

INVESTIGANDO O PROCESSO DE CRIAÇÃO DA PINTURA “COSTUREIRAS” DE TARSILA DO AMARAL, DE 1950, POR IMAGENS UVL, IR E MA-XRF**Elizabeth A. M. Kajjiya^{a,*}, Andre R. Pimenta^b, Valter S. Felix^b, Nilton T. R. Junior^c, Roberto da S. Liarth^c, Claudia R. F. de Souza^c, Márcia Barbosa^d, Lucas C. Muniz^b, Robson B. dos Santos^b, Leandro O. Pereira^b, Elicardo A. S. Gonçalves^a e Renato P. de Freitas^{b,*}**^aAtelier Elizabeth Kajjiya - Conservação/Restauração e Análises Científicas de Obras de Arte, 04094-050 São Paulo – SP, Brasil^bLaboratório de Instrumentação e Simulação Computacional (LISCOMP), Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ-CPAR), 26600-000 Paracambi – RJ, Brasil^cInstituto de Criminalística Carlos Éboli, Superintendência de Polícia Científica (ICCE-SEPOL), 20060-050 Rio de Janeiro – RJ, Brasil^dMuseu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo (MAC-USP), 04094-050 São Paulo – SP, Brasil

Recebido: 06/02/2024; aceito: 29/05/2024; publicado online: 17/07/2024

REVEALING THE ARTISTIC PROCESS OF TARSILA DO AMARAL'S "COSTUREIRAS", 1950 BY UVL, IR, AND MA-XRF IMAGING. In last decades, technical-scientific investigations into cultural heritage assets have increasingly become part of analysis methodologies accessible to professionals from different areas for a broad understanding of the complex material and historical nature of objects. In this interdisciplinary work, the painting "Costureiras" by Tarsila do Amaral (1886-1973), from 1950, was studied by ultraviolet-induced visible luminescence (UVL), infrared image (IR) and macro X-ray fluorescence scanning (MA-XRF) techniques. UVL and MA-XRF images enabled the exploration of the conservation status of the artwork, the creative process of the artist, and areas featuring materials distinct from the original painting. By combining the results of IR and MA-XRF images, it was confirmed that changes occurred in the creative process during the composition of the artwork. MA-XRF images further allowed the inference of the primary pigments employed by the artist, revealing that, during canvas priming, Tarsila do Amaral utilized pigments based on lead and zinc.

Keywords: image analysis; spectroscopic image; Brazilian painting; artistic materials.

INTRODUÇÃO

A investigação científica de patrimônio histórico e cultural nas últimas duas décadas teve uma grande expansão devido ao surgimento de instrumento portáteis, que permitem realizar análises não invasivas e *in situ* dos artefatos.¹⁻³ Através dessas análises, é possível levantar, por exemplo, dados sobre a natureza material de uma obra de arte que auxiliam uma melhor compreensão sobre o estado de conservação, processo de criação e historicidade da pintura. Essas informações são especialmente úteis no trabalho de restauradores, conservadores, museólogos, historiadores, peritos entre outros profissionais.⁴⁻¹¹

Diferentes métodos analíticos podem ser utilizados para investigar a composição dos materiais presente em uma pintura. No entanto, técnicas que produzem resultados por imagens como luminescência visível induzida por ultravioleta (UVL),^{12,13} imagem de infravermelho (IR)¹⁵⁻¹⁷ e macro mapeamento por fluorescência de raios-X (MA-XRF),^{14,15} têm sido agentes facilitadores na integração dos profissionais que cooperam neste campo científico interdisciplinar. As imagens obtidas por esses exames são de interpretação relativamente mais simples que os espectros obtidos por técnicas físico-químicas, pois as imagens resultantes permitem que conservadores e museólogos possam interagir com os cientistas na interpretação dos resultados de forma mais imediata.

O interesse de conservadores, museólogos e peritos de arte nessas técnicas advém do fato que as imagens obtidas por UVL e IR permitem levantar informações como: esboço do desenho de uma pintura, áreas de intervenções, repinturas e presença de pigmentos orgânicos. Já as

imagens proporcionadas pelo MA-XRF possibilitam a inferência de materiais como pigmentos, cargas e base de preparação, como também revelam regiões adulteradas, seja no restauro ou pelo próprio artista, e pinturas subjacentes que são informações úteis para o exame forense de obras de arte.¹⁶⁻¹⁸ Logo a combinação dos resultados fornecidos pelas imagens UVL, IR e MA-XRF proporcionam dados únicos sobre o processo de criação da pintura e seu histórico de intervenção.

Apesar de serem agentes facilitadores, a aplicação de exames por imagens em pinturas de cavalete possui uma série de desafios. Para UVL e IR, por exemplo, é fundamental ajustar as condições adequadas nos equipamentos e utilizar as fontes de luz específicas para cada técnica. Além disso, a experiência do analista na aquisição dos dados, no processamento e edição das imagens possui forte correlação com a obtenção de resultados nas imagens finais. Em relação ao MA-XRF um dos desafios é o tratamento dos dados obtidos, pois os mapas elementares são formados a partir da intensidade dos elementos detectados em cada pixel, sendo essas intensidades obtidas após o processamento no *fitting* do espectro de cada pixel.¹⁹ Um desafio neste tratamento de dados é a costura das imagens obtidas em diferentes quadrantes de uma mesma tela, sendo desejável realizar essa costura com as matrizes de dados após o processo do *fitting*, ao invés das imagens em formatos convencionais como JPG, PNG, TIFF, etc. A vantagem deste processo é a possibilidade de realizar correlações matemáticas com os mapas elementares, o que permite investigar padrões como a mistura de pigmentos.

Neste trabalho, foi possível investigar a paleta de pigmentos e materiais empregados na pintura "Costureiras" de Tarsila do Amaral, de 1950, bem como o processo de criação da artista. Através das imagens foram encontradas regiões de alterações realizadas pela própria artista e intervenções de restauro.

*e-mail: renato.freitas@ifrj.edu.br; elizabethkajjiya@gmail.com

Editor responsável pelo artigo: Nelson H. Morgon

PARTE EXPERIMENTAL

Pintura investigada

A renomada pintora brasileira Tarsila do Amaral (1886-1973) desempenhou um papel fundamental no movimento modernista no Brasil. Junto com os artistas Anita Malfatti, Mario de Andrade, Oswald de Andrade e Paulo Menotti Del Picchia, ficaram conhecidos como o “Grupo dos Cinco”.^{20,21}

Esse movimento modernista no Brasil ocorreu no início do século XX e foi caracterizado pela ruptura do academicismo e tradicionalismo, além da crítica ao modelo parnasiano. Também teve influência das vanguardas artísticas europeias, apropriando-se dessa vanguarda para criar uma identidade nacional, contrapondo-se aos ideais da burguesia.

Dentro desse contexto, Tarsila do Amaral produziu pinturas com um viés nacionalista que exaltavam a rica fauna, flora e a diversidade fenotípica da população brasileira, e se destacou por sua abordagem única e distinta, onde a cor, muitas vezes saturada, é usado como elemento definidor das formas e pelo efeito do contraste cromático.

Tarsila do Amaral passou por três fases artísticas de grande destaque, sendo a primeira delas no início da década de 20, onde a pintora viveu momentos de transformação e aperfeiçoamento do seu estilo. Nesta primeira fase, entre 1921-1924, Tarsila fez uma série de autorretratos com ênfase na estética espanhola. Já na segunda fase, conhecida como pau-brasil, a pintora representou o Brasil rural e urbano. Na terceira fase antropofágica, a artista misturava elementos do cubismo e do universo místico da cultura brasileira.^{22,23}

A pintura “Costureiras” não se enquadra nas fases de destaque citadas, podendo ser classificada como uma fase tardia da pintora, e interpretada como a situação do lento progresso de industrialização brasileira na década de 50, onde mulheres trabalham de forma manual em um ambiente caseiro. A Figura 1 mostra a obra estudada pertencente ao acervo do Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo (MAC-USP), onde as análises foram executadas.



Figura 1. Fotografia com luz visível. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, óleo sobre tela (o/s/t), com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

Instrumentos UV, IR e MA-XRF

O arranjo utilizado para a aquisição das imagens de UVL, das Figuras 1 e 2, consiste em uma câmera fotográfica digital da marca Canon, modelo EOS 5D Mark III, com lente objetiva de 24-105 mm, f/2.2-4.0, filtro acoplado à lente que corta a faixa no visível e no infravermelho, deixando passar a radiação UVA (320-385 nm), e duas

fontes de iluminação contendo quatro luzes incandescente de 125 W (Philips), conforme demonstrado na Figura 3.



Figura 2. Imagem geral da pintura por luminescência visível induzida por ultravioleta (UVL). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

Na técnica IR foi utilizada a câmera digital multiespectral da FujiFilm, modelo FinePix S1, produzida especialmente para registrar imagens da faixa espectral 380-1000 nm. Para selecionar a região do infravermelho, filtros são acoplados à lente e a pintura é iluminada com duas lâmpadas de tungstênio de emissão contínua e potência de 1000 W, a qual emite radiação na faixa do visível e infravermelho.

Para UVL e IR foram registradas imagens de alta resolução, sendo em quatro quadrantes para observar detalhes da pintura e uma imagem inteira, apresentada na Figura 4. As imagens foram registradas posicionando as fontes de iluminação nas laterais da obra com distâncias equidistantes e ângulo de 45° em relação à pintura, possibilitando tanto para a fonte empregada no UVL como no IR atingir uma maior uniformidade da distribuição da radiação. As imagens obtidas foram editadas no programa Adobe Photoshop Lightroom CC, versão 12.6. A Figura 5, apresenta o momento da aquisição de imagens e o esquema ilustrativo do arranjo empregado para aquisição das imagens IR.

As análises por MA-XRF foram realizadas no equipamento desenvolvido pelo Laboratório Móvel do Instituto Federal do Rio de Janeiro. O instrumento, apresentado na Figura 6, possui um sistema de movimentação cartesiano XYZ com estágio de 900 × 900 mm, o qual permite transladar o conjunto tubo e detector de raios-X de forma contínua ou estática em movimento zigue-zague.

O instrumento foi desenvolvido com um detector modelo 123 Fast SDD da Amptek (Bedford, EUA), que possui uma área ativa de 70 mm² e resolução de 122 eV para energia 5,9 keV. O detector possui uma janela de Be, com espessura de 12,5 μm e permite atingir uma contagem de 10⁶ cps, sendo este colimado externamente por uma peça que possui abertura de 17 mm². Para acessar as funções do detector e realizar os processos de automação como multiaquisições espectrais foi utilizado a linguagem C#.

O tubo de raios-X empregado é o modelo MAGPRO da Moxtek (Orem, EUA) e possui alvo de Cu podendo operar com máxima potência e corrente, respectivamente, de 50 kV e 200 μA, sendo estes parâmetros ajustados por um controlador externo. Um colimador em forma cônica produzido em latão, com um orifício de saída de 1,6 mm foi acoplado ao tubo para colimar o feixe de raios-X. Para reduzir o tamanho do feixe de irradiação da amostra, um *pinhole* de 1,0 mm manufaturado, também de latão, foi acoplado na saída do colimador. Com esse tamanho de colimador é possível obter com precisão dados da composição elementar a cada 1 mm da pintura.

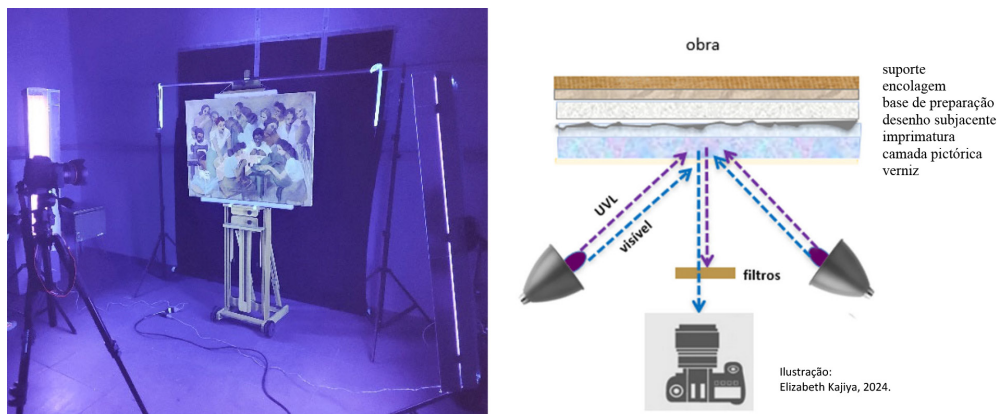


Figura 3. À esquerda, momento da aquisição de imagens no ultravioleta (UUV), e à direita esquema ilustrativo do arranjo utilizado nas técnicas de (UUV), indicando a posição do equipamento e a interação da luz com a pintura “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

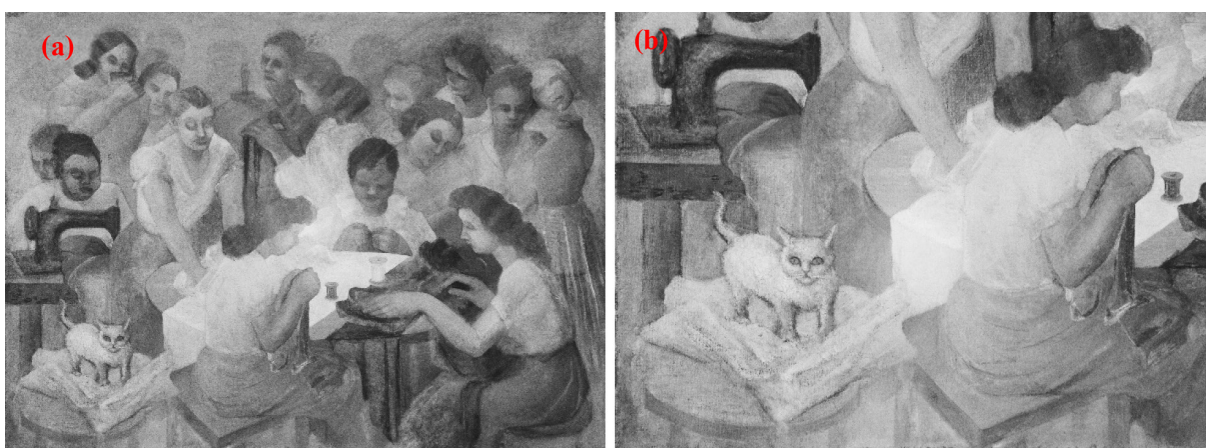


Figura 4. (a) Imagem geral da pintura à esquerda e (b) detalhe do quadrante inferior esquerdo da pintura; ambas as imagens no infravermelho (IR). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)



Figura 5. À esquerda, momento da aquisição de imagens no infravermelho (IR), e à direita esquema ilustrativo do arranjo utilizado nas fotografias no infravermelho, indicando a posição do equipamento e a interação da luz com a pintura “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

Os mapas elementares foram coletados com o tubo ajustado com tensão de 40 kV e corrente de 200 μ A, sendo o tempo de coleta em cada pixel de 40 ms. Para manter a relação de varredura compatível com o tamanho do orifício de colimação, o sistema foi colocado para movimentar com velocidade de 20 mm s^{-1} na horizontal e incremento vertical de 1 mm. Após a coleta de dados, os mapas elementares foram reconstruídos a partir dos espectros de cada pixel que foram desconvoluídos por um modelo de *fitting*, elaborado a partir do espectro soma de todos os pixels.

O *fitting* foi concebido no *software* PyMca²⁴ e no processo de

reconstrução também foi utilizado o *software* Datamuncher.¹⁹ A Figura 7 apresenta o espectro soma com os elementos que tiveram imagens reconstruídas. Os mapas foram reconstruídos na escala tonal de cinza, onde as regiões escuras e cinzas são, respectivamente, as mínimas e as máximas intensidades das áreas dos elementos integradas no processo de *fitting*.

Para discussão dos resultados, alguns mapas elementares foram submetidos a testes de correlação. Nestes casos, dois mapas formam um gráfico de dispersão onde cada ponto representa um pixel das imagens. Essas correlações foram executadas no *software* Datamuncher.

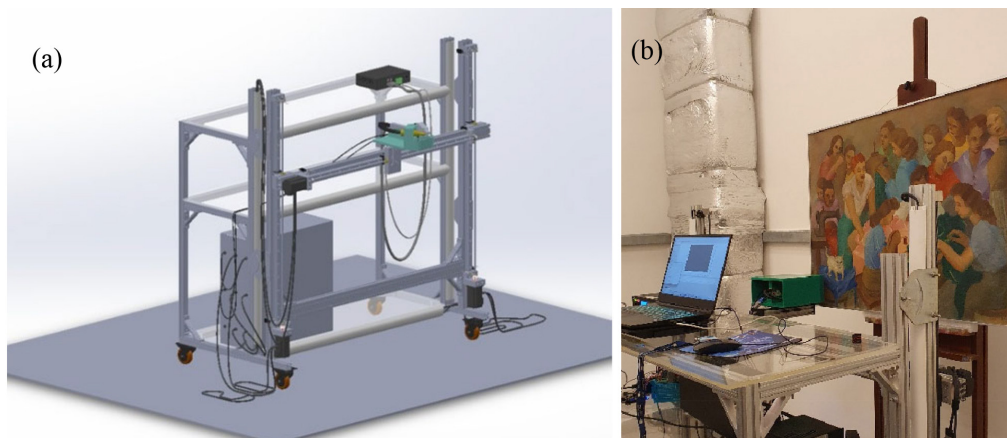


Figura 6. (a) Desenho mecânico do sistema de MA-XRF utilizado nas análises e (b) imagem do instrumento realizando as medidas na obra “Costureiras”, de Tarsila do Amaral (foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

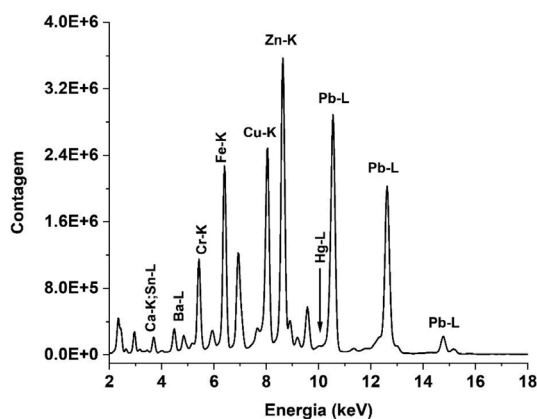


Figura 7. Espectro soma dos dados de XRF coletados na pintura no processo de escaneamento por MA-XRF (fonte: LISCOMP-IFRJ, 2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A UVL é um método amplamente empregado na investigação de obras de arte, onde são utilizadas fontes de iluminação UV de comprimento de onda inferior a 400 nm, sendo que a partir desta faixa espectral é possível avaliar a superfície da pintura, como vernizes, aglutinantes, laca e alguns pigmentos orgânicos/inorgânicos.

Além disso, é capaz de diferenciar zonas de intervenções de restauro recentes ou antigas da pintura original, através das diferentes cores emitidas pela luminescência de cada material.^{25,26}

É importante ressaltar que pinturas possuem uma matriz heterogênea onde as tintas são compostas de pigmentos, cargas e aglutinantes, por vezes cobertas de vernizes e ceras, deste modo a radiação UV não tem capacidade de penetração significativa. Nestes casos, pode ocorrer o fenômeno de fluorescência ou fosforescência os quais são de difícil distinção, pois depende dos materiais empregados na pintura.²⁷ Outro ponto a destacar é que múltiplas camadas de pigmento também podem apresentar uma fluorescência natural, emitindo uma tonalidade azul escuro semelhante aos materiais de intervenção. Logo é fundamental realizar estudos por diferentes técnicas para chegar a um melhor diagnóstico se o material presente na tela é proveniente de restauro ou do processo de criação.

Na obra “Costureiras” a camada de verniz não apresentou estágios avançados de degradação e a fluorescência gerada permitiu diferenciar a pintura original e área de restauro, além de identificar pigmentos orgânicos.

Através da imagem UVL (Figura 8a) foi possível identificar a presença de pigmento orgânico, como a laca, devido à forte fluorescência característica deste material que emite um tom alaranjado (círculo amarelo). No tecido sobre a mesa também foi verificado uma fluorescência gerada pelo pigmento laca (círculo vermelho).

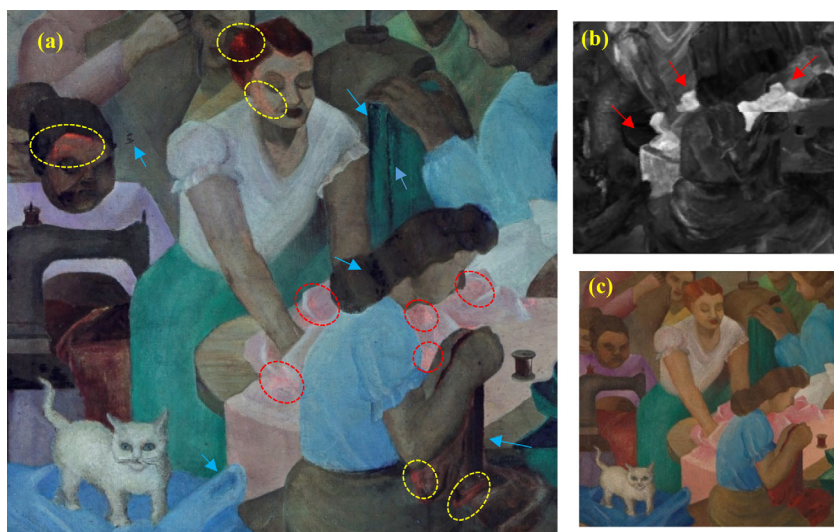


Figura 8. (a) Detalhe da imagem da luminescência visível induzida por ultravioleta (UVL); (b) mapa do zinco (Zn-K); (c) fotografia com luz visível. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

Comparando a imagem de UVL (Figura 8a), com o mapa elementar do zinco (Zn-K) obtida por MA-XRF (Figura 8b), é possível concluir que a laca foi misturada com pigmento a base de zinco como branco de zinco (ZnO), para atingir essa tonalidade rosada. Na Figura 8c é apresentada a imagem com luz visível para efeito comparativo com UVL e MA-XRF.

Comparando a imagem de UVL (Figura 9a) com a pintura, é possível verificar detalhes que apresentam a fluorescência de tonalidade azul escuro do tecido verde sobre a mesa. No entanto, as análises visuais da obra indicam que esses pontos não são restauro ou repintura. Essa conclusão é corroborada pelo mapa elementar do cromo (Cr-K), cujo elemento pode ser associado ao pigmento verde de cromo (Cr_2O_3).²⁸ No mapa Cr-K (Figura 10a) não são visualizados pontos de perda da camada cromática, que indicam a necessidade de reintegração com outros pigmentos. Já a comparação do mapa elementar do cobre (Cu-K) (Figura 10b) e a imagem UVL (Figura 9a), permite visualizar que este tecido verde sobre a mesa, possui uma tonalidade escuro na imagem UVL na mesma região que o mapa Cu-K possui alto contraste. Estes resultados indicam, que apesar da tonalidade escuro na imagem UVL, os pigmentos com cobre, que podem ser verdes ftalocianina ($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{CuN}_8$) ou verdegris [$\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$],²⁹ parecem ter sido aplicados durante a criação da pintura para produzir uma camada composta pelos pigmento cobre sobre o cromo.

É importante ressaltar que, no espectro soma da Figura 7, a alta intensidade do Cu também é justificada pelo fato do tubo de raios-X possuir alvo de Cu e o colimador ter sido manufaturado com latão, por isso os espectros de todos os pixels apresentam uma pequena intensidade de Cu. No entanto, nas regiões onde o Cu é constituinte da matriz do pigmento o elemento possui uma alta intensidade, sendo possível diferenciar no mapa elementar.



Figura 9. (a) Detalhe da fluorescência (UVL), gerada no tecido sobre a mesa é muito parecida com áreas de intervenções de restauro; (b) exemplo de áreas com retoque localizado. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

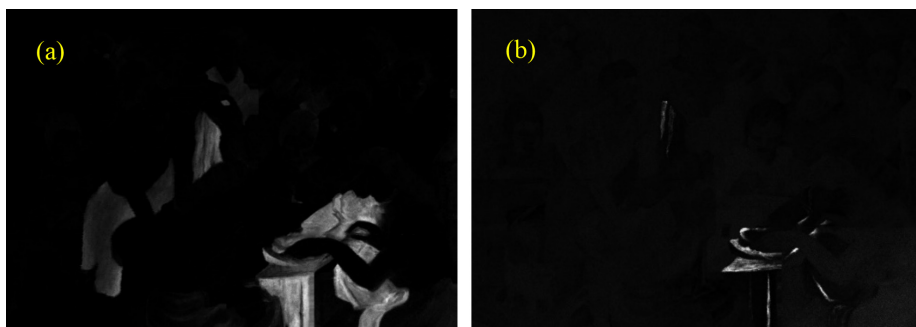


Figura 10. (a) Mapas elementares do elemento cromo (Cr-K) e (b) cobre (Cu-K). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, imagem: LISCOMP-IFRJ, 2022)

Fenômeno semelhante ocorrido no tecido verde sobre a mesa, foi verificado nos tecidos vermelhos nas mãos da personagem central e sobre a máquina (Figura 11a), nestes casos a imagem UVL (Figura 11d) apresenta uma tonalidade escura. Estes tecidos aparecem no mapa elementar do ferro (Fe-K) (Figura 11b), que pode ser atribuído a pigmentos como vermelho ocre (Fe_2O_3). No entanto, apesar da tonalidade escura na imagem UVL o mapa do ferro não apresenta indícios de perda da camada cromática. Logo é possível concluir que o mapa elementar do mercúrio (Hg-L) (Figura 11b), que aparece no tecido é atribuído a uma camada do pigmento vermelhão (HgS)³⁰ sobreposta ao pigmento com Fe.

Através da imagem de UVL, também foram verificados pontos de intervenção de restauro na parte inferior da obra em torno da assinatura (Figura 12), que apresenta tonalidade escura indicada pelas setas na figura.

A técnica de imagem de infravermelho (IR) é baseada na capacidade da radiação do infravermelho próximo (NIR, com comprimento de onda aproximadamente 700 a 3000 nm) atravessar as camadas pictóricas que constituem a pintura. Nesta trajetória a radiação de infravermelho interage com os pigmentos podendo ser transmitido, absorvido ou refletido.^{26,31} Nas imagens IR o material que absorve a radiação é visto na tonalidade escura (tons de preto), enquanto o material que reflete é visto com alto contraste (tons de branco) e o transmitido aparece translúcido. Dentre os materiais que absorvem a radiação infravermelha estão os constituintes à base de carbono (C), que geralmente são empregados para executar o esboço inicial de uma pintura. Entretanto, a visualização destes esboços somente será possível se a camada pictórica contém pigmentos que transmitem a radiação infravermelha. Por exemplo, o azul cobalto (CoAl_2O_4) possui maior transmitância para comprimentos de onda próximos a 1000 nm, enquanto o azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) para comprimentos de onda superiores a 1200 nm. Logo, é desejável empregar neste



Figura 11. (a) e (d) Imagens na faixa da luz visível (LV) e luminescência visível induzida por ultravioleta (UVL); (b) e (c) mapas elementares do elemento ferro (Fe-K) e mercúrio (Hg-L), respectivamente. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

método câmeras que permitem detectar uma ampla faixa do espectro de infravermelho.

Pela imagem de IR apresentada na Figura 13 é visualizado etapas do processo criativo da artista. No caso da Figura 13a as setas vermelhas indicam o esboço inicial da pintura, enquanto na Figura 13b é observado o pentimento da pintora, onde as sombras das cabeças dos personagens projetadas na parede foram modificadas e a posição da cabeça de um personagem foi alterada (círculo em amarelo). Esta alteração também foi observada no mapa elementar do zinco (Zn-K) (Figura 14), onde é possível notar que esse rosto aparece na posição lateral, em vez da imagem frontal presente na pintura final. Logo

combinando os resultados do IR e mapa elementar do Zn-K é possível concluir, que Tarsila inicialmente propôs este rosto na posição lateral modificando posteriormente.

Através do mapa elementar do chumbo (Pb-L) (Figura 15a) é possível observar a presença de pigmentos à base de chumbo em toda a pintura. As áreas de menor contraste, regiões do tecido rosa, são onde o chumbo está presente em menor intensidade, enquanto o zinco predomina. A presença extensa desse elemento na pintura indica o uso do pigmento, como branco de chumbo $[2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2]$, em toda obra inclusive na camada de imprimção.

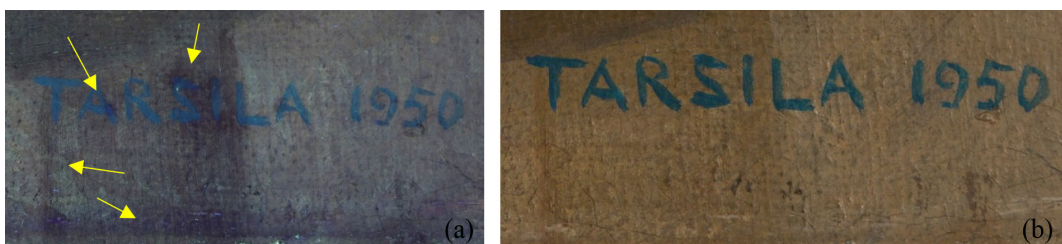


Figura 12. Detalhe da assinatura. (a) Luminescência visível induzida por ultravioleta (UVL) e (b) fotografia com luz visível. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)



Figura 13. Imagem no infravermelho (IR). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, foto: Elizabeth Kajiya, 2022)

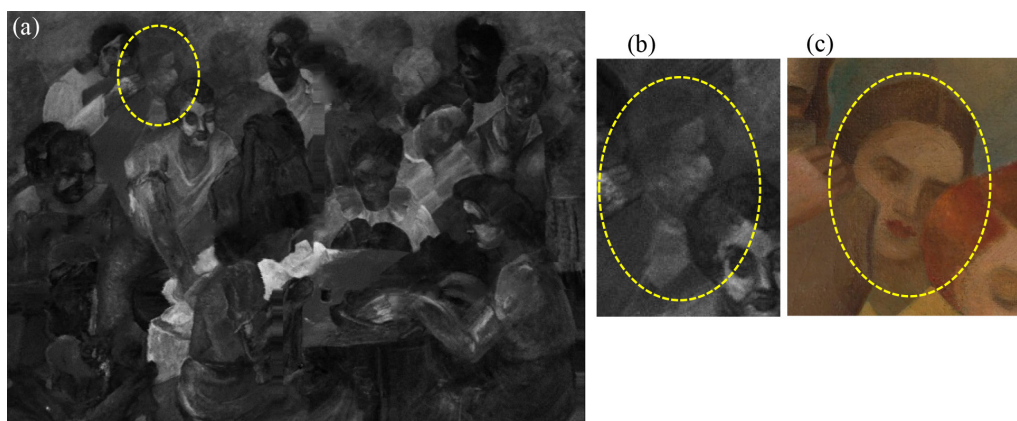


Figura 14. (a) Mapeamento por XRF do elemento zinco (Zn-K), (b) detalhe do MA-XRF, da alteração do rosto e (c) pintura final. Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, imagem: LISCOMP-IFRJ, 2022)

O mapa elementar do zinco (Zn-K) também aparece em grande parte da pintura (Figura 15b), logo pode ser inferido a utilização de pigmento à base zinco na imprimatura da tela. A presença de pigmentos com chumbo e zinco na camada de imprimatura foi evidenciada no trabalho de Parma *et al.*,²⁸ ao analisarem a pintura “Autorretrato” de Tarsila do Amaral, de 1923. Entretanto os mapas elementares Zn-K

e Pb-L também indicam a presença de tintas com esses elementos na policromia, como no vestido branco da personagem central, onde mapas possuem alto contraste.

Os mapas elementares do bário (Ba-L) e cálcio (Ca-K) (Figuras 16a e 16b) aparecem em regiões específicas da pintura. Esses elementos que compõem minerais como barita (BaSO_4) e

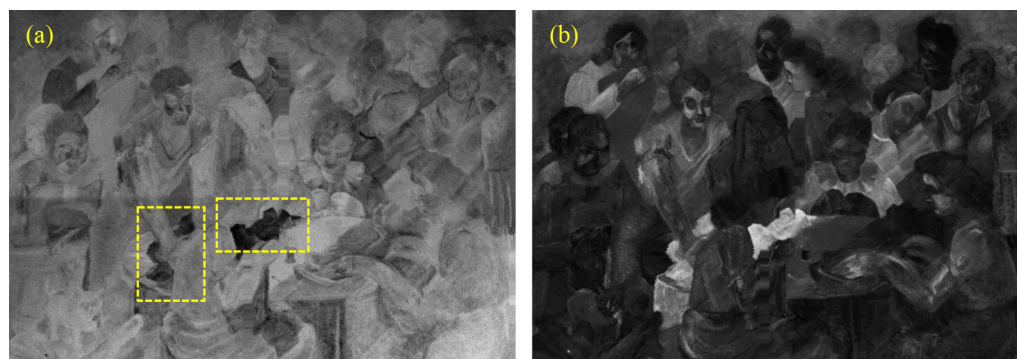


Figura 15. (a) Mapeamento por XRF do elemento chumbo (Pb-L), e (b) do elemento zinco (Zn-K). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, imagem: LISCOMP-IFRJ, 2022)

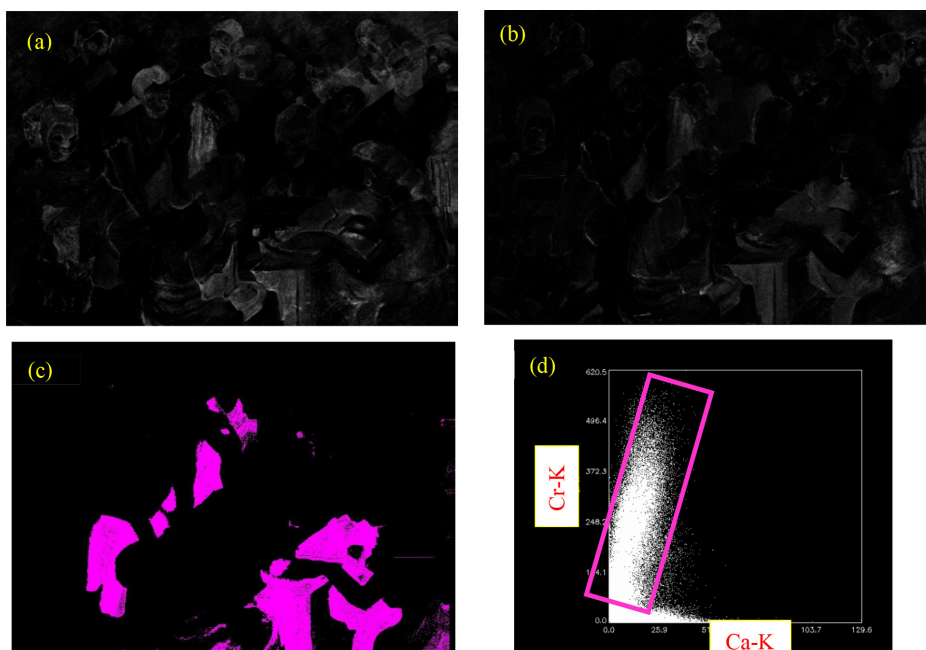


Figura 16. Mapas elementares Ba-L (a) e Ca-K (b); imagem da correlação e gráfico de dispersão Ca-K × Cr-K (c, d). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 × 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, imagem: LISCOMP-IFRJ, 2022)

carbonato de cálcio (CaCO_3) podem estar associados as cargas dos pigmentos, sendo o mapa Ba-L mais evidente nas regiões de tonalidades marrom e vermelho, enquanto o mapa Ca-K se apresenta em regiões com tons verdes.

Uma abordagem para verificar o uso combinado dos materiais com cromo (Cr-K) e cálcio (Ca-K) é através do gráfico de dispersão Ca-K \times Cr-K (Figura 16d). Neste gráfico cada ponto representa um pixel da imagem correlacionado a intensidade dos elementos Cr e Ca detectados.^{10,14} Pelo gráfico de dispersão é possível verificar um grupo de pontos com uma tendência linear (retângulo magenta), indicando o uso de uma mistura intencional entre os pigmentos com Cr e Ca. Como pode ser visto na Figura 16c, esses pontos que formam a tendência linear se localizam na região de tonalidade verde, confirmando o uso do material com cálcio como carga para o pigmento verde com cromo.

O mapa elementar do cobalto (Co-K) (Figura 17a) está associado a regiões de tonalidade azul e violeta, sendo o estanho (Sn-L) (Figura 17b) também associado a região de tonalidade azul. Através do gráfico de dispersão dos mapas Co-K \times Sn-L (Figuras 17c e 17d) é possível verificar uma tendência linear indicando a presença do

pigmento azul cerúleo (CoSnO_3). No entanto, o gráfico também indica pontos onde o Co não apresenta correlação sugerindo o uso de pigmento azul de cobalto (CoAl_2O_4). Além de regiões de tonalidade azul, o Co aparece sozinho em regiões como do vestido violeta da personagem à esquerda, que pode ser associado ao pigmento violeta de cobalto ($\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$).

Com base nos resultados dos mapas elementares associado a tonalidade visível, foi possível inferir os materiais artísticos presentes na pintura como pigmentos e cargas, sendo um resumo dos principais resultados apresentados na Tabela 1.

CONCLUSÕES

Através do estudo foi possível verificar o processo de criação da pintura “Costureiras”, como os esboços realizados pela artista e a paleta dos pigmentos empregados.

Pela imagem IR e mapas elementares como do Fe-K foi possível verificar, que a artista realizou algumas mudanças ao longo do processo de execução da pintura, como a perspectiva do rosto de uma das personagens. Já as imagens UVL, indicaram que a obra se

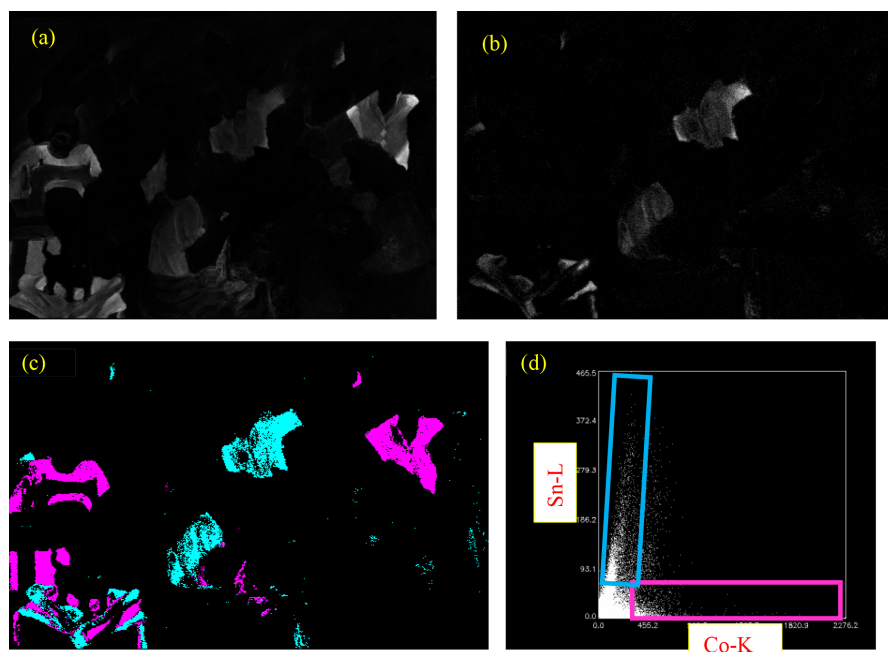


Figura 17. Mapas elementares Co-K (a) e Sn-L (b); imagem da correlação e gráfico de dispersão Co-K \times Sn-L (c, d). Obra: “Costureiras”, de Tarsila do Amaral, de 1950, o/s/t, com 73,3 \times 100,2 cm (fonte: acervo MAC-USP, imagem: LISCOMP-IFRJ, 2022)

Tabela 1. Paleta da obra “Costureiras” de Tarsila do Amaral, de 1950

Tonalidade Visível	Mapas elementares	Pigmento e materiais
Marrom	ferro (Fe-K), manganês (Mn-K)	óxido de ferro (Fe_2O_3); ou: terra sombra ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MnO}_2$), terra de siena ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, argila), ocre castanho ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MnO}_2, n\text{H}_2\text{O} + \text{argila}$)
Vermelho	ferro (Fe-K), mercúrio (Hg-L)	vermelho ocre (Fe_2O_3), vermelhão (Hg_2S)
Amarelo	ferro (Fe-K)	amarelo ocre ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O} + \text{argila} + \text{sílica}$)
Verde	cromo (Cr-K), cobre (Cu-K)	óxido de cromo (Cr_2O_3) ou viridian ($\text{Cr}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$), ftalocianina de cobre ($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{CuN}_8$), verdegris ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2, 2\text{Cu}(\text{OH})_2$)
Azul	cobalto (Co-K), estanho (Sn-L)	azul cobalto (CoAl_2O_4), azul cerúleo (CoSnO_3)
Violeta	cobalto (Co-K)	violeta de cobalto ($\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$)
Branco	zinco (Zn-K), chumbo (Pb-L)	branco de zinco (ZnO), branco de chumbo ($2\text{PbCO}_3, \text{Pb}(\text{OH})_2$)
Laca	-	pigmentos orgânicos foram observados na imagem de UVL
Cargas	zinco (Zn-K), cálcio (Ca-K), bário (Ba-L)	branco de zinco (ZnO), barita (BaSO_4), carbonato de cálcio (CaCO_3)
Imprimatura	chumbo (Pb-L), zinco (Zn-K)	branco de chumbo ($2\text{PbCO}_3, \text{Pb}(\text{OH})_2$), branco de zinco (ZnO)

encontra em bom estado de conservação, com poucas intervenções. Destaca-se, que os efeitos de tonalidade azul verificados nas imagens de UVL foram atribuídos a múltiplas camadas de pigmentos empregadas pela própria artista.

Os mapas elementares indicaram que Tarsila do Amaral aplicou uma vasta paleta na composição da obra, incluindo pigmentos de uma mesma tonalidade com composição diferente, como é o caso dos pigmentos azul cerúleo (CoSnO_3) e azul cobalto (CoAl_2O_4). Através desses mapas também foi possível verificar a presença da camada de imprimatura a base de chumbo e zinco e carga de pigmentos, como no caso do carbonato de cálcio. O conhecimento desses materiais é de extrema relevância para processos de conversação, restauração e investigação forense de pinturas suspeitas de Tarsila do Amaral.

Destaca-se a importância acadêmica deste estudo, pois o conhecimento dos materiais de pintores brasileiros serve como base, por exemplo, para futuros estudos que tem como proposta investigar a degradação de pigmentos em obras de arte brasileiras.

Neste campo de pesquisa, que tem como característica a multidisciplinaridade e interação de campos como química e restauração, as técnicas espectroscópicas de imagem têm sido agentes facilitadores da integração desses diferentes campos. No entanto, para potencializar a interpretação dos resultados é fundamental combinar os resultados das técnicas de imagem e realizar abordagens de tratamento de dados como os gráficos de dispersão dos mapas do MA-XRF, que permitem explorar informações, que não estão visíveis de forma direta nas imagens.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pelo suporte financeiro (processos: E-26/210.143/2022, E-26/290.036/2021, E-26/290.023/2021, E-26/290.066/2018, E-26/204.040/2021 e E-26/202.672/2018), à Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal do Rio de Janeiro, pelo fomento (edital 01/2023), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento via processo 422557/2021-8, e o apoio do corpo técnico do Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo durante as análises.

REFERÊNCIAS

- Miliani, C.; Rosi, F.; Brunetti, B. G.; Sgamellotti, A.; *Acc. Chem. Res.* **2010**, *43*, 728. [Crossref]
- Brunetti, B.; Miliani, C.; Rosi, F.; Doherty, B.; Monico, L.; Romani, A.; Sgamellotti, A.; *Top. Curr. Chem.* **2016**, *10*, 374. [Crossref]
- Monico, L.; Cartechini, L.; Rosi, F.; Chieli, A.; Grazia, C.; de Meyer, S.; Nuyts, G.; Vanmeert, F.; Janssens, K.; Cotte, M.; De Nolf, W.; Falkenberg, G.; Sandu, I. C. A.; Tveit, E. S.; Mass, J.; de Freitas, R. P.; Romani, A.; Miliani, C.; *Sci. Adv.* **2020**, *6*, 1. [Crossref]
- de Freitas, R. P.; *Revista Eletrônica Ventilando Acervos* **2023**, *1*, 21. [Link] acessado em Julho 2024
- Long, L.; *Revista Eletrônica Ventilando Acervos* **2023**, *1*, 37. [Link] acessado em Julho 2024
- de Vasconcelos, M. L. C.; *Revista Eletrônica Ventilando Acervos* **2023**, *1*, 47. [Link] acessado em Julho 2024
- Baptista, M. A.; *Revista Eletrônica Ventilando Acervos* **2023**, *1*, 69. [Link] acessado em Julho 2024
- Thaumaturgo, N.; Liarth, R. S.; de Oliveira, A. P.; Fialho, T. J. N. A.; de Souza, C. R.; Guimarães, D.; Oliveira, A. L.; Felix, V.; Pimenta, A. R.; Oliveira, M.; Andrade, M.; de Freitas, R. P.; *Revista Brasileira de Criminalística* **2023**, *12*, 91. [Crossref]
- Thaumaturgo, N.; Levy, S. D.; Liarth, R. S.; de Oliveira, A. P.; Fialho, T. J. N. A.; de Souza, C. R. F.; Guimarães, D.; Oliveira, A. L.; Félix, V.; Pimenta, A. R.; de Freitas, R. P.; *Revista Brasileira de Criminalística* **2023**, *12*, 7. [Crossref]
- Freitas, R. P.; Felix, V. S.; Pereira, M. O.; Santos, R. S.; Oliveira, A. L.; Gonçalves, E. A. S.; Ferreira, D. S.; Pimenta, A. R.; Pereira, L. O.; Anjos, M. J.; *Microchem. J.* **2019**, *149*, 104020. [Crossref]
- de Freitas, R. P.; *Museologia & Interdisciplinaridade* **2021**, *10*, 182. [Link] acessado em Julho 2024
- de Oliveira, L. F. C.; Boscán, J. C. R. P.; Santos, P. S.; Temperini, M. L. A.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 172. [Crossref]
- Kajiya, E. A. M.; Campos, P. H. O. V.; Rizzutto, M. A.; Appoloni, C. R.; Lopes, F.; *Radiat. Phys. Chem.* **2014**, *95*, 373. [Crossref]
- Pimenta, A. R.; Felix, V. S.; Silva, D. M.; Pereira, M. O.; Oliveira, A. L.; Ferreira, D. S.; Carvalho, C. S.; Silva, F. L.; Gonçalves, E. A. S.; Dutra, R. S.; Pereira, L. O.; Pereira, R. V.; Freitas, R. P.; *Quim. Nova* **2022**, *45*, 297. [Crossref]
- Pimenta, A.; Felix, V.; Oliveira, M.; Andrade, M.; Oliveira, M.; Freitas, R.; *Quantum Beam Sci.* **2023**, *7*, 9. [Crossref]
- Van der Snickt, G.; Legrand, S.; Slama, I.; Van Zuilen, E.; Gruber, G.; Van der Stighelen, K.; Klaassen, L.; Oberthaler, E.; Janssens, K.; *Microchem. J.* **2018**, *138*, 238. [Crossref]
- Pereira, M. O.; Felix, V. S.; Oliveira, A. L.; Ferreira, D. S.; Pimenta, A. R.; Carvalho, C. S.; Silva, F. L.; Perez, C. A.; Galante, D.; Freitas, R. P.; *Spectrochim. Acta, Part A* **2021**, *246*, 118925. [Crossref]
- Saverwyns, S.; Currie, C.; Lamas-Delgado, E.; *Microchem. J.* **2018**, *137*, 139. [Crossref]
- Alfeld, M.; Janssens, K.; *J. Anal. At. Spectrom.* **2015**, *30*, 777. [Crossref]
- Lucero, M. E.; *Historia y Memoria* **2015**, *10*, 75. [Crossref]
- Motta, S. V.; *Revista Lumen et Virtus* **2013**, *8*, 106. [Link] acessado em Julho 2024
- Amaral, A.; *Tarsila do Amaral*, 1ª ed.; Fundação Finambrás: Buenos Aires, 1998.
- Arte!Brasileiros, <https://artebrasileiros.com.br/opiniaos-autorretros-de-tarsila-parte-3/>, acessado em Julho 2024.
- Schoonjans, T.; Solé, V. A.; Vincze, L.; Sanchez del Rio, M.; Appel, K.; Ferrero, C.; *Spectrochim. Acta, Part B* **2013**, *82*, 36. [Crossref]
- Conejo-Barboza, G.; Libby, E.; Marín, C.; Herrera-Sancho, O. A.; *Heritage Sci.* **2020**, *8*, 125. [Crossref]
- Cosentino, A.; *Heritage Sci.* **2014**, *2*, 8. [Crossref]
- Obrutsky, A. E.; Acosta, D.; *3rd Pan American Conference for Nondestructive Testing-PANNDT*; Rio de Janeiro, Brasil, 2003; NDT.net, *Reflectography, an NDT Method for Images Diagnosis*, <https://www.ndt.net/search/docs.php?id=2399>, acessado em Julho 2024
- Parma, M. G.; Mendes, I. C.; Pimenta, A. R.; de Oliveira, A. L. C.; Felix, V. S.; Beraldo, H.; Rocha Junior, N. T.; de Souza, C. R. F.; Mayer, R. D.; de Oliveira, A. P.; de Oliveira, M. B.; de Oliveira, M. A.; de Freitas, R. P.; *Radiat. Phys. Chem.* **2023**, *212*, 111191. [Crossref]
- Freitas, R. P.; *Aplicações de Técnicas Nucleares e Espectroscopia Molecular em Arqueometria*; Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2014. [Link] acessado em Julho 2024
- Freitas, R. P.; Ribeiro, I. M.; Calza, C.; Oliveira, A. L.; Felix, V. S.; Ferreira, D. S.; Pimenta, A. R.; Pereira, R. V.; Pereira, M. O.; Lopes, R. T.; *Spectrochim. Acta, Part A* **2016**, *154*, 67. [Crossref]
- de Campos, P. H. O. V.; *Caracterização de Pinturas da Artista Anita Malfatti por Meio de Técnicas Não Destrutivas*; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2015. [Link] acessado em Julho 2024

