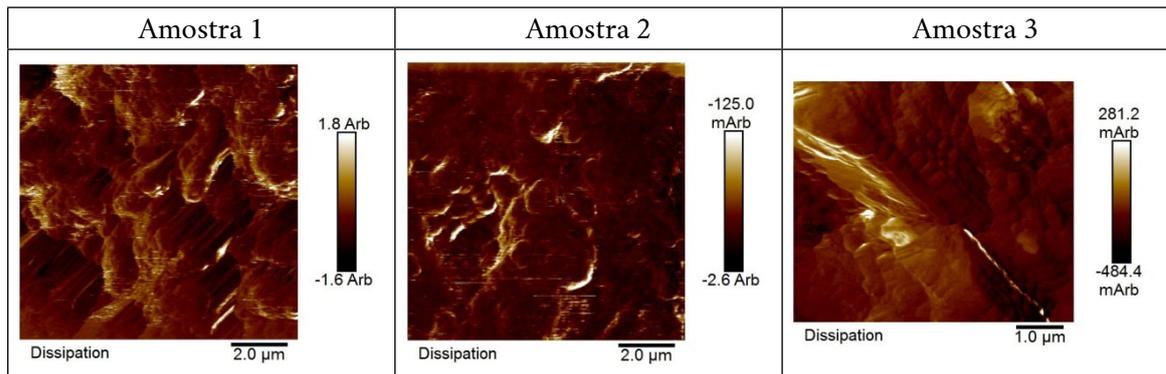
Fonte: Elaboração do autor (2019).

Uma diferença ainda maior pode ser observada na dissipação: enquanto as Amostras 1 e 2 apresentam valores predominantemente negativos<sup>7</sup>, a Amostra 3 apresentou valores predominantemente positivos, conforme pode ser visto na escala de cada uma das imagens (FIGURA 14). Isso significa que as Amostras 1 e 2 dissiparam, em média, menos energia que a Amostra 3.

Por fim, a adesão demonstrou uma última diferença: foram observadas estruturas de linhas distantes cerca de 250 a 500 nm, mas que têm direções preferenciais perpendiculares ao se observar as imagens das Amostras 1 e 2 com a imagem obtida para a Amostra 3 (FIGURAS 15 e 16).

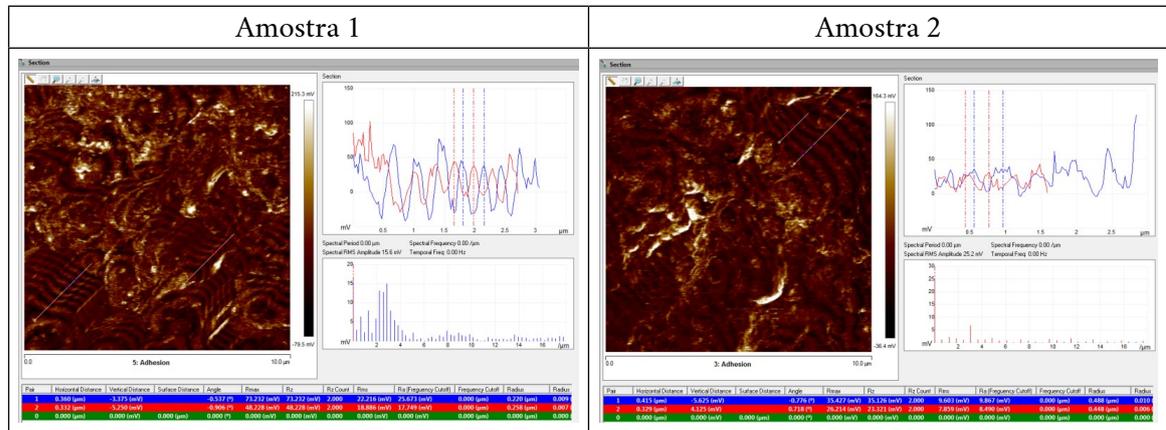
<sup>7</sup> Não existe uma unidade para dissipação, tanto que a escala mede em valores arbitrários determinados pelo próprio microscópio. Assim, o valor negativo não tem nenhum significado além do fato de ser menor que o valor estabelecido como zero pelo aparelho.

**Figura 14.** Dissipação observada para as amostras.



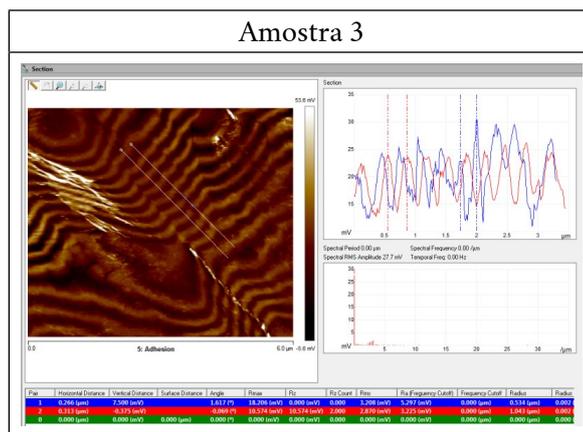
Fonte: Elaboração do autor (2019)

**Figura 15.** Adesão para as Amostras 1 e 2. As linhas tracejadas medem a distância entre cada uma das estruturas "ondulares". As setas indicam a "direção preferencial".



Fonte: Elaboração do autor (2019)

**Figura 16.** Adesão para a Amostra 3. As setas indicam a "direção preferencial".



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Analisando estas características em conjunto, é possível notar diferenças de morfologia e de escala nas cerâmicas proveniente de sítios diferentes. Essa análise preliminar demonstra a capacidade da microscopia de força atômica ser utilizada para diferenciar proveniências, além de servir para estudar, de maneira mais aprofundada,

as características mecânicas e topográficas das superfícies, mesmo aquelas cujo único tratamento é o alisamento.

As características analisadas são invisíveis a olho nu e, a princípio, a artesã ou o artesão não conseguiriam ter nenhum controle consciente e preciso delas, de forma que é surpreendente que características como dissipação e deformação apresentem semelhanças para cerâmicas proveniente do mesmo sítio, inclusive ao levar em consideração os processos tafonômicos e ações de intemperismo. O uso de diferentes ferramentas por si só também não explicaria todas essas características uma vez que a área analisada é muito pequena<sup>8</sup>. Essa reprodutibilidade pode ser explicada, no entanto, pelo fato das mesmas técnicas terem sido utilizadas, isto é, por haver convergência na escolha de ferramentas e materiais para fricção, mas também pelos gestos dos artesãos e artesãs. Compreendemos a técnica aqui em sua totalidade, isto é, a ação humana e a base material na qual ela ocorre. Mas o que garante a reprodutibilidade da técnica?

#### A ARQUEOMETRIA E O ENSINO DO INVISÍVEL

A questão da transmissibilidade das técnicas, entendida como a soma da imagem mental do artesão/artesã e dos gestos (LÉVI-STRAUSS, 2003), sempre suscitou um amplo debate dentro da Arqueologia. Aqui, vamos abordar essa questão a partir da teoria da atividade, formulada pelo psicólogo soviético Leontiev (2004).

Nessa linha, as atividades humanas são compreendidas como categorias capazes de relacionar, de forma dialética, as características biológicas do corpo humano, bem como as características culturais e sociais. Uma atividade nada mais é que uma ação que tem um determinado fim, e a espécie humana é a única capaz de complexificar o planejamento com diversos passos que podem atingir objetivos intermediários, o que a diferencia de outras espécies de grandes primatas. Estes diversos passos levam a ajustes corporais e são guiados por aspectos sociais e culturais, e esses aspectos refletem no resultado final da atividade. O domínio de uma atividade consiste na realização de “certos passos de forma inconsciente: alguém que dirige há muitos anos não vai pensar sempre no passo a passo de como trocar a marcha, e um arqueiro profissional não vai corrigir a postura e a distribuição da tensão da corda em seu corpo de forma consciente para cada flecha atirada” (DENARDO, 2020).

De muitos modos, a Teoria da Atividade tem semelhanças com o conceito de cadeia operatória, formulada posteriormente. Aqui, é especialmente importante o caso das cadeias operatórias concatenadas, isto é, cadeias operatórias que produzem resultados que serão utilizados como matéria-prima em uma nova cadeia operatória, ou cadeias operatórias que são necessárias umas às outras (DESROSIERS, 1991). Um exemplo disso é “a arma, produto de cadeias de fabricação”. A arma se torna uma “ferramenta dentro de uma operação de caça, onde o produto, caça miúda, será matéria-prima de uma cadeia culinária pondo em ação diversas ferramentas” (BALFET, 1991).

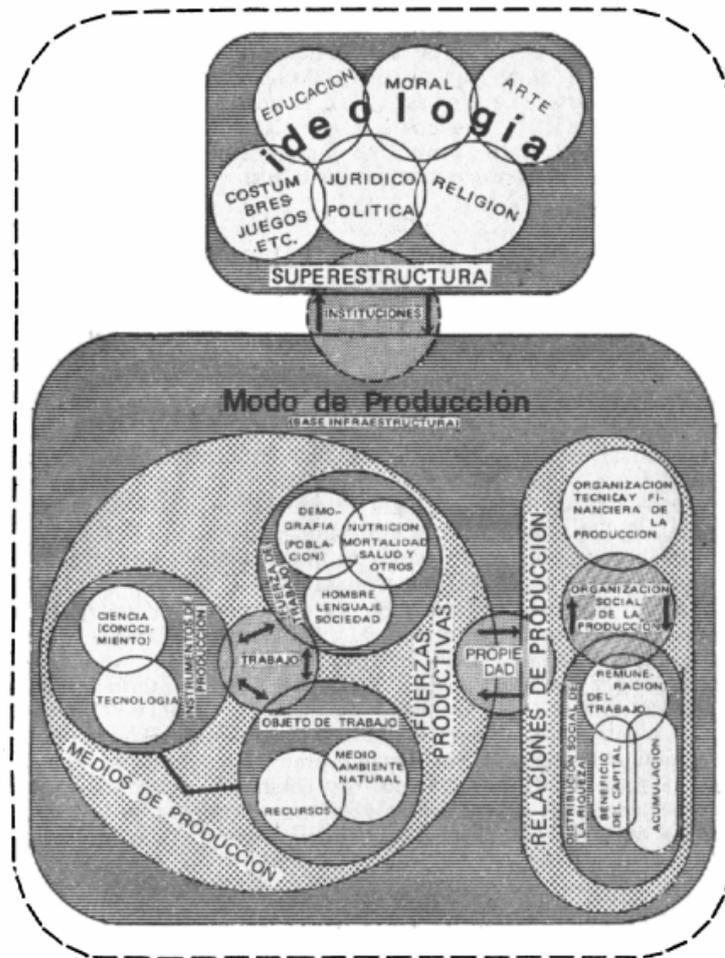
O que a teoria da atividade explicita, no entanto, é o ato de ensinar, que é trazer para o nível da consciência os passos que normalmente ficam no nível inconsciente, permitindo a apreensão crítica de todo o processo. Em outras palavras, aprender uma atividade é a capacidade de reproduzir e modificar os passos de tal atividade, compreender seu

---

<sup>8</sup> O comprimento da área analisada é cerca de cem vezes menor que o diâmetro médio de um fio de cabelo. Assim, não estamos observando diferentes sulcos causados por ferramentas ou fricção, por exemplo.

funcionamento de forma não alienada. Ao se considerar o fazer científico como uma atividade, “aprender uma disciplina desta forma é saber manejar tais ferramentas e se inserir nas formas de pensar peculiares a ela” (DENARDO, 2020). Assim, uma atividade, sobretudo sua reprodução, só tem sentido dentro de um contexto sociocultural, que será o caldo necessário para a realização da atividade. Aqui se estabelece uma relação dialética entre indivíduo e sociedade na mesma medida em que se estabelece uma relação dialética entre infraestrutura e superestrutura (FIGURA 17).

Figura 17. Relações entre infraestrutura e superestrutura.



Fonte: Lumbreras (1974).

Engeström estabelece um diagrama para a aprendizagem de uma atividade em que as relações são estabelecidas entre a comunidade, o sujeito e o objeto. Para o autor, a aprendizagem de uma atividade desenvolve de forma real os instrumentos provenientes da ciência e da arte, levando à “purificação por eliminação de características secundárias ou acidentais, variação e enriquecimento, testando novas conexões e desconexões [...], introduzindo um novo momento criativo nas atividades das ciências e das artes” (ENGELSTRÖM, 1987). Outro fator importante que aparece nas relações entre sujeito e comunidade é a multivocalidade a partir dos múltiplos pontos de vista existentes. Nesse caso, “a divisão do trabalho em uma atividade cria posições diferentes para os participantes, nas quais onde eles e os artefatos empregados carregam consigo sua história, regras e convenções” (QUEROL; CASSANDRE; BULGACOV, 2014, p. 409) (FIGURA 18).

**Figura 18.** Diagrama do sistema de uma atividade.

Fonte: Querol, Cassandre e Bulgacov (2014).

Para a Arqueologia, a teoria da atividade imediatamente rompe com as dicotomias sujeito/objeto, indivíduo/sociedade. O objeto produzido é o resultado da relação dialética entre tais categorias, e sua realização se dá pelos diversos passos guiados pelo modo de produção de tal sociedade e sua cultura, que se determinam mutuamente. É preciso lembrar que as pessoas “são materialistas socialmente constituídas [e] que vivem em um mundo compreendido simbolicamente, com estruturas sociais e materiais em vigência” (DOBRES, 2000). Além disso, a atividade envolve a agência do(a) aprendiz e do(a) mestre, uma vez que o ensino-aprendizagem é um momento criativo para os dois lados do processo. Essa discussão se aproxima da discussão que Mauss faz das técnicas, em que

ocorrem ao mesmo tempo repetições e experimentações, capacitações e explicações, e estas esferas ocorrem em um sistema social. [...] A cultura material aparece assim como resultado de processos corporais e mentais, que envolve tanto o indivíduo quanto o grupo, em determinado tempo e espaço. É ao mesmo tempo resultante da repetição e da criação, da tradição e da transformação. (PANACHUK, 2013, p. 90-91)

Estamos falando aqui, fundamentalmente, do ensino de gestos. A produção cerâmica envolve diversas ações motoras finas que, por si só, contam diversas histórias. Um gesto em cerâmica é resultado, em um primeiro plano, do projeto mental que se tem e dos músculos do punho, do cotovelo e dos ombros, da posição do próprio tronco, ou seja, do corpo em sua totalidade<sup>9</sup>, e da matéria-prima escolhida, com todas as suas perfeições e imperfeições. Em síntese, os gestos são as pontes pelas quais os modelos mentais se realizam materialmente (LÉVI-STRAUSS, 2003). Em um segundo plano, o gesto conta uma história social e cultural, de como ele foi criado, repassado, apreendido por uma comunidade, no que ele foi mantido e no que ele foi modificado para dada geração. O gesto também conta a história do ensino-aprendizagem.

Todos os gestos presentes na cadeia operatória, desde a busca por matéria-prima até o descarte e mesmo reutilização de um objeto<sup>10</sup> tornam o próprio corpo uma

<sup>9</sup> Isto é, sem a divisão artificial de corpo dissociado da mente.

<sup>10</sup> Muitas vezes, o gesto é a chave de compreensão para diferenciar uma cultura material de outra, e até mesmo diferenciar diferentes grupos étnicos, como demonstra Lemonnier (1986) ao estudar sistemas tecnológicos em Anga (parte central de Nova Guiné) e do Golfo de Papua. Gosselain (1998) retoma a discussão por meio dos povos do sul do Camarões, e, entre seus resultados,

ferramenta social e cultural, inclusive fisiologicamente<sup>11</sup>. É Paulo Freire (1976, p. 36) quem melhor explica isso.

Veja que a mão humana é tremendamente cultural. Ela é fazedora, ela é sensibilidade, ela é visibilidade; a mão faz proposta, a mão idealiza, a mão pensa e age. E eu faço ênfase nesses movimentos pelos quais o corpo humano vira corpo consciente. O corpo se transforma em corpo perceptor. E ele descreve, ele anota que, em sua transformação, a vida social está mudando também. [...] O corpo expressa suas descobertas, esse corpo se agrupa em um grupo e se expõe em movimentos sociais.

É interessante notar que o processo, se não alienante, apresenta semelhanças com a educação indígena descrita por Daniel Munduruku (2009), em que educar é permitir que o outro seja.

Assim, saímos de uma simples ideia de “transmissão do conhecimento” em que um dos lados é visto como uma folha em branco, e complexificamos a questão. O que nos remete à pergunta gerada pelas análises microscópicas: Como é possível a reprodução de características nanométricas e invisíveis a olho nu dentro de uma perspectiva de ensino-aprendizagem da atividade de produzir a cerâmica em sociedades indígenas pré-Conquista?

Munduruku (2009) ajuda a elucidar esta questão: “Aprende-se a tradição vivendo-se a tradição”. Uma pessoa aprende pelo exemplo, na relação com os demais membros de sua comunidade. Nesse sentido, o resultado do ensino-aprendizagem vai levar aos processos já considerados otimizados de tal sociedade, e, dessa forma, reproduzir as características observadas a partir da microscopia<sup>12</sup>.

---

é interessante notar que, em casamentos nos quais ocorre deslocamento da esposa para a aldeia do marido, a manutenção, ou não, dos gestos da esposa diante de matérias-primas diferentes figura em práticas sociais.

<sup>11</sup> A característica de *plasticidade* do nosso cérebro faz com que os caminhos neurais das sinapses se modifiquem de acordo com os aprendizados, isto é, a capacidade de aprender modifica estruturalmente o cérebro. Essa é uma característica evolutiva muito importante. Graças a ela não precisamos aprender sempre as mesmas coisas, desde que o fogo queima até operações complexas, por exemplo (NACCACHE, 2017). Em outras palavras, nossos conhecimentos têm uma “impressão” no nosso cérebro, de forma que podemos dizer que ele próprio é também social e cultural uma vez que os conhecimentos também provêm dos aspectos sociais e culturais. Assim, a discussão não deve se limitar apenas a cada cérebro de forma individual, mas compreender que o modo pelo qual os cérebros se organizam também é coletivo para uma grande gama de aspectos. Essa discussão da neurociência dialoga diretamente com a teoria da atividade de Leontiev uma vez que o autor soviético estava buscando compreender o comportamento humano dentro de uma perspectiva que juntasse em si mesmas discussões evolutivas, etológicas, sociais e culturais.

É com isto em mente que Lília Panachuk (2013, 2014) discute que o processo de ensino-aprendizagem muda estruturalmente o cérebro por alterar sua “circuitaria neural”. Aprender gestos faz os músculos se adaptarem para aquela atividade, mas também gera possibilidade de novas sinapses. O mesmo pode ser discutido para a indústria lítica. A verdade é que a cultura material que é produzida por nós e que nos rodeia também é a materialidade da nossa própria adaptação evolutiva e da capacidade dos nossos cérebros aprenderem e gerarem novas coisas de forma criativa.

<sup>12</sup> Panachuk (2018) conta o seu próprio processo de aprendizagem de olaria. Valeria a pena, em um trabalho futuro, realizar estudos de microscopia de força atômica também na produção moderna de cultura material cerâmica e comparar com as experiências que a autora traz.

No entanto, a teoria da atividade também permite compreender a mudança que foi vista entre os diferentes sítios de um mesmo povo justamente por explicitar os momentos criativos existentes durante o ensino-aprendizagem, que, ao longo do tempo, enriquecerá os processos e gerará resultados otimizados de acordo com a sociedade, que também muda ao longo do tempo. Nada é estático. É na relação dialética que está a chave para compreender o que é invisível.

Vale lembrar que a discussão até aqui é preliminar. É necessário realizar mais testes com a microscopia de força atômica para avaliar seu uso de forma correta. Quisemos aqui mostrar a possibilidade da análise, e como ela pode ser útil e suscitar questionamentos. Essa foi a parte que cabe à Física. É a Arqueologia que permite compreender os resultados obtidos dentro de um panorama sociocultural.

É no diálogo entre as duas disciplinas, gerado a partir da arqueometria, que é possível aprofundar cada vez mais nossa compreensão de sociedades pretéritas, inclusive para confrontarmos o presente com tal conhecimento. No caso, as imagens trouxeram à tona questões acerca do ensino-aprendizagem e como ele pode levar a mudanças culturais inscritas nanometricamente nas superfícies dos vestígios que encontramos. A partir da análise arqueométrica, pudemos ver o resultado de um processo educativo não alienante, que permite momentos criativos e que, como diz Munduruku, deixa que o outro seja.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Laboratório de Filmes Finos do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e à professora doutora Maria Cecília Barbosa da Silveira Salvadori por ter cedido o uso do seu equipamento e ter realizado o imageamento das amostras aqui discutidas. Também gostaria de agradecer à minha esposa e camarada, Ana Carolina de Lima Luscura França, pela fundamental revisão do texto. Por fim, gostaria de agradecer à camarada Caroline Beck pelos desenhos das figuras presentes na primeira seção deste texto, que ficaram muito melhores que meus esquemas iniciais.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENAS-ALATORRE, J. *et al.* Advantages and Limitations of OM, SEM, TEM and AFM in the Study of Ancient Decorated Pottery. *Applied Physics*, 2010.
- ARTIAGA, Zoroastro. *História de Goiás: síntese dos acontecimentos da política e da administração pública de Goiás, de 1592 até 1935*. Goiânia: Ed. do autor, 1959.
- BALFET, H. Des Chaînesopératoires, pour quoi faire? In: BALFET, H. (org.). *Observer l'action technique: des chaînesopératoires, pour quoi faire?* Paris (FR): CNRS, 1991. p. 11-19.
- BINNIG, G.; QUATE, C. F.; GERBER, Ch. Atomic Force Microscope. *Physics Review Letters*, v. 56, n. 9, 1986.
- CASAL, M. A. *Corografia brasílica ou relação historico-geografica do Reino do Brazil*. Rio de Janeiro: [s. n.], 1817. Facsímile do frontispício da primeira edição. Disponível em: <http://bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/services/e-books/Aires%20de%20Casal-1.pdf>.
- CLARKE, D. Archaeology: The Loss of Innocence. *Antiquity*, v. 47. p. 6-18. 1973.
- COLTON, R. J.; ALTMAN, E. I.; HUES, S. M. Surface Science at the Nanoscale: Molecular Imaging and Surface Forces. In: COLTON, Richard J. *et al.* *Atomic Force Microscopy/Scanning Tunneling Microscopy*. [S. l.]: Plenum, 1994.

- COLTON, R. J.; BURNHAM, N. A. Measuring the nanomechanical properties and surface forces of materials using an atomic force microscope. *Journal of Vacuum Science and Technology*, v. 7, p. 2906-2913, 1989.
- DENARDO, T. A. G. B. *Cadeias operatórias e sistema tecnológico do sítio Santa Luzia, município de Pedrinópolis, Minas Gerais*. 2018. Dissertação (Mestrado) – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- DENARDO, Thandryus Augusto Guerra Bacciotti. O museu arqueológico como gestante de políticas de transformação, do marxismo ao bem viver. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA: “ANTROPOLOGIA E MUSEOLOGIA SOCIAL: AVANÇOS E DESAFIOS”, 32., 2020. *Anais do pré-evento* [...]. [S. l.: s. n.], 2020.
- DESROSIERS, S. *Sur Le Concept de chaîne opératoire: observer l'action technique: des chaînes opératoires, pour quoi faire?* Paris (FR): CNRS, 1991.
- DOBRES, M. A. *Technology and Social Agency*. Malden (US): Blackwell, 2000.
- EMAMI, S. M.; VOLKMAR, J.; TRETTIN, R. Characterization of Ancient Ceramic Matrices with High Resolution Microscopy Methods. In: WANG, C. C. (ed.). *Laser Scanning, Theory and Applications*. Budapest (HU): IntechOpen, 2011.
- EMAMI, S. M. A.; VOLKMAR, J.; TRETTIN, R. Quantitative Characterisation of Damage Mechanisms in Ancient Ceramics by Quantitative X-Ray Powder Diffraction, polarisation Microscopy, Confocal Laser Scanning Microscopy and Non-Contact Mode Atomic Force Microscopy. *Surface Engineering*, v. 24, n. 2, 2008.
- ENGELSTRÖM, Y. *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. Helsinki (FI): Orienta-Konsultit Oy, 1987.
- FREIRE, P. *Ação cultural para a liberdade e outros escritos*. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1976.
- GIRALDIN, O. *Cayapó e Panará: luta e sobrevivência de um povo Jê no Brasil Central*. Campinas: Editora da Unicamp, 1997.
- GOSSELAIN, O. P. Social and Technical Identity in a Clay Crystal Ball. In: MIRIAM, T. Stark (org.). *The Archaeology of Social Boundaries*. Washington, DC (US): The Smithsonian Institution, 1998.
- HANSMA, P. K. *et al.* Scanning Tunneling Microscopy and Atomic Force Microscopy: Application to Biology and Technology. *P. K. Science*, v. 242, 2012.
- LEMONNIER, P. The Study of Material Culture Today: Toward an Anthropology of Technical Systems. *Journal of Anthropological Archaeology*, v. 5, 1986.
- LEONTIEV, A. *O desenvolvimento do psiquismo*. São Paulo: Centauro. 2004.
- LÉVI-STRAUSS, C. Introdução à obra de Marcel Mauss. In: MARCEL, M. *Sociologia e antropologia*. São Paulo: Cosac Naify. 2003.
- LUMBRERAS, Luis Guillermo. *La arqueología como ciencia social*. Lima (PE): Hístar, 1974.
- MUNDURUKU, D. *O banquete dos deuses: conversa sobre a origem e a cultura brasileira*. São Paulo: Global. 2009.
- NACCACHE, L. *Parlez-vous cerveau?* [S. l.: s. n.], 2017.
- PANACHUK, L. Análise gestual: apontando caminhos e trilhas para o corpo e para a mente. In: FONSECA, D.; ZIMPEL, C. (org). *Caderno do CPARQH: Centro de Pesquisas em Arqueologia e História*. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho: EDUFRO, 2013.

PANACHUK, L. As ceramistas e a arqueóloga: a argila na construção de corpos distintos. *Revista Habitus*, v. 16, n. 1, p. 28-53, 2018.

PANACHUK, L. Habilidade na variabilidade gráfica: comportamento motor das oleiras Borda Incisa (Parintins/AM). *Arquivos do Museu de História Natural*, v. 23, n. 1, 2014.

QUEROL, M. A; CASSANDRE, M. P.; BULGACOV, Y. K. M. Teoria da atividade: contribuições conceituais e metodológicas para o estudo da aprendizagem organizacional. *Gest. Prod.*, v. 21, n. 2, 2014.

SALMON, M. H. *Philosophy and Archaeology*. New York (US): Academic, 1982.