



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS - MAST
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRESERVAÇÃO DE ACERVOS DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA – PPACT

Entre a Ciência e o Patrimônio.
A aplicação de procedimentos analíticos
na preservação de acervos metálicos de
ciência e tecnologia

DISSERTAÇÃO DE:
Jéssica Tarine Moitinho de Lima

Orientação: Professor Doutor Marcus Granato

MAST / MCTIC

Rio de Janeiro, 2017



Entre a Ciência e o Patrimônio.

A aplicação de procedimentos analíticos na preservação de acervos metálicos de ciência e tecnologia

por

JÉSSICA TARINE MOITINHO DE LIMA

Aluna do Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia, do Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST/MCTI, como requisito à obtenção do grau de Mestre Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia.

Área de concentração: Preservação de acervos de ciência e tecnologia

Linha de Pesquisa: 2 – Acervos, Conservação e Processamento

Orientador: Professor Doutor Marcus Granato

MAST / MCTIC

Rio de Janeiro, 2017



JÉSSICA TARINE MOITINHO DE LIMA

Entre a Ciência e o Patrimônio.

A aplicação de procedimentos analíticos na preservação de acervos metálicos de ciência e tecnologia

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia, do Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST/MCTIC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: ___/___/___

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Prof.(a) Dr. Marcus Granato
PPACT/Museu de Astronomia e Ciências Afins

Examinador Interno: _____

Prof.(a) Dr. Dra. Maria Lucia de Niemeyer Matheus Loureiro
PPACT/Museu de Astronomia e Ciências Afins

Examinador Externo: _____

Profa. Dra. Guadalupe do Nascimento Campos
Pesquisadora independente

MAST / MCTIC

Rio de Janeiro, 2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do MAST

L732 Lima, Jéssica Tarine Moitinho
Entre a ciência e o patrimônio: a aplicação de procedimentos analíticos na preservação de acervos metálicos de ciência e tecnologia / Jéssica Tarine Moitinho Lima. Rio de Janeiro, 2017.
193p.

Orientador: Professor Doutor Marcus Granato
Referencia: p. 166-177
Inclui anexo
Dissertação (Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia) – Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro, 2017.

1. Acervo de C&T. 2. Metal. 2. Preservação. 3. Patrimônio científico.
I. Granato, Marcus. II. Museu de Astronomia e Ciências Afins. Programa de Pós-Graduação em Preservação de Acervo de Ciência e Tecnologia.
III. Título.

CDU 681-034

“Saber como pensar torna a pessoa muito mais capaz do que aquele que apenas sabe o que deve pensar.”

Neil deGrasse Tyson

AGRADECIMENTO(S)

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcus Granato, que acreditou e investiu na minha capacidade de realizar esta pesquisa, por suas contribuições indispensáveis no desenvolvimento da pesquisa e no meu crescimento acadêmico. Por estar sempre presente nas discussões com muita dedicação, paciência e generosidade.

Às Dras. Guadalupe Campos e Maria Lucia Loureiro, pelas contribuições e sugestões, durante a participação nas bancas, que foram vitais para a qualidade desta dissertação.

A Daniel Corrêa, que foi o maior incentivador e esteve comigo apoiando em tudo, com muita paciência, carinho e dedicação. E pela sua presença essencial para mim. Sem ele este trabalho não seria possível.

A todos os brilhantes profissionais cujos artigos me inspiraram e me auxiliaram na confecção desta dissertação.

Aos meus amigos, que me apoiaram nos diversos momentos de desenvolvimento desta pesquisa.

Àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui.

LIMA, Jéssica Tarine M. de. **Entre a Ciência e o Patrimônio. A aplicação de procedimentos analíticos na preservação de acervos metálicos de ciência e tecnologia.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia, MAST, Rio de Janeiro, 2017. 193p. Orientador: Marcus Granato.

RESUMO

Nos últimos anos, o aumento da aplicabilidade das análises técnicas-científicas sobre o patrimônio cultural possibilitou aos profissionais da área um melhor entendimento sobre os bens culturais e as intervenções pelas quais o objeto passou ao longo de sua vida. Esta contribuição auxiliou diversas pesquisas e mudou o modo de avaliar e observar os acervos. Muitas são as ferramentas e estudos para melhor atingir a preservação dos acervos metálicos e os processos analíticos vêm se mostrando satisfatórios quanto a proporcionar respostas para diversos problemas na preservação. A presente dissertação pretende através de uma linguagem de divulgação, ilustrar os benefícios e as indagações dos processos analíticos aplicados em acervos de ciência e tecnologia com partes metálicas. Através desta publicação será possível acessar facilmente quais processos analíticos são indicados, respeitando a individualidade de cada caso. Ressaltam-se os benefícios, as principais indagações e alguns aspectos subjetivos que permeiam a relação interdisciplinar existente nesse processo. A publicação fruto desta pesquisa não tem intenção de compreender plenamente todos os casos, devendo ser analisadas outras metodologias, quando necessário. A separação entre procedimentos destrutivos e não destrutivos, invasivos e não-invasivos se mostra fundamental para uma mais fácil consulta por parte dos profissionais da preservação. Uma visão estrutural do resultado da pesquisa será abordada com pontos como: em quais materiais esse procedimento pode ser utilizado; uma pequena descrição de como ocorre o processo; o que esperar do resultado e como isso pode ser usado no campo da preservação; os aspectos negativos do uso da técnica em um bem cultural; o tempo entre a preparação das amostras e o resultado; e onde pode se realizar no Brasil tal procedimento. Permeia nesta discussão os aspectos subjetivos e a eficiência das análises para fins de preservação.

Palavras-Chave: procedimentos analíticos; conservação de metais; patrimônio científico; preservação.



LIMA, Jéssica Tarine M. de. **Between Science and Heritage: The application of analytical procedures in the preservation of metallic collections of science and technology.** 2017. Master Dissertation - Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia, MAST, Rio de Janeiro, 2017. 193p. Supervisor: Marcus Granato.

ABSTRACT

In recent years, the increasing applicability of technical-scientific analyzes applied on heritage has enabled researchers in this area to gain a better understanding of cultural assets and interventions through which the object has passed throughout their lives. This contribution helped several researches and changed the way of evaluating and observing the collections. There are many tools and studies to better achieve the preservation of metallic collections and the analytical processes are proving to be satisfactory in providing answers to several preservation problems. The present dissertation aims to illustrate the benefits and inquiries of the analytical processes applied in science and technology collections with metallic parts. Through this publication it will be possible to easily access which analytical processes is indicated, respecting the individuality of each case. It emphasizes the benefits, the main questions and some subjective aspects that permeate the interdisciplinary relationship existing in this process. The publication resulting from this research does not intend to fully understand all the cases, and other methodologies should be analyzed, when necessary. The separation between destructive and non-destructive, invasive and non-invasive procedures is fundamental for easier consultation by preservation professionals. A structural overview of the results of the research will be addressed in points as: in which materials this procedure may be used; A short description of how the process occurs; what to expect from the result and how it can be used in the field of preservation; the negative aspects of the use of this technique in cultural heritage; the time between sampling and the result; and where this procedure can be done in Brazil. Permeates this discussion the subjective aspects and the efficiency of the analysis for preservation purposes.

Keywords: analytical processes; metals conservation; scientific heritage; preservation.

SIGLAS E ABREVIATURAS UTILIZADAS

- AAS** – Espectrometria de absorção atômica / Atomic Absorption spectrometry
- AIC** – American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
- ARAAFU** – Associação de Restauradores e de Arqueólogos de Formação Universitária
- BMC2004** – Seminário Conservation and Management of outdoor bronze monuments, 2004.
- C2RMF** – Center for Research and Restoration of Museums of France
- C&T** – Ciência e Tecnologia
- CECOR** – Centro de Conservação de Bens Culturais
- CT** – Tomografia Computadorizada / Computed Tomography
- DIC** – Contraste por interferência Diferencial
- DRX** – Difractometria de Raios-x / X-Ray Diffraction
- BSED** – Backscatter electron diffraction
- EBSD** – Difração de Elétrons Retro-Espalhados / Electron backscatter diffraction
- ED** – Difração de Elétrons
- ED-FRX** - Fluorescência de Raio-X por Energia Dispersiva
- EDS** – Espectroscopia de dispersão de Raios X / Energy-dispersive X-ray spectroscopy
- EDXMA** – Energy Dispersive X-ray microanalysis
- EDXRF** – Energy Dispersive X-ray fluorescence
- EIE** – Espectroscopia por impedância Eletroquímica
- EIS** – Electrochemical impedance spectroscopy
- EM** – Electron Microscopy
- EPMA** – Microanálise de sonda elétrons / Electron probe microanalysis
- ESCA** – Espectroscopia de Elétrons para Análise química / Electron Spectroscopy for chemical analysis
- FAAP** – Fundação Armando Alvares Penteado
- FEG-MEV** – Canhão de Emissão em campo com Microscopia eletrônica de Varredura
- FEGSEM** – Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy
- FNAA** – Fast Neutron activation analysis
- FRX** - Fluorescência de Raio-X
- FTIR** – Espectroscopia infravermelha transformada de Fourier / Fourier Transform Infrared Spectroscopy
- GCI** – Getty Conservation Institute
- HRTEM** – High-resolution transmission electron microscopy
- HV** – Alto Vácuo
- IBA** – Ion Beam Analysis

IEX – Cromatografia por troca iônica / Ion Exchange Chromatography
ICC – International Institute for Conservation of Historic Object and Work of Art
ICCROM – International Centre of study of the preservation and Restoration of Cultural Property
ICOM – International Committee of Museum
ICOM-CC – International Council of Museums – Committee for Conservation
ICOMOS – International Council on monuments and sites
ICP – Espectroscopia por Plasma Acoplado Indutivamente / Inductively coupled plasma
ICP-AES - Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy
ICP-MS – Espectroscopia de Massas com plasma indutivamente acoplado / Inductively coupled plasma mass spectroscopy
ICP-MS-LA - Espectroscopia de Massas com emissão com plasma indutivo e ablação a laser
ICP-OES - Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente
ICR – Instituto Central de Restauro
IIC - International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
LACICOR – Laboratório de Ciência da Conservação
LFNA/UDEL – Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade de Londrina
LIBS – Espectroscopia de decomposição induzida por laser / Espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser / Laser-induced breakdown spectroscopy
LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.
LV – Baixo Vácuo
ME – Microscopia Eletrônica
MET – Microscopia eletrônica de transmissão
MEV – Microscópio eletrônico de varredura
MEV-EDS – Microscopia eletrônica de varredura acoplada a espectroscopia de Raios X por dispersão em energia / Microscopia de varredura com sistema de Energia Dispersiva
MEV-FIB – Microscopia eletrônica de varredura com Feixe de íon focalizado
microCT – Microtomografia computadorizada
MO – Microscopia ótica
NAA - Análise por Ativação com Nêutrons / Neutron activation analysis
OES – Espectroscopia de emissão óptica / Optical Emission Spectroscopy
OM – Optical Microscopy
PIGE – Particle-induced gamma-ray emission / Emissões de raios gama induzidas por partículas
PIXE – Emissão de Raios-X por Partículas Induzidas ou Emissão de Raios-X por Prótons Induzidos / particle-induced x-ray emission or próton induced x-ray emission
PPC&T – Patrimônio Cultural da Ciência e Tecnologia
PPM – Partes por milhão
RBS – Espectroscopia de retroespalhamento de Rutherford / Rutherford backscattering spectroscopy
RM – Micro-Raman spectroscopy
SEM – Scanning Electron Microscope

SPAB – Society for the Protection of Ancient Building
SR-FRX – Fluorescência de Raio-X com Síncrotron
SRXRF – Synchrotron-radiation-induced micro-fluorescence
TEM – Transmission Electron Microscopy
TIMS – Espectroscopia de massas por ionização / Thermal ionization mass spectroscopy
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a ciência e a Cultura.
WDS – Espectroscopia de raios x de dispersão de comprimento de onda / Wavelength Dispersive X-ray spectroscopy
WD-FRX – Espectroscopia de fluorescência de raios-x por comprimento de onda dispersive
WDX - Wavelength Dispersive X-ray spectroscopy
WDXRF – Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer
XAS – X-ray absorption spectroscopy / Espectroscopia de absorção de raios X
XEDS - Energy-dispersive X-ray spectroscopy
XPS – Espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X / X-Ray photoelectron spectroscopy
XRF – X-Ray Fluorescence
XRMA – Microanálise de raios X / X-ray microanalysis



LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 01 – Evolução do uso generalizado de materiais pelo homem | 44 |
| Tabela 02 – Data aproximada do primeiro uso generalizado | 45 |
| Tabela 03 – Avaliação prévia dos objetos | 66 |
| Tabela 04 – Processos analíticos aplicados para bens metálicos..... | 129 |
| Tabela 05 – Classificação da corrosão em metal | 179 |
| Figura 1 – Três tipos de comportamento da corrosão | 65 |

SUMÁRIO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUÇÃO | 01 |
| CAPÍTULO 1 - O PATRIMÔNIO E A CONSERVAÇÃO | 05 |
| 1.1 - A Sociedade e a Preservação | 06 |
| 1.2 - De <i>Connoisseurs</i> a Cientistas da Conservação | 14 |
| 1.3 - A Conservação Preventiva: Um Conceito Recente | 27 |
| 1.4 - A Herança da Interdisciplinaridade | 33 |
| CAPÍTULO 2 - OS METAIS E OS ACERVOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA | 40 |
| 2.1 - Propriedades e Características dos Metais | 41 |
| 2.2 - Breve História sobre a Produção dos Metais | 43 |
| 2.3 - A Presença dos Metais nos Acervos de Ciência e Tecnologia | 54 |
| 2.3.1 - As coleções arqueológicas | 54 |
| 2.3.2 - As coleções de objetos de ciência e Tecnologia | 55 |
| 2.4 - A Preservação de Bens Culturais Metálicos | 58 |
| 2.4.1 - Identificação dos metais | 61 |
| 2.4.2 - A corrosão | 63 |
| 2.4.3 - Procedimentos de conservação de objetos metálicos | 66 |
| CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS ANALITICOS APLICADOS À ACERVOS CIENTÍFICOS COM PRESENÇA DE METAL | 69 |
| 3.1 - Os desenvolvimentos dos procedimentos analíticos | 70 |
| 3.2 - Os procedimentos analíticos | 75 |
| 3.2.1 - Principais Técnicas utilizadas em bens culturais metálicos de ciência e tecnologia | 84 |
| 3.3 - A Teoria na Prática | 119 |
| CAPÍTULO 4 - UM PRODUTO PARA AUXILIAR OS USUÁRIOS DE PROCESSOS CIENTÍFICOS | 125 |
| 4.1 - Tabela de procedimentos analíticos utilizados em bens culturais metálicos de C&T | 126 |
| 4.2 - Alguns Exemplos Práticos de Uso das Análises para Bens Culturais | 156 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 162 |

| | |
|--------------------|-----|
| REFERÊNCIAS | 166 |
| ANEXOS | 178 |

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Preservar não se refere somente a manter o bem cultural intacto para as próximas gerações, também se refere à manutenção dos significados, seus aspectos intangíveis e à pesquisa sobre a atividade cultural e econômica de uma sociedade. Quando se atribui valor a um objeto, imediatamente a conservação deste se torna necessária. Esta atividade possibilitou o acesso a costumes e ideias de muitas culturas com o passar do tempo. Independente do tipo de bem, os produtos da cultura material têm significados e usos variados para diferentes indivíduos e comunidades, em diferentes tempos.

A presente dissertação pretende, através de uma linguagem simples, ilustrar os benefícios e as indagações relacionados aos processos analíticos aplicados aos estudos com acervos de ciência e tecnologia com partes metálicas. Através desta pesquisa, pretende-se tornar possível e facilitar acessar quais processos analíticos são indicados, respeitando a individualidade de cada caso. Ressalta-se aqui que a dissertação não tem intenção de abranger todos os casos, devendo ser analisadas outras metodologias para solução das questões, quando necessário.

Muitas são as ferramentas e estudos para melhor atingir a preservação e conservação dos acervos metálicos, os processos analíticos vêm se mostrando satisfatórios quanto à proporcionar respostas para diversos problemas dentro da área da conservação. Esta pesquisa deverá então ilustrar os benefícios da utilização dos processos analíticos para estudos das coleções com presença de metais, como material constituinte, assim como sua contribuição para a preservação das mesmas.

Essa dissertação se justifica pela necessidade de investigar, mais densamente, uma questão que muito preocupa os profissionais que lidam com a preservação dos acervos científicos metálicos, e também pela necessidade de organizar de forma sintética as principais referências sobre o tema, pouco explorado no Brasil.

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar e identificar de forma teórica, as metodologias dos processos analíticos aplicadas a acervos científicos metálicos e relatar as dificuldades e as novas tecnologias empregadas para as análises relacionadas ao melhor conhecimento desses acervos. Com isso, pretendeu-se mostrar a importância da interdisciplinaridade no campo da preservação de bens culturais, utilizando os bens culturais metálicos, como recorte. Este estudo tem caráter interdisciplinar por utilizar teorias e práticas relacionadas a áreas de conhecimento distintas, como a Museologia, a Conservação, a Ciência dos Materiais, a Química, a Física, dentre outras.

Nesse âmbito, alguns objetivos específicos foram propostos, tais como: analisar a aplicação de conceitos da ciência na preservação, assim como os benefícios e a eficiência da utilização destes para os processos de conservação e restauro, e contextualizar os procedimentos analíticos no processo de preservação de seus acervos.

No que diz respeito à aplicação de conceitos da ciência na conservação e restauro de bens culturais, foram estudados e contextualizados alguns procedimentos analíticos tais como, difração de raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), dentre outros. Busca-se então, através desta pesquisa, publicar e divulgar os resultados de uma análise voltada para o campo museológico e da preservação.

A proposta de metodologia desta pesquisa consistiu fundamentalmente na análise comparativa da bibliografia selecionada incluindo artigos, teses, livros, monografias, dissertações e estudos de casos já publicados nacionalmente e internacionalmente. No decorrer da leitura, foi também esquematizado um quadro comparativo dos processos analíticos que viria a se formatar como um dos produtos desta pesquisa.

No primeiro capítulo da presente dissertação, são construídos os fundamentos teóricos que subsidiam o entendimento da preservação e dos processos analíticos através da história e teoria da conservação e restauro, do levantamento de fontes primárias, da interdisciplinaridade e das análises técnicas.

O segundo capítulo é devotado ao estudo dos metais e dos acervos de Ciência e Tecnologia. Para tal, é apresentado um resumo sobre as propriedades dos metais mais significativos para os bens culturais. Em seguida, é apresentada uma breve história sobre a produção dos metais, salientando sua presença nos acervos de ciência e tecnologia, em especial nas coleções arqueológicas e nos objetos de Ciência e Tecnologia (C&T). Por fim, informa-se sucintamente os diversos aspectos envolvidos na preservação de metais e ligas.

No terceiro capítulo são discutidos o desenvolvimento dos procedimentos analíticos, através da sua história. São também listados e explicados os principais processos analíticos aplicáveis a bens de ciência e tecnologia metálicos. Descreve-se resumidamente os benefícios e aplicações dos processos analíticos sem discutir a metodologia das técnicas. Por fim, são brevemente discutidos aspectos como: preparação de amostras, subjetividade e interpretação, confiabilidade dos dados obtidos, o custo e a aplicação, a comunicação entre os profissionais, portabilidade da análise, incompatibilidade e planejamento.

No quarto capítulo é apresentada a explicação sobre o produto da dissertação no formato de uma tabela que é uma ferramenta de aproximação entre os campos das ciências e do patrimônio, pois auxilia o profissional de preservação a compreender melhor os processos analíticos usados. De forma complementar ao conteúdo disponibilizado na tabela, são apresentados alguns estudos de caso, de forma sucinta, em que as análises de bens culturais foram importantes para o processo de conhecimento desses bens e de sua preservação.

Ressalta-se que todas as questões discutidas foram selecionadas através da experiência e conhecimento sobre o tema e do que foi considerado importante para os profissionais que trabalham com acervos.

CAPÍTULO 1

O PATRIMÔNIO E A CONSERVAÇÃO

1. O PATRIMÔNIO E A CONSERVAÇÃO

1.1 - A Sociedade e a Preservação

Do ponto de vista antropológico a cultura é vista como algo intrínseco ao ser humano, tendo em vista que o mesmo é um ser social. Laraia (2001) afirma que não existe ser humano sem cultura e todos somos capazes de aprender quaisquer culturas, independente de etnia ou origem (LARAIA, 2001). O passar dos costumes e das tradições torna-se natural quando pensamos a cultura como diretriz e responsável pela formação de visão de mundo de um indivíduo, que sem ela sucumbe (GONÇALVES, 1996).

Quando uma sociedade atribui valor a um objeto, imediatamente a conservação deste se torna necessária. Esta motivação possibilitou a manutenção de costumes e ideias de muitas culturas com o passar do tempo. Segundo Aloísio Magalhães “Só se protege o que se ama, só se ama o que se conhece” (MAGALHÃES, 1997, p.190), ou seja, somente preservamos aquilo a que atribuímos valor e por isso se estabelece como primordial a conscientização de todos os valores extrínsecos aos bens culturais.

Uma vez que o tema desta pesquisa está estreitamente relacionado a certos conceitos do campo da conservação, serão adotados nesta dissertação os termos conservação, conservação preventiva, conservação curativa e restauração, com base nas definições utilizadas pelo *International Council of Museums - Committee for Conservation (ICOM-CC)*¹. Sendo assim a conservação consiste de todas as medidas e ações que busquem a salvaguarda do patrimônio enquanto asseguram seu acesso para as futuras gerações. O termo abarca 'conservação preventiva', 'conservação curativa' e restauração'. Sendo primordial que todas as medidas e ações respeitem as propriedades físicas e culturais do objeto.

Considerando a amplitude do termo, a conservação preventiva consiste em todas as medidas e ações que busquem evitar ou minimizar futuras deteriorações ou perdas. Elas são realizadas dentro do contexto ou nas proximidades de um objeto, mas mais frequentemente em um grupo de itens, independentemente da sua idade e condição. Estas medidas e ações são indiretas e não interferem com os materiais e estruturas dos objetos. Elas não modificam sua aparência.

¹ A definição na íntegra dos termos mencionados pode ser vista no endereço eletrônico: <http://www.icom-cc.org/242/about-icom-cc/what-is-conservation/terminology/#.VpLT2PnhDIU>

No que tange as ações diretas sobre os objetos, a conservação curativa consiste em todas as ações diretamente aplicadas a um item ou um grupo de itens que visam deter ou retardar processos prejudiciais atuais ou reforçar a sua estrutura. Essas ações são realizadas apenas quando os objetos estão em uma condição tão frágil ou se deteriorando a uma velocidade tal, que poderiam ser perdidos em um tempo relativamente curto. Estas ações, por vezes, modificam a aparência dos objetos.

Em última instância considera-se a restauração como todas as ações aplicadas diretamente a um objeto único e estável destinado a facilitar o seu reconhecimento, compreensão e uso. Essas ações são realizadas apenas quando o objeto perdeu parte de seu significado ou função através de alteração ou deterioração no passado. Elas são baseadas no respeito pelo material original. Na maioria das vezes estas ações modificam a aparência do objeto.

Em uma visão mais geral, a preservação pode ser compreendida como um grupo ainda maior de atividades cuja ação visa garantir a integridade ou perenidade de um ou mais bens culturais (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.23-24). No conceito de preservação estão várias atividades museológicas, tais como a documentação, a gestão, a pesquisa, a comunicação, a conservação, dentre outras. A preservação do patrimônio conduz a uma política que começa com o estabelecimento de procedimentos e critérios de aquisição do patrimônio material e imaterial e seu meio, cuja continuidade é assegurada com a gestão das coisas que se tornam bens culturais e finalmente com sua conservação (DESVALLÉES; MAIRESSE, 2013, p-79-82). Nesta dissertação, bens culturais devem ser entendidos a partir da explicação de Granato, Duarte e Suzuki:

Os bens culturais são o produto e o testemunho das diferentes tradições e realizações intelectuais do passado e constituem, portanto, um elemento essencial da personalidade dos povos. Reconhecendo essa importância, faz-se mister transmitir da melhor maneira possível esse patrimônio cultural às gerações futuras. Nesse sentido, inserem-se os conceitos de conservação e restauração desses bens (GRANATO; DUARTE; SUZUKI, 2005, p.274).

Acrescenta ainda Cury (2000) que bens culturais são objetos móveis ou imóveis de grande importância para o patrimônio cultural de um determinado local, por serem fruto e testemunho das diferentes tradições e realizações intelectuais do passado. Desta forma, eles conferem identidade à sociedade que os possui. A identidade cultural mencionada aqui é a chave para entendermos o processo de valoração que leva a seleção e exclusão de determinados bens. Sobre a preservação dos valores afirmam Pinheiro e Granato:

Entre os muitos documentos que regulam e definem a atividade de preservação, com relação aos valores, a Carta de Nara (UNESCO, 1994) nos diz que: todos os julgamentos sobre valores atribuídos aos bens culturais, assim como a credibilidade das fontes de informação relacionadas podem diferir de cultura para cultura, e mesmo dentro da mesma cultura. Não é possível basear julgamentos de valores e autenticidade dentro de critérios fixos. Ao contrário, o respeito a todas as culturas determina que os bens culturais devam ser considerados e julgados dentro de contextos culturais aos quais eles pertencem (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.32).

O processo de valoração pode ser compreendido através de várias esferas da conservação, estando presentes de várias formas, destacando o seu papel fundamental na tomada de decisões. Independente do tipo de bem, os produtos da cultura material têm significados e usos variados para diferentes indivíduos e comunidades, em diferentes tempos. Valores atribuídos permitem reconhecer a significância de algumas coisas e por isso objetos e lugares são denominados de patrimônio (AVRAMI; MANSON; TORRE, 2000, p.7). O conceito de patrimônio destaca-se no processo de valorização e, segundo Gonçalves:

A palavra “patrimônio” está entre as que usamos com mais frequência no cotidiano. Falamos dos patrimônios econômicos, dos patrimônios imobiliários; referimo-nos ao patrimônio econômico e financeiro de uma empresa, de um país, de uma família, de um indivíduo; usamos também a noção de patrimônios culturais, arquitetônicos, históricos, artísticos, etnográficos, ecológicos, genéticos; sem falar nos chamados patrimônios intangíveis, de recente formulação. Não parece haver limite para o processo de qualificação dessa palavra (GONÇALVES, 2005, p.17).

Nesta dissertação, patrimônio será entendido através da definição de patrimônio cultural. Quando se busca a conservação dos bens culturais, está intrínseco que se deve como ato primordial proceder ao processo de identificação dos valores relacionados ao bem. A conservação vai além da materialidade do bem cultural, ela compreende não só a dimensão material mas principalmente os aspectos intangíveis. Avrani, Manson e Torre (2000) destacam alguns dos aspectos intangíveis:

A criação do patrimônio cultural é amplamente derivada do método de como as pessoas lembram, organizam, pensam sobre e desejam usar o passado e como a cultura material proporciona um meio pelo qual isso acontece. As histórias aplicadas aos objetos, construções e paisagens, por indivíduos e grupos, constituem a moeda no qual a valorização do patrimônio cultural é negociado (AVRAMI; MANSON; TORRE, 2000, p.8, tradução nossa)².

² The creation of cultural heritage is largely derived from the way people remember, organize, think about, and wish to use the past and how material culture provides a medium through which to do this. The stories

Pode-se atribuir ao patrimônio diferentes valores, tais como econômico, político, cultural, científico, espiritual, estético, entre outros. Em alguns casos esses valores podem remeter a uma ou mais ideias, éticas, culturais e epistemologias. Destaca-se aqui a questão da valorização do patrimônio cultural tomado por um viés econômico, onde por vezes aspectos econômicos interferem no processo de negociação para a preservação dos bens culturais e sobressaem aos valores culturais. É possível assimilar esses valores desde os escritos de Riegl até as políticas patrimoniais da carta de Burra³, onde se destacam a categorização e ordenação desses valores.

Na continuidade de discussão do tema desta pesquisa, faz-se necessário definir patrimônio. Pinheiro e Granato apontam o que entendem por patrimônio e que será utilizado nesta dissertação:

O que consideramos como patrimônio cultural são aqueles bens que se destacam dos demais por um processo de significação, que se formaliza quando da escolha para que façam parte desse conjunto. O que os diferencia dos demais, na moderna concepção museológica, inclui a noção de comunicação (MUÑOS VIÑAZ, 2005), que pode traduzir-se de formas diferentes: significância, simbolismo, conotação cultural, metáfora etc. (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.24).

Ressalta-se o caráter multifacetado do patrimônio. A UNESCO⁴ divide o patrimônio em duas partes: patrimônio cultural e patrimônio natural. O primeiro é composto por monumentos, grupos de edifícios ou sítios que tenham um excepcional e universal valor histórico, estético, arqueológico, científico, etnológico ou antropológico. O segundo compreende as formações físicas, biológicas e geológicas excepcionais, habitats de espécies animais e vegetais ameaçadas e áreas que tenham valor científico, de conservação ou estético excepcional e universal.

Nesta dissertação, um dos focos principais de pesquisa são alguns dos constitutivos do patrimônio cultural da ciência e tecnologia (PCC&T), isso se deve a comum materialidade metálica dos acervos, possibilitando o exercício de reflexão que se pretende nesta dissertação. Granato e Santos definem PCC&T como apresentado no trecho a seguir:

invested in objects, buildings, and landscapes, by individuals or groups, constitute a currency in which the valorizing of cultural heritage is transacted (AVRAMI, MANSON, TORRE, 2000, p.8).

³ Carta de Burra. Disponível em:

<<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Burra%201980.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2016.

⁴ UNESCO. Definição de patrimônio. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/culture/world-heritage/heritage-legacy-from-past-to-the-future/>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

Mais recentemente, considera-se o conjunto tangível e intangível relacionado à C&T, a que se atribuem valores que justificam a sua preservação para as futuras gerações. Inclui o conhecimento científico e tecnológico produzido pelo homem, além dos saberes, das práticas de ensino e pesquisa, e de todos aqueles artefatos e espécimes que são testemunhos dos processos científicos, de desenvolvimento tecnológico e de ensino, considerando documentos em suporte papel (arquivísticos e bibliográficos), instrumentos científicos, máquinas, montagens, coleções científicas de natureza diversa como arqueológicas, etnográficas, biológicas, além de construções arquitetônicas produzidas com a funcionalidade de atender às necessidades desses processos e desenvolvimentos (laboratórios, observatórios, paisagens e jardins) (GRANATO; SANTOS, 2015, p.79).

Outra tipologia de patrimônio que se aplica a esta dissertação é o patrimônio arqueológico, cujas peças geralmente fazem parte de coleções científicas, ressaltado aqui também no recorte daqueles artefatos que apresentam as características materiais metálicas destacadas anteriormente. Segundo Funari (2003), a arqueologia estuda, diretamente, a totalidade material apropriada pelas sociedades humanas, como parte de uma cultura total, material, sem limitações de caráter cronológico. Sendo assim a atividade arqueológica está intrinsecamente conectada à sociedade e ao patrimônio. Ressalta-se que a Arqueologia estuda o homem em seus variados aspectos. A Carta de Lausanne define patrimônio arqueológico como:

A parte do nosso patrimônio material para a qual os métodos da arqueologia fornecem os conhecimentos de base. Engloba todos os vestígios da existência humana e diz respeito aos locais onde foram exercidas quaisquer atividades humanas, às estruturas e aos vestígios abandonados de todos os tipos, à superfície, no subsolo ou sob as águas, assim como aos materiais que lhes estejam associados (CARTA DE LAUSANNE, 1990)⁵.

Os valores dados aos objetos que por final serão considerados patrimônio, fazem parte do conjunto de ações de preservação que são também parte das características iniciais da formação das coleções. As primeiras coleções de objetos excepcionais, pertencidas aos reis, tinham valor de conhecimento e poder aquisitivo e social atribuídos aos seus donos. Os templos gregos tinham a função similar para as coleções. Neste caso eram vistas como tesouros e por isso inventariadas e conservadas. Elas representam algumas das primeiras tentativas relacionadas às práticas de museus e conservação. Segundo Caple (2000), somente possui-se informações acerca dessas coleções, pois

⁵ CARTA DE LAUSANNE: CARTA PARA A PROTECÇÃO E GESTÃO DO PATRIMÓNIO ARQUEOLÓGICO. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Lausanne%201990.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

elas possuíam um caráter sacro que possibilitou a sua preservação. No século XVI, a coleção da princesa babilônica En-nigaldi-Nanna foi interpretada como pertencente a uma escola, sendo talvez o mais antigo museu, por ser a primeira coleção com função educativa, característica essencial de um museu (CAPLE, 2000). Ressalta-se que a função educativa por si só não define o museu. Segundo o *International Council of Museums* (ICOM)⁶ o museu é uma instituição permanente sem fins lucrativos, ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, aberta ao público, que adquire, conserva, investiga, comunica e expõe o patrimônio material e imaterial da humanidade e do seu meio envolvente com fins de educação, estudo e deleite.

A tradição de posse de coleções incomuns, antigas e interessantes, por grandes figuras políticas e religiosas, continuou ao longo da história. Rangel (2011) discute sobre o ato de colecionar:

O ato de colecionar realça os modos como os diversos fatos e experiências são selecionados, reunidos, retirados de suas ocorrências temporais originais, e como eles recebem valor duradouro em um novo arranjo. Coletar, pelo menos no ocidente, onde geralmente se pensa no tempo como linear e irreversível, pressupõe resgatar fenômenos da decadência ou perda histórica inevitáveis. A coleção teoricamente contém o que merece ser guardado, lembrado e entesourado (RANGEL, 2011, p.149).

As grandes descobertas da era das navegações contribuíram para a construção, multiplicação e manutenção de gabinetes de curiosidades. Os gabinetes serviam para a aristocracia como forma de demonstração de compreensão e posse do conhecimento em geral (CAPLE, 2000). Essas descobertas levaram a um grande número de novos objetos, que logo seriam catalogados e organizados em uma enciclopédia, a fim de divulgar a compreensão do mundo (CAPLE, 2000).

Percebe-se que as coleções estão intrinsecamente ligadas aos valores e assim por consequência ao patrimônio. Pomian (1985, p.53) define coleção como: qualquer conjunto de objetos naturais ou artificiais, mantidos temporária ou definitivamente fora do circuito das atividades econômicas, sujeitos a uma proteção especial num local fechado preparado para esse fim, e expostos ao olhar do público. Desvallés e Mairesse (2013) acrescentam ainda a esta definição mais detalhes, como apresentado no trecho a seguir:

⁶International Committee of Museum - ICOM. Definição de museu. Disponível em: <http://icom-portugal.org/documentos_def,129,161,lista.aspx>. Acesso em: 10 jul. 2016.

um conjunto de objetos materiais ou imateriais (obras, artefatos, mentefatos, espécimes, documentos arquivísticos, testemunhos, etc.) que um indivíduo, ou um estabelecimento, se responsabilizou por reunir, classificar, selecionar e conservar em um contexto seguro e que, com frequência, é comunicada a um público mais ou menos vasto, seja esta uma coleção pública ou privada (DESVALLÉES; MAIRESSE, 2013, p.32).

As coleções são, de maneira geral, uma reunião de bens culturais que conservam sua individualidade e são reunidos de maneira intencional, segundo uma lógica específica. O processo de constituição das coleções parte da seleção de seus componentes por um processo de significação, ligado diretamente ao processo de valoração dos itens.

Deve-se ter sempre em foco que a cultura é mutável, um conjunto em desenvolvimento de processos e valores, e a conservação do patrimônio cultural deve seguir este fluxo. É necessário entender como os valores são atribuídos e determinar como o processo de análise e construção de significados culturais acontece, para melhor compreender o processo de conservação dos bens atuais.

Todo bem cultural possui em si informações intrínsecas, referentes à materialidade, e informações extrínsecas, referentes ao histórico⁷ e a razão de sua existência em relação ao espaço temporal. As informações intrínsecas são aquelas percebidas no próprio objeto, através de uma análise física, enquanto as extrínsecas são aquelas que permitem obter dados através de fontes externas ao objeto e que nos permitem conhecer mais sobre a sua trajetória por diferentes contextos (FERREZ, 1994, p.5).

Essas informações também são interpretadas como científicas e culturais, como afirma Maroevic (2004):

O objeto museológico e a coleção são fontes de dois tipos de informação, científica e cultural. Em termos simples, as disciplinas principais em museus (tais como história da arte, arqueologia, antropologia, etnologia ou ciências natural e técnica) lidam com a consolidação da informação científica (seletiva), enquanto a museologia lida com a consolidação da informação cultural (estrutural). Se informação é a reação do usuário ao conteúdo de uma mensagem, então informação científica é mais precisa, e tende para uma maior objectividade e verificação mais rigorosa. É analítica porque procede do usuário para a realidade e descobre leis naturais de regulação dentro do objeto. Essas leis são tratadas e reguladas pelas disciplinas científicas básicas. Juntamente com neutralidade ética, o critério da verdade é de importância principal da informação científica. Informação cultural ou estrutural não tem objecto estritamente definido. Ela está contida dentro

⁷ Histórico do bem cultural neste contexto não se limita ao seu uso. Neste caso entende-se também que o termo compreende outros valores, como por exemplo o valor científico do ato da criação.

do objecto e o seu significado é determinado pelo contexto, por o meio físico ou social. A informação cultural é sintética porque procede da realidade para o usuário. Ela descobre significados secundários no objeto como o valor, importância, significado ou necessidade (MAROEVIC, 2004, p.28, tradução nossa)⁸.

O conhecimento destas informações é imprescindível a qualquer intervenção no bem cultural, seja ela direta ou indireta. Parte das atividades do conservador/museólogo é pesquisar para conhecer melhor as obras/objetos com os quais trabalha, a fim de que este conhecimento proporcione segurança no processo de conservação do mesmo, evitando danos ao bem. Assim como no decorrer da vida de um bem cultural, se acumulam informações extrínsecas, que são documentadas, os processos analíticos são aplicáveis para possibilitar a produção de informações intrínsecas que devem ser estudadas e decodificadas para o melhor conhecimento do bem e dos processos pelos quais passou, de forma a auxiliar na escolha da melhor forma de intervenção sobre o mesmo.

Nas diversas leituras feitas para esta pesquisa, termos como análises científicas, análises arqueométricas, análises químicas, análises fitoquímicas, dentre outros, apareceram em um mesmo contexto de caracterização e identificação de elementos e estados de decomposição quando aplicados a bens culturais. Optou-se aqui pelo uso do termo procedimentos analíticos, pela sua abrangência e melhor aplicação no que tange aos objetos estudados. Desta forma, quando mencionado processos analíticos, entenda-se como a variedade de processos e análises aplicados aos bens culturais, para recuperação de informações intrínsecas.

A seguir, serão destacados alguns pontos da história da conservação considerados importantes para o desenvolvimento dos próximos capítulos.

⁸ The museum object and the collection are the sources of two kinds of information, scientific and cultural. In simple terms, the main scientific disciplines in museums (such as art history, archaeology, anthropology, ethnology or natural and technical sciences) deal with the consolidation of scientific (selective) information, while museology deals with consolidation of cultural (structural) information. If information is the reaction of a user to the content of a message, then scientific information is more precise, and it tends toward greater objectivity and stricter verification. It is analytical because it proceeds from the user towards reality and discovers natural laws of regulation within the object. These laws are dealt with and regulated by the basic scientific disciplines. Together with ethical neutrality, the criterion of truth is of foremost significance for scientific information. Cultural or structural information has no strictly defined subject-matter. It is contained within the object and its meaning is determined by the context, by the physical or social environment. Cultural information is synthetic because it proceeds from reality towards the user. It discovers secondary meanings in the object such as value, importance, meaning or necessity (MAROEVIC, 2004, p.28).

1.2 - De *Connoisseurs* a Cientistas da Conservação

A palavra conservador tem sua origem etimológica do latim *conservatore*. Ela também está associada ao sentido de curador que no italiano significa aquele que cura, que toma conta. Esta palavra tem seu conceito remetido a função dos guardiões e sacerdotes das coleções antigas. Pode-se considerar os mais antigos ‘conservadores’, como os sacerdotes que cuidavam dos objetos nos templos gregos ou os *mutadors* que limpavam o teto da Capela Sistina. Entretanto, faltavam a esses profissionais a base científica e, por isso, esses trabalhos são melhor classificados como limpezas e reparos (CAPLE, 2000). Ressalta-se que independente de reparo ou conservação, o ato de salvaguarda mostra a valoração dos objetos.

O conceito de *connoisseurship* abrange diversos campos onde o perito ou especialista utiliza suas habilidades e conhecimentos, adquiridos através de experiência ou prática. Na História da Arte, o *connoisseur* é reconhecido pela sua habilidade e entendimento em decifrar a obra de arte apenas com o exame organoléptico. Com o desenvolvimento das práticas científicas aplicadas ao patrimônio, a prática do *connoisseur* vai dar lugar ao profissional cientista da conservação.

Se pensarmos na conservação através de uma linha do tempo, pode-se distinguir pequenos e grandes movimentos em que se destaca o pensamento científico aplicado às práticas de conservação. segundo Tagle:

A investigação científica propriamente dita aplicada ao campo do patrimônio cultural começa a desempenhar um papel sistemático na Europa a partir do final do século XVIII, princípios do século XIX acompanhando o desenvolver vertiginoso da revolução industrial (TAGLE, 2008, p.27, tradução nossa)⁹.

Nos séculos XVII e XVIII, iniciaram-se pesquisas sobre as causas da degradação de alguns objetos. O pintor-restaurador Carlo Maratta, por exemplo, dedicou seus estudos à deterioração de pinturas (ELIAS, 2002). No século XVIII, as descobertas de Herculano, em 1738, e de Pompéia, em 1748, somavam-se às das tumbas egípcias. As diversas pilhagens decorrentes destas descobertas, provocaram a formação de novas coleções e museus, trazendo vários problemas de conservação para esses espaços.

⁹ La investigación científica propriamente dicha aplicada a este campo comienza a jugar un papel sistemático en Europa a partir de fines del siglo XVIII, principios del XIX acompañando el desarrollo vertiginoso de la revolución industrial (TAGLE, 2008, p.27).

A convergência das ciências¹⁰ com a conservação tem seu início nos estudos feitos nos papiros de Pompéia, no final do século XVIII. Antonio Piaggio, um monge genovês e sub-bibliotecário do Vaticano, desenvolveu uma técnica de muito gradualmente desenrolar e apoiar os papiros, colando em seguida em um suporte fino de pergaminho. Ainda que esta técnica nem sempre tenha sido bem sucedida, um grande número de papiros menos danificados/carbonizados foram desenrolados e traduzidos (CAPLE, 2000).

O rei britânico George IV, em 1818, instruiu o presidente da *Royal Society*, Sir Humphrey Davy, para estudar os papiros restantes. Este, que tinha anteriormente analisado pinturas de parede clássicas e vasos, realizou um corpo coerente de pesquisa visando analisar a condição destes papiros, procurando a causa de sua deterioração, antes da elaboração de uma solução para o problema. Os estudos conduzidos por ele são hoje reconhecidos pela abordagem da conservação moderna, pela tradição de investigar o material e determinar o processo de deterioração (CAPLE, 2000). Diversos outros estudos que se seguiram adotaram a metodologia científica. Sobre o papel inicial das disciplinas científicas aplicadas ao patrimônio Mohen afirma que:

várias disciplinas da ciência mudaram, a partir do século XIX, a nossa compreensão do patrimônio cultural, através da análise de duas das três dimensões que o caracterizam: a materialidade e temporalidade. [...] A materialidade dos objetos e monumentos é observada graças à descoberta do microscópio no meio do século XVII e, especialmente, graças a descoberta de Lavoisier que concebeu a noção de elemento químico, conhecida como uma classificação natural, que prefigura a tabela de Mendeleev (1834- 1907), a referência ao longo do século XX (MOHEN, 1999, p.99, tradução nossa) (MOHEN, 1999, p.99)¹¹.

A atuação dos profissionais de conservação e restauração tornou-se mais especializada à medida que grandes coleções privadas e públicas foram se formando. Ao mesmo tempo que foram adquirindo perfil mais extensivo e organizado e constituindo-se

¹⁰ Ciência (lat. scientia: saber, conhecimento) 1. Em seu sentido amplo e clássico, a ciência é um *saber metódico e rigoroso, isto é, um conjunto de conhecimentos metodicamente adquiridos, mais ou menos sistematicamente organizados, e suscetíveis de serem transmitidos por um processo pedagógico de ensino. 2. Mais modernamente, é a modalidade de saber constituída por um conjunto de aquisições intelectuais que tem por finalidade propor uma explicação racional e objetiva da realidade. Mais precisamente ainda: é a forma de conhecimento que não somente pretende apropriar-se do real para explicá-lo de modo racional e objetivo, mas procura estabelecer entre os fenômenos observados relações universais e necessárias, o que autoriza a previsão de resultados (efeitos) cujas causas podem ser detectadas mediante procedimentos de controle experimental (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2001, p. 35).

¹¹ Plusieurs disciplines de la science vont modifier, à partir du XIX^e siècle, notre appréhension de l'héritage culturel, par l'analyse de deux des trois dimensions qui le caractérisent: la matérialité et la temporalité. [...] La matière des objets et des monuments est observée grâce à la découverte du microscope au milieu du XVII^e et surtout définie grâce aux découvertes de Lavoisier qui conçoit la notion d'élément chimique, nommé selon une classification naturelle qui préfigure le tableau de Mendeleïv (1834-1907), la référence pendant tout le XX^e siècle (MOHEN, 1999, p.99).

enquanto patrimônio. Esses fatores foram determinantes na contratação de pessoal capacitado para a manutenção desses acervos.

A partir da Revolução Francesa, ocorre a laicização do conceito de bem cultural. Esse passa a se referir majoritariamente ao interesse público. Com essa nova concepção, surge a noção de patrimônio público. Ressalta-se que a história da conservação está intrinsecamente ligada ao conceito de patrimônio, como corroboram Froner e Rosado:

As atividades de restauração intensificaram-se na Europa após o período da Revolução Francesa, das Guerras Napoleônicas e demais conflitos relacionados à construção do Estado Moderno, devido ao vandalismo, à prática do espólio de guerra e aos traslados abruptos (FRONER; ROSADO, 2008, p.02).

As pesquisas no campo da conservação/restauração vão ganhar uma nova abordagem neste período. Destaca-se o “advento da ciência como caminho para a revelação da verdade e para análise da realidade, além da ampliação do acesso público à cultura” (GRANATO; CAMPOS, 2013, p. 2). É no contexto impregnado pelos ideais nacionalistas, pela visão romântica e por forte influência da Revolução Industrial e das guerras Napoleônicas que surgem os primeiros teóricos da conservação, John Ruskin (1819-1900) e Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879).

Dentre os primeiros teóricos da conservação e restauração avulta-se Viollet-le-Duc e o conceito de estado original (natureza verdadeira). Ele acreditava que o estudo dos monumentos, especialmente das grandes catedrais góticas, por meio de uma documentação detalhada e meticulosa das características do estilo, dos detalhes do edifício e da tecnologia de construção, possibilitaria a complementação e a reconstrução parcial ou integral desses edifícios durante a restauração (VACCARO, 1996 apud CAPLE, 2000).

O conceito de estado original foi talvez o primeiro a ser reconhecido dentre os códigos de ética do campo. Neste mesmo período, William Morris e John Ruskin se contrapunham a qualquer intervenção nas edificações, afirmando que a verdadeira forma de preservar a construção incluía todos os elementos de sua história, inclusive o desgaste relacionado com passar dos anos. Apesar de pretender definir um momento anterior ao início da degradação, ele não leva em consideração o uso e alterações do tempo no patrimônio. Por todas as controvérsias estabelecidas este termo foi banido dos códigos de ética em 1990 (CAPLE, 2000, p.61).

Ruskin, na Inglaterra, defendia o amor exacerbado pelo passado e a veneração da pátina (mancha dourada do tempo). Sua teoria mostrava aversão a qualquer intervenção de restauro, afirmando que o aspecto estético não deve ser valorado em detrimento do aspecto histórico. Os materiais originais deveriam ser preservados e respeitados. A restauração era vista como a destruição do patrimônio (GRANATO; CAMPOS, 2013).

No final do século XIX, o grupo encabeçado por Willian Morris e John Ruskin, produziu o manifesto anti-restauração (*Manifest of Society for the Protecting of Ancient Buildings*). Eles definiram o manifesto, enfatizando a questão do tempo histórico e a autenticidade em relação ao objeto original, além da impossibilidade de se reproduzir um objeto com o mesmo significado em outro contexto histórico-cultural (JOKILEHTO, 1986).

Ruskin, de certa forma, deu os primeiros passos na direção da conservação preventiva, ao valorar os edifícios e ruínas com os mesmos princípios de valores aplicados às joias de uma coroa. O privilégio dado à integridade e autenticidade física do bem (edifício), por meio da manutenção, evitaria a degradação e em consequência a necessidade da restauração. Uma frase que caracteriza esse pensamento é “Cuide de seus monumentos e não precisará restaurá-los” (RUSKIN, 2008, p. 81-82).

Ressalta-se que apesar das novas técnicas em conservação, a tradição artesanal já consolidada nos museus, perdurou por muitos anos. Outras atividades como os esforços para conservação de artefatos arqueológicos na etapa de campo e artefatos subaquáticos e a pesquisa sobre a decomposição de encadernações de couro na presença de queimadores de lâmpada a gás, reforçam o período como marco da conservação preventiva (CALDEIRA, 2005/6).

No século XIX, destacam-se dois fatos fundamentais intimamente associados com a conservação preventiva e o controle ambiental: o primeiro, a instalação de sistemas de aquecimento em muitas casas e edifícios públicos, empregando radiadores que usavam água quente através das tubulações de uma caldeira; e o outro, a introdução de lâmpadas a gás¹² para a iluminação. Esses dois fatores, além dos altos níveis de poluição decorrentes da Revolução Industrial, lideraram a aparição de uma série de problemas de conservação não existentes em séculos anteriores e que só seriam solucionados no século seguinte. Em 1807, Thompson desenvolveu e utilizou técnicas para conservação de artefatos recém-resgatados, as quais caracterizaram os primeiros

¹² Em 1843, Michael Faraday se comprometeu com uma pesquisa sobre a decomposição de encadernações de couro na presença de queimadores de lâmpada a gás. O fenômeno, hoje conhecido como “*red rot*”, causado pelos altos níveis de SO₂ produzidos no ambiente (CAPLE, 2000).

esforços em conservação de artefatos arqueológicos retirados de meio subaquático (CAPLE, 2000).

Friedrich Rathgen, em 1888, foi indicado para um posto no *Royal Museum of Berlin*. Seu trabalho mostrou-se de vital importância para a consolidação do campo e para o desenvolvimento da conservação como disciplina. Sua função na instituição era resolver problemas relacionados à coleção de artefatos arqueológicos egípcios que começavam a se decompor (CAPLE, 2000). Dessa forma, ele foi capaz de reunir e construir um conhecimento e documentação das técnicas bem sucedidas utilizadas, levando à publicação do livro *Die konservierung von Altumsfunden* (A conservação de antiguidades), que somente em 1905 foi publicado em inglês e, conseqüentemente, usado como base em outras publicações (CAPLE, 2000).

Os esforços iniciais em torno da conscientização da prevenção em detrimento da restauração vão tomar força novamente com Camillo Boito, que associou as ideias de Ruskin à necessidade do restauro eventual, prolongando a vida dos bens culturais. Após a revolução industrial, a sociedade passou a ver a manutenção física dos bens culturais como meio de valoração das propriedades (patrimônio). Conceitos como: “a necessidade clara de diferenciações entre as partes originais e as restauradas; a mínima intervenção ou reversibilidade, dentre outros” (GRANATO; CAMPOS, 2013, p. 3) demonstram de certa forma o processo de valoração.

Alois Riegl, no início do século XX, “considerava que o objeto existe enquanto um elemento a ser preservado quando lhe é atribuído um valor histórico, artístico e cultural” (CUNHA, 2006 apud GRANATO; CAMPOS, 2013, p. 3). A questão da conservação seria igualmente tratada para todas as materialidades de patrimônio, desde que elas possuíssem uma certa antiguidade e simbolismo sentimental ou social.

Gustavo Giovannoni, em 1912, com a teoria do restauro científico, junto a Luca Beltrami e Camillo Boito, afirma que é necessário “antepor a conservação em relação à restauração, não a excluindo, mas aceitando-a com limitações e como forma de consolidação” (MACARRÓN, 2008 apud GRANATO; CAMPOS, 2013, p. 4). As discussões acerca do patrimônio e a diversidade de abordagens utilizadas nas restaurações, determinaram o surgimento de diversos documentos normativos, como as denominadas cartas patrimoniais.

A interdisciplinaridade dos processos analíticos aplicados ao patrimônio mudou a forma de sua avaliação. Segundo Ainsworth (2005), no campo da arte esta conexão foi primeiro concebida pelo nome de ‘Estudos Técnicos’ e depois por ‘História Técnica da

Arte'. Edward Forbes, conhecido como patrono da História Técnica da Arte, declarou em 1920: “Eu espero que algum dia a escola técnica possa ser estabelecida talvez em Harvard, onde pintores, restauradores e funcionários de museus possam aprender sobre a química nas pinturas e dos cuidados para com as obras, em princípios verdadeiramente científicos” (AINSWORTH, 2005, p.5, tradução nossa)¹³.

Em 1920, os americanos começaram a contribuir para o campo com publicações sobre a pesquisa de pátinas em bronzes antigos, assim como outras iniciativas do campo museológico, tais como a publicação de periódicos especializados como *The museum Journal*, *Mouseion* e *Curator*. Em 1928, Edward Forbes estabeleceu no *Fogg Museum*, o primeiro departamento para pesquisa em conservação dos Estados Unidos, contratando George L. Stout como coordenador do departamento e Rutherford J. Gettens como químico, estabelecendo assim uma equipe multidisciplinar (AINSWORTH, 2005).

Na década de 1930, antes da Segunda Guerra Mundial, surgiram estudos importantes relacionados às condições de meio ambiente em museus. Estes estudos influenciaram diversos trabalhos posteriores e o desenvolvimento do campo da Conservação Preventiva. Destacam-se alguns trabalhos como os de P. Coremans, G. Rosenberg, J. MacIntyre e F. I. G. Rawlins (FERNÁNDEZ, 2013), que ressaltaram questões chaves relativas à conservação preventiva, principalmente quanto à recomendações ideais de umidade relativa e sistemas de desumidificação. Provavelmente, as bases da conservação moderna foram lançadas quando, em 1930, o Escritório Internacional de Museus da Liga das Nações, criado em 1919 (FRONER; ROSADO, 2010), promoveu o primeiro encontro internacional para tratar dos princípios científicos da restauração em Roma. Em relação a esse evento, Froner informa:

Em outubro de 1930, quase 200 diretores de Museus, historiadores de arte e cientistas se reuniram em Roma em uma conferência internacional até então nunca vista. Promovida pelo Escritório Internacional de Museus da Liga das Nações, a conferência teria como propósito declarado o estudo de métodos científicos para o exame e a preservação de obras de arte. Esta reunião é sintomática: a Primeira Guerra Mundial já havia deixado suas marcas nos monumentos e nas obras de arte de toda a Europa; a Guerra Civil Espanhola não ficaria atrás na Península Ibérica e os primeiros anos da Segunda Grande Guerra anunciavam o que viria a ser a bárbara destruição de homens, ideias, livros e testemunhos históricos e artísticos. Sintomático, porque os agentes culturais envolvidos com a preservação de bens patrimoniais têm o hábito de se reunir e definir propostas quando assolados por catástrofes: a Carta de Atenas, estabelecida em 1931, surge a partir da iminência de

¹³ I hope that some day a technical school may be established, perhaps at Havard, where painters, restores, and museum officials may learn about the chemistry of paintings and the care of them, on truly scientific principles (AINSWORTH, 2005, p.5).

desastres nas ruínas da Acrópole e das prováveis degradações provocadas por uma outra guerra; a Carta de Veneza (1964), após uma inundação sem precedentes (FRONER, 2001, p.1).

Em 1931, outro encontro foi organizado em Atenas para debater sobre a restauração de monumentos arquitetônicos. Neste encontro, como resultado das discussões, optou-se por evitar a restauração e favorecer a conservação da autenticidade de monumentos históricos e recomendar um sistema regular e permanente de manutenção, calculado para assegurar a conservação dos edifícios. Para cumprir esse objetivo, o uso criterioso de fontes de tecnologia moderna, incluindo reforços de concreto, foi aprovado. Atenção especial foi dada para a cooperação internacional entre países no que diz respeito à assuntos técnicos, com a promoção de aspectos educacionais relacionados aos monumentos (CALDEIRA, 2005/6).

Em 1931, foi fundado o *British Museum's Research Laboratory*, com forte base científica, depois foi denominado de Departamento para conservação e pesquisa técnica e hoje em dia é conhecido como o Centro Straus para conservação e estudos técnicos (AINSWORTH, 2005, p.5). Como parte dos esforços para criação do departamento para pesquisa em conservação no *Fogg's Museum*, em 1932, foi estabelecido o jornal *Technical Studies in the Field of Fine Arts*. Segundo Ainsworth (2005), este fato auxiliou o estabelecimento da ciência da conservação como disciplina acadêmica.

O termo "ciência da conservação" é relativamente novo, e entrou em uso na década de 1980, sendo agora amplamente aceito dentro do campo do patrimônio cultural (HOUSE OF LORDS, 2006). Engloba os processos analíticos aplicados ao patrimônio, os estudos de controle ambiental, a busca por melhores e mais adequados materiais, dentre outros. Mais detalhes desta área serão discutidos mais a frente, ainda neste capítulo.

As consequências da Primeira Guerra Mundial foram enfrentadas por todos na Europa. Surgia a necessidade de se assegurar a proteção dos bens culturais, de forma mais eficaz. Dentre as instituições que surgiram para fazer frente aos novos desafios destaca-se o Instituto Central de Restauo (ICR) em Roma, criado em 1939 e dirigido por Cesare Brandi por décadas. A partir da experiência por ele acumulada nesse período, foi possível publicar a obra mais referenciada da teoria da conservação. Ressalta-se também as conferências dedicadas às ciências na conservação nesse mesmo período (FERNÁNDEZ, 2013).

Giulio Carlo Argan, durante a criação do ICR, definiu junto a Cesare Brandi os princípios da restauração moderna, também conhecido por restauro crítico. As ciências

tinham então papel definido durante o processo de conservação, com a limitação de prover informações essenciais ao restaurador e nunca substituindo-o. Além do ponto de vista estritamente conservativo para o tratamento das obras de arte, o restauro crítico simplesmente significava a transferência da atividade de restauração de uma esfera artística para uma crítica. O caráter científico da restauração era reconhecido como complementar à sensibilidade e competência história e técnica

A Segunda Guerra Mundial acelerou diversos processos de degradação, devido às condições inadequadas de guarda e acondicionamento dos bens culturais. As perdas daí provenientes levaram a uma maior conscientização da importância da conservação dos bens culturais. A partir do aprimoramento dos conceitos de restauro, consolidaram-se os procedimentos advindos da responsabilidade social do mundo pós-Segunda Guerra com referência à conservação preventiva (CALDEIRA, 2005/6).

Os estudos naquele momento eram, quase exclusivamente, com a finalidade de caracterizar a composição dos materiais das coleções. Este tipo de estudo foi o primeiro e segue sendo a primeira fase dos estudos científicos das coleções, pois é essencial na primeira instância conhecer a composição dos objetos e das técnicas de produção dos mesmos, para logo realizar estudos de processos de deterioração e promover medidas de conservação. Ao terminar a Segunda Guerra, as grandes destruições e perdas criam a consciência e necessidade de prestar atenção na preservação do patrimônio cultural. Assim aparecem novas iniciativas e são criadas instituições que testam e aplicam novas tecnologias aos estudos dos materiais do patrimônio cultural. Especialmente no campo da Arqueologia, as universidades realizam e promovem estudos dedicados a datar materiais e objetos, extrair aspectos das antigas tecnologias, reconhecer intercâmbios culturais e econômicos entre grupos humanos, etc.. Este momento abre também o campo das ciências para a área de restauração e o desenvolvimento de técnicas e de materiais para a mesma (TAGLE, 2008, p.30, tradução nossa).

Após a Segunda Guerra Mundial, a comunidade interessada na preservação dos bens culturais havia aumentado consideravelmente, a ponto de estabelecer suas próprias organizações, como, por exemplo, *The International Institute for Conservation of Historic Objects and Works of Art* (ICC) em 1950; *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property* (ICCROM), em 1959; e o *International Council of Museums* (ICOM), em 1946. Esses grupos ajudaram a divulgar e a aumentar o número de produções escritas dentro do campo. A formação dessas organizações vai

resultar em elementos reguladores do campo da conservação e restauro. Segundo Fernández:

Outro fato importante é que nesta década, em 1956, Harold J. Plenderleith, curador do laboratório científico do Museu Britânico, em Londres, que também era diretor do "Rome Centre" ou centro de Roma (1959-1969) mais tarde conhecido como ICCROM, publicou o livro *A Conservação de Antiguidades e Obras de Arte*, como Philip Ward disse anos mais tarde (1986): "a importância deste livro reside nos seus conteúdos de diagnóstico foi a primeira explicação sistemática dos mecanismos de deterioração, que continua sendo a base da conservação. Ele também demonstrou a possibilidade prática de prevenção e, juntamente com o conhecimento fornecido pela ciência de materiais para técnicas de restauração tradicional, moldou a nova disciplina da conservação (FERNÁNDEZ, 2013, p.33, Tradução nossa)¹⁴.

Estudos como o mencionado acima deixaram sua marca na construção do pensamento científico aplicado à conservação. Outros passos, como o questionamento dado às intervenções diretas em bens culturais também irão aos poucos se modificando em direção aos estudos interdisciplinares com as ciências.

O conceito de reversibilidade, segundo Caple (2000), estava baseado na confiança que as pessoas tinham desenvolvido no período pós-Segunda Guerra na capacidade da ciência e tecnologia em criar polímeros que solucionassem diversos problemas no campo da conservação e nos trabalhos do dia-a-dia (CAPLE, 2000). As guerras e as consequentes restaurações que os objetos e monumentos necessitavam levaram a um aumento no número de tratamentos restaurativos de artefatos. Como solução, conceitos como o da reversibilidade foram divulgados e aplicados, e métodos e materiais novos utilizados. Este conceito foi consagrado em 1961 pelo código de ética do AIC (*American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*) (CAPLE, 2000).

O conceito de reversibilidade ajudou a ressaltar a diferença entre a restauração e o reparo de objetos de arte. Com o uso do termo e o passar do tempo, ficou claro que aplicá-lo é virtualmente impossível e outros conceitos como os da mínima intervenção (CAPLE, 2000) e o caráter removível das intervenções realizadas foram aos poucos o substituindo. Caple relata sobre a passagem do conceito de reversibilidade para a mínima intervenção:

¹⁴ Otro hecho importante de esta década es que en 1956 Harold J. Plenderleith, conservador del laboratorio científico del Museo Británico de Londres, que también fue director del "Rome Centre" o Centro de Roma (1959-1969) después conocido como ICCROM, publicó el libro *The Conservation of Antiquities and Works of Art*, que como Philip Ward destacó años más tarde (1986): "La importancia de este volumen radica en su contenido diagnóstico: fue la primera explicación sistemática de los mecanismos de deterioro, que continúa siendo la base de la conservación. También demostró la posibilidad práctica de la prevención y, junto con los conocimientos aportados por la ciencia de los materiales a las técnicas tradicionales de la restauración, dio forma a la nueva disciplina de la conservación" (FERNÁNDEZ, 2013, p.33).

Enquanto a aspiração de fazer o mínimo necessário para preservar um edifício (ou objeto) pode ser claramente atribuída a William Morris (Morris, 1996) e os colegas que fundaram a Sociedade para a proteção de edifícios antigos em 1877, a frase usando o "mínimo de necessidades de intervenção" foi articulada por Cesare Brandi em 1963 (Brandi 1996; Vaccaro 1966b). A mínima intervenção recebeu destaque como uma abordagem ética para conservação na década de 1980, quando o conceito de reversibilidade estava declinando em uso (CAPLE, 2000, p.64-65, tradução nossa)¹⁵.

O conceito de mínima intervenção foi definido por Brooks (CAPLE, 2000, p.64-65) como "fazendo o mínimo possível, consistente com a segurança futura do objeto". Este foi descrito como o princípio minimalista por Hanssen-Bauer (1996), que considerava a união dos princípios da estabilidade, da reversibilidade e a mínima intervenção formando os guias para qualquer intervenção.

A partir da década de 1960, se criam diversos centros e seções em instituições públicas e/ou privadas visando a conservação científica e sistemática do patrimônio cultural por todo o globo. Destaca-se entre elas os laboratórios científicos de Winterthur e o Instituto Getty de Conservação (TAGLE, 2008, p.31).

Há poucas referências específicas ao patrimônio metálico. Existem documentos com critérios gerais que podem ser extrapolados em relação a determinados aspectos das intervenções, tais como limpezas, reposições, materiais utilizados, etc., mas geralmente se referem a outros materiais.

Várias Cartas Patrimoniais contribuíram dentre muitos aspectos para a consolidação da conservação preventiva e para estabelecimento e reconhecimento dos benefícios da interdisciplinaridade com as ciências. Ressaltam-se entre elas a Carta de

¹⁵ Whilst the aspiration of doing the minimum necessary to preserve a building (or object) can clearly be ascribed to William Morris (Morris 1996) and colleagues who founded the Society for the protection of ancient buildings in 1877, the phrase using the 'minimum of needs intervention' was articulated by Cesare Brandi in 1963 (Brandi 1996; Vaccaro 1966b). Minimum intervention received prominence as an ethical approach to conservation in the 1980s when the concept of reversibility was declining in use (CAPLE, 2000, p.64-65).

Atenas (1931)¹⁶, Recomendação de Nova Delhi (1956)¹⁷, Carta de Veneza (1964)¹⁸, Carta do Restauo (1972)¹⁹ e Carta da Itália (1987)²⁰, dentre outras citadas a seguir.

Na Carta de Atenas (1931), destaca-se a recomendação da adoção de diretrizes de caráter interdisciplinar e sua ampla divulgação. Esse fato evidencia, de certa forma, que a conservação preventiva começava, embrionariamente, a ser pensada por meio de alguns condutas científicas.

A recomendação sobre os princípios internacionais aplicáveis à escavações arqueológicas, conhecida como a recomendação de Nova Delhi (1956), aborda a necessidade de se ter um acompanhamento atento à restauração de vestígios arqueológicos e objetos descobertos e incentiva a promoção do respeito e a estima do público pelos vestígios do passado através da educação e de divulgação.

Na Carta de Veneza (1964), destaca-se a presença do conceito de conservação que reafirmou a importância dos bens culturais, enfatizando assim a presença de uma consciência preservacionista no campo. Caldeira relata ainda sobre a Carta de Veneza:

Essa Carta reafirma o caráter científico da conservação preventiva, ao definir a conservação como sendo disciplina responsável pela salvaguarda do patrimônio monumental por meio da manutenção permanente e da associação das técnicas proveniente de várias ciências. Esse caráter científico também pode ser verificado no artigo 16º desta *Carta*, onde é mencionado que as atividades práticas desenvolvidas pela conservação serão sempre documentadas em relatórios analíticos e críticos, ilustrados com desenhos e fotografias e colocados à disposição dos pesquisadores nos órgãos públicos (CALDEIRA, 2005/6, p.96).

A Carta do Restauo de 1972 é um documento normativo importante, tendo sido elaborado por determinação do governo italiano, acerca das normas e critérios de intervenção sobre os bens culturais. Destaca-se a definição de conservação preventiva

¹⁶Carta de Atenas, 1931. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201931.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

¹⁷Recomendação de Nova Delhi, 1956. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Recomendacao%20de%20Nova%20Dheli%201956.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

¹⁸Carta de Veneza, 1964. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

¹⁹Carta do Restauo, 1972. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauo%201972.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

²⁰Carta da Itália, 1987. Disponível em: <http://ipce.mcu.es/pdfs/1987_Carta_BienesMuebles-Italia.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2016.

(salvuarda) no artigo 4. Apesar do termo diferente, tal definição pode ser claramente considerada como um dos princípios da conservação preventiva. “Entende-se por salvuarda qualquer medida de conservação que não implique a intervenção direta sobre a obra” (CARTA DO RESTAURO, 1972).

A Carta Italiana de 1987 respalda a consolidação da conservação preventiva, ao definir conservação, preservação, salvuarda, manutenção e restauração²¹ por um viés preservacionista, no que tange à consolidação da Conservação como disciplina acadêmica. Segundo Caple:

Tem sido sugerido (Coremans 1969) que a Conservação não poderia existir como uma disciplina até que ela tivesse compreendido os conceitos éticos, articulados por Morris e SPAB²² em 1877, sobre a importância da evidência original do passado, e a necessidade de preservá-lo para gerações futuras. Igualmente não poderia existir até que houvesse uma aceitação generalizada da necessidade de explicar a deterioração em termos de reações químicas entre o objeto e o ambiente circundante, o trabalho que surgiu no final do século XIX, através dos esforços de Rathgen e outros. É também necessária a capacidade de analisar materiais, caracterizá-los em termos de composição elementar e forma microestrutural, e para desenvolver alguma compreensão do uso da evidência física para interpretar o passado (por exemplo, a disciplina de arqueologia), todos os quais também ocorreram durante o segunda metade do século XIX (CAPLE, 2000, p.55, tradução nossa)²³.

²¹ Conservação: conjunto de atuações de prevenção e salvuarda, direcionada a assegurar uma duração, que pretende ser ilimitada, para a configuração material do objeto considerado; Prevenção: conjunto de atuações de conservação, a mais longo prazo possível, motivadas por conhecimentos prospectivos, sobre o objeto considerado e sobre as condições de seu contexto ambiental; Salvuarda: qualquer medida de conservação e prevenção que não implique em intervenções diretas sobre o objeto considerado; Manutenção: conjunto de ações recorrentes nos programas de intervenção, encaminhadas a manter os objetos de interesse cultural em condições ótimas de integridade e funcionalidade, especialmente depois de que tenha sofrido intervenções excepcionais de conservação e/ou restauração; Restauração: qualquer intervenção que, respeitando os princípios da conservação e sobre a base de todo tipo de indagações cognoscitivas prévias, se dirija a restituir ao objeto, dentro do possível, uma relativa legibilidade e, onde seja necessário, o uso (CARTA DE 1987 DE LA CONSERVACION Y RESTAURACION DE LOS OBJETOS DE ARTE Y CULTURA).

²² O manifesto do SPAB (*Society for the Protection of Ancient Buildings*) foi escrito por William Morris e outros membros fundadores da Sociedade, neste manifesto mantém-se o ideal de restauração de edifícios antigos como "proteger os nossos edifícios antigos, e deixá-los como instrutivos e veneráveis aos que virão depois de nós." A maioria do manifesto é dedicado a atacar os esforços impensados e destrutivos de restauração que deixam o edifício uma "falsificação fraca e sem vida." O manifesto recomenda proteção ao invés de restauração, bem como resistindo adulteração com o tecido ou ornamento do edifício tal como está, defendendo "trocando decadência por cuidados diários."

²³ "It has been suggested (Coremans 1969) that Conservation could not exist as a discipline until it had grasped the ethical concepts, articulated by Morris and SPAB in 1877, of the importance of original evidence of the past, and the need to preserve it for future generations. Equally, it could not exist until there was a widespread acceptance of the need to explain decay in terms of the chemical reactions between the object and the surrounding environment, work which emerged in the late nineteenth century through the efforts of Rathgen and others. It also required the ability to analyze materials, characterize them in terms of elemental composition and microstructural form, and to develop some understanding of the use of physical evidence to interpret the past (i.e. the discipline of archeology), all of which also occurred throughout the latter half of the nineteenth century." (CAPLE, 2000, p.55)

Na Carta da conservação e restauro de objetos de arte e cultura de 1987, que renova, integra e substitui a Carta Restauro 1972, está incluso e define o bem de caráter antropológico como: obras de arquitetura e agregação urbana, ambientes naturais de interesse antropológico, fauna e geologia especial, ambientes "construídos", como parques, jardins e paisagens agrícolas, instrumentos técnicos, científicos e de trabalho, livros e documentos, testemunhos de usos e costumes de interesse antropológico, obras de configuração tridimensional, obras figurativas planas em qualquer tipo de apoio (pintura mural, papel, têxteis, líneo, pedra, metal, cerâmica, vidro, etc.).

A Carta do *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS) para a Proteção e Gestão do Patrimônio Arqueológico, conhecida como Carta de Lausanne²⁴ (1990), define o termo Patrimônio Arqueológico como aquele que representa a parte do patrimônio material para o qual os métodos arqueológicos proporcionam informação primária. Engloba todos os vestígios da existência humana e se refere a lugares onde tem sido praticado qualquer tipo de atividade humana, estruturas e abandonados de qualquer tipo, seja na superfície ou enterrado, ou vestígios subaquáticos e o material relacionado.

Na Declaração Internacional para a Proteção e Gestão do Patrimônio Cultural Subaquático, conhecida como a Declaração de Sofia²⁵ (1996), definem-se os objetivos científicos, as metodologias, as técnicas, as qualificações, as responsabilidades e as experiência necessárias para abordar tanto a conservação, proteção e gestão do sítio arqueológico, quanto os materiais recuperados.

O documento sobre os bronzes em ambientes externos²⁶ (2004), elaborado na conclusão da reunião BMC2004 *Conservazione dei monumenti em all'aperto bronzo: esperienze um confronto* elabora uma série de recomendações para a conservação de metais, ressaltando o caráter interdisciplinar de estudos preliminares a intervenção, o desenvolvimento do projeto de restauração, a inspeção e manutenção, a avaliação do projeto em si, e dá direções claras sobre os deveres de cada função. O documento coloca especial ênfase na reversibilidade dos materiais utilizados e na necessidade de se avaliar a pátina.

²⁴Carta de Lausanne, 1990. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Lausanne%201990.pdf>>. Acesso em: 03 mar. de 2016.

²⁵ Declaração de Sofia, 1996. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Declaracao%20de%20Sofia%201996.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

²⁶Documento sobre Bronzes em ambientes externos, 2004. Disponível em: <<http://www.ge-iic.com/files/2004%20documento%20final%20bronzes%20al%20exterior.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

A disciplina da conservação, como a conhecemos, não poderia ter existido muito antes da década de 1980. Apesar de suas bases estarem ligadas a atividades de limpeza e de conservação, ela não possuía a presença da investigação científica e da ética, características da conservação moderna.

1.3 - A Conservação Preventiva: um conceito recente

No século XX, a nova conservação científica, caracterizada como um movimento e não como uma teoria em si, defendia o emprego de técnicas e metodologias científicas na conservação. Dentro deste conceito, sobressai Garry Thomson com os primeiros esforços para sistematizar o controle de ambientes dentro de museus. Mais recentemente, Salvador Muñoz Viñas, em sua teoria contemporânea do restauro, faz a sistematização e a crítica dos conceitos dos teóricos anteriores. Nesta teoria, o interesse primário está nos sujeitos e não mais nos objetos (GRANATO; CAMPOS, 2013), o que fica ressaltado no trecho a seguir:

Nessa “teoria contemporânea” a noção de verdade é substituída pela comunicação, que pode traduzir-se de formas diferentes: significância, simbolismo, conotação cultural, metáfora etc. Os objetos de interesse da preservação têm, portanto, em comum sua natureza simbólica, todos são símbolos e todos têm um potencial de comunicação, seja de significados sociais, seja de sentimentais. A verdade deixa de ser o critério de orientação da conservação. O conservador não deveria impor a verdade, mas sim facilitar a leitura do objeto para melhor compreendê-lo e para favorecer seu potencial de comunicação (GRANATO; CAMPOS, 2013, p. 5).

Desta forma, as decisões sobre conservação e restauração seriam tomadas também com a participação dos principais afetados, através de um processo democrático conduzido por representantes sociais e profissionais qualificados e pretende estabelecer relação dialógica e não impositiva entre as ideias do conservador, do restaurador, do político, do cliente, do cientista e outras pessoas afetadas.

No início do século XXI, a conservação preventiva é o conceito principal a ser considerado e se caracteriza como um fator influente na pesquisa científica, como o estudo do objeto, dos processos de degradação, das técnicas aplicadas a ele, assim como de outros sistemas preventivos (GRANATO; CAMPOS, 2013).

A conservação é uma prática antiga, que engloba técnicas e conceitos os quais foram consolidados em um conjunto de ações e intervenções precisas e bem definidas no século XX, cada vez mais especializadas. Dentre essas, a conservação preventiva é a

mais recente. Em 1967, destaca-se a conferência *Museum Climatology*, em Londres, organizada pelo *International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works* (IIC, 2012). Este evento deu destaque ao tema dentre os profissionais da área da conservação.

Nos anos 1970, o aumento dos problemas relacionados à climatização de galerias de exposição levou Garry Thomson a explorar as degradações causadas pela iluminação nas coleções expostas. “Foi com base nesse entendimento que o autor afirma que “Um mau restaurador pode destruir um objeto em um mês, mas um mau conservador pode destruir uma coleção inteira em um ano”²⁷ (ALARCÃO, 2007, p.9, tradução nossa). Em 1978, com a publicação do livro ‘The Museum Environment’, o autor aborda, pela primeira vez de maneira sistemática, os problemas referentes à climatização em museus, demonstrando a importância do controle da luz, da temperatura e da umidade incidente sobre as coleções (HOMEM, 2013, p.83).

As práticas da conservação preventiva foram vinculadas intrinsecamente às dos museus, uma vez que dentre as funções do museu se encontra a conservação do patrimônio e sua salvaguarda. A conservação preventiva se tornou um elemento essencial para o funcionamento dos museus. Ressalta-se, no entanto, que essa prática não se limitou aos museus, é possível identificá-la em diversas outras instituições de preservação do patrimônio.

Foi Gäel de Guichen o primeiro a utilizar a expressão ‘Conservação Preventiva’. Segundo o autor:

Onde ontem um enxergou objetos, hoje ele deveria enxergar coleções. Onde um enxergou salas, ele deveria enxergar prédios. Onde um viu objetos, ele deveria ver equipes. Onde ele viu despesas de curto prazo, deveria ver investimentos em longo prazo. Onde um viu ações diárias, ele deveria ver projetos e prioridades. Conservação Preventiva significa retirar o seguro de vida das coleções de museus (GUICHEN, 1995, p.4, tradução nossa)²⁸.

O grande lema “Conservar para não restaurar” vai se consolidar na década de 1970, a qual foi marcada pelo impacto da aceleração do processo de expansão industrial e crescimento descontrolado dos grandes centros urbanos. Ressalte-se a necessidade

²⁷ Un mauvais restaurateur peut détruire un objet par mois. Un mauvais conservateur peut détruire une collection entière en un an (ALARCÃO, 2007, p.9).

²⁸ Where yesterday one saw objects, today one should see collections. Where one saw rooms, one should see buildings. Where one saw a person, one should see teams. Where one saw short-term expenditure, one should see long-term investment. Where one saw day-to-day actions, one should see programme and priorities. Preventive conservation means taking out a life insurance for museum collections (GUICHEN, 1995, p.4).

de os profissionais da conservação desenvolverem novas alternativas, para solucionar novos problemas.

Outro conceito que vai permear o campo da conservação é a noção de ‘menos é mais’ (*less is more*), desenvolvido na Inglaterra. Essa ideia contribuiu para o enfraquecimento da utilização dos meios de reconstrução como tendência generalizada e ofereceu meios propulsores ao estabelecimento da conservação preventiva, sustentada pelos seguintes princípios fundamentais: fim do mito de reversibilidade de todo o tratamento, o princípio de máximo respeito e mínima intervenção e a necessidade de uma ética nos trabalhos (CALDEIRA, 2005/6). Desse modo, as palavras prevenir, planejar e evitar se tornaram parte do conceito de conservação preventiva.

Os diversos problemas de degradação, tanto intrínsecos quanto extrínsecos, a serem combatidos pela conservação preventiva, fazem com que cada vez mais a interdisciplinaridade seja considerada como componente essencial do campo, Este tópico será melhor abordado no próximo item desse capítulo. A possibilidade de trabalhos cada vez mais amplos levou ao desenvolvimento da disciplina. Solidamente, a conservação preventiva surgiu como campo de trabalho e pesquisa científica, nos Estados Unidos, na década de 1980 (CALDEIRA, 2005/6). A partir dessa época, estabeleceu-se como atividade responsável por todas as ações tomadas para retardar a deterioração e prevenir danos aos bens culturais, por meio da provisão de adequadas condições ambientais e humanas.

Destaca-se nesse contexto a publicação *The nature of conservation: a race against time* de 1986, de autoria de Phillip Ward. Um marco na consolidação das disciplinas de conservação e conservação preventiva. O texto apresenta um ponto de vista, no qual a conservação se mostra de forma cronológica, destacando-se as questões principais quanto à função do museólogo e do conservador-restaurador, além do papel do museu perante as dificuldades pertinentes ao processo de conservação preventiva

Nesse período, em 1985, cria-se uma instituição fundamental para a conservação preventiva, o *Getty Conservation Institute* (GCI), uma entidade sem fins lucrativos, que trabalha internacionalmente para o avanço da conservação aplicada por meio da investigação, educação, trabalho de campo e difusão do conhecimento. O GCI é um dos mais importantes centros de pesquisa em conservação e restauro do mundo

No final do século XX, é possível verificar uma especialização do conservador-restaurador, que contempla não só o lado artístico, histórico e documental, mas também o lado científico. A indispensabilidade da compreensão, tanto dos materiais constituintes

e usados nas intervenções, bem como quanto ao ambiente de guarda, teve como resultado a proposição de um espaço acadêmico e de trabalho no desenvolvimento deste tipo de profissional.

O conservador cientista realiza pesquisas no campo da preservação e em prol do entendimento do patrimônio. Eles agem como mediador e intérprete entre todos os profissionais do campo, incluindo acadêmicos, historiadores, curadores de museus etc. A publicação *Science and Heritage: Report with Evidence* pela *House of Lords* relata aspectos relacionados a esse profissional:

Cientistas da conservação aplicam: pesquisas de materiais publicadas, técnicas de análise independentemente desenvolvidas, desenvolvimentos em sensores, detectores e técnicas de imagem, estudos em poluentes ambientais, conhecimento de manufaturas históricas e processos de produção, e os últimos desenvolvimentos na ciência dos polímeros, entre outros. Seus conhecimentos tem que ser extensivos, interdisciplinares e multifacetados. A ciência que define um número de tratamentos de conservação do passado, e mesmo do presente, não é ainda totalmente compreendida. Cientistas da conservação investigam, melhoram e criticam processos de conservação. Eles desenvolvem e adaptam métodos analíticos e de examinação existentes para obras de arte e prédios antigos, frágeis e únicos (HOUSE OF LORDS, 2006, p.176)²⁹.

Na segunda metade do século XX, as atividades científicas aplicadas ao campo do patrimônio se concentraram em desenvolver métodos e realizar estudos de autenticação, datação, elucidação de tecnologias antigas, etc. Este enfoque dá lugar ao estabelecimento da especialidade da Arqueometria dentro do campo das ciências no patrimônio. Os trabalhos paralelos que enfocam os estudos de processos de deterioração, determinação de parâmetros de danos aos materiais, seus produtos de deterioração, o estabelecimento de novas técnicas e materiais para a restauração estabelecem outro ramo de especialização a ciência da conservação (TAGLE, 2008, p.31).

O termo ciência da conservação é relativamente novo e começou a ser usado na década de 1980 e engloba a Arqueometria. Seu objetivo é a preservação de artefatos e materiais para além da sua vida natural, sendo necessário o entendimento do processo de deterioração e condições ambientais. A maioria dos bens culturais são produtos de

²⁹ Conservation scientists apply published materials research, independently developed analytical techniques, developments in sensors, detectors and imaging techniques, studies in environmental pollutants, knowledge of historical manufacturing and production processes, and the latest developments in polymer science, among others. Their knowledge has to be extensive, inter-disciplinary and multi-faceted. The science that underpins a number of past and even present conservation treatments is not fully understood. Conservation scientists investigate, improve and critique conservation processes. They develop and adapt existing analytical and examination methods to aged, fragile and unique artworks and buildings (HOUSE OF LORDS, 2006, p.176).

tecnologias pouco conhecidas e mal documentadas, de indústrias no passado. A ciência da conservação pesquisa essas técnicas, para diversos fins, tais como a identificação de materiais, técnicas, etc., contribuindo assim de forma direta para a preservação desses bens. Mesmo no campo de materiais modernos, que são cada vez mais encontrados em coleções de museus e bibliotecas, a pesquisa é mais preocupada com a melhoria do produto do que com a preservação do produto em longo prazo (HOUSE OF LORDS, 2006, p.176).

Em 2000, a conservação preventiva foi declarada “pedra angular de todas as políticas europeias de preservação do patrimônio” (ALARCÃO, 2007, p.15). Este ato sacramenta os esforços das últimas três décadas pelos profissionais através de ensaios, sensibilização, formação, por parte de laboratórios, universidades, museus, arquivos e instituições dedicadas à proteção e conservação do patrimônio cultural (ALARCÃO, 2007, p.15).

Com seus encontros trienais desde 1984, destaca-se o papel do Comitê para Conservação do Conselho Internacional de Museus - ICOM-CC, que em 1996, depois da 11ª Reunião Trienal do ICOM, em Edimburgo, criou um grupo específico para os problemas de conservação preventiva (FERNÁNDEZ, 2013). A partir da década de 1990, a conservação preventiva ficou conhecida pelo desenvolvimento de técnicas e teorias, pensando nos processos de degradação e, principalmente, nas possibilidades de convergência entre as áreas de trabalho.

Ainda na década de 1990, não se pode deixar de mencionar alguns aspectos fundamentais relacionados ao tema: o trabalho em equipe e a abordagem multidisciplinar. O ICCROM liderou um projeto chamado *Teamwork for Preventive Conservation*, com onze museus participantes de nove países europeus (FERNÁNDEZ, 2014). Na justificativa da proposta constava: “o objetivo da conservação preventiva é reduzir a deterioração e manter a integridade das coleções acessíveis em museus, para garantir a sua disponibilidade para a sociedade de hoje e do futuro” ³⁰ (FERNÁNDEZ, 2014, p.8, tradução nossa).

A história da conservação preventiva se caracteriza pela intensa integração entre as ciências e o mundo dos museus, destacando assim o trabalho entre as equipes. Em 1992, o III Colóquio Internacional de ARAAFU (Associação de Restauradores de Arte e

³⁰ El propósito de la conservación preventiva es reducir el deterioro y mantener la integridad de las colecciones en museos de manera as equible, para asegurar su disponibilidad para la sociedad actual y en el futuro (FERNÁNDEZ, 2014, p.8).

de Arqueólogos de Formação Universitária) aconteceu em Paris, sendo considerada a primeira reunião europeia sobre tema (FERNÁNDEZ, 2014).

Em 1994, em Ottawa, aconteceu o Congresso do Instituto de Conservação Canadense (ICC), um evento que marcou um ponto decisivo na disciplina. Cientistas, restauradores e profissionais se reuniram para apresentar os avanços das ciências e a aplicação no campo (FERNÁNDEZ, 2014). Em 1999, uma edição da revista *Mouseion*, dedicada à conservação preventiva, levou à consolidação das tendências levantadas no congresso de 1994 e nos anos subsequentes. Dentre os artigos, destaca-se o escrito por Gaël de Guichen, no qual ele aborda os objetivos da disciplina. A partir desse texto destaca-se:

A conservação preventiva envolve mudar a antiga mentalidade de que o objeto de ontem se torna a coleção hoje, a sala em edifício, o indivíduo na equipe, o presente no futuro, os profissionais no público, e no sentido mais amplo da palavra, o secreto em comunicação, e o como em por quê (GUICHEN, 1999, p. 5-6, tradução nossa)³¹.

Ainda em 2000, a Comissão Europeia, no âmbito do Programa Raphael³², organiza uma reunião em Vantaa (Finlândia). O documento final produzido nessa reunião contém em seu preâmbulo a afirmação de que:

museus europeus têm sido líderes no desenvolvimento da teoria e prática da conservação preventiva: a gestão multidisciplinar para reduzir a perda de patrimônio cultural para o benefício da sociedade. Conservação preventiva é um elemento essencial de qualquer política europeia sobre a conservação do patrimônio³³ (FERNÁNDEZ, 2014, p.9, tradução nossa).

Hoje em dia, a conservação preventiva é um conceito com uma abordagem abrangente, que cobre todas as medidas tomadas para prolongar a vida útil de objetos por meio da prevenção contra a deterioração natural ou acidental. O objetivo é aumentar

³¹ La conservación preventiva implica cambiar la antigua mentalidad para que el objeto de ayer se convierta en la colección de hoy, la sala en el edificio, el individuo en el equipo, el presente en futuro, los profesionales en el público en el más amplio sentido de la palabra, el secreto en comunicación, y el cómo en el por qué (GUICHEN, 1999, p. 5-6).

³² O programa Raphael para financiar projetos da cultura patrimonial (*Raphaël Programme to Fund Cultural Heritage Projects*), apoia a preservação do patrimônio cultural em muitas formas, incluindo sítios arqueológicos, monumentos e as artes visuais. A lista dos projetos financiados inclui (1) Urgente-nitrato não pode esperar, visando a preservação de arquivos de filmes em nitrato em cinco países, (2) um projeto para digitalizar mapas do século 17, desenhos e gravuras de Roma, Estocolmo e Stuttgart, e (3) Terpsychore, um projeto para criar uma rede internacional para a preservação de registros audiovisuais de dança na Europa. Mais informações podem ser encontradas no site: <http://cordis.europa.eu/news/rcn/9322_en.html>.

³³ los museos europeos han sido líderes en el desarrollo de la teoría y la práctica de la conservación preventiva: la gestión multidisciplinar para reducir la pérdida de patrimonio cultural en beneficio de la sociedad. La conservación preventiva es elemento primordial de cualquier política europea en materia de conservación del patrimonio (FERNÁNDEZ, 2014, p.9).

a expectativa de vida do objeto, projetar, planejar e implementar sistemas e procedimentos para garantir a proteção efetiva dos acervos.

Segundo a publicação *Vade-mecum de la conservation préventive*, do *Center for Research and Restoration of Museums of France - C2RMF*, a conservação preventiva exige diversas posturas, tais como pensar a coleção e não o objeto; o edifício e não a sala; no conjunto de fatores degradantes ao invés de um único fator; no período como um todo, ou seja pensar uma semana, um ano, dez anos e não um único dia; na equipe e não no indivíduo; no investimento em longo prazo, ao invés de investimento imediato (C2RMF, 2006). Estabelece-se assim um pensamento do geral para o singular, relacionado a todo o entorno e aos locais de acondicionamento e exposição dos bens culturais.

Atualmente, diversos trabalhos se articulam no tema controle ambiental em instituições voltadas para a conservação preventiva dos bens culturais, entretanto, as publicações não se limitam a esse tema. A conservação preventiva constitui-se num grande passo em direção ao trabalho interdisciplinar efetivo no campo da conservação. Os estudos minuciosos e científicos dos materiais constituintes dos objetos, da tecnologia envolvida, do ambiente de guarda e dos processos de degradação, permeiam a área de várias formas. A interdisciplinaridade, como dito anteriormente, evidencia-se como característica básica nas operações de conservação preventiva, ela será definida no próximo subcapítulo.

1.4 - A Herança da Interdisciplinaridade

Ressalta-se aqui a importância da interdisciplinaridade no processo de preservação, explicado por Avrami, Manson e Torre como apresentado a seguir:

Profissionais trabalhando no campo da conservação, considerado de forma mais ampla, são originários das ciências, artes, ciências sociais, ciências humanas e outras áreas - refletindo o fato de que a conservação do patrimônio é realmente um esforço multidisciplinar. Mesmo assim, na prática, a colaboração interdisciplinar por vezes não é alcançada. Se alguém fosse mapear, de forma simples e geral, o formato atual da política e da prática da conservação, seria possível encontrar um caminho bastante linear com diferentes grupos de profissionais atuando em etapas distintas ao longo do caminho (AVRAMI; MANSON; TORRE, 2000, p. 3, tradução nossa)³⁴.

³⁴ Professionals working in the broader conservation field are drawn from the sciences, the arts, the social sciences, the humanities, and other areas — reflecting the fact that heritage conservation is truly a

Destaca-se aqui a relação das ciências com o patrimônio, expressada através da utilização de processos analíticos, para caracterização de materiais e práticas ligadas à confecção/fabricação dos bens culturais. Para tal, conceitos e práticas ligados às disciplinas de química, física, engenharia, dentre outras, são aplicados nas pesquisas realizadas na conservação e restauro, através dos procedimentos necessários para melhor caracterizar e conhecer os bens culturais em estudo e os processos a serem utilizados em sua conservação. Assim, o conceito de interdisciplinaridade é fundamental dentro desta pesquisa. Pinheiro e Granato (2012) o definem como uma possível estratégia pedagógica e epistemológica desenvolvida para responder aos diferentes problemas de uma determinada área, cuja resposta ou solução demanda conhecimentos oriundos de diferentes áreas (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.29).

Japiassu (1976, p. 53-54) também apresenta sua visão sobre interdisciplinaridade: “antes de tudo, como o esforço de reconstituição da unidade do objeto que a fragmentação dos métodos indevidamente pulveriza”. Já Olga Pombo:

ao analisar e discutir o vocabulário sobre interdisciplinaridade, enfoca também uma pluralidade de termos ou “família de palavras”, incluindo variações terminológicas e conceituais como interdisciplinaridade estrutural, unificadora, interdisciplinaridade de engrenagem, restritiva, com as respectivas explicitações. Para a autora, há um continuum nesses conceitos, por nós percebidos como semelhantes aos de Japiassu, a começar pela coordenação (pluridisciplinaridade), passando pela combinação (interdisciplinaridade) e chegando à fusão (transdisciplinaridade). A partir de categorias divididas em ciência de fronteiras, interdisciplinas e interciências são identificadas as disciplinas que responderiam às particularidades de cada uma (POMBO, 2003 apud PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.30).

Outro ponto de vista relevante sobre a interdisciplinaridade é o de Julie Tompson Klein (1996), “Para ela, a prática interdisciplinar ou [...] o trabalho de fronteira é um conjunto composto por reivindicações, atividades e estruturas institucionais que definem e protegem o exercício do conhecimento” (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.30). Entende-se então por interdisciplinaridade neste trabalho as práticas entre duas ou mais disciplinas diferentes que trabalham em prol da busca por soluções de problemas complexos, em nosso caso no campo da preservação. Nesta dissertação, a interdisciplinaridade é apresentada através da análise teórica e uso dos processos analíticos no campo da preservação.

multidisciplinary endeavor. All the same, in practice, interdisciplinary collaboration is not often achieved. If one were to map, simply and generally, the current shape of conservation policy and practice, one would find a rather linear path with different groups of professionals engaged in distinct steps along the way (AVRAMI, MANSON, TORRE, 2000, p. 3).

A expansão do papel das pesquisas tecnológicas, após a Segunda Guerra Mundial, sobre o patrimônio acresce a prática da conservação, incorporando diversos procedimentos das ciências exatas (PINHEIRO, GRANATO, 2012). O emprego dos procedimentos analíticos no campo da preservação proporcionam diversos resultados que serão utilizados nas pesquisas do campo, fundamentando assim teorias e processos. A contribuição das ciências é vasta. Salvador Muñoz Viñas ressalta o papel da ciência pura e fundamental:

Mesmo a ciência fundamental é potencialmente útil para os restauradores e pode ter impacto sobre seu trabalho da mesma forma que sobre outros campos: por exemplo, também os trabalhos matemáticos de Fourier ou as investigações de Bohr da estrutura do átomo, influenciaram substancialmente na Restauração científica (VIÑAS, 2014, p. 125, tradução nossa)³⁵.

Interações entre os campos ligados a conservação podem ser notadas, com o objetivo de elucidar e/ou estudar mais profundamente os desafios na preservação. Parte desses esforços vai culminar na transformação da conservação, que inicialmente constituía-se em uma profissão de conhecimento empírico, em uma disciplina baseada em método (CAMPOS; GRANATO; GOMES, 2012, p.33). Esta relação descrita acima é evidência dos aspectos da interdisciplinaridade. Salvador Muñoz Viñas afirma que as ciências aplicadas à restauração, também conhecida como ciência da restauração, não são propriamente restauração, mas um ramo da ciência que lida com as questões levantadas pela conservação (VIÑAS, 2014, p. 125). Desta relação destaca-se a restauração científica que, segundo Muñoz Viñas:

é essencialmente uma forma de restauração que se caracteriza pela base nos conhecimentos gerados ou avaliados a partir do campo científico, tanto na hora de se estabelecer os proto-estados. como na hora de selecionar e aplicar materiais e procedimentos técnicos. É, portanto, ao contrário do que poderia ser chamado de restauração subjetiva, restauração intuitiva ou restauração artesanal, que se fundamentam nos conhecimentos de caráter pessoal e muitas ocasiões em técnicas de tentativa e erro: Um tipo de restauração no qual cada restaurador utiliza materiais com que ele se sente mais confortável, desenvolve suas próprias técnicas de trabalho e aplica critérios técnicos com base em sua própria experiência. Confrontados com a experiência pessoal, a restauração científica recorre a técnicas científicas de conhecimento sistematizadas e repetíveis (VIÑAS, 2014, 127, tradução nossa)³⁶.

³⁵ Incluso la ciencia fundamental es potencialmente útil para el restaurador y puede repercutir sobre su trabajo de la misma manera que repercute sobre otros muchos campos: por ejemplo, también los trabajos matemáticos de Fourier o las investigaciones de Bohr sobre la estructura del átomo han influido de forma sustancial sobre la Restauración científica (VIÑAS, 2014, p. 125).

³⁶ la restauración científica es esencialmente una forma de restauración que se caracteriza por basarse en conocimientos generados o avalados desde ambitos científicos, tanto a la hora de establecer los

A inter-relação entre as ciências e a preservação pode ser apresentada de diversas formas e em diversos graus, como por exemplo, através da aplicação de princípios científicos ao trabalho prático e intelectual da restauração, o que pode ocorrer nas análises organolépticas³⁷ ou na observação de amostras através de ferramentas auxiliares simples (microscópios, lupas, etc.), ou ainda procedimentos analíticos mais específicos aplicados em laboratórios (espectroscopia, difratometria, microscopia, etc.) (VIÑAS, 2014, p. 123-125). A aplicação desses procedimentos científicos se dá não só pela necessidade de uma investigação das características físicas do objeto, mas também dos materiais utilizados no restauro e sua relação com a degradação natural do objeto.

As contribuições da ciência, que começaram com a química analítica, foram incluindo, posteriormente, outros ramos como: a síntese do produto, a termodinâmica, as técnicas de documentação eletrônica, dentre outras (TAGLE, 2008, p.27). Cada vez mais projetos de investigação científica têm sido desenvolvidos, destacando sempre a interdisciplinaridade, integrando as diversas áreas do conhecimento. São muitos os campos que se relacionam com a preservação do patrimônio. Campos, Granato e Gomes escrevem sobre esta relação:

Em articulação, Química, Ciência dos Materiais e Física propiciam um conhecimento da matéria constituinte dos bens culturais que possibilita identificar agentes de deterioração e estimar velocidades de degradação, fundamentais para o conhecimento dos processos e para o desenvolvimento de metodologias de preservação para os bens. Além disso, possibilitam a identificação e constituição de produtos que podem ser utilizados na conservação do patrimônio cultural, avaliando suas interações, possíveis danos e possibilidades de remoção sem comprometimento do bem (CAMPOS; GRANATO; GOMES, 2012, p.34).

Essas relações interdisciplinares, reconhecidas no campo da preservação, podem ser entendidas através da existência de intercâmbio entre profissionais de diferentes campos do conhecimento, que atuam conjuntamente em prol de um fim comum.

Tem-se assim um apanhado geral das possibilidades interdisciplinares que serão aprofundadas nos próximos capítulos. Philip Ward, em seu livro *The Nature of Conservation: a race against time*, fala sobre as aplicações das ciências na conservação

protoestados como a la de seleccionar y aplicar materiales y procedimientos técnicos. Se opone así a lo que podría denominarse restauración subjetiva, restauración intuitiva o restauración artesana, que se fundamenta en conocimientos de carácter personal y en muchas ocasiones en técnicas de prueba-y-error: un tipo restauración en el que cada restaurador emplea los materiales con los que él se siente más cómodo, desarrolla sus propias técnicas de trabajo y aplica criterios técnicos basados en su propia experiencia. Frente a la experiencia personal, la restauración científica recurre a técnicas científicas de conocimiento y evaluación, sistematizadas y repetibles (VIÑAS, 2014, p.127).

³⁷ Observação direta através dos sentidos (visão, tato, olfato, etc.).

e as divide em três categorias: Exame e análise; Deterioração e estudos ambientais; e Pesquisa para melhorar métodos e materiais. Sendo estas categorias vinculadas a duas necessidades: a demanda imediata de informação, por exemplo a identificação de materiais, e a demanda em longo prazo, através das pesquisas como, por exemplo, o tratamento de materiais arqueológicos submersos (WARD, 1986, p.29). A herança do trabalho interdisciplinar da conservação preventiva e a introdução dos métodos científicos em prol dos estudos de deterioração podem ser acrescentados à responsabilidade pelo sucesso da aplicação das análises científicas a patrimônios.

No contexto brasileiro, notam-se, nos últimos anos, diversos investimentos públicos e privados para a conservação e a restauração de bens culturais. Entretanto, é evidente a necessidade da formação profissional especializada, além da consolidação de grupos de pesquisa em ciência e tecnologia que possam, efetivamente, contribuir para o sucesso das ações de conservação.

Podendo ser utilizados em conjunto ou isoladamente, os procedimentos analíticos servem a vários propósitos no que tange ao estudo dos materiais que compõem os acervos. Entre eles destacam-se: entender como as obras do patrimônio cultural foram elaboradas, conhecer os mecanismos das alterações que sofreram e estimar sua importância, assim como definir uma estratégia de restauração e conservação, a fim de transmitir os bens culturais no melhor estado possível para as gerações futuras. A interdisciplinaridade é parte determinante das questões patrimoniais. Segundo Granato e Câmara (2008):

Tradicionalmente, um setor que tem possibilitado intercâmbios produtivos entre a ciência, a tecnologia e o patrimônio é o de procedimentos de conservação e restauro de bens culturais. Nessa relação, diversas pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos têm sido realizados, a partir da interação entre profissionais da conservação e cientistas e tecnólogos, propiciando instrumentos que auxiliam para a melhor compreensão e entendimento dos objetos e para o diagnóstico de conservação dos mesmos (GRANATO; CAMARA, 2008, p.182).

Ressalto que esses procedimentos oriundos das ciências exatas e biológicas podem ajudar a compreender e resolver questões, mas não deveriam estabelecer certezas ou verdades absolutas. Cada bem cultural é constituído por um ou mais materiais, tendo sido criado com técnicas particulares e se situa em um determinado lugar, exposto a fatores de deterioração em maior ou menor intensidade, mesmo que dentro de reservas técnicas.

O estado de desenvolvimento atual, e em particular o avanço das tecnologias de informática, nas últimas décadas, oferece instrumentos que permitem processar uma imensa quantidade de dados, imprescindíveis para integração das áreas do saber que contribuem para a preservação do patrimônio cultural. É necessário utilizar estes meios para alcançar um enfoque integral para as estratégias presentes e futuras na conservação e valorização dos bens do patrimônio cultural (TAGLE, 2008, p.28).

Faz-se necessário compreender sempre o máximo possível do comportamento dos constituintes materiais dos bens culturais. O primeiro passo para isso é fazer um diagnóstico, ou seja, uma análise dos materiais e a identificação de patologias e de eventuais mecanismos de deterioração, objetivando a apresentação de possíveis soluções. Em razão disso, empregam-se procedimentos analíticos variados que dependem da natureza do bem, de sua estrutura física, de seu tamanho e de sua localização. Sobretudo, da informação analítica desejada, do grau de precisão, da complexidade de matriz em exame e da possibilidade de realizar uma amostragem para uma análise destrutiva e/ou uma análise com caráter não destrutivo.

Em todo o processo interdisciplinar com cerne na preservação do patrimônio, um dos principais obstáculos tem sido a falta de comunicação efetiva entre cientistas e profissionais encarregados de tarefas de conservação e restauro. Apesar desta dificuldade real, o campo avançou substancialmente, incorporando nas práticas de conservação os avanços desses campos (TAGLE, 2008, p.32). A falta de comunicação afirmada anteriormente é na prática um ruído entre as diversas linguagens dos campos que em suas bases são diferentes, mais que encontram no objetivo em comum, um contexto para coabitar e se completar. Tagle destaca ainda:

No campo das análises físico-químicas tem havido um progresso substancial na concepção e introdução de novas técnicas. Novos produtos foram e são desenvolvidos para melhorar o tratamento e as soluções propostas para a conservação. A complexidade dos problemas abordados exigem cada vez mais uma expansão da visão e horizonte, assim como o fazer dos estudos interdisciplinares uma premissa essencial (TAGLE, 2008, p.33, tradução nossa).³⁸

O papel da ciência é cada vez mais bem definido em sua relação com os processos de conservação, não só porque pode envolver a identificação de um material

³⁸ En el campo del análisis químico-físico se ha avanzado sustancialmente en el diseño y en introducción de nuevas técnicas. Nuevos productos han sido y son desarrollados para mejorar los tratamientos y las soluciones propuestas para la conservación. La complejidad de los problemas abordados requiere cada vez más de una expansión de la visión y del horizonte, así como de hacer la de interdisciplinaridad de los estudios una premisa esencial. (TAGLE, 2008, p.33)

específico, mas no sentido de avaliar, juntamente com outros especialistas, os efeitos dos fatores identificados nos valores e na vida de objetos e coleções. O trabalho interdisciplinar permite identificar quão importante é seu impacto sobre os valores, o quanto pode ser feito, quando e como, auxiliando diretamente no desenvolvimento de estratégias de investigação mais objetivas e na tomada de decisão. Mohen discute sobre os resultados da interação entre essas disciplinas:

As consequências da abordagem científica ao patrimônio cultural são numerosas e mudam a própria natureza deste patrimônio, que não mais somente transmite, mas explora e descobre o seu tempo gasto no longo prazo, o que induz a sua realidade presente e seu futuro virtualmente durante combinações mais ou menos cíclicas, como os climas ou as revoluções regulares das estrelas (MOHEN, 1999, p.100, tradução nossa)³⁹.

Os desafios da interdisciplinaridade, em nosso contexto, possibilitam hoje mais do que a simples relação entre campos científicos e o patrimônio. As pesquisas lideradas neste tema desenvolvem não só resultados para as questões propostas. Também há o desenvolvimento de novos materiais e novas formas de análise que se adequam melhor ao estudo do patrimônio, funcionando em ambas as direções.

No Capítulo seguinte serão abordados aspectos relacionados aos bens culturais constituído no todo ou em parte de metais. Em especial, serão focalizados aqueles pertencentes ao patrimônio cultural de Ciência e Tecnologia.

³⁹ Les conséquences de l'approche scientifique de l'héritage culturel sont multiples et modifient la nature même de cet héritage qui n'est plus seulement transmis mais exploité et découvert dans sa durée passée dans le long terme, ce qui induit sa réalité présente et sa virtualité future, lors d'enchainements plus ou moins cycliques, comme celui des climats ou celui des revolutions régulières des astres (MOHEN, 1999, p.100).

CAPÍTULO 2

OS METAIS E OS ACERVOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

2. OS METAIS E OS ACERVOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

2.1 - Propriedades e Características dos Metais

Uma vez que o objetivo desta dissertação está circunscrito pela materialidade dos objetos metálicos, faz-se necessário melhor definir o que se entende como metal. Na tabela periódica de elementos⁴⁰, os metais estão subdivididos em 5 grupos, sendo eles: Metais Alcalinos; Metais Alcalinos Terrosos, Metais de Transição, Metais Representativos e Semimetais.

Um metal é qualquer elemento químico que apresente as seguintes características: ser um bom condutor de calor e eletricidade; ser normalmente lustroso; ser um sólido maleável (ou seja, que possa ser dobrado, martelado, desenhado, ou puxado sem que quebre); ser fundido e colocado em moldes e que forme íons positivos em solução quando dissolvidos em água (SELWYN, 2004, p.5). Com essas características, a maior parte dos elementos da tabela periódica é classificada como metal. Scott esclarece sobre a definição dos metais:

Os metais são uma agregação de átomos que, além do mercúrio, são sólidos à temperatura ambiente. Estes átomos são mantidos juntos por "ligações metálicas" que resultam da partilha de elétrons disponíveis. Uma ligação de elétrons negativos permeia a estrutura, e o calor e a eletricidade podem ser conduzidos através do metal pelo livre movimento de elétrons. A ligação de elétrons negativos envolve os íons positivos que compõem a estrutura cristalina do metal (SCOTT, 1991, p.1, tradução nossa)⁴¹.

Os metais normalmente são extraídos a partir dos minérios⁴². Raros são aqueles que se encontram na forma nativa na natureza, como o ouro, a prata e o cobre (SELWYN, 2004, p.5). Metais puros contêm átomos da mesma espécie organizados em matrizes regulares, constituindo o que se denomina uma rede cristalina. Cada átomo individual consiste de um pequeno núcleo de prótons e nêutrons e uma grande nuvem de elétrons, que circunda o núcleo do metal, propiciando, dentre outras propriedades, a capacidade de conduzir eletricidade e calor (SELWYN, 2004, p.6).

⁴⁰ Tabela periódica. Disponível em: <<http://www.tabelaperiodicacompleta.com>>. Acesso em: 21 nov. 2016

⁴¹ Metals are an aggregation of atoms that, apart from mercury, are solid at room temperature. These atoms are held together by "metallic bonds" that result from sharing available electrons. A negative electron bond pervades the structure, and heat and electricity can be conducted through the metal by the free movement of electrons. The negative electron bond surrounds the positive ions that make up the crystal structure of the metal (SCOTT, 1991, p.1).

⁴² Minérios são um conjunto de minerais misturados, que se encontram disponíveis na natureza.

O termo “metal”, muitas vezes, é usado para descrever qualquer material com propriedades metálicas, incluindo as ligas metálicas. Selwyn define ligas metálicas no trecho a seguir:

Ligas são formadas através da combinação de um metal com um ou mais elementos diferentes. Por exemplo, dois metais podem ser combinados, tal como: Latão (cobre misturado com zinco), Bronze (cobre misturado com estanho), e solda macia (estanho misturado com chumbo) ou um metal pode ser combinado a um ametal, tal como: aço é a combinação de ferro (metal) com carbono (ametal), um metal pode ser combinado com mercúrio para formar um amálgama, como no caso do amálgama de ouro que é a mistura de ouro com mercúrio (SELWYN, 2004, p.7, tradução nossa)⁴³.

As ligas metálicas são conhecidas por, normalmente, apresentarem propriedades físicas e químicas diversas dos metais que as originam. Sendo esse um dos principais fatores pela sua adoção na constituição de objetos. A estrutura interna dos materiais envolve não apenas o tipo de átomos da sua constituição (composição), mas também como eles se associam entre si (formando cristais, moléculas e microestruturas).

Normalmente, a escolha de metais e suas ligas para confecção de artefatos têm relação direta com as suas propriedades físicas e químicas. Alguns metais como o ouro, a prata, o cobre, o paládio, a platina possuem características visuais tais como o brilho e a cor, que são marcantes e auxiliam na escolha estética e na sua possível preservação ao longo do tempo, pois aumentam o valor (estético) dos objetos com eles confeccionados.

Costa esclarece a seguir sobre metais, ligas e suas propriedades:

Um metal puro é construído por átomos de uma única espécie, que se encontram regularmente distribuídos num determinado reticulado cristalino. A introdução de átomos de elementos estranhos neste sistema altera a rede cristalina inicial, dando origem ao aparecimento de uma nova fase, diferente daquela que existia quando o metal era puro. Uma liga é assim formada, consistindo na associação dos diferentes elementos em proporções variáveis. Quando os teores dos constituintes são alterados de forma contínua, as propriedades físicas e químicas da liga variam também. Ligas metálicas se distinguem de compostos químicos, nos quais os elementos ocorrem em proporções bem definidas (COSTA, 2008, p. 16).

Segundo Figueiredo (2012), os metais mais comumente encontrados nos objetos de museus são em sua maioria os de transição como o Ferro, o Cobre, o Zinco, o Ouro e

⁴³ Alloys are formed by combining a metal with one or more other elements. For instance: two metals can be combined, e.g. Brass (copper mixed with zinc), bronze (copper mixed with tin), and soft solder (tin mixed with lead) or a metal can be combined with a non-metal, e.g. steel is a combination of iron (metal) and carbon (non-metal), a metal can be combined with mercury to form an amalgam, e.g. gold amalgam is a mixture of gold and mercury” (SELWYN, 2004, p.7).

a Prata, quase sempre na forma de ligas metálicas (Aço Carbono, Ferro fundido, Bronze - Estanho e Cobre, Latão - Zinco e Cobre) (FIGUEIREDO, 2012). A presença de metais nos acervos científicos se dá principalmente pela sua estabilidade, resistência e durabilidade, características essenciais para objetos que precisam ser utilizados em experimentos cotidianamente.

2.2 - Breve História sobre a Produção dos Metais

Diversos materiais, desde o início da humanidade, foram usados para produzir uma grande variedade de objetos, entre os quais ferramentas, utensílios, armas, objetos decorativos, objetos científicos, etc.. O papel destes materiais foi tão importante que períodos históricos foram denominados a partir do material neles predominantemente utilizados. A substituição de um material por outro na produção de artefatos trazia sempre novas aplicações e a transição entre os diferentes períodos era progressiva, tendo ocorrido em épocas diferentes em cada região do mundo (COSTA, 2008, p. 15). A velocidade dessas mudanças também variou muito de acordo com o local onde ocorriam.

O uso dos metais resultou num grande impacto, tanto no campo industrial quanto no campo artístico. Eles foram matéria prima para uma variedade de ferramentas, armas, instrumentos científicos, aparatos tecnológicos, etc.. Selwyn reflete sobre os usos dos metais e ligas:

Eles são finamente trabalhados para produzir esculturas artísticas e elementos decorativos ornamentados, e adicionados a objetos não-metálicos para melhorar sua aparência e beleza. Metais brilhantes têm sido apreciados em jóias, enfeites, medalhas e objetos religiosos, significando a beleza, riqueza, prestígio ou decoração e funcionalidade em móveis e objetos de arte decorativa e seus componentes (SELWYN, 2004, p.5, tradução nossa)⁴⁴.

Apesar de conhecermos os períodos da história da humanidade através dos materiais predominantes, a definição entre o início e o fim do período não é algo bem delimitado, nem de completo acordo entre os autores que estudam e discutem o tema. “Em trabalhos arqueológicos se encontram os termos Calcolítico e Neolítico que têm o mesmo sentido e implicam num período de transição entre a tecnologia Neolítica e uma

⁴⁴ They have finely crafted to produce artistic sculptures and ornate decorative elements, and added to non-metallic objects to enhance their appearance and beauty. Lustrous metals have been prized in jewelry, ornaments, medals, and religious objects, serving to signify beauty, wealth, prestige, or decoratively and functionally in furniture and decorative art objects and their components (SELWYN, 2004, p.5).

Era do Cobre” (TYLECOTE, 2002, p.7). Pode-se visualizar melhor a evolução do uso de materiais pelo homem na Tabela 1, a seguir.

Tabela 01 - Evolução do uso generalizado de materiais pelo homem. Fonte: a autora.

| Período | | Materiais |
|---------------------|------------------|--|
| Pré-História | Paleolítico | Madeira; Pedra lascada |
| | Neolítico | Pedra polida |
| | Idade dos Metais | Cobre; Estanho; Bronze; Ferro; Cerâmica |
| Antiguidade | Idade Antiga | Vidro |
| | Idade Média | Ligas Metálicas, em especial as de cobre |
| Idade Moderna | | Concreto e a maioria dos metais |
| Idade Contemporânea | | Sintéticos |

A evolução dos processos metalúrgicos resulta determinante para a formação e desenvolvimento das sociedades primitivas, onde propiciou a obtenção de ferramentas que facilitaram a supervisão e o desenvolvimento dos grupos. O comércio é intimamente unido aos metais desde sua aparição e uso (ALONSO; MARTINEZ, s/data, p.7).

O uso de óxido vermelho de ferro em rituais e práticas funerárias é bem conhecido em uma vasta área desde os primeiros tempos. Povos do Neolítico também decoravam paredes com esse óxido (TYLECOTE, 2002, p.1). Os verdes e azuis de minerais de cobre eram usados de diversas formas no Egito e na Mesopotâmia, como mostram os remanescentes arqueológicos.

Os metais, inicialmente usados em seu estado nativo e, mais tardiamente, extraídos de minérios, apresentavam inúmeras vantagens em relação à pedra: podiam ser vazados na forma final, deformados e endurecidos por trabalho a frio ou amolecidos por aquecimento (COSTA, 2008, p. 15). Essas vantagens foram exploradas de diversas formas no decorrer do tempo e representaram avanços sistemáticos para facilitar as tarefas do cotidiano das pessoas.

A história dos metais e sua relação com o desenvolvimento tecnológico da sociedade pode ser entendida através da Tabela 02, apresentada a seguir, que mostra o primeiro uso generalizado de metais.

Tabela 02 - Data aproximada do primeiro uso generalizado. Fonte: SELWYN, 2004.

| Metal | Data aproximada do primeiro uso generalizado |
|--------------|---|
| Cobre | ~7000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre nativo ~5000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre fundido |
| Chumbo | 6000-5000 a.C. (Oriente Próximo / Balcãs) |
| Ouro | 5000-4000 a.C. (Balcãs) |
| Estanho | 4000-3000 a.C. (Oriente Próximo) |
| Prata | 4000-3000 a.C. (Balcãs/Oriente Próximo) |
| Níquel | 2000-1000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre / ligas de níquel |
| Ferro | 1000-0 a.C. (Oriente Próximo) |
| Zinco | 100-200 d.C. (Roma) para cobre / ligas de zinco 900-1000 d.C. (Índia) para zinco metálico |
| Alumínio | 1800-1900 d.C. (Europa/ Estados Unidos) |

O advento do uso dos metais é considerado um marco significativo nas questões relacionadas à inovação tecnológica. Desde a Pré-História, a utilização de metais foi se alargando progressivamente, abrangendo ligas de metais nobres e menos nobres, assim como metais cada vez mais puros e constituindo um conjunto patrimonial de referência econômica e sociocultural (SILVA; HOMEM, 2008, p.9).

Durante o desenvolvimento do uso dos metais, foram descobertas as ligas metálicas, desenvolvidas para fins diversos como a obtenção de efeitos visuais e estéticos particulares, novas características físicas e químicas, dentre outras.

No continente europeu, a utilização de ligas metálicas remonta ao terceiro milênio a.C., quando o homem do Calcolítico (pertencente à Idade do Cobre) descobriu, por experiência ou coincidência, que a combinação de certos elementos metálicos - formando ligas - melhorava as propriedades do material, ampliando consideravelmente as possibilidades de aplicação (COSTA, 2008, p. 15). As novas ligas abriram um leque de

criações e dinâmicas. Um componente metálico podia agora ter outras características que não as encontradas nos metais individualmente.

O primeiro metal a ser utilizado pelo homem foi o cobre, que era conhecido pelas mais antigas civilizações. Em 5.000 a.C. já se realizava a fusão e o refino do cobre a partir de óxidos como a malaquita e azurita⁴⁵. Entretanto, costuma-se denominar como Idade dos Metais o período que marca o início do domínio, na Europa, rudimentar ainda, da técnica da fundição e da fabricação de instrumentos e artefatos metálicos, em torno do ano de 3.200 a.C..

Na área em torno da Anatólia, a difusão de ideias entre as culturas em desenvolvimento da região foi bastante rápida. No Irã, uma série de sítios arqueológicos permite estimar as datas iniciais para produção de artefatos de cobre. Entre estes está Sialk, onde na primeira fase (Sialk I, c.4500 a.C.) se produziram vários artefatos de cobre forjado puro (TYLECOTE, 2002, p.11). Ressalta-se que o uso e evolução das técnicas metalúrgicas aconteceram de formas diferentes, em tempos diferentes, em regiões diferentes. Uzeda relata que:

Os persas passaram a controlar a Anatólia até a invasão de Alexandre, o Grande, no século VIII a.C. Com a ajuda dos fenícios, os Persas realizaram diversas incursões ao continente europeu, sendo expulsos por Alexandre e seus aliados gregos. Após a morte de Alexandre, seu breve Império se fragmentou e, embora os gregos se tornassem o componente étnico e cultural dominante, a Anatólia cairia sob o poder do Império Romano. Essa mistura de povos invadidos e invasores contribuiu para profundas trocas culturais na região. As religiões pagãs adotadas por esses povos tinham como uma de suas características as oferendas de tesouros aos deuses nos templos, o que serviu como estímulo ao desenvolvimento de objetos de extremo apuro técnico e valor artístico em ouro e a prata (UZEDA, 2009, p. 14).

A princípio, os materiais metálicos usados foram o cobre, o estanho e o bronze⁴⁶, metais e liga com ponto de fusão mais baixo que os demais. No caso específico do cobre, a introdução de arsênio, estanho e chumbo, além de melhorar a fluidez durante o vazamento, produzia diretamente um material com dureza superior ao metal puro, sem necessidade de martelamento subsequente (COSTA, 2008, p. 15).

Levou um longo tempo para a verdadeira Idade do Bronze se iniciar. Análises mostram que antes do bronze ser usado pela primeira vez houve um longo período onde o cobre fundido era relativamente puro, ou continha uma quantidade substancial de

⁴⁵ Carbonatos básicos de cobre com, respectivamente, (71,9% CuO, 19,9% CO₂, 8,2% H₂O) e (69,2% CuO, 25,6% CO₂, 5,2% H₂O).

⁴⁶ O bronze é uma liga de cobre com estanho.

arsênio e antimônio. A mistura do estanho ao cobre aumentou consideravelmente a resistência mecânica sem a necessidade de trabalho a frio ampliando o uso dos bronzes. Mas a ideia provavelmente desenvolveu-se muito lentamente, e, no Oriente Próximo, tem-se um período em que, em mistura com o cobre, foram usados o arsênio e pequenas quantidades de estanho (TYLECOTE, 2002, p.18).

A divisão arqueológica da Idade do Bronze em início, meio e tardia é baseada principalmente em mudanças nos tipos de cerâmica que eram utilizados, em vez de composições de metais de ligas encontradas nos artefatos. Do ponto de vista metalúrgico, há pouca justificativa para essa divisão e, enquanto no início da Idade do Bronze prevaleciam ligas diferentes do bronze, já na metade da Idade do Bronze pode-se caracterizar a verdadeira idade metalúrgica do bronze, onde, com poucas exceções, cobres puros e arsênicais deixaram de ser utilizados. O uso dos metais e suas ligas cresce gradualmente, na maioria dos países, em meados da Idade do Bronze e substancialmente pelo fim desse período (TYLECOTE, 2002, p.35).

A Mesopotâmia é considerada o berço da civilização porque foi o lugar onde se originaram a agricultura, a linguagem escrita e o próprio conceito de cidade. Os sumérios criaram uma das mais antigas civilizações, localizada entre os rios Tigre e Eufrates, na região onde se situa hoje o Iraque. Os sumérios estão entre os primeiros povos a desenvolverem a escrita, usando símbolos cuneiformes impressos com hastes de madeira sobre placas de argila mole, que depois eram cozidas, demonstrando assim avanços tecnológicos. Sobre esse período, Tylecote afirma que:

Foi somente depois de 3500 AC que as cidades-estados Sumérias do baixo Eufrates e Tigre foram estabelecidas. Eles fizeram uso do cobre das terras altas do norte e do leste, desde que a região do delta aluvial era desprovida de minerais e combustíveis. As necessidades dessas cidades poderiam ter encorajado os montanhesees a procurar minerais para satisfazer esta demanda e, ao mesmo tempo, aumentar o uso local de cobre. A disseminação da técnica deve ter sido bastante rápida, uma vez que encontramos um grande número de lugares a alguma distância da Mesopotâmia mostrando evidência de uso de metal (TYLECOTE, 2002, p.8-9, tradução nossa).⁴⁷

Os primeiros objetos de bronze possivelmente foram produzidos na Mesopotâmia, no início das Cidades Estados e onde se dependia dos depósitos do planalto da Anatólia

⁴⁷ It was only after 3500 Be that the Sumerian city states of the lower Euphrates and Tigris were established. They made use of the copper from the highlands to the north and east, since the alluvial delta region was devoid of minerals and fuel. The needs of these cities could have encouraged the highlanders to seek minerals to satisfy this demand and at the same time, increase the local use of copper. The spread of technique must have been fairly rapid since we find a large number of places some distance away from Mesopotamia showing evidence of metal usage (TYLECOTE, 2002, p.8-9).

e do planalto Persa para obtenção do cobre, e provavelmente, da prática do comércio para o fornecimento de estanho.

Tal como o cobre, o ouro foi um dos primeiros metais trabalhados pelo homem. De fácil acesso por ser um metal nativo, a sua ductilidade⁴⁸ e maleabilidade permitiram que fosse trabalhado por martelagem, mesmo antes do aparecimento da metalurgia. Contrariamente ao ouro, a prata ocorre em geral associada a minérios de chumbo, como a galena e a cerusita. A sua exploração necessita assim de conhecimentos específicos sobre a extração e tratamento do minério (GUERRA, 2005, p.80).

A atenção dada às ligas de cobre é, naturalmente, justificada pelo seu papel na economia antiga. Apesar dos remanescentes de ouro e prata serem encontrados em maior quantidade em coleções, estes metais foram usados para fins artísticos e, por causa da sua resistência à corrosão, têm excelentes propriedades que ampliam seu tempo de existência, permitindo que objetos constituídos desses metais sobrevivessem em maior quantidade. O ouro pode também ser usado mais de uma vez, de modo que a maior parte dos artefatos de coleções antigas provavelmente resulta de suas segundas reutilizações (TYLECOTE, 2002, p.44).

Evidências arqueológicas revelam a utilização milenar para a prata. Ela teria sido descoberta após o ouro e o cobre há cerca de 5000 anos (HOMEM, 2013, p.9). O ouro, ocorrendo majoritariamente na sua forma metálica, teria sido naturalmente o primeiro a ser identificado e facilmente reconhecido pela cor. O cobre, apesar de oxidado, teria sido igualmente percebido e usado (HOMEM, 2013, p.9).

Há evidências arqueológicas da exploração mineira do cobre, estanho, ouro e prata desde o 3º milênio a.C., mas sem grande intensidade. Esta, só aumentou significativamente por volta do séc. VIII a.C.. A partir desta altura, os textos clássicos gregos e latinos fazem referências à existência do reino de Tartessos, no sudoeste da Península Ibérica, de limites imprecisos e bastante rico em cobre, estanho e prata (HOMEM, 2013, p.11).

Com o avanço da metalurgia, graças à utilização de forjas e foles, os antigos povos conseguiriam chegar ao ferro, metal que exige técnicas mais aprimoradas e temperaturas muito mais elevadas para fusão. Com o tempo e o avanço nas técnicas, outras ligas metálicas surgiram. Sobre esse período, Costa (2008) relata:

⁴⁸ Capacidade dos materiais de se deformarem sem se romperem. Fonte: <<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/440-ductilidade>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

A seguir foi a vez do ferro, usado inicialmente proveniente de meteoritos e mais tarde, a partir de minerais que eram certamente refinados à alta temperatura em presença de carvão. Tal processo provoca a difusão do carbono na superfície do ferro, formando uma liga, o aço, substancialmente mais dura que o bronze. Além disso, devido à abundância de ferro na crosta terrestre e facilidade de mineração, o aço foi progressivamente substituindo o bronze em muitas aplicações. Curiosamente, apesar do avanço tecnológico alcançado com a produção de aço (altas temperaturas, fornos adequados, propriedades variadas), somente no século XVIII o papel central desempenhado pelo carbono como elemento de liga foi claramente compreendido (COSTA, 2008, p. 15-16).

Ressalta-se que os hititas foram os primeiros a fundir o ferro. Devido à sua raridade, o ferro foi usado primeiramente em pequenos artigos de joalheria. Para além disso, o seu uso precoce poderia ter sido para lâminas de punhal. Parece que a produção de ferro pelo homem no segundo milênio a.C. era pequena e intermitente, aumentando gradualmente até ser usado em larga escala nas armas em cerca de 1200-1000 a.C. (TYLECOTE, 2002, p.47). O lento desenvolvimento do uso do ferro ocorreu também em outros lugares no mundo, caracterizando a Idade do Ferro, mas por um longo tempo, o bronze continuou a servir para muitas das aplicações em metais.

Destaca-se aqui a “Idade do Ferro Romano”. Segundo Tylecote (2002), a principal contribuição do Império Romano na metalurgia não foi a invenção ou descoberta de nenhum novo metal, liga ou uso, mas sim, a organização de diversos conhecimentos de culturas diferentes dominadas pelo império Romano (TYLECOTE de 2002, p.62). O Império Romano possibilitou a ampla divulgação das melhores técnicas existentes em diversas partes do mundo romanizado. Esta divulgação não era limitada à área romana, e afetou as tribos da Idade do Ferro que viviam na sua periferia. Houve um enorme aumento na escala da indústria metalúrgica com as necessidades militares e civis da civilização romana e com a demanda considerável de ferro e metais não-ferrosos.

Facas e outras ferramentas eram muitas vezes decoradas com incrustações de metal não-ferroso, cuja liga mais comum foi o bronze, sendo bastante difundido o uso de sucata de origem romana. É apenas no final da Idade do ferro romana que o latão foi introduzido (TYLECOTE, 2002, p.75).

O início da Idade do Ferro viu a introdução de moedas. As primeiras moedas de ouro vieram de Lydia c.550 a.C., mas moedas de prata gregas primitivas estavam sendo produzidas a partir de bronzes de Laurion, um pouco mais cedo, em cerca de 580 a.C., em Corinto e em Egina. Talvez a cunhagem em ouro mais conhecida seja a de Filipe da Macedônia (350 a.C.), que foi amplamente copiada em uma forma degradada do projeto

original e foi usada em moedas de ouro em locais tão distantes quanto a Grã-Bretanha (TYLECOTE, 2002, p.58).

Em 211 a.C., Roma adotou e integrou formalmente o denário de prata (cerca de 4,5g de prata pura) no seu sistema monetário, o que elevou a sua importância política e aguçou a sua sede pelo metal, estimulando as guerras pela sua posse. Foi a conquista de Nova Cartago (atual Cartagena), no sudeste da península hispânica, em 209 a.C., que permitiu que viessem a controlar a zona mineira de Serra Morena e que explorassem intensamente as jazidas de galena argentífera⁴⁹ (HOMEM, 2013, p.11).

É no Império Romano, nos séc. I e II, que se dá o apogeu da exploração mineira em toda a península Ibérica. A necessidade de ouro e prata para pagar as legiões e cobrir o déficit comercial crônico, que se agravou no séc. II, fez com que se intensificasse ainda mais a procura por metais (HOMEM, 2013, p.11).

São diversos os artefatos arqueológicos que ajudam a corroborar com a compreensão das atividades sociais dos povos. Homem afirma sobre os avanços relacionados aos metais e ligas deste período:

Apesar de, no período subsequente, ter ocorrido um incremento do número de minas e um desenvolvimento considerável do ponto de vista da produção e da tecnologia, nada se compara a importância da descoberta do Novo Mundo, em 1492, pelos espanhóis. Entre 1500 e 1800, a produção mineira da Bolívia, do Peru e do México eclipsou todo o resto e passou a ser responsável por mais de 85% da produção e comércio mundiais. Só mais tarde, nos finais do séc. XIX, e que outros países começaram a contribuir de forma mais significativa, nomeadamente os Estados Unidos da América, com a descoberta do filão de Comstock no Nevada e a Austrália. A exploração de novas regiões do globo, como o Canadá, África e Japão, acompanhada de importantes inovações tecnológicas, conduziu a um grande incremento da produção mundial, tendo-se registrado um aumento de 50% apenas em vinte anos, de 1900 a 1920, e uma produção anual de 190 milhões de onças Troy⁵⁰ (HOMEM, 2013, p.12).

Este período, que pode ser datado de cerca do ano de 1500, lançou as bases para a Revolução Industrial, que começou na Europa Ocidental, com o uso de carvão para processos metalúrgicos, por volta de 1700 na Inglaterra (TYLECOTE, 2002, p.95).

⁴⁹ Minério de chumbo contendo prata.

⁵⁰ Unidade de medida de massa para metais preciosos, com origem na Idade Média em Troyes, França. A onça Troy e a única medida do sistema de ponderação Troy que ainda hoje é usada na fixação de preços de metais como ouro, platina e prata. Uma onça Troy equivale a 31,1034768 g (32,1507 onças Troy = 1kg) (HOMEM, 2013, p.12 apud ROBERTSON, 1992).

O século XVII foi importante para inovações na ciência. O microscópio composto foi inventado por Jansen por volta de 1600, e a *Royal Society* de Carlos II da Inglaterra foi fundada em 1662, e os franceses fundaram a *Académie des Sciences* em 1666. Astrônomos, como Galileu (1564-1642), e matemáticos, como Napier (1550-1617), Descartes (1596-1650) e Pascal (1623-1662), tinham feito grandes contribuições para o conhecimento, mas as propriedades dos materiais com os quais trabalhavam não eram bem conhecidas (TYLECOTE, 2002, p.177). Mesmo os principais metalúrgicos de qualquer país - os denominados *masters of the Mint* (mestres da cunhagem), eram aparentemente menos interessados nas propriedades físicas dos metais e de onde eles poderiam ser obtidos, restringindo sua atenção para o lucro que poderia ser feito para seus clientes.

Um dos primeiros a registrar observações sobre as propriedades dos metais foi Lousse, um francês, que publicou um livro sobre a arte da serralharia, em 1627 (TYLECOTE, 2002, p.177). Parece ter sido o primeiro a associar o cheiro de enxofre com a utilização de temperaturas mais baixas para o forjamento do ferro e dá a primeira descrição do tratamento de cementação de artefatos de ferro, onde pequenos pedaços desse metal eram intercalados com camadas de carvão vegetal em um cadinho (TYLECOTE, 2002, p.177), permitindo o endurecimento do produto final.

Outra contribuição para o melhor conhecimento das propriedades dos metais foi desenvolvida por Henry Power, em 1664, que, com o auxílio do microscópio, notou que as superfícies polidas de metais estavam cheias de fissuras, cavidades, asperezas e irregularidades, que não eram observáveis a olho nu. Todos esses defeitos interferem na qualidade do artefato metálico produzido (TYLECOTE, 2002, p.177).

Reaumur, em 1722, parece ter sido o primeiro a discutir as propriedades de metais ferrosos em termos de estrutura de grãos. Ele foi o primeiro a utilizar os testes de dureza para metais ferrosos, visando avaliar sua qualidade (TYLECOTE, 2002, p.177). A contribuição dos cientistas franceses no século XVIII foi notável. Na sequência dos trabalhos de Jousse e Reaumur, existe a *Encyclopédie des Arts et des Métiers* editada por Diderot e D'Alembert. Logo depois, Van Musschenbroek, da Holanda, desenvolveu melhores máquinas de testes mecânicos para metais (TYLECOTE, 2002, p.178).

Em 1734, foi publicada a *Opera Philosophica et Mineralia*, conhecido como Tratado de Swedenborg sobre cobre e ferro. Reúne em dois volumes conhecimentos técnicos de metalurgia do período de 1690-1730 (TYLECOTE, 2002, p.178). Ainda segundo Tylecote:

Um dos primeiros a começar a lançar luz sobre a diferença entre o ferro e o aço foi Torbern Bergman. Um químico sueco (1735-1784), que foi contemporâneo do químico Antoine Lavoisier. Suas principais contribuições para a metalurgia são encontradas em sua *Dissertatio Chemica de Analysi Ferri*, escrita em 1781 (TYLECOTE, 2002, p.178, tradução nossa).⁵¹

Apesar dos tempos inquietantes na França, em 1789 e anos seguintes, registra-se que os desenvolvimentos do conhecimento sobre os metais e sobre sua produção industrial foram muito grandes, desde o tempo de Reaumur (1722). Sem dúvida, para tal, contribuíram as informações e técnicas apreendidas pelos franceses na Grã-Bretanha, em meados do século XVIII, com o envio de vários observadores, como Jars e Houliere, para estudar os métodos britânicos. A mesma iniciativa foi seguida pelos suecos, mas sem resultados positivos, pois as metodologias utilizadas na Suécia eram muito diversas daquelas da Grã-Bretanha. O interesse dos franceses na nova indústria é claramente evidenciado na enciclopédia de Diderot, um registro muito detalhado da indústria francesa e artesanato em meados do século (TYLECOTE, 2002, p.179).

Não é fácil definir o início da Revolução Industrial, alguns o definem pela transferência de pelo menos 50% dos meios de produção de qualquer item da casa para a fábrica, e para muitos, isso ocorreu primeiro na Grã-Bretanha em cerca de 1750 (TYLECOTE, 2002, p.122). Levando em consideração a produção de ferro, não há nenhuma dificuldade, a Revolução Industrial começa na Grã-Bretanha, com a transição do carvão vegetal para coque como principal combustível. Esta transição liberou a fabricação do ferro do uso do carvão vegetal, que era escasso na época.

A segunda parte do século XIX foi notável para as contribuições na produção em larga escala do que ainda é hoje considerada a liga metálica mais importante do mundo - o aço-carbono. O processo de sua produção não imediatamente substituiu o aço produzido em cadinhos, que era a principal fonte de material metálico para ferramentas e armamentos (TYLECOTE, 2002, p.164).

A grande conquista do final do século XIX foi a descoberta de dois dos metais leves que compõem uma grande proporção da crosta terrestre, alumínio e magnésio. A substância conhecida como alume (sulfato de alumínio e potássio impuro) tinha sido por muito tempo um dos mais importantes produtos químicos, em função de seu uso em tinturaria (TYLECOTE, 2002, p.169).

⁵¹ One of the first to begin to shed light on the difference between iron and steel was Torbern Bergman; A Swedish chemist (1735-1784) who was for most of his life a contemporary of the chemist Antoine Lavoisier. His main contributions to metallurgy are to be found in his *Dissertatio Chemica de Analysi Ferri*, written in 1781 (TYLECOTE, 2002, p.178).

O físico do século XIX tendia a pensar em termos de "moléculas" e ignorar completamente o arranjo espacial de átomos e moléculas, isto é, a estrutura no espaço e a rede cristalina resultante (TYLECOTE, 2002, p.180). Para esclarecimento deste aspecto, sobressaem os esforços dos metalurgistas, como Sorby, de Sheffield, descendente de uma longa linhagem de mestres metalúrgicos. Em 1849, aplicou técnicas microscópicas para observação de superfícies polidas de rochas. Depois de uma visita à Alemanha, passou ao estudo de ligas artificiais. Em 1863, afirma ter descoberto um exemplo da estrutura Widmanstätten⁵², em algum ferro sueco. Seus espécimes de aço polido e gravado foram exibidos em várias reuniões, mas não parecem ter despertado muito interesse entre os industriais (TYLECOTE, 2002, p.180).

Apesar da vantagem dada pelo ferro e sua relação com o endurecimento do aço, a ideia não foi universalmente aceita. Em 1912, uma nova ferramenta se tornou disponível, a difração de raios-X, ampliando os limites da ciência metalúrgica. As propriedades dos contornos de grão, o efeito das impurezas, os resultados da difusão no estado sólido e os efeitos da deformação mecânica na estrutura cristalina foram investigados pela primeira vez (TYLECOTE, 2002, p.181).

Após a interrupção provocada pela I Grande Guerra Mundial (1914-18), a pesquisa e o desenvolvimento relacionados aos metais continuaram em muitos países. Poucas descobertas de novas ligas foram feitas durante este período. Por outro lado, houve a melhoria constante dos principais tipos de aço, através da utilização de elementos de liga, tais como o cobalto, titânio, molibdênio, nióbio e alumínio (TYLECOTE, 2002, p.168). Na verdade, ocorre também a substituição completa do ferro pelo níquel em alta temperatura, e a melhoria das ligas de níquel-cromo não-ferrosas.

As ligas metálicas representam a evolução das técnicas metalúrgicas. Costa (2008) relata sobre as novas técnicas:

O avanço tecnológico responsável pela elaboração da ampla gama de ligas metálicas atuais teve sua origem há pelo menos quase cinco mil anos, quando a maior parte dos efeitos produzidos pela introdução de elementos de liga - aumento da resistência, diminuição do ponto de fusão, endurecimento por trabalho a frio, amolecimento por aquecimento, reatividades químicas diferenciais - já eram conhecidas, como o atestam objetos encontrados em Ur (2600 AC) (COSTA, 2008, p. 16).

⁵² A estrutura de Widmanstätten resulta da precipitação de uma nova fase sólida dentro dos grãos de fase sólida existente em uma temperatura elevada decompondo-se em duas fases sólidas em uma temperatura inferior. Esta precipitação normalmente ocorre nas fronteiras do grão dos cristais iniciais e como placas ou agulhas dentro dos próprios grãos, eles têm uma orientação particular, dependendo da estrutura cristalográfica dos cristais originais. A estrutura de Widmanstätten também ocorre em aços antigos como um resultado de um processo de trabalho ou deliberados tratamentos térmicos usados durante a manufatura (SCOTT, 1991, p.20).

Os diversos significados e usos atribuídos aos objetos metálicos documentam recursos, maestrias profissionais, modas e requintes, permitindo visualizar o modo de vida das elites e dos cidadãos comuns. Portanto, o estudo e preservação dos artefatos metálicos antigos constitui fonte importante de informações para melhor conhecer o passado. As alterações por que passam os metais e suas ligas com o tempo é um tema que possui significado especial quando relacionado com a preservação do patrimônio cultural metálico, quer integrado em museus ou quaisquer outras instituições culturais públicas ou privadas; quer em coleções particulares, tenha ou não sido sujeito a um ambiente arqueológico (SILVA; HOMEM, 2008, p.9).

2.3 - A Presença dos Metais nos Acervos de Ciência e Tecnologia

São diversas as tipologias de coleções dentro do patrimônio cultural da ciência e tecnologia. Se pensarmos em acervos com presença de metais e suas ligas como constituinte, ainda assim, haverá grande diversidade entre os bens culturais encontrados. Nesta dissertação serão abordados os de origem arqueológica e os objetos de ciência e tecnologia⁵³, por serem esses dois conjuntos os mais significativos e amplos.

2.3.1 - As coleções arqueológicas

As coleções de objetos arqueológicos fazem parte do patrimônio cultural de ciência e tecnologia⁵⁴ uma vez que é intrínseca a relação da Arqueologia com a pesquisa científica. Coleções arqueológicas são constituídas por artefatos (produto de trabalho mecânico; objeto, dispositivo, artigo manufaturado, aparelho, engenho, mecanismo construído para um fim determinado) e objetos de origens diversas.

O patrimônio arqueológico constitui um testemunho essencial sobre as atividades humanas do passado. Sua preservação é indispensável para permitir o conhecimento e aprofundamento dos pesquisadores que buscam informações sobre as sociedades passadas e presentes. “A proteção desse patrimônio não pode fundar-se unicamente na

⁵³ Os objetos mais facilmente identificados ao patrimônio cultural de C&T são os denominados instrumentos científicos, pois fizeram parte das atividades realizadas em laboratórios científicos e de tecnologia aplicada. No entanto, instrumento científico é um termo complexo e que só se aplica em período histórico determinado (século XIX e início do século XX). De forma mais geral, utilizar-se-á objetos de ciência e tecnologia, como termo mais geral e que engloba a variedade de artefatos considerados nesses estudos (GRANATO *et al.*, 2007)

⁵⁴ Ver Capítulo 1 pág. 04

aplicação das técnicas da arqueologia. Exige um sólido embasamento de conhecimentos científicos e competência profissional” (CARTA DE LAUSANNE, 1990).

As coleções arqueológicas de objetos metálicos no Brasil estão restritas à chamada arqueologia histórica, uma vez que, na pré-história brasileira, não há significantes vestígios metálicos. Campos e Granato (2015) afirmam que a arqueologia histórica:

.... reconstitui aspectos pouco conhecidos da História, pela escassez de relatos escritos, pela falta de fontes primárias arquivísticas ou pelas lacunas da historiografia disponível. Pesquisa diferentes grupos sociais, não se limitando ao estudo das elites ou dos acontecimentos mais notáveis, mas também dando voz aos indivíduos comuns. Colabora para a construção da memória, de narrativas históricas e do resgate de técnicas perdidas no tempo. Preocupa-se com o cotidiano, seja por meio de seus utensílios domésticos, ou por seus instrumentos de trabalho, e com isso, objetiva dar uma visão de um contexto cultural amplo e não apenas de segmentos sociais isolados (ORSER, 1992) (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.272-273).

Muito pode ser investigado e descoberto através dos vestígios metálicos encontrados, principalmente os níveis de produção e consumo e o avanço tecnológico de uma determinada sociedade e as relações destes com a tecnologia. Campos e Granato (2015) ressaltam que normalmente em sítios históricos são coletados números significativos de objetos metálicos em relação às outras classes de materiais, e a ocorrência dos objetos metálicos ferrosos é superior a dos não ferrosos (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.273).

2.3.2 - As coleções de objetos de ciência e Tecnologia

Heizer (2004) realiza uma descrição das diversas maneiras que os instrumentos de valor histórico vêm sendo considerados e chama a atenção para a necessária cautela ao associar o termo científico, uma vez que, segundo determinadas perspectivas, não haveria prática científica profissional nos períodos anteriores ao século XIX. Destacar-se-á aqui a diferença entre os objetos de C&T e os denominados instrumentos científicos.

Uma abordagem para instrumento científico que será usada nesta dissertação é a de Granato e Câmara (2008, p. 175), “instrumento científico quem sabe seja um termo complexo que só se aplique em um período histórico determinado (século XIX e o início do século XX)”. Devido à limitação histórico temporal desta terminologia o termo objetos de C&T se encaixa melhor nesta dissertação, pois é um termo que engloba uma variedade de artefatos considerados nas práticas de ciência e tecnologia.

O estudo dos instrumentos científicos e depois dos objetos de C&T sempre fez parte da história da ciência e da tecnologia. Dado que as respectivas conceituações já foram estabelecidas, cabe agora apresentar de um ponto de vista histórico os objetos de C&T.

Guedes (1999) atribui à Francis Bacon o estabelecimento dos fundamentos do método científico, onde em sua obra filosófica ele privilegia a experimentação sobre a especulação de ideias e de atributos. Bacon apresentou a base metodológica para o desenvolvimento da ciência nos séculos seguintes. Na aplicação do método científico tomou-se como necessária a existência de aparelhos destinados a produzir e a demonstrar os efeitos físicos. Guedes (2000) discorre sobre o papel da Filosofia Experimental e o desenvolvimento dos instrumentos científicos no trecho a seguir:

O aparecimento da Filosofia Experimental criou a necessidade do fabrico de instrumentos capazes de detectarem ou de revelarem os fenómenos físicos e desta forma permitirem a realização de experiências, origem e confirmação das deduções. Surgiram então os fabricantes de instrumentos científicos — operários hábeis e dotados dirigidos por estudiosos com conhecimentos profundos (GUEDES, 2000, p.16).

Com relação ao uso dos objetos: “Embora instrumentos científicos e aparatos tenham sido usados para investigação do mundo natural, sua importância aumentou significativamente no início do século XVII” (WARNER, 1990, p.83, Tradução nossa)⁵⁵. O interesse pelos novos instrumentos, tais como telescópio, microscópio e barômetro, ajudou aos poucos esses objetos a serem reconhecidos como ferramentas experimentais ou da natureza filosófica e principalmente se distinguiram os outros tipos de instrumentos mais comuns usados no dia-a-dia.

Apesar de todas as informações, a origem exata do termo “instrumento científico” é obscura. Uma explicação é a de que o termo pode ter sido originado na França no final do século XVIII. Por volta de 1830, o termo francês estava sendo usado em pesquisas e educação superior. Outra opção é sobre o termo ‘Wissenschaftliche Instrumente’ que provavelmente veio a uso por volta da mesma data, quando cientistas alemães começaram a desenvolver instituições para educação profissional e comunicação (WARNER, 1990, p.87).

Enquanto os termos na França e na Alemanha eram ocasionalmente usados para educação popular, era mais comum o seu uso para descrever uma alta classe de

⁵⁵ Although instruments and apparatus have long been used for investigating the natural world, their importance increased markedly in the early years of the seventeenth century (WARNER, 1990, p.83).

instrumentos matemáticos, refletindo em grande parte a importância da geodésia (WARNER, 1990, p.88). O termo foi introduzido no inglês durante a segunda metade do século XIX.

Objetos de C&T são comumente entendidos como tendo uma ligação essencial para o avanço da ciência. John Herschel afirmou “Nós somos obrigados a ter recursos de ajuda instrumental, que é, a ideia na qual devemos substituir a vaga impressão do senso de precisão de um número e reduzir todas as medidas contando” (WARNER, 1990, p.88, Tradução nossa)⁵⁶.

Fica claro que o conceito de objetos de C&T relacionado a desenvolver observações e experimentos é uma constante. Anderson ressalta sobre o assunto:

Instrumentos podem ser teorias reificadas, artifícios retóricos, maravilhas naturais, modelos e analogias, extensões de sentidos, equipamentos de medida, os meios de criar condições artificiais, ou apresentações visuais. Eles conferem autoridade, e às vezes constroem pontes entre diferentes praticantes e audiências, e às vezes os dividem (ANDERSON, 2013, p. 37).

Os estudos utilizando os objetos de C&T como fonte para a história da ciência e tecnologia se ampliam a partir das décadas de 1980/1990. Para isso, os artefatos utilizados em laboratórios nos anos de 1960/1970 deixaram de ser vistos como objetos que ajudam a quantificar conceitos, mas que não contêm ou são capazes de gerar conceitos. “Correntes da história dos instrumentos científicos começaram a romper com as visões que consideram que os princípios científicos residiam na teoria e talvez no método experimental, mas nunca nos instrumentos, nas coleções” (LOPES, 2009, p.207). Vale ressaltar a importância da nomenclatura e de como ela afeta o entendimento do que ela define. Foram vários termos em inglês, francês e alemão que ao longo do tempo deram conta do universo das ciências e seus artefatos.

Apesar de todas as definições apresentadas aqui mostrarem que a terminologia usada para definir artefatos utilizados em laboratórios passou por diversas fases, fica clara sua ligação com a prática da ciência.

⁵⁶We are obliged to have recourse to instrumental aids, that is, to contrivances which shall substitute for the vague impressions of sense the precise one of number, and reduce all measurement to counting.(WARNER, 1990, p.88)

2.4 - A Preservação de Bens Culturais Metálicos

Os bens culturais que seriam parte deste grupo são tão diversos que estão presentes em todas as classificações ou tipos de patrimônio que podemos estabelecer: arqueológico, científico, tecnológico, musical, etnográfico, artístico, industrial, são obras e objetos feitos de vários metais: cobre, estanho, ferro, alumínio, chumbo, prata, ouro e suas ligas, bem como objetos que são parte de metais com outros materiais (GUTIEZ, 2015, p.7, tradução nossa)⁵⁷.

A grande diversidade mencionada por Gutiez (2015) na citação anterior é vista pela preservação como um desafio a ser superado. Segundo Rosado (2008), para a preservação dos bens culturais metálicos, “é importante identificar os materiais e as técnicas empregados na produção dos objetos, pois cada um deles reage de forma específica frente aos fatores de degradação e, portanto, exige um tratamento particular” (ROSADO, 2008, p.4). São vários os métodos pelos quais pode-se chegar às informações intrínsecas, relacionadas aos objetos que são necessárias, para melhor preservá-los.

O estudo de materiais envolve a investigação da relação que existe entre a estrutura física, as propriedades químicas e físicas, o processamento/ fabricação e as aplicações dos materiais (MORA, 2010, p.6). A estrutura de um material está geralmente relacionada ao arranjo de seus componentes internos. São quatro os níveis em que essa estrutura pode ser analisada: em seu nível subatômico, onde se observam os elétrons no interior dos átomos individuais e as interações com seus núcleos; no nível atômico, onde a estrutura engloba a organização dos átomos ou moléculas em relação uns aos outros; no nível microscópico, significando aquele que está sujeito à observação direta usando algum tipo de microscópio; e no nível macroscópico, onde os elementos estruturais podem ser analisados sem instrumentos (MORA, 2010, p.6). Cada nível desses possibilita obter informações diferentes e complementares, que auxiliam na elaboração de um projeto de preservação. É trabalho do conservador obter o maior número de informações necessárias para a preservação do objeto, e isso inclui uma análise minuciosa da estrutura do objeto em todos os níveis.

Como descrito anteriormente, existe uma ampla variedade de composições, tipologias e propriedades relacionadas aos acervos metálicos, assim como inúmeras

⁵⁷ Los bienes culturales que formarían parte de este grupo son tan diversos que están presentes en todas las clasificaciones o tipologías de patrimonio que podamos establecer: arqueológico, científico, tecnológico, musical, etnográfico, artístico, industrial... Son obras y objetos realizados en diversos metales: cobre, estaño, hierro, aluminio, plomo, plata, oro y SUS aleaciones, así como objetos de los que los metales forman parte junto con otros materiales.(GUTIEZ, 2015, p.7)

formas de deterioração que podem apresentar. Assim, é possível compreender o quão complexa pode ser a preservação de objetos culturais constituídos de metais e suas ligas.

O processo de preservação envolve qualquer ação relacionada à manutenção física do bem cultural, à qualquer iniciativa para aprimoração do conhecimento sobre o mesmo e o estudo de melhoramento das condições de salvaguarda. Nelas se incluem a documentação, a pesquisa em todas as dimensões, a conservação e a própria restauração, aqui entendida como uma das possíveis ações para a conservação de um bem (PINHEIRO; GRANATO, 2012, p.31).

Os agentes de degradação são os principais responsáveis pela deterioração dos acervos, o Decreto nº 8.124, de 17 de outubro de 2013 define degradação como:

dano de natureza química, física ou biológica, causado por ação natural do tempo, por catástrofes naturais, por manipulação indevida, por armazenamento inadequado, ou por qualquer ação que coloque em risco a integridade física do acervo do museu, passível de restauração total (BRASIL, 2013, p.1).

A partir da observação de como os átomos interagem nas estruturas cristalinas, pode-se observar como ocorrem as degradações nos metais. Nos processos de produção de artefatos de metais e suas ligas, ocorrem deformações estruturais ou plásticas. Figueiredo apresenta os procedimentos gerais de produção de artefatos em metais e suas ligas:

Forjamento, conformação do material através de trabalho mecânico – marteladas, compressão etc.; Laminação – conformação do material em lâminas, principalmente passando o metal por rolos; Extrusão – Conformação do metal em tubos ou outras formas forçando-o a passar uma seção de uma peça; Estiramento – Conformação do metal em fios através do esforço mecânico que o força passar por um pequeno orifício; Fundição – Conformação do metal através da fusão e resfriamento em um molde – muitas esculturas em bronze foram obtidas através desse método; Soldagem – Obtenção de um objeto por junção de partes metálicas através de uma solda (FIGUEIREDO, 2012, p.147).

A análise e observação da estrutura dos metais e suas ligas abre uma gama de possibilidades de obtenção de informações sobre suas características físicas. Essa análise auxilia na preservação, pois permite identificar o nível de resistência ou fragilidade dos metais ou ligas em bens culturais. As áreas que tiveram mais trabalho mecânico em conformação são mais frágeis e estão mais sujeitas a oxidação (FIGUEIREDO, 2012).

Se pensarmos em uma metodologia de tratamento desses acervos, pode-se identificar de forma geral, a documentação como um primeiro passo, a conservação curativa como um segundo e a restauração como o último. Costa (2008) afirma que “uma vez definida a natureza e o estado de conservação do objeto, sua consideração juntamente com aspectos estéticos, históricos e deontológicos poderá indicar a necessidade de uma intervenção” (COSTA, 2008, p. 24).

Os processos de preservação de objetos metálicos não se restringem ao seu tempo na reserva técnica ou no laboratório de conservação. É necessário dar atenção também às condições conservativas durante as exposições. Doménech-Carbó e colaboradores alertam sobre os danos químicos que podem acontecer durante este período:

Certas condições de armazenagem ou de exibição podem levar a reações corrosivas que são diferentes daquelas encontradas no ambiente natural. Alguns desses perigos vêm de “off-gassing” de materiais utilizados para construir os casos de exposição e salas, bem como a poluição do ar introduzido por visitantes. Os gases poluentes mais comuns liberados por materiais de construção são: NO_x, SO₂, H₂S, O₃, HCOOH, CH₃COOH and HCHO, que potencialmente interagem com ligas metálicas, seja diretamente ou por catalisadores reagentes. A presença de umidade também desempenha um papel fundamental, resultando na formação de uma camada fina de condensação na superfície metálica que atua como um eletrólito. Isto proporciona um modo direto para os poluentes atingirem a superfície, bem como para os íons metálicos que podem mover longe disso, acelerando assim o processo de corrosão. Além disso, as partículas depositadas sobre as superfícies de objetos permite que o aprisionamento de vapor de água, o que poderia aumentar a sua deterioração (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p. 131-132, tradução nossa)⁵⁸.

A identificação dos metais e suas ligas, as formas de degradação destes artefatos, normalmente identificados como processos de corrosão, e os procedimentos de conservação de objetos metálicos serão abordados em mais detalhes nos subitens a seguir.

⁵⁸“certain storage or display conditions may lead to corrosive reactions that are different from those found in the natural environment[...]. Some of these dangers come from “off-gassing” from materials used to build display cases and rooms, as well as air pollution introduced by visitors. The most common gaseous pollutants released by construction materials, are NO_x, SO₂, H₂S, O₃, HCOOH, CH₃COOH and HCHO, which potentially interact with metal alloys, either directly or as catalytic reagents. [...] The presence of moisture also plays a key role, resulting in the formation of a thin condensation layer on the metallic surface that acts as an electrolyte. This provides a direct way for pollutants to reach the surface, as well as to metallic ions that may move far from it, thus accelerating the corrosion process. Moreover, particulate matter deposited on the object surfaces allows the entrapment of water vapor, which could enhance its deterioration.”(DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p. 131-132)

2.4.1 - Identificação dos metais

O trabalho com bens culturais, seja na sua conservação, pesquisa ou mesmo na produção de legendas nas exposições, muitas vezes torna necessário identificar quais os metais e ligas constituintes. Os métodos de identificação mais simples e comuns estão apresentados a seguir.

A cor está diretamente relacionada com o tipo de metal ou de liga utilizada para a fabricação (MARTINEZ; ALONSO, s/data p.13) No entanto, esta característica muito raramente permite a identificação precisa dos constituintes metálicos do artefato. Alguns metais são mais facilmente reconhecidos pela cor do que outros. Quando puro, ouro é amarelo, o bronze é rosa salmão e a maioria dos outros metais e ligas é branca ou prateada. Algumas ligas são misturas de vários elementos diferentes, e a sua cor final depende das quantidades relativas dos componentes. No entanto, o metal de maior concentração não necessariamente transmite a sua própria cor à liga. Ressalta-se que se deve prestar atenção aos revestimentos, que sobre um metal ou liga de base, podem modificar a cor perceptível (SELWYN, 2004, p.10).

A evidência documental é uma poderosa aliada na identificação dos metais. Os primeiros recursos a serem revisados são os livros, catálogos comerciais, revistas periódicas, ou anúncios. Fabricantes costumam descrever suas técnicas e materiais em detalhes. Podem também haver marcas, selos, e/ou números em metais preciosos (SELWYN, 2004, p.11).

São várias as técnicas conhecidas de modelagem e acabamento de metais, identificá-las pode auxiliar a posicionar o objeto temporalmente e geograficamente em algum contexto. No que tange à fabricação dos bens culturais metálicos, há dois tipos básicos de manipulação. Em ambos parte-se do metal líquido fundido que pode ser vazado em um molde no formato do artefato que se quer produzir, numa etapa única; ou pode ser vazado no formato de um lingote que então é trabalhado mecanicamente até se chegar à forma desejada. Assim, eles podem ser fundidos ou trabalhados. O termo “trabalho” refere-se a um método ou combinação de métodos para alterar a forma de um metal ou liga por técnicas diversas (SCOTT, 1991, p.6).

A cor e a aparência física dos produtos de corrosão variam de acordo com vários parâmetros e também podem auxiliar a definir qual o material de base. Selwyn (2004) explica a relação entre os estados de corrosão do cobre e a relação de cores das pátinas relacionadas:

A cor pode depender do estado de oxidação do metal no produto de corrosão. Por exemplo, os compostos de cobre no estado de oxidação +1 (escrito como Cu (I) ou Cu₊) podem ser vermelhos, pretos ou incolores, enquanto que aqueles no estado de oxidação +2 (Cu (II) ou Cu⁺²) são geralmente verdes ou azuis (SELWYN, 2004, p.12, tradução nossa)⁵⁹.

Scott (1991) levanta a questão de que muitos objetos antigos são, naturalmente, cobertos com produtos de corrosão que podem ter se originado no momento da fabricação, como nos casos onde o objeto foi deliberadamente patinado, ou eles podem estar corroídos em função da atmosfera com a qual ele está em contato. (SCOTT, 1991, p.43):

Em condições normais de campo claro, com a microscopia de luz refletida a maioria das crostas de corrosão tem uma cor cinza. O exame sob luz polarizada refletida produz uma grande quantidade de informações valiosas. O polarizador em microscópios de luz refletida é habitualmente alojado na câmara da fonte de luz e pode ser rodado, enquanto o analisador é colocado num suporte especial na frente da torreta ocular. Ajustando um ou ambos os elementos polarizadores, as cores "verdadeiras" de produtos de corrosão podem muitas vezes ser reveladas (SCOTT, 1991, p.43, tradução nossa)⁶⁰.

A densidade é uma medida de compacidade expressa pela massa sobre volume. O processo para determinação da densidade é normalmente feito pela imersão do objeto em meio aquoso adequado (SELWYN, 2004, p.14). Entretanto, essa técnica tem como limitação produzir resultados médios de densidade do artefato como um todo.

Metais como o Ferro, Cobalto, Níquel e seus compostos, possuem propriedades magnéticas que podem variar entre fortes, fracas e não-magnéticas. É comum usar um ímã (magnético permanente) como teste de detecção de magnetismo. Se houver qualquer material metálico magnético remanescente por baixo de uma camada de revestimento, poderá ser detectado.

Processos analíticos diversos auxiliam na identificação dos constituintes dos artefatos metálicos serão tratados no Capítulo 3 desta dissertação.

⁵⁹ The colour may depend on the oxidation state of the metal in the corrosion product. For example, copper compounds with copper in the +1 oxidation state (written as Cu(I) or Cu₊) can be red, black, or colourless, whereas those in the +2 oxidation state (Cu (II) or Cu₊₂) are usually beautiful greens or blues (SELWYN, 2004, p.12).

⁶⁰ Under normal bright-field reflected light microscopy most corrosion crusts have a grey color. Examination under reflected polarized light yields a great deal of valuable information. The polarizer in reflected light microscopes is usually housed in the chamber of the light source and can be rotated, while the analyzer is placed in a special holder in front of the eyepiece turret. By adjusting one or both of the polarizing elements, the "true" colors of corrosion products can often be revealed (SCOTT, 1991, p.43).

Existe também a possibilidade de uso de papéis de identificação, similares aos papéis de pH, que são chamados de *spot test papers*. Essa técnica é dividida em duas categorias: indicadores químicos e reagentes químicos. Na primeira, os indicadores químicos mudam de cor quando expostos a uma solução iônica metálica específica. Na segunda, reagentes químicos podem ser necessários para completar o teste, muitas vezes como um eletrólito em que o metal ou liga será dissolvido, passando a forma iônica (SELWYN, 2004, p.16). Essa metodologia, no entanto, não está disponível para muitos metais e não permite a identificação de ligas, além de produzir resultados relacionados somente a superfície da peça.

Metais possuem duas formas de deterioração. São elas através de processo eletroquímico, conhecido como corrosão, e através de processo químico, conhecido como oxidação (MORA, 2010, p.202). A corrosão será abordada com mais detalhe no item a seguir.

2.4.2 - A corrosão

O processo de degradação mais comum em metais é a corrosão. A palavra corrosão advém do latim *Corrodere*, cujo significado se assemelha ao de destruir rapidamente deixando uma superfície irregular. Selwyn (2004) apresenta um exemplo clássico de um processo corrosivo:

Uma vez separado do seu minério, o metal é instável (porque está num estado de alta energia) e quer voltar a um estado de energia mais estável e baixo (por exemplo, o estado natural tal como se encontra no minério). Isto se realiza num processo conhecido como corrosão, cujo exemplo mais conhecido é a oxidação do aço em que o metal (ferro) é convertido num óxido de ferro não metálico (ferrugem) (SELWYN, 2004, p.6, tradução nossa)⁶¹.

O princípio da corrosão de objetos metálicos são reações eletroquímicas que ocorrem entre o objeto, ou parte dele, e o meio a que está exposto.⁶² No caso mais

⁶¹ Once separated from its ore, the metal is unstable (because it is in a high energy state) and wants to return to a more stable, lower energy state (e.g. the natural state as found in the ore). This can be accomplished in a process known as corrosion, the best known example of which is the rusting of steel where the metal (iron) is converted to a non-metallic iron oxide (rust) (SELWYN, 2004, p.6).

⁶² Corrosão pode ser definida como um processo eletroquímico no qual elétrons são transferidos de um metal ou espécie para outro durante reações simultâneas chamadas reações de oxidorredução, que ocorrem numa solução ou eletrólito. Reações de oxidação são reações químicas nas quais os constituintes perdem elétrons; se o constituinte é um metal ou íons metálico e está oxidado, o estado de oxidação é aumentado. Reações de redução são reações químicas nas quais os constituintes ganham elétrons; se o constituinte é um metal ou íons metálico e está reduzido, o estado de oxidação é reduzido. Durante a reação de oxirredução tanto as reações de oxidação e redução ocorrem simultaneamente e em quantidades equivalentes (SELWYN, 2004, p.19, tradução nossa).

comum, a corrosão atmosférica⁶³, a umidade relativa elevada junto com a presença de partículas sólidas que se depositam sobre as superfícies metálicas, facilitam o processo de corrosão (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.123). A corrosão atmosférica pode ocorrer tanto em ambientes ao ar livre como em ambientes protegidos. A agressividade do ar atmosférico depende das condições específicas do local. O ar atmosférico pode depositar de forma temporária ou contínua pequenos filmes de meios corrosivos que podem ser extremamente agressivos, sobre a superfície metálica do bem cultural.

O processo de corrosão faz com que o objeto modifique seu volume, forma, cor, peso, matéria e resistência. De forma que o objeto corroído pode se tornar ilegível caso não seja submetido a um tratamento adequado (FIGUEREDO; ZALDÍVAR, 2014, p.37).

Em alguns casos pode-se perceber o processo de corrosão como algo positivo que auxilia na proteção da superfície do objeto e até na estética, valorizando aspectos como a cor e forma do objeto (pátinas protetoras). Entretanto, o mais comum é que o processo seja negativo, pois destrói a camada metálica, mineralizando-a, em geral enfraquecendo sua estrutura física (SELWYN, 2004, p.19). Desta forma, é necessário determinar se a corrosão é desejável ou danosa, para que possam ser implementados os devidos tratamentos.

Produtos de corrosão presentes em bens culturais não devem ser removidos inadvertidamente, pois podem conter informações acerca da vida do bem cultural. A partir da obtenção dessas informações é determinante verificar se o produto de corrosão é protetor ou não. Caso não seja protetor, deve ser eliminado e a superfície metálica original protegida para que os processos de corrosão não se reiniciem. Contaminantes como os cloretos, presentes nos produtos de corrosão, geralmente indicam ameaças a estabilidade do bem cultural.

Os produtos de corrosão presentes nas superfícies metálicas dos bens culturais são normalmente denominados de pátinas, que podem se desenvolver naturalmente ou serem criadas artificialmente. A pátina artificial é aquela criada intencionalmente, ao se expor a superfície do objeto metálico a produtos químicos específicos para produzir cores específicas, para embelezamento e proteção. As pátinas artificiais devem ser sempre protetoras (SELWYN, 2004, p.19).

Quando um objeto metálico entra em contato com um ambiente corrosivo, ele pode exibir três tipos de comportamento: imune, ativo e passivo. Caso seja imune, o

⁶³ São os processos corrosivos em que o meio é o ar atmosférico.

processo de corrosão não acontece; caso seja ativo, o processo de corrosão acontece e a pátina formada não é protetora; caso seja passivo, a pátina formada é protetora e o processo de corrosão se interrompe a medida que ela se forma. Selwyn (2004) mostra no esquema apresentado na Figura 1, a seguir, esses comportamentos:

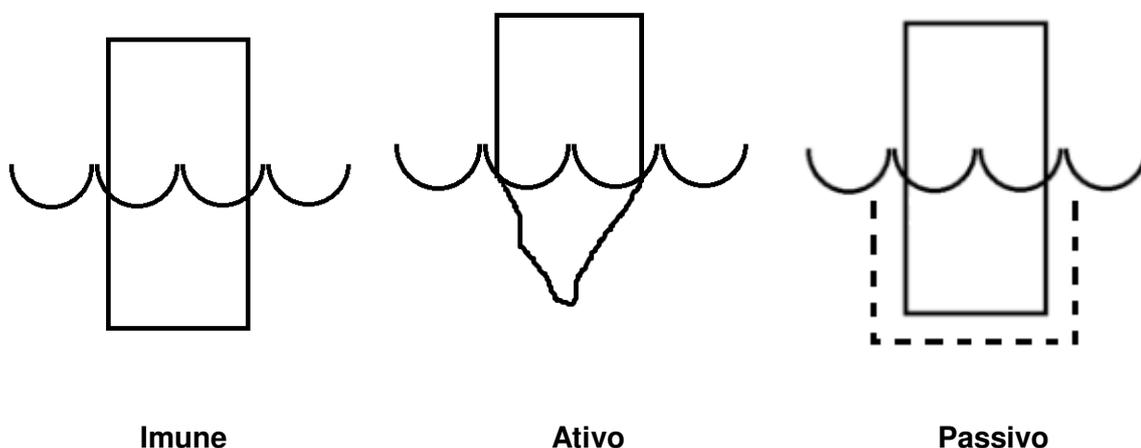


Figura 01 - três tipos de comportamento da corrosão (SELWYN, 2004, p.24)

A maioria dos metais e ligas em contato com o meio ambiente forma um sistema termodinamicamente instável, com exceção dos metais nobres. Entretanto, a velocidade do processo de corrosão varia muito de acordo com o metal ou liga e o ambiente em que está em contato. Fatores como a temperatura, umidade, passagem de corrente elétrica podem acelerar ou diminuir as velocidades de reação de corrosão (MORA, 2010, p.201).

Os processos de corrosão, muito comuns em artefatos arqueológicos recuperados diretamente do solo, se encontram em um estado de equilíbrio alcançado durante o enterramento. A sua recuperação pode quebrar esse equilíbrio, o que pode ser perigoso, pois o objeto se torna sujeito a mudanças rápidas e irreversíveis a menos que certas precauções sejam tomadas. A este tipo de corrosão dá-se o nome corrosão pelo solo. A intensidade dessa corrosão depende do teor de umidade, da composição química e do pH do próprio solo.

Informações valiosas podem às vezes ser recuperadas de fragmentos metálicos corroídos. O anexo ilustra alguns dos tipos de corrosão encontrados em bens culturais metálicos.

2.4.3 - Procedimentos de conservação de objetos metálicos

Como já apresentado processos de corrosão para artefatos que possuem em parte ou no todo componentes metálicos, são responsáveis pela sua degradação, podendo determinar a perda de informações de interesse para caracterização do bem cultural. Assim cabe discutir os procedimentos que possam proteger esses bens culturais dos processos de degradação.

É impreterível, quando se pensa na proposição de medidas de prevenção à degradação de objetos em metal ou ligas, estipular ações conjuntas entre profissionais com diversas formações. Dentre essas ações, a primeira a ser destacada é a avaliação prévia, pois se constitui um elemento essencial básico para futuras intervenções. Rosado (2008) apresenta na Tabela 03, a seguir, as ações envolvidas na avaliação prévia dos objetos:

Tabela 03 - Avaliação prévia dos objetos. Fonte: Rosado, 2008

| Ações | Procedimentos |
|-----------------------------|--|
| Manuseio | Feito apenas por pessoal autorizado pela instituição, o manuseio deve ser individual para cada peça. |
| Tamanho das peças | Peças grandes devem ser examinadas nos locais em que estão. |
| Exame das obras | O museu deve ter um local de exame de obras, bem iluminado, com mesas de estrutura niveladas e de forte estrutura, forrada de espuma de polietileno. |
| Condições Climáticas | No local em que as obras são examinadas deverá ser controlada mudanças bruscas de umidade e temperatura. |
| Profissional | O examinador deverá remover adereços pessoais, usar jaleco de cor clara, utilizar luvas ou não de acordo com o material. Como também ter equipamentos de exames para cada tipo de material. |
| Sala de exame | O ambiente não deverá ter produtos de limpeza, solventes, canetas ou tintas, pois poderão acarretar reações nos materiais dos objetos |
| Fotografar | Os objetos devem ser fotografados. |
| Relatório | Um relatório de laudo técnico deverá ser elaborado descrevendo: Dimensões, técnica, material, estado de conservação, data do exame, histórico e procedência da obra, procedimentos de conservação que deverão ser feitos entre outros. |

Através do quadro de procedimentos prévios, Rosado afirma que com diagnósticos ou exames laboratoriais faz-se possível a aplicação de medidas de conservação adequadas.

Uma vez que a corrosão é o principal processo que afeta os bens culturais metálicos, o método mais efetivo de reduzi-la é através da conservação preventiva. O

condicionamento do acervo, tanto na exposição como na reserva-técnica, deve ser proposto em observação às condições ambientais, assim como também ao manuseio e acondicionamento corretos.

As principais causas que afetam metais em coleções incluem: alta umidade relativa, poluentes e o manuseio de forma inadequada. A literatura mostra que a manutenção da umidade relativa igual ou abaixo de 50% é o suficiente para impedir processos de corrosão, possibilitando a preservação indefinida desses artefatos.

Froner e Souza (2008) recomendam umidade relativa entre 35 e 55%, mas ressaltam que estes níveis devem sempre considerar as reações dos materiais mistos e as características ambientais (histórico climatológico) da região e do edifício responsável pela guarda do acervo (FRONER; SOUZA, 2008, p.6).

O monitoramento constante de temperatura e umidade relativa com termo-higrômetros e psicrômetro (medem temperatura e umidade), assim como a presença de rachaduras e goteiras, e o número de visitantes, devem ser fatores considerados para o controle ambiental adequado (TEIXEIRA; GHIZONI, 2012).

Ressalta-se que alguns prédios onde o acervo está salvaguardado podem auxiliar no controle de temperatura e umidade, pois contribuem para que as condições internas sejam diferentes das externas. Também devem ser levados em consideração os poluentes, tanto os presentes nas áreas externas, quanto aqueles originados internamente, provenientes da construção de vitrines, das tintas, dos vernizes, dos produtos de limpeza, etc.. Altas temperaturas irão aumentar a taxa de reações químicas, incluindo a liberação de contaminantes não desejados na atmosfera, efeitos no qual podem ser iniciados por fatores concomitantes, como o aumento da umidade relativa e luz.

Dalewicz-Kitto (2016) afirma sobre os princípios físicos e químicos que norteiam o controle ambiental:

A equação de Arrhenius afirma que, em geral, um aumento na temperatura de 10°C irá dobrar a taxa de reações moleculares, sendo assim, em museus e galerias em países com mais climas extremos, existe uma grande probabilidade de aumentar as taxas de decomposição (DALEWICZ-KITTO, 2016, p.44, tradução nossa)⁶⁴.

⁶⁴ The Arrhenius Equation states that in general an increase in temperature of 10°C will double the rate of molecular reactions and thus, in museums and galleries in countries with more extreme climates, there is a greater probability of increasing the rates of decay (DALEWICZ-KITTO, 2016, p.44).

Em países de clima tropical é normal o uso de sistemas de ar-condicionado para controle de temperatura e umidade. Deve-se ater ao fato de que estes equipamentos por si só não representam sistemas de controle ambiental eficazes. Dalewicz-Kitto (2016) afirma que, por outro lado, vitrines bem seladas e construídas por material inerte podem beneficemente ser usadas para criar barreiras de redução dos níveis internos de contaminantes, tais como os vindos de visitantes. Entretanto, devem ser tomadas as devidas precauções para não permitir a formação de microclimas que aumentem os danos nos bens culturais (DALEWICZ-KITTO, 2016, p.44).

As práticas de conservação preventiva devem ser descritas no plano diretor da instituição. De acordo com Teixeira e Ghizoni (2012), a manutenção das características originais do bem cultural deve ser uma constante preocupação, buscando a mínima intervenção e, dentro do possível, o restabelecimento de sua integridade física (TEIXEIRA; GHIZONI, 2012, p.15).

Uma atmosfera ideal deve ser livre de poluição, poeira e possuir o controle de umidade relativa. Sempre que possível, é aconselhável para objetos feitos somente de metais e suas ligas mantê-los em atmosferas inertes. Mas tais sistemas podem ter um alto custo de implantação, manutenção e apresentar dificuldades devido aos tamanhos diversificados dos bens culturais.

Ainda sobre o acondicionamento, é normal uma grande parte do mobiliário ser metálico, nesses casos, deve-se ter atenção já que um metal ou liga em contato com outro pode conduzir a reações de óxido-redução, por isso quando se armazena tal acervo se faz indispensável a presença de algo que separe tais superfícies de contato, como por exemplo a pintura das superfícies metálicas do mobiliário, o uso de espuma de polietileno ou de papéis com pH neutro.

Ressalta-se que a preservação desses acervos conta com uma ferramenta eficaz que é a avaliação regular os objetos. Artefatos em metais ou ligas devem ser inspecionados em períodos variados dependendo da sua composição. Metais mais resistentes como os preciosos e a ligas de cobre, podem ser inspecionados anualmente, enquanto os metais mais sensíveis em períodos cada vez menores. Uma alternativa adequada é a proteção das superfícies metálicas, seja com a aplicação de cera microcristalina, de vernizes e caso possível de tintas. A observação minuciosa do bem cultural visa o reconhecimento das condições ambientais internas e externas à instituição, de forma a caracterizar os principais agentes responsáveis pela deterioração e assim a tomar medidas preventivas.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTOS ANALITICOS APLICADOS A ACERVOS CIENTÍFICOS COM PRESENÇA DE METAIS

3. PROCEDIMENTOS ANALITICOS APLICADOS A ACERVOS CIENTÍFICOS COM PRESENÇA DE METAIS

3.1 - Os Desenvolvimento Iniciais dos Procedimentos Analíticos

Para melhor entendermos o papel e o aparecimento da aplicação das técnicas analíticas ao patrimônio é necessário compreendermos seu surgimento e desenvolvimento. A química se apresenta como um ponto inicial fundamental para o aparecimento dos procedimentos analíticos. Isso se dá pois a Química, segundo Rosa (2012), é uma ciência baseada na quantificação, experimentação, demonstração e comprovação. O processo evolutivo da química teve crescente atividade de pesquisa corroborada pelas inovações metodológicas e pelos aperfeiçoamentos dos instrumentos de investigação laboratorial (ROSA, 2012, p. 183).

A concepção dos elementos químicos de Antoine Lavoisier e os desdobramentos consideráveis da Química, pelo século XIX, tornaram possível a compreensão científica da materialidade dos objetos fabricados pela humanidade (MOHEN, 1999, p.106). As consequências deste desdobramento são percebidas na área da cultura essencialmente no nascimento da disciplina da conservação-restauração do patrimônio cultural.

A análise ou decomposição defendida por Lavoisier foi uma metodologia difundida e adotada pela comunidade da química nos seus trabalhos de pesquisa, responsáveis, em boa parte, pelo extraordinário desenvolvimento da ciência (ROSA, 2012, p. 183). As metodologias relacionadas avançaram consideravelmente junto com novos instrumentos utilizados nas investigações. “Graças ainda a Lavoisier, a balança se transformaria, por seu uso sistemático ao longo da pesquisa, no mais importante instrumento de análise química” (ROSA, 2012, p. 183). A evolução da balança teve um impacto positivo no processo investigativo. Sua acurácia cada vez maior possibilitou, por meio de uma metodologia científica, uma melhor análise quantitativa, inclusive na determinação da proporção dos componentes nos compostos. Rosa menciona algumas das descobertas possibilitadas pela balança:

Assim, viriam a ser descobertos, entre outros, os óxidos de zircônio, urânio, telúrio e titânio, bem como o metal cromo e os elementos paládio (Pd), ródio (Rh), ósmio (Os) e rênio (Re). Os alemães Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) e Karl Friedrich Mohr (1806-1879), o francês Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829), os ingleses William Hyde Wollaston (1766-1828) e Smithson Tennant (1761-1815) e o russo Karl Karlovitch Klaus (1796-1864) se notabilizaram por seus trabalhos nessa área (ROSA, 2012, p. 183).

Após as descobertas de Lavoisier e com o surgimento de uma ciência química separada das demais ciências, foi que se tornou possível discernir o que seria hoje considerado como uma atividade "analítica". O termo "análise" aparece explicitamente pela primeira vez no fim do século XIX, no manual para a análise química de minerais⁶⁵ escrito por W. A. Lampadius. Desde então, a ciência analítica tem tomado corpo, com apelo interdisciplinar (GUNZLER; WILLIAMS, 2001, p.2-3).

Outra contribuição importante a ressaltar se refere à pesquisa de Jons Jakob Berzelius (1779-1848), que desde o início do século XVIII pesquisava a determinação exata do peso atômico dos elementos (ROSA, 2012, p. 184). Rosa acrescenta sobre as novas descobertas de elementos:

Pelo método da fusão de potássio com óxidos metálicos, ele isolava Berzelius o silício e o zircônio, em 1844, o titânio em 1825 e o tório em 1828. Esse mesmo método seria aplicado por Antoine Alexandre Bussy (1794-1882) para isolar o magnésio (Mg) (1831) e o berílio (Be) (1828), este último também isolado, ao mesmo tempo, por Friedrich Wohler (1800-1882). Paralelamente à análise gravimétrica, evoluiria, igualmente, desde meados do século XVIII, a chamada análise volumétrica, relativa a soluções, seus equipamentos de vidro (cilindros graduados, pipetas, buretas) e técnicas associadas. Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) seria pioneiro, a partir de 1824, na análise volumétrica sobre titulação quantitativa de ácidos e bases, bem como Mohr, autor de tratado do Método Titrimétrico de Análise Química, que desenvolveu o uso de substâncias padrão na alcalimetria (ácido oxálico) e na oxidimetria (sal de Mohr, sulfato ferroso amoniacal) e foi responsável, ainda, por muitos aperfeiçoamentos de instrumentos e métodos (ROSA, 2012, p. 184).

Na última metade do século XIX, a análise química se desenvolveu plenamente, devido ao aperfeiçoamento dos vidros óticos, que permitiriam melhor qualidade dos refratômetros, espectroscópios, polarímetros e microscópios (ROSA, 2012, p. 184). Sobre o avanço ocorrido devido aos estudos em espectroscopia a mesma autora afirma:

A espectroscopia, desenvolvida por Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff em 1859, levaria à descoberta de elementos – rubídio (Rb), célio (Cs), índio (In), tálio (Tl), hélio (He), argônio (Ar) – e à determinação da composição química das estrelas; os polarímetros, cuja técnica utiliza a polarização da luz, seriam aperfeiçoados por William Nicol (1768-1851) com o emprego de prisma especial e adotados na Análise de alimentos, particularmente na determinação de sacarose (ROSA, 2012, p. 184).

Não só a espectroscopia teve papel fundamental no desenvolvimento dos procedimentos analíticos. Destacam-se também a microscopia, cujos instrumentos foram melhorados a partir de 1820 e passaram a ser usados regularmente nos laboratórios,

⁶⁵ Hundbuch zur Chemischen Analyse der Mineralkörper

“principalmente após 1872 com a introdução, por Ernst Abbe (1840-1905), de um condensador de luz na parte inferior da platina do instrumento (ROSA, 2012, p. 184).

Marcellin Berthelot, na segunda metade do século XIX, aplicou sua pesquisa no campo da química em vestígios arqueológicos e, especialmente, em metais antigos, visando sua identificação e compreensão da tecnologia de fabricação utilizada, mas também aspectos do envelhecimento e aspectos relacionados às condições atmosféricas. Ao mesmo tempo, um primeiro laboratório de química em Berlim trabalhou no tratamento de tijolos de Salitre da Babilônia, para expô-los sem que eles deteriorassem (MOHEN, 1999, p.107).

Em 1869, na Alemanha, E. Von Bibra e colaboradores iniciaram pesquisas em bronzes conhecidas como Paleometalurgia (MOHEN, 1999, p.114). Outro campo semelhante é o da Arqueometalurgia⁶⁶, cujo objetivo é estudar as atividades de produção de metais e produções metalúrgicas do passado, como parte integrante da Arqueologia (CARAMÉ, 2007, p.399).

Em 1963, Leo Biek, em sua pesquisa, destacou que a microestrutura poderia ser observada abaixo do produto de corrosão dos objetos arqueológicos metálicos, salientando que seu estudo poderia ser usado para reconstruir a história do objeto. Posteriormente, foram desenvolvidos os procedimentos analíticos relacionados à conservação investigativa dos objetos metálicos. Em 1970, a radiografia foi usada com a finalidade de caracterizar esses objetos (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.278).

A química analítica ou como é mais conhecida em inglês “chemical analyses” é entendida hoje como abrangendo qualquer exame de material com o objetivo de extrair informações sobre seus componentes, sendo analisados o caráter do material (forma, qualidade ou padrão de ligação química), a quantidade (concentração, conteúdo), a distribuição (homogeneidade, mas também de distribuição com respeito para superfícies, limites interno e externo), e a estrutura (arranjo espacial dos átomos ou moléculas) (GUNZLER; WILLIAMS, 2001, p.1).

A aplicação de processos analíticos, principalmente em artefatos arqueológicos, data desde o século XVIII. Esta atividade aumentou exponencialmente a partir de 1950, devido à viabilidade dos métodos de análises instrumentais, iniciando com espectroscopia de emissão ótica e análises de ativação de nêutrons, culminando na aplicação das mais recentes técnicas de análise sub-nanograma de restos bio-

⁶⁶ Campo que une os estudos arqueológicos aos da metalurgia.

moleculares (POLLARD; HERON, 2008, p.406).

Uma das primeiras publicações sobre processos analíticos aplicados ao patrimônio foi o trabalho do cientista alemão Friedrich Klaproth, no século XVIII, que analisou a composição de moedas metálicas (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.4). No início do século XIX, Jean-Antoine Chaptal publicou estudos sobre pigmentos em artefatos originários de Pompéia, concomitantemente com a pesquisa de Humphry Davy, sobre materiais de pigmento em artefatos arqueológicos romanos. Outros fatos importantes para a área foram as pesquisas de Michael Faraday, no início do século XIX, sobre os efeitos de vidro como proteção para pinturas na *National Gallery* de Londres, e a publicação de Ernst von Bibra, na mesma época, na verdade um compêndio de análise de metais, com base em um estudo das coleções dos museus (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.4).

Ao longo da primeira metade do século XX, novos laboratórios foram estabelecidos e mantiveram pesquisas em coleções, que desenvolveram melhores metodologias de preservação. Os esforços iniciais se concentraram em responder às perguntas analíticas, bem como aquelas sobre a tecnologia de fabricação do objeto e seus materiais constituintes, criando a base do conhecimento atual que nos ajuda a definir e compreender alguns aspectos físicos e químicos dos materiais constituintes dos bens culturais (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.4).

Segundo Martinez e Alonzo (2011), a aplicação dos processos analíticos em patrimônio com o propósito de conservação e restauração remonta ao final do século XIX, concomitante com a criação do laboratório de restauro anexo ao Museu de Berlim, apesar da sua restrição ao estudo de obras de arte (MARTINEZ; ALONSO, 2011, p.38).

Os últimos anos do século XX e início do século XXI foram testemunhos de uma grande mudança no cenário dos procedimentos analíticos. Poland e Heron (2008) relatam sobre essas mudanças:

Nos últimos 10-20 anos tem-se visto uma grande mudança na capacitação para análises químicas. A maioria dos instrumentos modernos, qualquer que seja a técnica envolvida, rotineiramente lida com amostras na faixa de miligramas ou menos, e são projetados para funcionarem automaticamente sob o controle de um computador, teoricamente, dando capacidade surpreendente para o potencial de tratamento de amostras (POLLARD; HERON, 2008, p.407, tradução nossa)⁶⁷.

⁶⁷ The past 10–20 years has seen a great change in analytical capabilities. Most modern instruments,

Destaca-se também a eletroquímica e sua aplicação a problemas de corrosão nos metais. Esta foi uma das primeiras metodologias científicas aplicada à preservação. Ao longo das últimas décadas, o alcance da capacidade dos métodos eletroquímicos para interagir com a preservação foi significativamente alargado, em virtude da aplicação de novas abordagens, em particular, a voltametria de micropartículas (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.xiii).

Segundo Appoloni e Parreira (2007), a “Arqueometria” é uma área estabelecida desde os anos 1960, com ampla utilização de métodos atômicos nucleares na caracterização de objetos de arte, arqueológicos e de patrimônio cultural em geral. No Brasil, no entanto, até o início dos anos 1990, empregando métodos da física, estava implementada apenas a área de datação arqueológica, em especial envolvendo a técnica de termoluminescência (APPOLONI; PARREIRA, 2007).

Em 1992, um dos membros do Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (LFNA/UUEL) se envolveu com as possibilidades da tomografia na Arqueometria, assim como com a técnica de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDFRX) na análise de bronzes antigos. Desta forma, face à potencialidade da área no Brasil, à riqueza de possibilidades de aplicações, assim como o desafio científico destes trabalhos inter e multidisciplinares, o LFNA/UUEL introduziu, pioneiramente em 1994, a arqueometria e temas correlatos entre suas linhas prioritárias de pesquisa (APPOLONI; PARREIRA, 2007). A primeira pesquisa realizada foi o estudo de uma seleção de fragmentos de cerâmica arqueológica da coleção do Museu Histórico da UEL por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, Espectroscopia de retroespalhamento de Rutherford e transmissão de raios gama (APPOLONI; PARREIRA, 2007).

Apesar de grande parte dos museus não possuírem laboratório de conservação preventiva, Rosado (2008) descreve que essa realidade não inviabiliza a implementação de projetos em cooperação com outros laboratórios, como por exemplo os de universidades públicas. Essas parcerias simbolizam alternativas para otimizar esforços na elaboração de metodologias brasileiras de conservação (ROSADO, 2008, p.13).

No Brasil não existe uma instituição que trabalhe exclusivamente com estudos analíticos de bens culturais. O desenvolvimento da área, no entanto, acontece nos centros de pesquisa universitários. Isso significa que não há um aprofundamento no

whatever the technique involved, routinely deal with samples in the milligram range or smaller, and are designed to run automatically under computer control, theoretically giving astonishing capacity for the potential throughput of samples (POLLARD; HERON, 2008, p.407).

campo, mas pode-se destacar algumas iniciativas como as de Luiz Antônio Cruz Souza⁶⁸, de Marcia de Almeida Rizzutto⁶⁹ e de Carlos Roberto Appoloni⁷⁰, dentre outras.

3.2 - Os Procedimentos Analíticos

Visando o escopo desta dissertação estamos tratando o termo arqueometria como um sinônimo aos procedimentos analíticos aplicados ao patrimônio metálico científico, uma vez que as coleções arqueológicas estão inseridas no contexto do patrimônio cultural da ciência e tecnologia. Vale ressaltar que o uso do termo vai além do escopo da arqueologia. Nos dias de hoje o termo arqueometria vem sendo usado para definir uma série de aplicações de procedimentos analíticos em diversos tipos de patrimônio.

Os procedimentos analíticos aplicados ao patrimônio são parte das ferramentas de análise mais precisas no campo da preservação. Rosado (2008) em "*História da Arte Técnica e Arqueometria: uma contribuição no processo de autenticação de obras de arte*" menciona que a arqueometria é a união da ciência e do patrimônio, de forma que as duas atuam simultaneamente em favor do estudo no campo da preservação de bens culturais.

Campos (2009) ressalta que "por meio de um estudo interdisciplinar, da junção de variados conhecimentos científicos, é possível adquirir dados históricos e técnicos de objetos arqueológicos, podendo realizar uma interpretação mais completa" (CAMPOS, 2009, p.82). O objetivo é, a partir da análise dos elementos químicos que constituem os materiais utilizados, localizar no tempo sua criação, detectar possíveis retoques e intervenções restaurativas feitas anteriormente, identificar técnicas e manufaturas, em alguns casos detectar falsificações, e estabelecer quais foram os materiais utilizados na confecção do bem cultural. Doménech-Carbó e colaboradores relatam em mais detalhes sobre as possibilidades das análises:

A caracterização das técnicas e tecnologias artísticas de produção a partir dos dados analíticos relacionados com a composição química e a morfologia do objeto permitem frequentemente uma clara atribuição do objeto estudado a uma região geográfica, bem como a elucidação da data de fabricação. A autenticação é por vezes realizada com base em

⁶⁸ Luiz Antônio Cruz Souza faz parte de projetos ligados ao Laboratório de Ciência da Conservação (LACICOR), vinculado ao Centro de Conservação de Bens Culturais (CECOR), e ao curso de Graduação em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, na Escola de Belas Artes da UFMG.

⁶⁹ Marcia de Almeida Rizzutto, está ligada a projetos de pesquisa com os Museus da Universidade de São Paulo e Museus de São Paulo como Pinacoteca, Fundação Armando Alvares Penteado - FAAP, dentre outros museus paulistas.

⁷⁰ Carlos Roberto Appoloni participou de projetos da Universidade Estadual de Londrina na área de Física Nuclear Experimental e Física Aplicada.

dados analíticos. [...] Os dados analíticos são essenciais para determinar o estado de conservação do objeto, bem como as causas e mecanismos de sua deterioração. O exame científico do objeto fornece um quadro completo do tipo de dano que apresenta: ocorrência de alterações na morfologia e/ou composição, formação de produtos de corrosão, lixiviação de materiais, etc. Posteriormente, com base nesse conhecimento fundamental, é ainda útil definir, desenvolver e avaliar conceitos de conservação, materiais, medidas, métodos e técnicas de intervenção. O controle analítico do tratamento de intervenção é essencial para assegurar que as operações incluídas no tratamento de conservação sejam realizadas corretamente. A monitorização do ambiente é outra tarefa fundamental para garantir a futura conservação do objeto em condições ótimas. O controle da temperatura, umidade relativa e poluentes em museus (salas de exposições e armazéns), monumentos e edifícios de interesse, bem como em sítios arqueológicos, são atividades indispensáveis realizadas durante a intervenção do objeto e além (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.1-3, tradução nossa)⁷¹.

Em geral, destacamos que as análises servem para a pesquisa da estrutura física e química (composição) de materiais, o que auxilia no processo de preservação e aumenta o conhecimento sobre os processos de degradação, identificando os problemas, as causas e os mecanismos responsáveis pela deterioração; o estudo da história das técnicas, incluindo o processo de fabricação e origem dos materiais que compõem o bem cultural, que auxilia na datação e autenticação; o diagnóstico e identificação de restaurações anteriores; o desenvolvimento de novas análises ou exames voltados para o patrimônio; a conservação preventiva; e principalmente para a difusão do conhecimento. No caso específico dos metais e suas ligas, se destacam além das citadas o estudo da microestrutura, a caracterização e o estudo dos produtos de corrosão.

É de extrema importância conhecer os objetivos dos processos analíticos de forma clara, para que os resultados alcançados sejam satisfatórios. Barrio e colaboradores acrescentam sobre a aplicação das análises sobre materiais metálicos, que:

⁷¹ Characterization of the artistic techniques and technologies of production from the analytical data related to the chemical composition and morphology of the object often allows a clear ascription of the studied object to a geographical region, as well as an elucidation of the date of manufacture. Authentication is sometimes carried out based on analytical data (i.e., identification of a pigment used in a certain historic period or recognition of a specific artistic technique). Analytical data are essential for determining the state of conservation of the object, as well as the causes and mechanisms of its deterioration. Scientific examination of the object provides a complete picture of the type of damage it exhibits: occurrence of changes in morphology and/or composition, formation of corrosion products, lixiviation of materials, etc. Subsequently, based on this fundamental knowledge, it is further helpful to define, develop, and evaluate conservation concepts, materials, measures, methods, and techniques of intervention. Analytical control of the intervention treatment is essential for assuring that the operations included in the conservation treatment are performed correctly. Monitoring of the environment is another fundamental task for guaranteeing the future conservation of the object under optimal conditions. Control of temperature, relative humidity, and pollutants in museums (exhibition and storage rooms), monuments, and buildings of interest, as well as at archaeological sites, are indispensable activities carried out during the intervention of the object and beyond (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.1-3).

devemos dizer que este processo conservativo por sua aplicação direta na matéria física dos objetos metálicos e por sua incidência direta no futuro das peças, oferece o desenvolvimento metodológico com uma maior amplitude; nenhuma das variáveis podem escapar ao interesse da conservação, pois qualquer possibilidade de estudo sempre dependerá se o objeto metálico estar em condições aceitáveis para ser manejado e analisado. A metodologia deve implicar no uso das ferramentas e técnicas adequadas para a análise dos diversos aspectos que desejamos conhecer no objeto metálico, antes, durante e depois da sua restauração (BARRIO *et al.*, 2007, p.579-580, tradução nossa)⁷²

Campos e Granato (2015) ressaltam que conhecendo os processos que causam a degradação, o pesquisador estuda a influência dos tratamentos e a sobrevivência do objeto, além das interações com o ambiente. É, portanto, através dos procedimentos analíticos, que os conservadores podem coletar informações a respeito do material, que colaboram para o diagnóstico do estado de conservação do artefato e identificar a metodologia mais adequada para sua conservação (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.278).

Os mesmos autores ressaltam sobre as aplicações das análises científicas que por meio dos resultados obtidos no emprego de técnicas micro analíticas é possível produzir respostas que levam a um melhor entendimento das rotas comerciais e interações entre os grupos sociais. É possível também identificar os materiais empregados para a confecção do objeto, as técnicas de elaboração, fazer a datação relativa e checar a procedência (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.278).

No que tange à aplicação essencial dos procedimentos analíticos, Barrio e colaboradores (2007) afirmam que “a arqueometria pode oferecer uma garantia para a complementaridade dos tratamentos tradicionais e inovadores, determinando a eficácia para a estabilização de metais arqueológicos, objetivo final do processo restauração” (BARRIO *et al.*, 2007, p. 581, tradução nossa)⁷³.

Segundo Boutaine (2000), para entender como os bens culturais foram elaborados, é necessário conhecer os mecanismos das alterações que ocorreram, estimar sua importância, assim como definir uma estratégia de restauração e conservação. É necessário utilizar um conjunto de métodos de exame e análise dessas obras e dos materiais que as compõem (BOUTAINE, 2000, sem paginação). Esses

⁷² “Pero hemos de decir que esta perspectiva conservativa por su implicación directa en la materia física de los objetos metálicos y por su incidencia directa en el futuro de estas piezas, aglutina el desarrollo metodológico con una mayor amplitud; ninguna de las variables puede escapar al interés de la conservación, puesto que cualquier posibilidad de estudio siempre dependerá de que el objeto metálico esté en condiciones aceptables para ser manejado e investigado. La metodología debe implicar el uso de las herramientas y técnicas adecuadas para el análisis de los diversos aspectos que deseamos conocer en el objeto metálico, ante, durante o después de su restauración” (BARRIO *et al.*, 2007, p.579-580).

⁷³ la Arqueometría puede ofrecer una garantía a la complementariedad de los tratamientos tradicionales con los innovadores, determinando la eficacia para la estabilización del metal arqueológico, objetivo último del proceso de intervención restauradora (BARRIO *et al.*, 2007, p. 581).

métodos devem ser de preferência sem contato direto com o objeto e não destrutivos.

Além de conhecer os bens culturais, é necessário conhecer também os materiais que são utilizados durante as intervenções de conservação/restauração. Os processos analíticos também podem ser aplicados em protetores, consolidantes e adesivos utilizados para a integração de muitas das peças de metais (BARRIO *et al.*, 2007, p. 581). A pesquisa de longevidade dos produtos utilizados na preservação é, portanto, outra possibilidade de uso dos procedimentos analíticos aqui estudados. Os procedimentos analíticos ajudam a encontrar e avaliar os materiais e técnicas adequados durante uma intervenção, assim como ponderar o grau de intervenção em um tratamento particular.

Para melhor entendermos os procedimentos analíticos quando aplicados aos bens culturais, é necessário compreender o mecanismo que rege o funcionamento deles, especialmente aqueles incluídos nos grupos conhecidos como: Espectroscopia, Microscopia e Difractometria.

Espectroscopia é a designação para toda técnica de levantamento de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra. Elas são amplamente usadas para identificação e determinação de materiais. A informação fornecida e a aplicação de cada técnica depende do alcance da radiação eletromagnética e do fenômeno envolvido na sua interação com os materiais presentes no objeto analisado. A base das técnicas está na identificação dos raios-X característicos emitidos pelos átomos da amostra irradiada por uma fonte de energia suficientemente potente (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.17). Os gráficos resultantes de uma espectroscopia são chamados de espectros.

A microscopia introduz a possibilidade de analisarmos uma amostra com uma resolução superior a do olho humano, função primordial de qualquer microscopia. Destaca-se a capacidade de resolver dimensões bastante reduzidas para obtenção das imagens, em elevadas ampliações (MANSUR, 2016, p.7). Pode-se dividir as técnicas que utilizam os microscópios em duas categorias: ótico e eletrônico, cuja explicação será melhor encontrada no decorrer deste capítulo.

A difratometria está presente nos processos analíticos em bens culturais em diversas técnicas. A maior parte dessas técnicas trabalha com a determinação das fases cristalinas, isto é possível quando os átomos se encontram de forma ordenada, como na maioria dos metais. Essa configuração é formada por planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. Quando um cristal é exposto a um feixe de raios-X, o mesmo interage com os átomos

presentes na amostra, originando o fenômeno de difração (GOMES, 2015, p.14).

Atualmente são vários os procedimentos analíticos com que podemos contar no processo de preservação dos bens culturais de ciência e tecnologia. Essas técnicas podem ser elementares, isotópicas, estruturais, atômicas, moleculares, etc.⁷⁴ Guerra escreve sobre as modalidades de técnicas mais usadas nos estudos sobre o patrimônio:

As técnicas mais utilizadas no campo dos materiais do patrimônio pertencem ao grupo da análise elementar. Com efeito, as análises metalográfica e isotópica, praticadas sobre pequenas amostras, determinam, respectivamente, apenas a técnica de fabrico do objeto ou apenas a proveniência do metal, enquanto as análises elementares podem ser completamente não-destrutivas e providenciar informações quer sobre as técnicas de fabricação dos objetos quer sobre a origem dos metais utilizados (GUERRA, 2005, p.81).

De um modo geral, é possível fazer classificações simplificadas dos procedimentos em técnicas de análise elementar e técnicas para a análise molecular, em métodos destrutivos e métodos não destrutivos. Zanirato e Cavicchioli descrevem os dois tipos de análises mencionados: Na análise elementar, identificam-se quais espécies atômicas se encontram no material e em qual quantidade. Isso é particularmente importante no reconhecimento de componentes inorgânicos em matrizes oriundas do mundo mineral (como no caso das cerâmicas, materiais de alvenaria e metais) ou em materiais de tipo orgânico, onde esses componentes atuam como complementos ou aditivos, valendo aqui citar o exemplo dos aditivos usados no papel ou nos polímeros, os pigmentos das tintas, os produtos empregados na taxidermia. Existe, a esse respeito, uma linha de trabalho que utiliza a composição elementar minoritária acoplada à análise estatística multivariada para rastrear a origem natural de um material, numa abordagem que se assemelha à das ciências forenses. Já a análise molecular é voltada para quantificação de moléculas e, embora possa ser empregada tanto para materiais orgânicos como inorgânicos, a tendência é que seja mais proveitosa para a primeira utilidade. É frequente ter que fazer o reconhecimento de polímeros naturais (p. ex. proteínas) ou sintéticos, em tintas, vernizes, aglutinantes, tecidos ou extratos de origem animal ou vegetal (HOWELL, 2002 apud ZANIRATO; CAVICCHIOLI, 2013, p.6-7).

Doménech-Carbó e colaboradores (2009) acrescentam ainda que os resultados podem ser classificados em quatro grupos de informações: morfológica, física, química e

⁷⁴ Zanirato e Cavicchioli (2013) descrevem a diferença entre elementar e molecular mencionados anteriormente. “Na análise elementar, identificam-se quais espécies atômicas se encontram no material e em qual quantidade. Isso é particularmente importante no reconhecimento de componentes inorgânicos em matrizes oriundas do mundo mineral (como no caso das cerâmicas, materiais de alvenaria e metais) ou em materiais de tipo orgânico, onde esses componentes atuam como complementos ou aditivos, valendo aqui citar o exemplo dos aditivos usados no papel ou nos polímeros, os pigmentos das tintas, os produtos empregados na taxidermia. Existe, a esse respeito, uma linha de trabalho que utiliza a composição elementar minoritária acoplada à análise estatística multivariada para rastrear a origem natural de um material, numa abordagem que se assemelha à das ciências forenses. Já a análise molecular é voltada para quantificação de moléculas e, embora possa ser empregada tanto para materiais orgânicos como inorgânicos, a tendência é que seja mais proveitosa para a primeira utilidade. É frequente ter que fazer o reconhecimento de polímeros naturais (p. ex. proteínas) ou sintéticos, em tintas, vernizes, aglutinantes, tecidos ou extratos de origem animal ou vegetal (HOWELL, 2002)” (ZANIRATO; CAVICCHIOLI, 2013, p.6-7).

biológica. A informação morfológica fornece dados sobre o tamanho, forma e método de fabricação, bem como a presença de danos. As informações físicas, sejam elas mecânicas ou óticas, caracterizam o comportamento do material, podendo indicar processos de alteração. As informações químicas, sejam qualitativas e/ou quantitativas, podem ser obtidas para os materiais e produtos de alteração formados no objeto.

Dependendo da técnica analítica utilizada, essas informações podem ser muito diversas, incluindo a composição elementar, informações estruturais (estrutura molecular), distribuição mineralógica, o grau de cristalinidade e parâmetros celulares. A informação biológica centra-se na identificação das espécies presentes que podem causar danos, tais como: fungos, algas, microrganismos bacterianos, insetos, plantas, etc. São também analisados os produtos resultantes da sua atividade metabólica e os produtos de alteração resultantes da sua interação com o objeto (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.3-6). Um estudo completo do objeto inclui, segundo Costa (2005), a avaliação estilística e topológica e exames complementares para confirmar certas hipóteses e obter informações complementares (COSTA, 2005, p.18).

A caracterização microestrutural de um material está intimamente relacionada com as propriedades físico-químicas do mesmo. Mora escreve sobre o que se espera, no que tange aos resultados dos processos analíticos aplicados a metais:

Uma caracterização microestrutural desejável envolve a determinação da estrutura cristalina, composição química, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases. A determinação da natureza, quantidade (densidade) e distribuição dos defeitos cristalinos também é, em muitos casos, necessária. Além disso, a orientação preferencial das fases (textura e microtextura) e a diferença de orientação entre elas também têm estreita relação com o comportamento dos materiais. As espécies presentes na microestrutura apresentam características bastante diferenciadas e exigem um número relativamente grande de técnicas complementares para a sua caracterização (MORA, 2010, p.93).

A determinação da estrutura cristalina normalmente envolve a utilização de técnicas de difração. A composição química das fases e microrregiões pode ser estudada, por exemplo, através de análises de raios-X por comprimentos de onda ou por dispersão de energia. A quantidade, tamanho, morfologia e distribuição das fases e defeitos cristalinos são estudados com auxílio das microscopias óptica (MO), eletrônica de varredura (MEV) e eletrônica de transmissão (MET) (MORA, 2010, p.93).

São diversas as técnicas analíticas que podem ser utilizadas na preservação de patrimônio científico metálico, cada uma apresenta especificidades e limitações. Campos e Granato abordam as técnicas mais utilizadas para artefatos de metais:

Essas técnicas podem ser destrutivas e não-destrutivas, ambas têm vantagens e desvantagens, e a escolha deve ser realizada de acordo com as perguntas a serem respondidas e das possibilidades da retirada ou não de amostra do artefato (CAMPOS, 2009). As técnicas comumente utilizadas para análises de objetos arqueológicos metálicos são: microscopia ótica e eletrônica de varredura, espectrometria de dispersão de energia de Raios-X - EDS, fluorescência de Raios-X, difração de Raios-X, radiografia, tomografia e microtomografia computadorizada 3D (CILIBERTO, 2000) (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.279).

Ressalta-se a metalografia (*Metallography*), devido ao seu uso nos estudos sobre bens culturais metálicos. Consiste no estudo de seções polidas de amostras retiradas de objetos metálicos. O processo é conduzido com o uso de um microscópio ótico que permite estudar a microestrutura da liga. Em adição aos metais, as amostras podem conter também produtos de corrosão, camadas de pintura, galvanização, etc. Pode-se observar a microestrutura, determinar a natureza da liga, sua história termal e de corrosão, e possivelmente até o processo de manufatura (SELWYN, 2004, p.15). Segundo Campos e Granato metalografia é:

o estudo da morfologia e estrutura dos metais (que são arranjos dos componentes internos, agregados cristalinos, em que os átomos ficam dispostos numa distribuição ordenada e definida, denominada de cristais ou grãos.) e suas ligas. Através dos ensaios metalográficos é possível auxiliar no estudo as técnicas de fabricação, como a fundição (vazar metal líquido em molde), e de tratamentos térmicos e mecânicos pelos quais são produzidos os artefatos. A metalografia auxilia na caracterização dos artefatos e também informa sobre seu estado de conservação (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.8).

Algumas das informações e usos desta técnica são: a datação relativa, a pesquisa de métodos de fabricação, estabelecer relações comerciais, observação das características estruturais de uma liga. A metalografia mostra através do contraste, o fazer dos metais, se foi fundido, trabalhado à frio, à quente, se sofreu pressão, etc..

Para a metalografia é necessário preparar a região a ser analisada através de lixamento e polimento até a obtenção de uma superfície bastante espelhada e isenta de defeitos. A superfície é então atacada com reagentes químicos específicos para cada material e para visualizar a microestrutura.

A observação da microestrutura dos bens culturais pode ser realizada através de réplicas metalográficas, quando necessário, por motivos de incompatibilidade com outras técnicas usadas (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.277). A reprodução da microestrutura é feita em pedaços de folha de acetato bem fina, que se dissolve na acetona, possibilitando

a colagem do acetato à superfície e assim reproduzindo a microestrutura. Este pedaço de acetato contendo a microestrutura replicada da superfície polida e atacada pode ser metalizado em ouro para um melhor contraste.

Diferentes estudos de investigação eletroquímica e analítica, assim como outras técnicas utilizadas para investigar as características estáticas, dinâmicas e tecnológicas, fazem parte da metalografia (SQUARCIALUPI, 1999, p.171). Algumas das técnicas utilizadas nas análises metalográficas são: microscopia ótica metalográfica (Microscopia Ótica); microscopia eletrônica de varredura (MEV); espectrometria de dispersão de raios-X (EDS) e a espectroscopia de emissão ótica (OES) (NOVELLAS, 2007, p.502).

Um dos equipamentos mais usados junto ao processo da metalografia é o microscópio ótico, com essa junção é possível determinar a estrutura física (GRANATO; SANTOS, MIRANDA, 2007). Squarcialupi discorre sobre as possibilidades da metalografia ótica no trecho a seguir:

A metalografia ótica permite estudar as peculiaridades estruturais de um artefato metálico (das quais suas características mecânicas e estresse, deslizamento e comportamento de corrosão dependem). É possível determinar as dimensões do grão, o nível de endurecimento ou de recristalização, a presença de fases especiais e sua dimensão e homogeneidade de distribuição dentro da matriz, a presença de precipitações contínuas ou descontínuas dos grãos, do comportamento do material a tratamentos térmicos tais como recozimento, têmpera, envelhecimento artificial; a presença de fissuras, porosidades ou qualquer tipo de dano; inclusões heterogêneas ou alterações devido ao superaquecimento do material durante tratamentos térmicos deliberados ou incêndios acidentais (SQUARCIALUPI, 1999, p.171, tradução nossa)⁷⁵.

Gutiez (2015) afirma que grandes equipamentos em instalações especiais, tais como o síncrotron, os aceleradores de partículas ou reatores nucleares usados com fontes de nêutrons, estão sendo cada vez mais usados para analisar metais em bens culturais. As técnicas utilizadas podem ser: a emissão de raios-X induzida por partículas (PIXE) e a espectroscopia de absorção de raios-X (XAS) (GUTIEZ, 2015, p.24).

Observa-se a necessidade de esclarecer antes, sobre o que se trata a radiação

⁷⁵ Optic metallography enables the structural peculiarities of a metallic artifact (upon which its mechanical characteristics and stress, slip and corrosion behavior depend) to be studied. It is possible to determine, the grain dimensions, the work-hardening or recrystallization level, the presence of special phases and their dimension and homogeneity of distribution within the matrix, the presence of continuous or discontinuous grain boundaries' precipitations, the behavior of the material to thermal treatments such as annealing, tempering, artificial ageing; the presence of cracks, porosities or any kind of damage; heterogeneous inclusions or alterations due to overheating of the material during deliberate thermal treatments or accidental fires (SQUARCIALUPI, 1999, p.171).

síncrotron, pois ela será a base de algumas das técnicas analisadas. Síncrotrons são aceleradores de partículas, em formato de um grande e largo anel. Uma vez que a partícula é acelerada, o produto resultante é a chamada "luz síncrotron". Dentre os benefícios de se utilizar este tipo de radiação na preservação está uma mais rápida e melhor resposta aos processos analíticos (BRADLEY; CREAGH, 2006b, p.51). "As fontes de radiação síncrotron são talvez a ferramenta mais poderosa que existe atualmente para estudar a matéria em escala atômica e molecular (GUTIÉRREZ-LEÓN *et al.*, 2007, p.19, tradução nossa). As técnicas de radiação síncrotron são particularmente eficientes para obter informações quimicamente seletivas em escalas de comprimento e para obter mapas em 2D ou 3D de informações elementares, químicas e estruturais (BRADLEY; CREAGH, 2006b, p.99).

A utilização da radiação síncrotron abarca procedimentos que colaboram para a preservação, como a datação, a caracterização mineralógica para determinar a procedência dos materiais, análises e comparação de materiais, autenticação de obras e etc.. Essa técnica também facilita trabalhar com diferentes ambientes de amostras com ultra alto vácuo, alta e baixa temperatura, alta pressão, etc., assim como diferentes tamanhos de feixe (GUTIÉRREZ-LEÓN *et al.*, 2007, p.24-25).

Outro conjunto de análises a ser destacado é o que se relaciona ao uso de feixe iônico, ou em inglês, *Ion beam analysis* (IBA). Dentre essas, as de possível aplicação para bens culturais metálicos, pertencem ao seguinte grupo: espectroscopia de retroespalhamento Rutherford (RBS) e Emissão de Raios-X por Partículas Induzidas (PIXE). A resolução da profundidade é tipicamente de até dez nanômetros aproximadamente. Os métodos IBA são sempre quantitativos com uma precisão de alguns por cento (BARRIO *et al.*, 2007).

Técnicas como PIXE e RBS auxiliam no melhor conhecimento dos aspectos tecnológicos e da espessura do objeto (BARRIO *et al.*, 2007, p. 589). As técnicas IBA podem contribuir para pesquisas de autenticidade pois, em certos casos, a análise elementar revela cópias ou mesmo falsificações, quando é possível traçar uma cronologia do uso dos materiais ou quando se recorre a uma base de dados para comparação de resultados, por exemplo (NEELMEIJER, 2016).

Maiores informações sobre as principais técnicas utilizadas em bens culturais metálicos de ciência e tecnologia serão mostradas a seguir.

3.2.1 - Principais Técnicas utilizadas em bens culturais metálicos de ciência e tecnologia

Antes de iniciar a apresentação e discussão das metodologias de análise para bens culturais metálicos, serão discutidos alguns aspectos que são essenciais quando se trata da abordagem aos bens patrimoniais, a conceituação e distinção entre análises destrutivas e não destrutivas e invasivas e não invasivas.

Aspectos destrutivos e não-destrutivos dos processos analíticos

Um dos principais desafios nas análises aplicadas aos bens culturais é que devem ser não-destrutivas e examinados de forma não invasiva, o que muitas vezes requer uma combinação de técnicas analíticas para caracterização completa ou mesmo parcial.

Quando lê-se que uma determinada técnica é destrutiva, facilmente relaciona-se o ato da destruição ao bem cultural. Entretanto, o que será destruído será apenas a amostra. Não existe nenhuma técnica de caráter totalmente não destrutivo, no máximo, uma técnica pode ser minimamente destrutiva. Qualquer contato com um feixe ou radiação provoca mudanças em algum grau, em algum momento no objeto de estudo.

Ressalta-se que este não é o único item a ser considerado. Mais importante para análises em bens culturais é o aspecto invasivo ou não-invasivo de uma técnica.

Aspectos invasivos e não-invasivos dos processos analíticos

Os processos analíticos realizados sobre a superfície dos bens culturais podem ser ideais como primeira abordagem, mas nem sempre este tipo de análise fornece todas as informações buscadas. Para elucidar as questões remanescentes, pode ser necessária a análise da parte interna do objeto, normalmente de caráter invasivo. Outro motivo pelo qual esse tipo de análise pode ser indicado é devido à presença bastante comum de produtos de oxidação, na superfície dos bens culturais metálicos, que por vezes atrapalham ou não possibilitam a análise da camada de base do metal.

Os procedimentos analíticos podem ser invasivos, outros são virtualmente ou totalmente não invasivos. “A seleção de uma técnica de análise ou, como se passa na maioria dos casos, do conjunto de técnicas de análise a utilizar para o estudo de um objeto, passa pelo tipo de questão posta, mas também pela necessidade de realizar ou não uma análise não-destrutiva” (GUERRA, 2005, p.80). Ressalto aqui que o que Guerra

(2005) e Campos (2005) mencionam como destrutivo e não-destrutivo, entende-se nesta dissertação como invasivo e não invasivo.

As técnicas minimamente não invasivas, muitas vezes denominadas de não invasivas apenas, permitem, na maioria das vezes, que objetos de todas as formas e tamanhos tenham sua morfologia preservada (CAMPOS, 2005, p.46). Campos apresenta outras informações sobre essa tipologia de técnica:

As técnicas elementares não-destrutivas podem ser colocadas em duas categorias: as técnicas que analisam a superfície e as que analisam o interior do material, o bulk. Pode-se também subdividi-las em técnicas que analisam soluções e as que analisam o material sólido. O fato é que diferentes técnicas podem ser utilizadas em um único artefato, com a finalidade de resolver variadas questões. Essa junção de cada técnica possui vantagens e desvantagens, e variações na sensibilidade e limite de detecção, dos elementos químicos, específicos em diferentes materiais (CAMPOS, 2005, p.46-47).

Quando se trata de processos analíticos, a principal preocupação é quanto à necessidade da retirada de amostras dos bens culturais. Na maior parte das vezes, o critério para a escolha entre uma técnica invasiva e não-invasiva se relaciona ao estado de conservação do objeto. Campos orienta sobre esta questão que “a retirada de amostras é desaconselhada em objetos que apresentam uma morfologia inalterada” (CAMPOS, 2005, p.60). Por exemplo, algumas análises precisam de quantidades mínimas de amostras, que podem ser retiradas de partes do objeto que já se encontram em degradação. Por outro lado, algumas técnicas precisam que o objeto seja manuseado, ou colocado dentro de porta amostras, o que, se o objeto estiver em um estado de degradação avançado, não poderá ser feito.

A característica não-invasiva é a mais marcante dentre as análises quando usadas para fins de pesquisa sobre o patrimônio, a necessidade de retirada de uma amostra pode significar uma intervenção séria no objeto. Segundo Guerra (2005), apenas os métodos elementares possibilitam o estudo das técnicas de fabricação do objeto e da proveniência dos metais de um modo totalmente não-invasivo (GUERRA, 2005, p.80).

Alguns exames podem ser realizados sem coleta de amostra, como é o caso da radiografia ou da fluorescência de raios-X. Para informações mais completas, na análise estrutural, no entanto, a secção de corte é imprescindível. Isso ocorre no uso do microscópio ótico ou eletrônico. Técnicas mais específicas, e menos acessíveis, como análise isotópica, por ativação de nêutrons, espectroscopia Raman e RBS podem acrescentar informações valiosas, desde que já se tenha uma caracterização prévia do

objeto (COSTA, 2005, p.18).

Uma das maiores preocupações dos profissionais envolvidos nos processos analíticos aplicados a bens culturais é a possível natureza degradada ou alterada da amostra. “Alteração pós-sedimentar não pode ser descontada na discussão de nenhum material, mesmo os mais aparentemente inertes, como pedra ou ouro” (POLLARD; HERON, 2008, p.407)⁷⁶. Algumas técnicas são aplicáveis em amostras que serão eliminadas, outras em objetos pequenos em porta amostras a vácuo seladas, outras podem ser aplicadas no meio ambiente, dependendo das dimensões do equipamento ou do objeto (BARRIO *et al.*, 2007, p. 580).

Microscopia Ótica (MO) - *Optical Microscopy*

Consiste em uma técnica de observação de objetos pequenos ou amostras, através da ampliação da imagem, tipicamente na faixa de ~10X a ~2000X, já que acima deste limite os detalhes passam a ser imperceptíveis. Esses valores de ampliação dependem do modelo e do conjunto de lentes utilizadas na observação. A MO emprega várias lentes para gerar resolução e aumento, a partir da iluminação da amostra com radiação no espectro do visível (luz visível-fótons).

Deve-se ressaltar que existem diversas variações de modelos de microscópios óticos, com imagem por luz refletida (para análise de materiais opacos, tais como os metais), luz transmitida (para análise de materiais translúcidos), imagem por fluorescência, dentre outros. Seu uso depende de suas capacidades e das características da amostra, como por exemplo: microscópio metalográfico de reflexão (para amostras polidas, para cortes espessos), microscópios petrográficos de transmissão (para lâminas delgadas transparentes), etc. (BOUTAINE, 2000, p.85).

A MO possui várias técnicas de análise. São eles a iluminação de luz refletida de campo claro, campo escuro e o contraste por interferência diferencial (DIC). Campos apresenta esses formatos no trecho a seguir:

Campo Claro: Muitos metais são analisados em iluminação campo claro em luz refletida. A luz que atinge os objetos na superfície plana é refletida de volta, através da objetiva em direção à ocular, onde aparece brilhante. Campo Escuro: Este sistema de contraste demanda que toda a luz central que passaria pelo material sem sofrer desvio seja impedida. Para que isto ocorra, coloca-se um disco opaco na peça do

⁷⁶ “Post-depositional alteration cannot be discounted in the discussion of any material, even the most apparently inert, such as stone or gold” (POLLARD; HERON, 2008, p.407).

condensador, abaixo da lente condensadora, fazendo com que apenas os raios luminosos desviados possam ser capturados pela lente objetiva. Isso possibilita que a imagem apresente fundo escuro com os detalhes claros, permitindo observar detalhes quase imperceptíveis em campo claro. Contraste por Interferência Diferencial - DIC: É produzido pela incorporação de um prisma de eixo duplo entre a iluminação vertical e a lente objetiva, sendo empregado com a luz polarizada cruzada. Isto produz um efeito com interferências, que salientam diferenças topográficas do objeto na imagem. A cor é produzida adicionando uma placa sensível ao comprimento de onda. O ajuste do prisma produz mudança de cor na imagem. O DIC causa um efeito tridimensional nas imagens (CAMPOS, 2005, p.56).

O uso de cada uma dessas técnicas acopladas deve ser avaliado pelo especialista quanto à sua possibilidade e possíveis resultados para a análise do bem desejado. Também pode ser acoplado ao microscópio ótico o Raman.

Microscopia Estereoscópica

O microscópio estereoscópio é um instrumento ótico com duas lentes objetivas, que analisam amostras através do sistema de epi-iluminação e de transiluminação (incidente e transmitida), ao contrário do microscópio tradicional que possui apenas uma objetiva e tem a luz atravessando a amostra. Este instrumento permite a visualização ampliada e tridimensional das amostras sob observação com um aumento de até 80X. Ele funciona basicamente como uma lupa que permite uma primeira análise da superfície do objeto.

Microscopia por Luz Refletida

Neste caso, destaca-se para amostras metálicas, o microscópio metalográfico, que permite examinar por reflexão objetos volumosos. A observação sob luz polarizada refletida de um corte metalográfico, previamente polido e submetido ao ataque químico ou eletrolítico, pode auxiliar na revelação da estrutura cristalina dos metais, cujos grãos possuem cores diferentes conforme a sua orientação. A técnica pode ser usada qualitativa e quantitativamente. É possível perceber com esta técnica variações na tonalidade das peças, o comportamento ótico, as características de textura da matriz e a presença ou ausência de determinadas inclusões.

O microscópio de luz polarizada refletida, também chamado de "microscópio metalográfico polarizador" permite não só estudar as estruturas de metais e ligas com cerca de 500 ampliações, mas também determinar as características desses metais, ligas

e compostos intermetálicos mostrando propriedades anisotrópicas sob iluminação polarizada (SQUARCIALUPI, 1999, p.172).

A Microscopia por Luz Refletida é usada em exames metalográficos, pois os metais não podem transmitir a luz em secções finas da mesma maneira como materiais cerâmicos ou minerais. Com exceção da folha de ouro, que, se muito fina, pode transmitir uma luz esverdeada através de limites de grãos, metais são substâncias opacas. Para esta técnica é necessário ter uma amostra, que pode ser 1mm³. Nestes casos onde a amostra é bastante pequena, o polimento se torna muito difícil. Neste microscópio é possível adquirir imagens em campo claro, campo escuro e o contraste por Interferência Diferencial (DIC).

Microscopia Eletrônica (ME) - *Electron microscopy*

A microscopia eletrônica é uma técnica utilizada para produzir grandes ampliações de áreas nas amostras analisadas, permitindo identificar detalhes em alta resolução. Utiliza um feixe de elétrons que incide na amostra, ao invés do feixe de luz utilizado no MO. Nesses microscópios, o feixe de elétrons é colimado por lentes magnéticas e impulsionado sobre o material, e o que se observa são as radiações produzidas a partir da interação dos elétrons incidentes com o material da amostra analisada. Após o feixe de elétrons incidir na amostra, as radiações produzidas pela interação são coletadas e tratadas para permitirem a visualização de uma imagem em uma tela com pontos mais ou menos brilhantes. As áreas do material que permitem melhor transmissão de elétrons (regiões transparentes aos elétrons) aparecem como áreas claras; as áreas que absorvem ou defletem os elétrons (regiões densas aos elétrons) aparecem como áreas escuras.

Comparado ao microscópio ótico, que utiliza a luz visível, o ME é mais potente, com limite de resolução de cerca de 500.000 vezes maior que o do olho humano. Microscópios eletrônicos são equipamentos que exigem mão de obra muito especializada, apresentam alto custo de investimento e manutenção. Ressalta-se que o Raman pode ser acoplado ao microscópio eletrônico.

Serão apresentados, a seguir, dois tipos de microscópio eletrônico, o de varredura (MEV) e o de transmissão (MET).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) - Scanning electron microscopy (SEM)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é um método de caracterização microestrutural e elementar através da amplificação da imagem, para observação de superfícies. As lentes do microscópio auxiliam o feixe com o foco, em um pequeno spot sobre o material, o qual varre o espécime. Metais e suas ligas são materiais adequados para a observação em MEV pois são condutores de eletricidade e são resistentes ao feixe eletrônico mesmo para tensões de aceleração acima de 50kV.

Campos afirma sobre o funcionamento da técnica:

O processo de análise ocorre através da incidência de um feixe de varrer a superfície, emitindo vários tipos de sinais. Os sinais provenientes da área varrida são contados através dos detectores. Esses sinais são os elétrons emitidos em resposta à sonda incidente, onde formarão a imagem processada, a qual será documentada via fotografia, ou digitalizada (CAMPOS, 2005, p.57).

São produzidos a partir da amostra que é varrida pelo feixe de elétrons: elétrons (secundários, retroespalhados, absorvidos, transmitidos, difratados, etc.) e fótons (fotoluminescentes e raios-X), os quais são captados por detectores apropriados, sendo amplificados e processados num sistema analisador específico para cada tipo de sinal, produzindo resultados diferentes.

Conforme o feixe varre a área em análise, uma imagem virtual vai sendo formada ponto a ponto. O MEV permite a obtenção de uma imagem ampliada e tridimensional da amostra. Quando observados os sinais retroespalhados é possível notar nas imagens produzidas, níveis de coloração cinza proporcionais ao peso atômico médio do material analisado; assim, quanto maior o seu peso atômico, mais claras as fases aparecem na imagem, permitindo o mapeamento elementar superficial.

Um MEV trabalha em um sistema a vácuo, de forma a possibilitar a formação de um feixe eletrônico colimado e que incida diretamente sobre a amostra sem antes incidir em qualquer partícula de impureza, que poderia resultar em interferência nas análises. Em geral, a técnica produz efeitos destrutivos para a amostra. O MEV permite o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica.

A técnica permite a determinação de multicomponentes, perfil de composição na camada superficial, estudo morfológico, microestrutural e identificação analítica das partículas. Observam-se com maiores detalhes os contornos de grãos, a orientação

cristalográfica, a morfologia dos constituintes e as inclusões. Pode-se também fazer uma avaliação da espessura das camadas de produtos de corrosão e perceber indícios de corrosão correlacionados com a presença de partículas de poeira. O MEV permite também a observação da constituição e distribuição das fases presentes; inclusões e trincas; espessura e profundidade de camadas superficiais. Possibilita realizar mapas das distribuições dos elementos químicos e realizar perfis químicos ao longo de determinadas linhas, para ver como os elementos químicos se comportam ao longo de determinadas direções.

Dentre as limitações da técnica de microscopia eletrônica de varredura ressalta-se a limitação dos resultados a zonas muito pontuais e diminutas, sendo necessário realizar várias análises da mesma zona para se ter uma visão mais representativa dos dados obtidos. De modo geral, o aumento da energia do feixe conduz a uma maior resolução da imagem, mas contribui de forma negativa aumentando o carregamento eletrostático da superfície, causando danos à superfície da amostra, além de deixar as imagens das superfícies menos claras. Ressalta-se que a capacidade de detectar elementos químicos é limitada segundo o equipamento e o *software* de leitura.

As amostras metálicas no MEV não necessitam de preparação específica, mas devem estar limpas e secas (MANSUR, 2016, p.24). O polimento é necessário apenas na caracterização da microestrutura ou microanálise quantitativa. Contudo, operando em condições de alto-vácuo, cerca de 10^{-4} Pa, o exame de amostras em MEV obriga-as a respeitar alguns requisitos: (i) serem estáveis física e quimicamente sob condições de alto vácuo; (ii) não possuírem constituintes voláteis; (iii) e possuir condutividade elétrica superficial. Caso não possuam estas características, a amostra tem de ser adequadamente preparada (HOMEM, 2013, p.100). Caso as amostras não sejam condutoras ou apresentem na superfície camadas não condutoras, torna-se necessário metalizar a superfície⁷⁷. Nessa preparação da amostra normalmente utilizam-se dois tipos de tratamento: deposição de filmes de carbono ou de metais preciosos (Au, Au/Pd, Pt). Deve-se garantir que o recobrimento siga o contorno do material para não resultar em imagens não verdadeiras da topografia da amostra. Mansur explica no trecho a seguir uma alternativa para a metalização de amostras:

Uma opção para não recobrimento da amostra é a diminuição da energia do feixe de elétrons. O feixe de elétrons pode danificar a amostra. A situação mais comum corresponde à geração de calor na área de incidência do feixe de elétrons. Para evitar este tipo de dano deve-se

⁷⁷ Isso acontece quando a superfície metálica está mineralizada.

usar voltagens de aceleração mais baixas, diminuir a intensidade do feixe, diminuir o tempo de exposição da amostra, controlar a espessura do recobrimento e fotografar áreas maiores com menor aumento. Uma outra situação de prejuízo para a amostra é a ocorrência de fenômenos de desgaseificação e retração decorrente do alto-vácuo (MANSUR, 2016, p.25).

As etapas para a preparação de amostras metálicas para o MEV são basicamente cinco: seleção da amostra; o corte (limitação do porta amostra do MEV normalmente de (9,0x4,0)cm; embutimento; lixamento; polimento e ataque químico da superfície. A amostra que dispensar o processo citado acima, deve passar por limpeza (feita por imersão em um banho, com água, álcool, acetona ou detergente sob ultrassom) e secagem (com jatos de nitrogênio super seco ou em estufas desidratantes) antes de ser colocada dentro do porta amostra do MEV (DEDAVID *et al.*, 2007, p.43).

Microsonda Eletrônica ou Microanálise de Sonda de Elétrons (EPMA)

A microsonda eletrônica (EPMA) é um tipo de MEV muito específico com feixe de elétrons mais estáveis acoplados a um WDS. A microsonda eletrônica segue o mesmo princípio da FRX, porém possibilita análises quantitativas em regiões muito pequenas, variando entre 0,1 e 1nm. Nela é possível visualizar a amostra durante a análise em diferentes graus de magnificação. As microsondas atuais possibilitam a leitura de todos os elementos químicos com número atômico maior ou igual a 3, ou seja, do Lítio até o Urânio (PEREIRA, sem data). A EPMA permite determinar qualitativamente e quantitativamente a composição química da superfície da amostra (SQUARCIALUPI, 1999, p. 174).

A microanálise de sonda de elétrons é uma das ferramentas mais comuns na metalografia eletrônica. Ela permite a análise de materiais como: metais, ligas, cerâmicas, vidros, pedras.

Dentre as limitações que a técnica apresenta está a necessidade de amostra. A EPMA requer a amostra como uma fina superfície condutora polida. A técnica não é adequada para a análise de elementos traço⁷⁸ (>0,1% em peso). Só pode medir os elementos do Flúor ao Urânio (UNIVERSITY OF LEICESTER).

⁷⁸ Elementos traço são os elementos encontrados em quantidades muito pequenas em uma amostra.

Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS)

Os raios X são utilizados na microanálise dos objetos, com o intuito de identificar os elementos existentes, analisando quimicamente microrregiões. É um recurso que, acoplado ao microscópio eletrônico, pode detectar pontualmente os elementos químicos presentes na amostra, principalmente em áreas estratégicas como as inclusões (CAMPOS, 2009, p.81).

O espectrômetro de dispersão de energia de Raios-X - EDS pode ser acoplado ao MEV. A microscopia eletrônica de varredura com sistema de energia dispersiva (MEV-EDS) possibilita obter informações tanto sobre a morfologia como sobre as diferenças de composição detectadas em um ponto preciso da superfície da amostra (BARRIO *et al.*, 2005, p.166).

O MEV-EDS proporciona a identificação da composição química elementar dos metais ou ligas, assim como a verificação da presença de produtos de oxidação, dos metais formadores da liga e do elemento oxigênio ou enxofre, por exemplo, que auxiliam no diagnóstico dos produtos de corrosão (GRANATO *et al.*, 2007). O MEV-EDS possibilita a caracterização de materiais metálicos, permitindo ao pesquisador identificar a composição da amostra qualitativamente, em pontos específicos da imagem gerada (DEDAVID *et al.*, 2007, p.56).

Mapas de distribuição de elemento na análise EDS possuem um papel fundamental para ilustrar os mecanismos de degradação e o comportamento de metodologias de restauração. Além do enorme poder de resolução e análise do MEV/EDS ele ainda reduz a quantidade necessária de amostra, tornando as operações de investigação muito mais acessíveis, quase se comparando a uma análise não invasiva. Não destrói a amostra e assim permite uma segunda análise, possibilitando a confirmação de resultados. Análises em MEV-EDS permitem acessar o núcleo da amostra e obter informações a partir da estrutura estratigráfica e sequência de processos de alteração desenvolvidos (GASCÓN, 2008).

O MEV-EDS também permite a identificação de elementos através de suas linhas características de raios-X. A análise pode ser feita sobre toda a região da amostra ou sobre um ponto determinado. É possível ainda traçar perfis do teor de um dado elemento ao longo de uma linha, obter mapas, etc. Podem ser detectados elementos leves, tipicamente a partir do Carbono. A técnica é invasiva, para objetos maiores, que não cabem no porta amostra, e não invasiva, para objetos cujas dimensões permitam sua

entrada na câmara do MEV. Deve-se tomar atenção ao fato da amostra precisar estar dentro de um porta amostra sob vácuo. Entretanto, se o bem cultural a ser analisado for pequeno o suficiente e for bom condutor de energia não será necessário retirar amostra. Em estudos de produtos de corrosão é mais comum o uso de amostras pequenas preparadas (NEIVA *et al.*, 2005, p.148).

Microscopia Eletrônica de Varredura com Difração de Elétrons Retro-Espalhados (MEV-EBSD)

A difração de elétrons retroespalhados (EBSD) é uma técnica de caracterização microestrutural-cristalográfica para estudar qualquer material cristalino ou policristalino. Pode ser aplicada em metais, além de produtos de processos de corrosão.

Tipicamente, é utilizada para explorar microestruturas, revelando textura, defeitos, morfologia dos grãos e deformação. EBSD pode analisar a textura cristalográfica, orientação de grãos e formas, contorno de grão e outras características de contorno, deformação de microestruturas e identificação de fases. As amostras devem ser preparadas através da metalografia (WANHILL *et al.*, 2008, p. 47).

A técnica EBSD em um MEV oferece a possibilidade de mapear a orientação cristalográfica e microestrutura de grãos individuais de um agregado policristalino como uma rocha, um metal ou uma cerâmica. Auxilia na determinação das orientações e limites de grãos (MORALES *et al.*, 2007, p.19).

Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) - *Transmission Electron Microscopy (TEM)*

A microscopia eletrônica de transmissão (MET) é técnica desenvolvida na década de 1930. Possibilita ampliar imagens de partículas em até 1.200.000 vezes. Estas imagens podem ainda ser ampliadas opticamente mais 10 vezes, sendo possível ter um aumento final de até 12 milhões de vezes. A imagem gerada é resultado da alteração sofrida pelo feixe de elétrons ao passar pela amostra. Como a imagem gerada não pode ser observada diretamente, a imagem do MET é vista através de uma tela fosforescente ou através da sensibilização de um filme (LEAL, 2000, p.44). A resolução é tão grande que é possível ver os átomos individualmente. A resolução do MET é da ordem de 0,2nm para equipamentos com tensões da ordem de 300KeV, com ampliações de 1.000.000x (MANSUR, 2016, p.38). O contraste nas imagens no MET depende do número atômico

dos elementos presentes na amostra (MANSUR, 2016, p.42). Campos explica o funcionamento da técnica:

O microscópio é composto por uma coluna mantida a alto vácuo, na ordem de 10^{-6} torr, onde o filamento aquecido de tungstênio produz um feixe de elétrons. Este tipo de emissão utiliza canhões termiônicos que aceleram os elétrons com uma diferença de potencial de até 200 kV. O feixe de elétrons é focalizado por um sistema de lentes eletromagnéticas que geram campos magnéticos que atraem e repelem os elétrons, até atravessarem a amostra, produzindo uma imagem do material. A interação do feixe com a amostra pode ser elástica ou inelástica, assim como os elétrons podem ser transmitidos, não cooperando com informações, somente com o brilho da imagem. A interação elástica fornece informação da estrutura cristalina, e a interação inelástica oferece informações sobre a composição química da amostra (CAMPOS, 2005, p.58-59).

Nesta técnica é possível obter informações de como a matéria é estruturada, e mesmo de defeitos cristalinos (LEAL, 2000, p.44). A técnica também permite a análise de defeitos e fases internas dos materiais, como discordâncias, defeitos de empilhamento e pequenas partículas (precipitados muito finos, de dimensões nanométricas) de segunda fase, defeitos estes não observáveis por MO ou por MEV (MORA, 2010, p.94).

O sistema de alto vácuo propicia a formação de uma imagem com excelente qualidade e contraste (VALADARES, s/ data). Destaca-se que para bens culturais inorgânicos, como os metais, o vácuo não se apresenta como um caráter negativo.

Um requisito básico para as amostras, além da estabilidade em alto vácuo, é a espessura reduzida, geralmente inferior a 200nm. Este valor pode variar dependendo do material, uma vez que o feixe eletrônico deverá ser transmitido através da amostra (MANSUR, 2016, p.38). A preparação de amostra para uso no MET segue o procedimento convencional de corte e desbaste, onde são produzidos discos de 3mm de diâmetro (CAMPOS; SOLÓRZANO, 2004, p. 316).

O MET propicia informações em nível atômico, sendo seu uso na preservação não muito comum. Ressalta-se que o processo de preparação de amostras do MET é extensivamente complicado e requer um tamanho de amostra que normalmente é considerado muito grande para bens culturais. Não significando que a amostra toda será usada, podendo até perder todas as amostras, necessitando de nova retirada. Esta técnica só é indicada em casos muito específicos.

Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) - *Energy-dispersive X-ray spectroscopy / Energy dispersive X-ray analysis*

Espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS) é uma técnica que pode ser aplicada a materiais como metais, ligas metálicas, vidro e cerâmica. Campos discorre sobre as possibilidades da técnica no campo do patrimônio:

EDS é um recurso que, acoplado ao microscópio eletrônico, pode detectar pontualmente elementos presentes em áreas estratégicas como inclusões. Além de possibilitar a detecção de impurezas, a microscopia permite a sua identificação, o que não é possível através de análises químicas. Normalmente as inclusões — escórias (partículas não metálicas de óxidos, sulfetos e silicatos), podem fornecer elementos a respeito do minério utilizado para a confecção do material, possibilitando determinar a sua origem, assim como inferir na sua data de fabricação (CAMPOS, 2005, p.45).

O EDS é uma técnica analítica usada para a análise elementar ou caracterização química de uma amostra. Baseia-se na investigação da amostra através de interações entre partículas ou radiação eletromagnética e matéria, analisando os raios-X emitidos pela matéria em resposta à incidência de partículas carregadas. Suas capacidades de caracterização são devidas em grande parte ao princípio fundamental que cada elemento tem uma estrutura atômica única, de modo que os raios-X emitidos são característicos desta estrutura, que identificam o elemento.

A técnica serve também para a identificação das fases cristalinas presentes nos produtos de corrosão dos metais e na composição das superfícies das crostas (GASCÓN, 2008). Possibilita também a caracterização microestrutural e elementar e a determinação da composição química quantitativamente. Para a análise quantitativa dos elementos, devem-se utilizar padrões de comparação com concentrações conhecidas dos elementos a serem analisados (MANSUR, 2016, p.26). A EDS permite estimar as porcentagens em peso dos elementos que constituem uma matriz metálica ou em produtos de corrosão (CANO; BARRIO, 2015, p.76).

Quando o feixe de elétrons incide sobre a amostra, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-X. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos que estão presentes naquele local e assim identificá-los. O diâmetro reduzido do feixe permite a análise pontual em uma área <5µm (MORA, 2010, p.99).

Os resultados possíveis são, além dos espectros, a análise de pontos, linhas e regiões definidas sobre a imagem adquirida da amostra e gera também um mapa dos elementos sobre a imagem obtida (MORA, 2010, p.99).

O EDS consegue detectar elementos com números atômicos maiores que 12 (MORA, 2010, p.99) e a técnica precisa de uma concentração mínima do elemento na amostra de 1000ppm. A resolução alcançada é de 150eV, sendo necessário uma profundidade da amostra maior que 500nm (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.27).

Espectroscopia de Raios-X de Dispersão de Comprimento de Onda (WDS) - *Wavelength Dispersive X-ray spectroscopy*

A Espectroscopia de raios-X de dispersão de comprimento de onda se presta para análise de minerais, vidros, semicondutores, cerâmica e metais, dentre outros. A WDS utiliza os raios-X característicos gerados por elementos individuais para permitir que análises quantitativas, em níveis de elementos de traço, sejam realizadas em amostras com dimensões de alguns micrometros. Os níveis de detecção do WDS contemplam elementos de número atômico 5 (Boro) e superiores (HENRY; GOODGE, sem data).

Esta técnica é complementar à EDS, na medida em que os espectrômetros WDS possuem resolução espectral significativamente maior e potencial quantitativo melhorado. Técnicas como Microanálise de sonda de elétrons (EPMA) têm sistemas EDS e/ou WDS para a medição simultânea de múltiplos elementos (HENRY; GOODGE, sem data).

Quando comparado ao EDS, o WDS exibe resolução de pico superior de elementos e sensibilidade de elementos traço (HENRY; GOODGE, sem data). A EDS tem muitas vantagens sobre o WDS, sendo as principais o tempo de aquisição muito mais curto e o tamanho da sonda útil menor. Por outro lado, complicações ocorrem que não surgem em instrumentos WDS; as principais são picos de escape, *pileups* pulso, eletrônica de dispersão do feixe, sobreposição de pico e efeitos de absorção janela. Na prática, este último impede a detecção de elementos leves com $Z < 10$ (janela de berílio) a menos que um detector de janelas seja usado (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001, p.1097, tradução nossa).

Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) - *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

A técnica de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier pode

analisar diversos materiais, tais como: minerais; plásticos, vernizes, pigmentos, cerâmicas; papéis com tinta ferrogálica, metais, douramentos, ossos, resinas, produtos de corrosão, etc.. A FTIR é especialmente útil na identificação de materiais orgânicos em superfície metálicas como, por exemplo, tintas e ceras, entretanto alguns materiais inorgânicos podem ser identificados também (SELWYN, 2004, p.15-16).

É uma técnica de caracterização de ligações interatômicas para identificação de compostos através da determinação da ligação molecular. A FTIR registra a interação da radiação infravermelha com uma amostra e mede as frequências em que a amostra absorve a radiação e as intensidades das absorções. Isto proporciona informações úteis, como: identificação rápida de uma amostra, quando comparado com um espectro do composto conhecido; e identificação dos grupos funcionais químicos presentes numa molécula. As amostras podem ser analisadas em seu estado sólido (com a devida preparação) e líquido (UNIVERSITY OF LEICESTER, s/data).

As amostras para análise pela FTIR normalmente são muito pequenas (aproximadamente 2mg), sendo esta considerada por muitos como uma técnica quase não-invasiva (FREITAS *et al.*, 2016, p.140).

A interpretação dos dados é realizada através de um algoritmo matemático (Transformada de Fourier) diretamente aplicado por *software*. Os tempos de aquisição de um espectro são muito curtos (de 10 a 15 minutos) (MATTEINI; NEPOTI, 1999, p. 222).

Espectroscopia por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP) - *Inductively coupled plasma spectroscopy*

A Espectroscopia por plasma acoplado indutivamente é usada para identificar elementos principais e traços (SCOTT *et al.*, 2007, p.35). Pode ser aplicada a metais, vidro, cerâmica. É usada para fins de processos analíticos em metais com algumas alternativas de técnica como: ICP-MS – Espectroscopia de Massas com plasma indutivamente acoplado / Inductively coupled plasma mass spectroscopy, ICP-MS-LA - Espectroscopia de Massas com emissão com plasma indutivo e ablação a laser, ICP-OES - Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente.

A ICP permite uma rápida determinação qualitativa e quantitativa dos elementos, e auxilia na pesquisa de procedência, as possíveis tecnologias de fabricação, os usos, etc. (AGUIARI *et al.*, 1999, p.67).

O gráfico resultante dessa análise apresenta picos cuja intensidade é um valor

relativo, não absoluto, onde se utiliza uma técnica comparativa para obter uma análise quantitativa (AGUIARI *et al.*, 1999, p.75). É normalmente associada à espectrometria de massa (MS) ou à espectrometria de emissão atômica (AES).

Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) - *Inductively coupled plasma mass spectrometry*

A espectroscopia de massa com plasma acoplado indutivamente possibilita a análise de um grande número de elementos (10-30 tipicamente). Para tal, é necessária uma amostra com quantidade mínima de material (dezenas de miligramas ou menos), e um relativamente simples pré-tratamento requerido. Destaca-se também a viabilidade de realizar medições por relação de isótopos. Essa técnica é comumente aplicada na análise composicional de artefatos metálicos e análise de relação de isótopos de chumbo (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.17).

Campos discorre sobre as aplicações desta técnica em bens culturais metálicos:

ICP-MS é uma técnica semi-destrutiva, muito indicada em arqueometalurgia, pois oferece informações sobre a amostra, necessitando apenas de uma pequena quantidade de massa para a análise. Através dessas análises, é possível determinar a origem do material, pelos elementos traço, por meio de comparação com outras análises disponíveis na literatura, ou pelo conhecimento prévio da mina. Essas constatações irão depender dos minerais usados na produção dos metais, minérios de sulfetos e minérios de óxido e os tipos de elementos que foram incluídos no produto final do metal. A presença dos elementos traço nas ligas ou nas inclusões, está correlacionada com a origem dos minérios e também pela natureza exata do processo de produção do metal (CAMPOS, 2005, p.45).

A técnica necessita de uma amostra reduzida e possui melhores limites de detecção comparada a outras técnicas ICP (GUERRA, 2005, p.82). A ICP-MS permite detectar mais de um elemento simultaneamente com grande sensibilidade a partir dos íons dos átomos que compõem a amostra (CAMPOS, 2005, p.45-46).

A espectrometria de massa baseia-se no princípio de que átomos e moléculas eletricamente carregados podem ser separados com base nas suas diferentes massas atômicas, controlando o seu movimento através de campos elétricos e /ou magnéticos impostos externamente (POLLARD; HERON, 2008, p.56-57)⁷⁹.

⁷⁹ Mass spectrometry is based on the principle that electrically charged atoms and molecules can be separated on the basis of their different atomic masses (strictly, mass-to-charge ratio) by controlling their motion through externally imposed electrical and/or magnetic fields (POLLARD;HERON, 2008, p.56-57).

Gomes explica em mais detalhes os usos do ICP-MS:

A espectrometria de massas é uma ferramenta importante para a análise estrutural, podendo ser usada para identificar ou caracterizar substâncias orgânicas e inorgânicas, incluindo as biologicamente ativas de estruturas complexas, por meio da determinação da razão massa/carga em função da abundância relativa das espécies analisadas. A técnica não é propriamente um método espectral no sentido usual, pois nenhuma radiação eletromagnética é absorvida, mas o espectro de massas lembra um espectro convencional, no qual uma série de picos de diferentes tamanhos são registrados ao longo de uma escala numérica (GOMES, 2015, p.18).

É uma técnica semi quantitativa e destrutiva, usada para determinação em larga escala de elementos traços em metais com níveis de concentração muito baixos (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

O ICP-MS tem como principal vantagem a possibilidade de análise multi elementar (e isotópica) sequencial rápida, aliada à alta sensibilidade. Cerca de 90% dos elementos da tabela periódica podem ser determinados, com limites de detecção na ordem de 0,001 a 0,1µg/L (ALMEIDA, 2007, p.38). Em metais essa análise permite a sua identificação em concentrações tão baixas quanto partes por trilhão.

Espectroscopia de Massa com Emissão com Plasma Indutivo e Ablação a Laser (ICP-MS-LA)

A técnica ICP-MS-LA ou LA-ICP-MS permite a associação de uma ablação laser (LA), o que produz vários benefícios para o campo dos bens culturais, o principal deles é a maior redução da quantidade de amostra necessária (GUERRA, 2005, p.82).

A ICP-MA-LA opera através da retirada de material do bem cultural, que será então submetido à ação de um feixe de radiação a laser incidente em sua superfície. A retirada da amostra por laser traz uma série de vantagens, especialmente a não necessidade de preparação de amostras (CAMPOS, 2005, p.46).

Destaca-se aqui uma limitação que deve ser levada em consideração, principalmente no campo da preservação. A ablação a laser cria crateras muito pequenas na superfície dos metais, que não são detectáveis a olho nu (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

Campos apresenta as possibilidades dessa análise para isótopos de chumbo:

A técnica possui um grande potencial para analisar os isótopos. Através das análises isotópicas pode-se determinar os isótopos de chumbo ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb , que são diferenciados de acordo com o tipo de minério utilizado para a confecção do material estudado. Essas análises são específicas para materiais que possuam uma quantidade considerável de chumbo. São semi destrutivas e necessitam apenas da retirada de 5mg de massa do material (CAMPOS, 2005, p.46).

Se compararmos o ICP-MS com o LA-ICP-MS, é possível perceber que o primeiro oferece limites de detecção muito mais baixos, entretanto o ICP-MS necessita de uma maior quantidade de amostra (mg) (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) - *Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry*

A espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente é uma técnica destrutiva, uma vez que a amostra precisa estar ser líquida (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação). Ressalta-se que apesar de destrutiva a quantidade de amostra necessária para a análise é pequena (MIRA, 2006, p.198).

Permite a determinação de quase todos os elementos da tabela periódica. Dentre as vantagens dessa técnica está a viabilidade em analisar vários elementos simultaneamente e para níveis tão baixos quanto 1-10ppb (partes por bilhão). As amostras podem ser sólidas ou líquidas. As sólidas podem requerer procedimentos extensivos de preparação e dissolução da amostra (DELALIEUX *et al.*, 2002, p.2197).

O processo simplificado se resume a uma pequena amostra que é totalmente dissolvida (por exemplo, dissolução ácida) produzindo uma solução que é então atomizada em um plasma de alta temperatura. A identidade de muitos elementos na solução pode ser determinada pela luz emitida pelos elementos depois de sua atomização (SELWYN, 2004, p.15).

Na literatura consultada foram encontradas aplicações desta técnica em bens culturais em materiais inorgânicos como: vidro, esmaltes e ligas metálicas, sedimentos (rochas) e cerâmica. Essa técnica propicia um limite de detecção muito baixo, sendo muito indicada para análises de elementos-traço (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

ICP-OES com Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS)

A ICP-OES, junto com a espectroscopia de absorção atômica (AAS) tem sido

amplamente aplicada na determinação da composição química de materiais inorgânicos. É especialmente indicada para a detecção de elementos traço, de forma que sua aplicação em estudos analíticos possui uma gama de possibilidades de materiais, tais como: vidro, esmaltes, ligas metálicas, entre outros. (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.17).

Bradely e Creagh (2006) comentam em um estudo de caso que, para a aplicação de ICP-OES no caso das ligas de cobre, foi realizado um importante trabalho metodológico para ampliar a base de dados de referência fornecida pelo fabricante para incluir componentes menores (P, S, Se, Te, Ti, V, Cr, Mo, In, W, U), o que auxiliou na determinação do local de origem das ligas (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.23).

Espectroscopia de Decomposição Induzida por Laser (LIBS) - *Laser-induced breakdown spectroscopy*

A espectroscopia de decomposição induzida por laser, ou também conhecida como espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser é um tipo de espectroscopia por emissão atômica assim como o *Laser ablation* encontrado no ICP-MS-LA. Pode analisar qualquer matéria, independentemente do seu estado físico (sólido, líquido ou gasoso) (RADZIEMSKI; CREMERS, 2006). Em bens culturais encontramos sua aplicação a materiais como metais, produtos de corrosão, pigmentos, polímeros e cerâmica.

Essa técnica fundamenta-se na amostragem e subsequente excitação dos átomos e moléculas da amostra. A energia de um laser é focalizada na superfície da amostra e induz a formação de um plasma, promovendo a excitação de átomos neutros, íons e/ou moléculas (SANTOS *et al.*, 2006, p.72). O processo ocorre quase que imediatamente, normalmente em nanosegundos, após a ablação (SANTOS *et al.*, 2006, p.74).

A LIBS pode ser usada para caracterizar qualitativamente a variação da composição da superfície limpa da amostra (BARRIO *et al.*, 2013). Fornece uma análise aprofundada das várias camadas da superfície da amostra estudada por ablação a laser de uma pequena quantidade de material (1-10µm de profundidade e ~100µm de diâmetro) (FELL; WILLIAMS, 2004, p.48-49). Como o material para amostragem é muito pequeno, essa técnica é considerada minimamente-destrutiva. Os resultados dessa técnica normalmente saem em segundos (RADZIEMSKI; CREMERS, 2006).

Teoricamente o LIBS pode detectar todos os elementos, sendo sua limitação somente a potência do laser, bem como a sensibilidade e faixa de comprimento de onda

do espectrógrafo e detector (RADZIEMSKI; CREMERS. 2006).

Essa técnica também pode ser encontrada na forma portátil, que fornece capacidade para análise *in situ*, sem a necessidade de amostragem prévia (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.25). A LIBS apresenta várias possibilidades interessantes para a análise elementar e em profundidade. Essa técnica também pode ser combinada com aplicações de limpeza, usando lasers ou outros meios convencionais, para monitorar e controlar o processo de limpeza (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.25).

Espectroscopia de Emissão Óptica (OES) - *Optical Emission Spectroscopy*

A espectroscopia de emissão óptica (OES) pode analisar a composição química de materiais como cerâmica e metais. Também é possível medir quantitativamente os elementos presentes. A OES foi gradualmente substituída pela AAS em muitos laboratórios com o passar dos anos (POLLARD; HERON, 2008, p.25).

A amostra em forma de pó é volatilizada fazendo-a emitir luz. Esta luz é focada através de uma série de lentes em um grande prisma de quartzo (ou, em modelos posteriores, uma rede de difração) que dispersa a luz em seus comprimentos de onda constituintes. Uma medição cuidadosa da placa permite determinar o comprimento de onda de cada linha registrada, permitindo que os elementos presentes sejam identificados e as técnicas de densitometria óptica permitam medir a intensidade de determinadas linhas de emissão, permitindo a quantificação de cada elemento presente (POLLARD; HERON, 2008, p.25). Algumas das vantagens dessa técnica são: ter um sistema de detecção simultânea de elementos e a amostra preparada pode ser armazenada, permitindo a referência em uma data posterior se for necessário (POLLARD; HERON, 2008, p.25).

Espectroscopia de Retroespalhamento Rutherford (RBS) - *Rutherford backscattering spectrometry*

A espectroscopia de retroespalhamento de Rutherford permite analisar uma diversidade de materiais, como metais, ligas e produtos de corrosão. Fornece a composição elementar das primeiras camadas da amostra, sendo uma análise da superfície. Utiliza feixes de partículas carregadas obtidas em pequenos aceleradores de partículas (GUERRA, 2005, p.82). É uma técnica destrutiva que exige preparação da amostra.

Este método determina a concentração de diversos elementos na camada superficial e/ou a medição da espessura desta camada, a partir do espectro de energia de prótons retroespalhados. Outra aplicação é para a determinação de perfis de concentração de elementos em camada de pátina sobre objetos metálicos, assim como no estudo dos processos de alteração de objetos de chumbo e no controle de suas condições de conservação usando amostras de referência. Além disso, esta técnica é uma entre outras para o estudo da corrosividade da atmosfera em museus, edifícios históricos, arquivos, repositórios (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.20).

A técnica privilegia a observação do contraste entre regiões ou fases com diferentes composições químicas. É possível também determinar a espessura das camadas de produtos de oxidação formadas (GRANATO *et al.*, 2007). A RBS aplica-se para a determinação dos perfis de concentração elementar nas camadas de pátina de bronzes, estudo da alteração de selos de chumbo e controle das condições de conservação de objetos metálicos por meio de amostras padronizadas de chumbo (BOUTAINE, 2000, sem paginação).

Espectroscopia de Massas por Ionização Térmica (TIMS) - *Thermal ionization mass spectrometry*

A espectrometria de massa por ionização térmica pode ser aplicada em materiais como os metais, auxiliando na determinação do lugar de procedência da matéria prima utilizada no processo metalúrgico de produção (CARAMÉ, 2007, p.405).

A técnica trabalha com a possibilidade de usar alguma forma de impressão digital química para rastrear os objetos de metal de volta à sua fonte de minério e, portanto, auxiliar na reconstrução e no estudo de rotas econômicas (POLLARD; HERON, 2008, p.302).

A maioria dos elementos metálicos existe naturalmente como isótopos diferentes, átomos do mesmo elemento que têm as mesmas características químicas, mas variam de peso. A abundância relativa dos diferentes isótopos do mesmo metal varia muito pouco na superfície da Terra. O chumbo é incomum na medida em que tem uma grande variedade de composições isotópicas naturais, devido ao fato de três dos seus quatro isótopos estáveis (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb) estarem no final das principais cadeias de decaimento radioativo. Assim, as medições destes quatro isótopos variam com o tempo, o que lhes permite serem usados como um cronômetro, marcando a idade do material pelo decaimento radioativo (POLLARD; HERON, 2008, p.302).

Essa técnica que foi muito usada no passado, principalmente no âmbito arqueológico, não é muito usada em pesquisas com o patrimônio hoje em dia, pois vem sendo contestada nas últimas décadas (POLLARD; HERON, 2008, p.339).

Uma desvantagem do método é a probabilidade de que a alteração na composição isotópica ocorra durante a ionização (os isótopos leves evaporam mais rapidamente do que os mais pesados da superfície do filamento) (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.166). A TIMS exige retirada de amostra e cada amostra precisa ser descartada após o uso para evitar contaminação (HORTALÀ, 2007, p.451).

Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios-X (XPS) ou Espectroscopia de Elétrons para Análise Química (ESCA) - *X-ray photoelectron spectroscopy / electron spectroscopy for chemical analysis*

A espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios-X (XPS) é também conhecida por espectroscopia de elétrons para análise ou por espectroscopia Röntgen de fotoelétrons e pode ser aplicada a metais. Espectros ESCA/XPS também podem fornecer informações sobre o ambiente químico de um elemento ou estado de oxidação. Um dos benefícios é a capacidade de detectar a composição elementar com uma profundidade de amostragem entre 20-100Å, ou seja, detecção de elementos presentes dentro de uma fração de uma monocamada (HOMEM, 2013, p.90).

É necessário coletar amostras sólidas com dimensões entre 0,1 e 4,0cm². As amostras devem estar limpas e livres de qualquer material de alta pressão de vapor. Algumas das limitações da técnica são: elementos H e He são indetectáveis; precisão de análise quantitativa limitada a 3-4%; limite de detecção dependendo do elemento.

A XPS não pode ser empregada em artefatos cobertos por pátinas e crostas. No entanto, as informações que podem ser obtidas a partir de um tratamento artificial limitado são extremamente úteis para delinear as tendências essenciais do processo de corrosão no que respeita, pelo menos, aos seus primeiros passos (BERNARDINI, 1999, p.165-166).

Análise por Ativação com Nêutrons (NAA) - *Neutron activation analysis*

A análise por ativação com nêutrons pode ser usada para caracterizar a textura de metais (moldados, forjados, etc), ligas metálicas, pigmentos, vidro, cerâmica, ou mesmo rochas como mármore.

Até a criação do ICP e do PIXE durante a década de 1980, o método analítico padrão para análises de elementos múltiplos com limites de detecção no nível de ppm ou superior era a NAA (POLLARD; HERON, 2008, p.50).

A NAA é uma técnica utilizada para identificação de elementos maiores, menores e traços, estas informações auxiliam na confirmação de proveniência e origem temporal do objeto. Ela é uma análise multi-elementar (cerca de 20 elementos) e destrutiva que pode ser realizada em amostras pequenas com menos de 5mg, com sensibilidades na faixa de ppm (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.18). Em alguns casos, como quando o objeto é muito pequeno, é possível inseri-lo no porta amostras, possibilitando uma análise não destrutiva.

Dentre as limitações desta técnica estão a necessidade de um reator nuclear, o manuseio de materiais radioativos e os procedimentos demorados necessários para a preparação das amostras (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.18).

É uma análise rápida que não causa qualquer radioatividade em longo prazo, contudo, a irradiação limitada não permite a medição da concentração de todos os elementos principais, secundários e traços (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

Em alguns casos a penetração do feixe não é suficiente para o estudo do interior do objeto, mas possibilita perfeitamente uma análise da superfície. Para uma penetração mais profunda do feixe pode ser realizada a análise por ativação com nêutrons rápida (*Fast Neutron Activation Analysis - FNAA*), que permite esse tipo de processo sem danificar as amostras (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação).

Outra técnica similar ao NAA é a análise de ativação de prótons, ou no inglês, *Proton activation analysis (PAA)*. Ela fornece a composição química dos materiais a uma profundidade de 300-500µm sob a superfície irradiada. Esta técnica tem sido principalmente utilizada no estudo de bens culturais metálicos (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.18).

Cromatografia por Troca Iônica (IEX) - *Ion Exchange Chromatography*

A cromatografia por troca iônica por ser usada para análise de materiais tanto orgânicos quanto inorgânicos. Ressalta-se o uso da técnica aplicada aos metais e ao estudo dos processos de corrosão. Tosini relata o processo da cromatografia por troca iônica e estabelece como funciona a quantificação:

A cromatografia iônica dá resultados significativos apenas no caso em que as amostras são solúveis e dissociadas na sua forma iônica e apenas no caso de a fase móvel ser um eletrólito forte. Por esta razão, é necessário que a fase móvel seja previamente neutralizada num sistema apropriado (denominado "supressor"), para distinguir todas as espécies iônicas evitando que o detector seja superado pelo sinal forte dos íons da fase móvel. O supressor também aumenta o sinal da substância a ser analisada por transformação de sua espécie em mais formas condutoras. Isto é possível através de uma troca de íons. O resultado de um sistema analítico tão complexo é um cromatograma, caracterizado pela sucessão específica de picos, correspondente às várias espécies iônicas presentes na amostra. A identificação e a determinação quantitativa são efetuadas por comparação com soluções-padrão. Um sistema de integração permite voltar para a quantidade específica de cada íon (TOSINI, 1999, p. 244, tradução nossa)⁸⁰.

As amostras para a IEX precisam ser lavadas em condições padronizadas. Normalmente trabalha-se com 12cm³ de água destilada em áreas de 12cm². As águas de lavagem devem ser filtradas por um filtro com porosidade de 0,45µm e depois analisadas por cromatografia iônica. A alta sensibilidade dessa técnica permite obter resultados quantitativos significativos, com uma quantidade de amostra de poucos miligramas (TOSINI, 1999, p. 244-245).

Dentre as limitações da técnica ressalta-se que podem surgir alguns problemas na análise de misturas complexas, como no caso das pátinas de bronze. Neste caso, há necessidade de se utilizar um solvente reativo para solubilizar os componentes insolúveis em água, podendo interferir com a caracterização de certas substâncias. Neste caso, é preferível utilizar outras técnicas instrumentais (TOSINI, 1999, p. 248).

Espectroscopia por Impedância Eletroquímica (EIE) - *Electrochemical impedance spectroscopy*

A espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) é uma técnica usada no estudo da corrosão (HALLAM *et al.*, 2004, p.388). Em bens culturais foram encontradas aplicações para o estudo da corrosão de metais e a avaliação dos sistemas de proteção.

⁸⁰ Ion Chromatography gives significant results only in the case that samples are soluble and dissociated in their ionic form and only in the case that mobile phase is a strong electrolyte. For this reason, it is necessary that mobile phase is previously neutralized in an appropriate system (called 'suppressor'), in order to distinguish all the ionic species avoiding the detector to be overcome by the strong signal of mobile phase's ions. The suppressor also increases the signal of the substance to be analyzed by transformation of its species into more conductor forms. This is possible through an ion exchange. The result of such a complex analytical system is a chromatogram, characterized by specific succession of peaks, corresponding to the various ionic species in the sample. Identification and quantitative determination is carried out by comparison with standard solutions. A system of integration allows going back to the specific amount of each ion (TOSINI, 1999, p. 244).

Dentre as informações que se permite obter com esta técnica está a velocidade e eficiência dos sistemas e mecanismos de proteção, de grande interesse para a conservação do patrimônio cultural metálico (CANO; BARRIO, 2015, p.103).

A técnica é relativamente simples e fornece dados quantitativos sobre o desempenho de revestimentos protetores, permitindo que eles sejam classificados objetivamente (HALLAM *et al.*, 2004, p.388).

Os espectros resultantes da EIE fornecem uma variedade de informações sobre o sistema analisado e distinguem as contribuições dos diferentes elementos envolvidos no processo de corrosão. Isto torna possível obter informações sobre os mecanismos envolvidos, as diferenças entre os sistemas e a sua evolução ao longo do tempo, qualitativa e quantitativamente (BARRIO; CANO, 2015, p.103-104).

Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) - *Atomic Absorption Spectrometry*

A espectrometria de absorção atômica é um método de análise destrutivo usado para determinar qualitativamente e quantitativamente a presença e concentração de metais e pode também ser aplicada a vidros, rochas, têxteis, pigmentos, esmaltes e cerâmica. A AAS é tão sensível que pode medir até partes por bilhão em uma grama de amostra. Ela permite analisar os elementos químicos de um material em solução ou no estado sólido. Requer no mínimo uma perfuração de diâmetro fino (aproximadamente 1mm) no bem a ser estudado, produzindo uma amostra de cerca de 10-20mg.

Os compostos químicos podem ser dissociados em átomos através de dois tipos de fontes de atomização: por combustão, para a amostra líquida ou em um forno de grafite de alta temperatura, tanto para amostras sólidas quanto líquidas.

A forma mais comum da técnica, é baseada no princípio que estabelece que átomos livres em estado estável podem absorver a luz em um certo comprimento de onda. É preciso calor para gaseificar a amostra, e este é gerado a partir de uma chama. Neste caso admitem-se apenas amostras em soluções. O processo usual consiste em introduzir a solução da amostra, na forma de um aerossol, em uma chama apropriada. A extensão da absorção, que se processa à custa de transições eletrônicas do estado fundamental a um estado energético mais alto, é uma medida da população de átomos do elemento responsável presente na chama e, portanto, da concentração do elemento na amostra.⁸¹

⁸¹ Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAGVwAl/espectroscopia-absorcao-atmica#>

A espectroscopia de absorção atômica é adequada para a determinação de concentração de um determinado metal ao mesmo tempo em que é capaz de detectar Sódio, Potássio, Cromo, Manganês, Ferro, Cobalto, Níquel, Cobre, Germânio, Selênio, Estrôncio, Molibdênio, Paládio, Prata, Lata, Telúrio, Bário, Tungstênio e Mercúrio (UNIVERSITY OF LEICESTER).

A AAS é capaz de analisar dezenas de amostras por hora. A precisão analítica é geralmente boa, com um coeficiente de variação entre 1 e 5% para uma ampla gama de elementos. Os limites de detecção em solução estão tipicamente entre 1 e 100ppm, dependendo do elemento, das condições analíticas e da linha de absorção selecionada. Ressalta-se que é necessário usar padrões de calibração para obter uma correspondência precisa dos resultados (POLLARD; HERON, 2008, p.27).

Dentre as limitações, destacam-se as interferências químicas e espectrais na chama, que devem ser consideradas pelo analista. Outra consideração importante é que a amostra deve estar em forma líquida, e alguns materiais como metais e vidro requerem condições de dissolução agressivas envolvendo ácidos fortes. Na análise de metais, alguns elementos como o estanho são difíceis de manter em solução uma vez que a amostra tenha sido dissolvida (POLLARD; HERON, 2008, p.28). A AAS somente detecta os elementos que estão previamente inseridos na base de dados (POLLARD; HERON, 2008, p.207-208).

Espectroscopia Mossbauer - *Mössbauer spectroscopy*

A espectroscopia Mössbauer é uma técnica analítica que auxilia no estudo de materiais como rochas, cerâmicas, metais e pigmentos. É uma ferramenta seletiva para a análise quantitativa e especiação de um número muito limitado de elementos. Pode elucidar alguns problemas específicos da corrosão de objetos e obter informações que podem ajudar a melhorar os métodos de conservação.

A técnica tem sido principalmente usada para estudar compostos de ferro, por exemplo, em cerâmicas, pois dá valiosa informação sobre óxidos de ferro e minérios de silício. Essa técnica tem sido aplicada para identificação da origem da argila e matéria prima usada, métodos de manufatura aplicados à cerâmica e, em um menor número, para caracterização dos pigmentos e crostas de intemperismos formadas em monumentos de pedra (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.17).

Possibilita o estudo da temperatura utilizada na tecnologia de produção de um

objeto, sendo considerada para esse fim melhor que a espectroscopia Raman.

A partir do estudo desses materiais, pode-se obter informações preciosas sobre a espécie particular envolvida, sua origem e seus processos de degradação, principalmente quando a espectroscopia de Mossbauer é usada em conjunto com outras técnicas instrumentais (CASELLATO *et al.*, 1999, p.61).

Difratometria de Raios-X (DRX) - X-Ray Diffraction

A difratometria de raios-X (DRX) é um método de caracterização de estruturas cristalinas usado para identificação de minerais, componentes de rochas, pigmentos, fases de ligas metálicas, etc. (BOUTAINE, 2000, p.87). É uma técnica usada para analisar uma vasta diversidade de materiais incluindo: metais, minerais, polímeros, catalisadores, plásticos, revestimentos e cerâmicas (ALVES *et al.*, 2014, p.63-64). A DRX é uma ferramenta clássica, de utilização muito freqüente, para caracterizar as estruturas cristalinas de metais, ligas e seus produtos de alteração (BOUTAINE, 2000, sem paginação). Esta técnica pode ser usada em diversas formas, Boutaine discorre sobre essas possibilidades:

O exame em incidência rasante permite o estudo de pátinas e de superfícies alteradas (escurecimento de objetos de prata, alteração das bulas papais de chumbo...). Para certos estudos (ex.: cosméticos egípcios a base de compostos de chumbo), o uso da radiação síncrotron é necessário dada a pequena massa de amostra disponível (alguns mg) (BOUTAINE, 2000, sem paginação).

É uma técnica capaz de auxiliar no estudo de produtos da corrosão e pigmentos. (FIGUEIREDO *et al.*, 2004, p. 328). Campos acrescenta sobre as possibilidades da DRX:

As variações características dos padrões de difração possibilitam determinar as fases cristalinas, o tamanho de grão e a textura sobre a superfície e a parte interna dos artefatos. Por meio dessas análises, é possível obter informações sobre os processos usados para a confecção do material, sem que seja necessária a retirada de uma amostra da peça (CAMPOS, 2009, p.81).

Deve ser notado que a DRX pode ser realizada *in situ*, usando dispositivos portáteis, sendo essa uma característica fundamental no estudo analítico de bens culturais (CARL; YOUNG, 2016, p.308).

A DRX pode proporcionar informações de caráter qualitativo e quantitativo (ALVES *et al.*, 2014, p.63-64). Caramé afirma que a DRX é uma técnica geralmente

empregada para analisar os fragmentos de cerâmicas escarificadas relacionadas com o processo metalúrgico como, por exemplo, os cadinhos ou moldes (CARAMÉ, 2007, p.406). A técnica permite o acompanhamento da evolução do processo de corrosão através dos componentes químicos (oxidação) que aparecem (GRANATO; SANTOS, MIRANDA, 2007).

A difração de raios-X revela a estrutura do material próximo da superfície, uma vez que a profundidade de penetração dos raios-X é apenas cerca de 10nm (CREAGH *et al.*, 2004, p.210).

A DRX é uma técnica de caracterização de materiais que consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados. É uma técnica superficial de análise dos bens culturais através da identificação das estruturas cristalinas, de sua composição e da determinação das formas minerais. Um gráfico com picos é o resultante final, estes picos precisam ser interpretados por um *software* específico para que possa comparar com padrões em um banco de dados e fornecer os elementos presentes (CAMPOS, 2009, p.81).

A análise de DRX pode ser destrutiva ou não-destrutiva. Para análise não-destrutiva é necessário ajustar o equipamento e modificar o ângulo de incidência, isso trará algumas implicações nos cálculos (TROSTI-FERRONI, 1999, p.159). Ressalta-se que o equipamento portátil é um método não-destrutivo.

Ressalta-se, dentre as limitações da técnica para aplicação em bens culturais, a necessidade de se retirar a corrosão superficial previamente para a feitura da análise do material (HORTALÀ, 2007, p.451). Uma vez que a técnica só alcança a superfície do objeto, a não retirada da camada de corrosão pode interferir nos dados obtidos. A técnica não pode examinar adequadamente o material de base sem o conhecimento prévio da estrutura subjacente. Estes estudos de superfície podem conduzir ao erro, em relação ao metal de base e podem ser difíceis de interpretar uma vez que muitos objetos têm alterações nas camadas superficiais, tais como corrosão, manchas, pátinas, revestimentos e resíduos de tratamentos de limpeza (CARL; YOUNG, 2016, p.307-308).

Assim como em outras técnicas, a DRX também pode ser realizada de forma não destrutiva, utilizando fontes de luz síncrotron (SR-DRX), de nêutrons e de prótons disponíveis, devido às suas profundidades de penetração muito maiores. As medições de SR-DRX geram maior quantidade de informação, tais como fases presentes, espessura de revestimento local, análise de textura e uma estimativa da composição para o metal de base (CARL; YOUNG, 2016, p.308). Ressalta-se a dificuldade em examinar grandes

corpos de amostras/bens culturais devido à natureza dessas instalações. Aqui no Brasil essa técnica pode ser feita no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - LNLS⁸², em Campinas.

Fluorescência de Raios-X (FRX) - *X-ray fluorescence*

A fluorescência de raios-X é uma técnica analítica que permite analisar diversos materiais tais como pigmentos, metais e ligas, pedras, cerâmicas, vidro, vernizes, depósitos acidentais de materiais na superfície, produtos de corrosão, ossos, rochas, minérios, plásticos, óleos.

A FRX possibilita medir a composição do material de forma não-destrutiva, rápida e multielementar, sem preparação prévia de amostra. Ela detecta os elementos minoritários e majoritários e alguns elementos traços presentes. Para produzir tais informações a FRX usa raios-X para excitar a amostra. Em seguida, os elementos existentes emitem raios-X característicos, podendo informar quantitativamente os elementos presentes na amostra (CAMPOS, 2005, p.47).

Nesta técnica é possível a identificação qualitativa dos elementos de uma liga e também uma estimativa rápida e semi-quantitativa da espessura do revestimento (CARL; YOUNG, 2016, p.312-313). No geral é considerada uma técnica quali-quantitativa da composição química em vários tipos de amostras, sem a necessidade de nenhum pré-tratamento químico (NASCIMENTO, 1999, p.1-2).

Campos apresenta as possibilidades de aplicação desta técnica em bens culturais metálicos:

Como aplicação, a FRX pode favorecer no estudo da evolução da composição das ligas, principalmente nos casos de ligas nobres como ouro e prata, além de estudos de autenticidade, associada a outras técnicas. Outra possibilidade é a identificação de refundição, como exemplo o trabalho de Guerra. Nesse trabalho, foram realizadas análises em 960 moedas romanas de Cláudio a Trajano, onde foi possível verificar a redução do teor de zinco sem variar os teores de estanho e chumbo. Nessas circunstâncias, o zinco se oxidava e evaporava, constatando a refundição repetida (CAMPOS, 2005, p.47).

O instrumento é capaz de medir elementos no intervalo entre o Flúor e o Urânio de materiais desconhecidos. A FRX possibilita a análise química de elementos maiores (Si, Al, Fe³⁺, Fe²⁺, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti e P) e de elementos menores e traços (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, As, Pb e outros). Para um estudo mais

⁸² Maiores informações sobre o LNLS disponíveis no site <http://lnls.cnpem.br/>

avançado dos elementos traço da composição do objeto é necessário ter acesso a técnicas mais sofisticadas, com limites de detecção apropriados à medida de concentrações da ordem de ppm ou da dezena de ppm.

Uma limitação apresentada na interpretação de resultados é o fato da técnica de fluorescência de raios-X não ser capaz de determinar a composição química dos materiais analisados, apenas podendo determinar sua composição elementar. Permite a análise de uma área de 1mm de diâmetro, e a penetração do feixe de raios-X de molibdênio e profundidade analisados pode chegar a até 70 μ m. Esta técnica é geralmente considerada de superfície (CANO; BARRIO, 2015, p. 17).

A FRX está fundamentada nos raios-X característicos, isto é, uma fonte emite um feixe de raios-X em direção a uma amostra, este ao interagir com os átomos da mesma arranca elétrons desses átomos, gerando algumas vacâncias nos orbitais de cada átomo afetado, esta lacuna é sanada quando elétrons do próprio átomo afetado saltam de um orbital para outro a fim de preencher a vacância. Ao saltarem de um nível de energia para outro, acabam emitindo energia sob a forma de raios-X, relacionados a esta diferença de energia entre um orbital e outro, consistindo nos raios-X característicos (BATISTA, 2012, p.17).

Na FRX as principais desvantagens são a sensibilidade relativamente reduzida aos elementos traço e a necessidade de limpar, na amostra a ser analisada, uma área de um par de milímetros de diâmetro, principalmente para objetos com camadas de produtos de corrosão (POLLARD; HERON, 2008, p.207-208).

Espectroscopia Raman (Raman) - *Raman spectroscopy*

A espectroscopia Raman, conhecida muitas vezes só como Raman, permite analisar uma variedade de materiais orgânicos e inorgânicos, tais como rochas, pigmentos, metais e produtos de corrosão.

A espectroscopia Raman utiliza a faixa espectral de vibração molecular, propiciando informações importantes sobre a natureza, composição e estrutura do sistema molecular através de espectros resultantes (CASTELLUCI *et al.*, 1999, p.16). Esse espectro em picos deve ser processado por um *software* e uma base de dados específicos que proporcionará a caracterização do elemento.

Proporciona a análise seletiva de áreas microscópicas da amostra em estudo e

conservação de obras de arte. Os resultados possíveis são muito similares aos obtidos com a DRX, a técnica ajuda na identificação dos elementos frutos da degradação, por exemplo. A imagem de Raman confocal é uma ferramenta valiosa, possibilitando produzir informações valiosas sobre a proveniência, a tecnologia de fabricação, o estado de preservação e, em alguns casos, a autenticidade (MASIC, s/ data).

Uma limitação é que a técnica não serve para qualquer material, a presença de alumínio e manganês normalmente altera ou mascara os resultados.

Raman e espectros infravermelhos produzem imagens de vibrações moleculares que se complementam; isto é, a avaliação combinada de ambos os espectros produz mais informações sobre a estrutura molecular do que quando eles são avaliados separadamente (GÜNZLER; WILLIANS, 2001, p.466).

A espectroscopia Raman oferece um elevado grau de versatilidade. A amostragem é fácil, porque nenhuma preparação especial é necessária. Como se trata de uma técnica de espalhamento, as amostras são simplesmente colocadas no feixe de raios laser e a radiação é analisada (GÜNZLER; WILLIANS, 2001, p.499). Destaca-se aqui também a possibilidade de portabilidade do equipamento.

A espectroscopia micro-Raman (RM) tem sido aplicada como uma técnica analítica de superfície, qualitativa e não-destrutiva para identificar produtos de corrosão. A RM proporciona uma elevada resolução espacial. Além disso, é adequada para detectar óxidos e sulfetos, assim como espécies químicas formadas sobre substratos, dando a possibilidade de distinguir entre os produtos de corrosão (forma cristalina) e as espécies relacionadas aos processos secundários de corrosão (MARTINA *et al.*, 2012, p.1-7).

Espectroscopia de Absorção de Raios-X (XAS) - *X-ray absorption spectroscopy*

A espectroscopia de absorção de raios X (XAS) fornece informação direta estrutural e eletrônica sobre a matéria, independentemente se seu estado de agregação.

No que diz respeito aos estudos arqueométricos, esta técnica tem provado seu valor, e permite, por exemplo, determinar o estado de oxidação de uma amostra, o que é fundamental para os trabalhos de conservação e prevenção da corrosão. Serve principalmente para determinar a composição elementar de materiais (GUTIÉRREZ-LEÓN *et al.*, 2007, p.25-26).

Aliada a um acelerador de partículas, a técnica alcança um alto fluxo de fótons e, junto com a utilização de um detector multicanal, se consegue uma alta sensibilidade que permite detectar a presença de elementos químicos em concentrações inferiores a partes por bilhão (ppb) ou elementos traços (GUTIÉRREZ-LEÓN *et al.*, 2007, p.25-26).

Radiografia (Raios-X) - Radiography

A radiografia de raios-X é um método de imagem que usa essa radiação para revelar a estrutura de um objeto com base nas diferentes densidades de seus materiais constituintes (CESAREO *et al.*, 2016, p.145). Uma radiografia de um objeto é uma imagem desse objeto produzida em filme especialmente sensibilizado por radiação (geralmente raios-X ou raios gama) (SELWYN, 2004, p.14). É uma das técnicas mais importantes e comuns no estudo de caracterização e conservação de metais.

É uma técnica não destrutiva que permite a identificação do método de elaboração dos metais, aspectos estruturais e sua conformação mecânica. Podendo ainda revelar decorações ou inscrições que não estejam visíveis devido à camada de corrosão da peça, além de expor as discontinuidades e defeitos para auxiliar no processo de restauro (ANTELO, 2010).

É possível obter informações sobre os processos usados para a confecção dos materiais sem que seja necessária a retirada de amostras das peças (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.280). Ressalta-se que, na maioria dos casos, a técnica é considerada não invasiva. No entanto, a técnica pode ser considerada invasiva em uma escala atômica, desde que fótons de alta energia estão passando através da amostra (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.37).

Um equipamento de raios-X pode caracterizar o objeto e diferenciar os vários materiais que o formam. Metais são muitas vezes os elementos mais radiopacos, quando é constituinte do objeto, a técnica permite diferenciá-los de outros componentes da peça. Auxilia na identificação de restaurações antigas, ajudando no processo de decisões conservativas, assim como na diferenciação dos possíveis ajustes feitos pelo autor durante o processo criativo. Essas reintegrações podem se destacar claramente como grandes lacunas negras (radiografia de baixa absorção eacrílico de alta densidade), que destacam o alvo com as áreas centrais de metal (alta absorção e de baixa densidade radiográfica fotográfica). A técnica também possibilita o destaque das discontinuidades ou defeitos que ocorrem ao longo do tempo (ANTELO, 2011, p.28).

A radiografia é muito usada para inspecionar e diagnosticar a estrutura interna dos objetos, permitindo o estudo rápido da quantidade de núcleo metálico que é preservado, a existência de fraturas internas, segregações, além da tecnologia de manufatura, porosidades, soldaduras, motivos decorativos ocultos pela corrosão (BARRIO *et al.*, 2007, p. 583). É usada também para o estudo técnico das camadas de policromia como forma de identificar a técnica de execução; revelar a estrutura interna do objeto, como por exemplos encaixes da madeira, a presença de nós, etc.; informação acerca do estado de conservação como a descoberta de galerias produzidas por insetos e localização de lacunas em zonas de certa densidade; descoberta de pormenores dissimulados (CARMO; ALVES, RIBEIRO, 1987).

Assim como os equipamentos usados na área médica, é necessário ressaltar a atenção ao potencial dano causado pela interação da radiação com o objeto, de modo que este não sofra nenhum tipo de degradação pelos danos da radiação, seja em longo ou curto prazos (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001, p.374).

O processo da radiografia consiste nos seguintes passos: irradiação (iluminação do objeto), captura (negativo ou absorção) e processamento de imagem (físico ou pela transferência de dados para um computador) (ANTELO, 2011, p.23).

Os raios-X podem ser usados para produzir visualizações em diferentes dimensões. Embora a imagem de raios-X unidimensional seja possível, a maioria das imagens de raios-X produz dados em duas (2D) e três (3D) dimensões espaciais (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.37). As imagens em 3D podem ser adquiridas através da compilação de várias imagens em 2D por um *software* específico.

Emissão de Raios-X por Partículas Induzidas ou Emissão de Raios-X por Prótons Induzidos (PIXE) - *Particle-induced X-ray emission or proton-induced X-ray emission*

A emissão de raios-X por partículas induzidas ou por prótons induzidos (PIXE) é uma técnica não destrutiva. Cerâmica, metais, pigmentos, pedras semi-preciosas e papel são alguns dos materiais que essa técnica permite analisar.

O PIXE, assim como a FRX, é uma técnica multielementar, que determina os elementos majoritários e minoritários, e alguns elementos traço. Essa técnica utiliza um acelerador de partículas, que determina a concentração dos elementos através de raios-X característicos. O PIXE possui uma alta sensibilidade e detecta todos os elementos, com exceção do Hidrogênio e do Neônio (CAMPOS, 2005, p.47).

A PIXE é uma técnica muito indicada na detecção da camada de pátina, auxiliar nos estudos de proveniência e tecnologia, além de ajudar a identificar os possíveis centros de produção e rotas comerciais (CAMPOS, 2005, p.48). Alguns outros usos são: mapeamento de inclusões em pedras preciosas, pigmentos em iluminuras, pinos de metal renascentista, caracterização de processos metalúrgicos, técnicas de vidraçaria em terracota ou cerâmicas, etc. (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.20). Essa técnica também possibilita a análise da composição química e mineralógica do objeto (CARAMÉ, 2007, p.405).

A base do processo da PIXE é similar a outras técnicas de IBA. Baseia-se na detecção de produtos gerados através da interação de um feixe de íons de alta energia com a matéria. O resultado dessas interações (colisões) será a remoção de um elétron de algum nível interior do átomo, causando uma vaga. Em seguida, os elétrons nas camadas superiores são reordenados permitindo a volta ao seu estado de energia mais baixo, o que leva à emissão de raios-X. Dependendo do tipo de detector utilizado, é possível determinar a composição química da amostra com alta precisão e sensibilidade (CANO; BARRIO, 2015, p.4).

É uma técnica rápida e totalmente não-destrutiva. O método possui precisão, alta sensibilidade analítica e não necessita de padrões para fornecer resultados quantitativos. O feixe usado no PIXE, com tamanho na ordem de $1\mu\text{m}$, permite a análise de pequenos detalhes (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação). Equipamentos mais modernos de PIXE propiciam resolução espacial similar aos dos microscópios eletrônicos. Os níveis de detecção do PIXE são melhores que 100ppm para elementos acima do Cálcio (POLLARD; HERON, 2008, p.50).

A técnica de PIXE é utilizada de forma não invasiva em objetos inteiros ou amostras. Para conseguir isto, a corrente de intensidade do feixe tem de ser mantida na faixa de 0,1-10nA (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.82).

Sua principal desvantagem, como no caso do método de fluorescência de raios-X, é a análise superficial, que pode ser afetada pela presença de produtos de corrosão (CHARALAMBOUS, 2015, s/paginação). É necessário realizar um tratamento para expor o material interno ou que combine PIXE com outras técnicas (CANO; BARRIO, 2015, p.2-3). A técnica de PIXE é muito usada para o estudo de objetos em ouro, por sua propriedade não corrosiva (CARAMÉ, 2007, p.406).

O PIXE alcança uma penetração aproximada de 5-10 μm (CAMPOS, 2005, p.47-48). Existe um PIXE com análise sem vácuo, sem necessidade de um porta amostra,

possibilitando análises em peças maiores. Uma característica dele, é que só mostra os elementos e não as fases (POLLARD; HERON, 2008, p.50). "Infelizmente, a técnica PIXE tem limites de detecção demasiadamente elevados para poder determinar as concentrações de certos elementos tais como a platina" (GUERRA, 2005, p.98).

Embora a PIXE sirva basicamente para os mesmos propósitos que a EDFRX, é válido ressaltar algumas das principais diferenças entre as técnicas. A logística - se o objeto de análise não puder ser movido de seu local, então pode ser aconselhável considerar o uso de FRX em vez de PIXE; se o objeto pode ser removido da sua localização e não interessa analisar elementos com número atômicos baixos, então o uso de PIXE é recomendado; os elementos sob investigação - a produção de raios-X em PIXE é maior para elementos com número atômico baixo, enquanto que em EDFRX há um efeito oposto (maior produção de raios-X para elementos com número atômico alto). Isto implica que a EDFRX fornece uma resposta melhor para análises de metais do que a PIXE, embora não sendo tão boa para materiais contendo elementos com número atômico baixo, tais como silicatos. Como a PIXE é realizada no laboratório, dentro de um fluxo de hélio local, elementos de baixos números atômicos podem ser detectados, tais como o sódio. Este não é normalmente o caso com dispositivos portáteis EDFRX (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.84-85). Ressalta-se ainda que o comprimento de onda do PIXE é maior do que o do EDFRX.

Tomografia Computadorizada (CT) - *Computed Tomography*

A tomografia é definida por Campos e Granato da seguinte forma:

A tomografia baseia-se nos mesmos princípios da radiografia, porém, possibilita digitalizar o artefato com rotação de 360°, enquanto bate milhares de imagens em 2D, que são posteriormente usadas para criar imagens em 3D. Através dessa técnica, é possível analisar as peças com riqueza de detalhes, além de ser um registro fidedigno da morfologia do objeto. É uma excelente ferramenta para estudo e preservação dos objetos arqueológicos. Por meio dessas análises, é possível obter informações sobre os processos usados para a confecção dos materiais sem que seja necessária a retirada de amostras das peças (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.280).

Deve-se ater ao fato de que um equipamento de CT médico somente serve para bens culturais quando o objeto examinado possuir características similares ao corpo humano, como, por exemplo, múmias ou estátuas de madeira. Nos outros casos, deve-se usar equipamentos apropriados ou modificar os parâmetros operacionais (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.85). Os sistemas de CT de tamanho médio têm telas que variam de

(30 x 30)cm² a (40 x 40)cm², usando um painel plano, cujas características podem ser adaptadas às necessidades do usuário (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.87).

São numerosas as vantagens da CT em relação à radiografia convencional. Considerando que a radiografia comprime a informação estrutural de um objeto tridimensional em uma imagem bidimensional, a CT é singularmente capaz de inspecionar a estrutura interna de um objeto sem interferência de partes salientes ou superfícies altamente decoradas. A CT é extremamente sensível a variações na densidade do objeto, bem como a diferenças na composição do material. Uma tomografia computadorizada permite medições dimensionais precisas de até 50,8µm (SCOTT *et al.*, 2007, p.76).

Microtomografia Computadorizada 3D (microCT)

A microtomografia computadorizada, também conhecida como microCT é muito semelhante à tomografia (CT). Campos e Granato (2015) definem a técnica no trecho a seguir:

A microCT é uma técnica não destrutiva que se baseia na interação de Raios X no material estudado, onde deriva em projeções em diferentes ângulos, que fornecem uma qualidade melhor e mais detalhada das imagens adquiridas na radiografia (com somente um único raio) (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.280).

O processo de aquisição da imagem inicia com um feixe de raios-X estreito (cuja espessura define a espessura da fatia transversal a ser medida) incidindo sobre o objeto em estudo. Em questão de segundos, a imagem aparece em uma tela de vídeo de alta resolução. O aperfeiçoamento subsequente pode ser conseguido através da adição de cor, e ampliação, e por variação do brilho e contraste. Embora a resolução da imagem não seja tão grande como a da radiografia de filme, pode obter-se uma resolução mais elevada repetindo a exploração de radiografia digital com um ligeiro desvio do detector. Detalhes pequenos não podem ser definidos com precisão (SCOTT *et al.*, 2007, p.76).

Um dos usos pelo qual a MicroCT se presta é a identificação das seções constituintes, uma vez que a imagem 3D gerada é como a união de várias radiografias. Assim, é possível conhecer melhor os métodos de manufatura e principalmente examinar as condições estruturais (SCOTT *et al.*, 2007, p.6).

A grande desvantagem desta técnica é que é extremamente difícil de ser realizada *in-situ* (BRADLEY; CREAGH, 2006a, p.92). Existe um equipamento portátil, mas no geral a técnica é executada em bancada devido a viabilidade da prática.

3.3 - A Teoria na Prática

As informações técnicas apresentadas até este ponto, sobre os processos analíticos, por si só não abarcam algumas das discussões mais complexas sobre a utilização desses processos na pesquisa em bens culturais. Características como o custo, a viabilidade da execução, o tempo de resposta da análise, entre outras, precisam ser consideradas quando se pretende utilizar um processo analítico. Até o fim deste capítulo serão explorados alguns dos mais importantes aspectos relacionados com a prática propriamente dita.

Preparação de amostras

Em bens culturais a retirada de amostras é um assunto delicado cuja abordagem vai variar em cada situação. Não só com relação à quantidade necessária, mas também quanto aos locais que se deseja analisar. Nos bens culturais metálicos, por exemplo, é possível encontrar na superfície do objeto patinas de verniz, cera, tinta, corrosão, etc.. Cada uma dessas coberturas pode agir ou não de forma diferenciada nos resultados das análises. Deve-se, portanto, ponderar a situação a fim de que não haja erro ou interpretações errôneas.

Nos processos analíticos destrutivos, a coleta e preparação das amostras são primordiais para uma análise confiável. Ressalta-se que a amostra deve ser retirada de uma parte representativa do bem cultural ou de parte selecionada com determinado propósito. Algumas características devem ser consideradas: a sensibilidade do processo analítico, ou seja, sua capacidade para obter informações relevantes em amostras dependendo da quantidade disponível (nano, micro, mili, gramas) (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.11); o local de amostragem deve ser de fácil acesso. Deve-se considerar que o dispositivo de corte possui certo tamanho e algum espaço é necessário para manobrar (VELLA, 2004, p.221); algumas análises precisam de amostras em pó e em outras, pequenos pedaços servem. Bernardini relata sobre as amostras:

As amostras em pó, necessárias para a identificação da composição mineralógica, são utilizadas para a análise de difração de raios-X e para espectroscopia de infravermelho, enquanto os fragmentos de metal, incorporadas em resina epóxi e cuidadosamente polidos, são utilizados para as observações no microscópio de luz refletida e observações e análises por MEV e microsonda de elétrons (BERNARDINI, 1999, p.165, tradução nossa)⁸³.

⁸³ The powdered samples. necessary for the identification of the mineralogical composition, are used for the X-ray diffraction analysis and for IR spectroscopy, while the metal fragments. embedded in epoxy resin and

Consideremos por exemplo uma peça arqueológica, em estado de degradação muito avançado. É comum, nesses casos, separar para amostragem alguma parte da peça que já estava descola, fragmentada, etc.. Entretanto, quando pensa-se em seleção de amostras, como dito anteriormente, a representatividade da amostra é imprescindível. Uma análise feita com uma amostra retirada de um local com pouca representatividade para a solução da questão que levou a proposta da análise, possivelmente não trará os resultados esperados.

É primordial que a preparação da amostra seja executada em ambiente apropriadamente preparado e limpo. O preparo inadequado das amostras irá interferir nos resultados obtidos pelo processo analítico, podendo produzir informações não confiáveis, ou até interpretações erradas, potencialmente levando ao dano do bem cultural.

A coleta de amostras é um processo complexo que envolve decisões dos mais diversos tipos, desde o método de retirada do material até a quantidade de material necessária. Doménech-Carbó e colaboradores (2009) apresentam cinco estratégias em lidar com amostras existentes no campo do patrimônio. A primeira seria a análise do objeto por completo, pois, dependendo do tamanho do bem cultural, é possível analisar o objeto inteiro. A segunda relaciona-se com amostras retiradas de locais escolhidos de forma randômica, o que proporciona uma estimativa da composição de todo o objeto a partir de uma parte do mesmo. A terceira é consiste em tomar amostras em intervalos regulares em todo um objeto. A precisão da estimativa é satisfatória para esta estratégia. No entanto, o risco de se obter um resultado tendencioso existe, quando um padrão espacial está presente no objeto na mesma escala que no intervalo de amostragem. A quarta estratégia envolve uma escolha com propósito ou de forma arbitrária, neste caso se o motivador da decisão normalmente são razões estéticas ou de preservação. Entretanto, existe o risco de se obter uma estimativa tendenciosa, uma vez que o objeto não foi analisado por completo. A última é a seleção intencional, nela estão os casos em que a escolha das amostras está pautada nas partes que ainda não foram analisadas, por exemplo. É normalmente usada quando a pesquisa visa a identificação de alterações específicas (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.8-10).

O método de retirada da amostra deve levar em consideração também a estrutura do bem cultural a ser analisado. Em alguns casos, a retirada da amostra, por menor que

carefully polished, are used for the observations at the reflected light microscope and observations and analyses by SEM and electron microprobe (BERNARDINI, 1999, p.165).

seja, pode trazer algum tipo de fragilidade a estrutura do objeto, deixando-o susceptível a maiores danos.

São cinco tipos básicos de preparação de amostras, a moagem, dissolução, derivação, fusão e incorporação. Sobre eles, Doménech-Carbó e colaboradores explicam:

A pulverização ou moagem de amostras é um método de preparação simples requerido em várias técnicas espectrométricas e espectroscópicas, tais como difração de raios X (DRX), ressonância magnética nuclear (RMN), análise térmica diferencial (DTA), análise termogravimétrica (TG), e espectroscopia ATR-FTIR. O controle do tamanho das partículas durante a moagem deve ser levado em conta na tentativa de obter resultados fiáveis. A dissolução da amostra é o método necessário numa série de técnicas espectroscópicas e cromatográficas (por exemplo, espectrofotometria UV-Vis, espectroscopia de absorção atômica (AAS), cromatografia líquida de alta resolução (HPLC) e cromatografia em camada fina (TLC)). A seleção do solvente adequado é essencial quando se utiliza esta metodologia de preparação. Ocasionalmente, é necessário realizar um ataque ácido ou alcalino para dissolver a amostra. A fusão de amostras é necessária para realizar a análise de materiais cerâmicos e de vidro por meio de fluorescência de raios X (FRX). O tetraborato de lítio é adicionado como fluxo para baixar a temperatura de fusão. Os discos homogêneos que se formam podem ser considerados uma solução sólida dos compostos da amostra no aglutinante. Finalmente, o exame microscópico das amostras requer frequentemente a sua preparação como seções transversais ou por seções finas, ou montando a amostra numa lâmina de vidro por meio de um meio de montagem. Para a preparação de seções finas e transversais, as amostras são incorporadas numa solução de polímero. Após a cura do polímero, a seção fina ou transversal é obtida polindo a amostra embutida com discos abrasivos de SiC. As suspensões de alumínio ou a pasta de diamante são ocasionalmente utilizadas num passo de polimento final (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.10-11, tradução)⁸⁴.

A escolha para o método de preparação da amostra depende principalmente do

⁸⁴ Powdering, or grinding, of samples is a simple preparation method required in a number of spectrometric and spectroscopic techniques, such as x-ray diffraction (XRD), nuclear magnetic resonance (NMR), differential thermal analysis (DTA), thermogravimetric analysis (TG), or ATR-FTIR spectroscopy. Control of the particle size during grinding must be taken into account in attempting to obtain reliable results. Dissolution of the sample is the method required in a number of spectroscopic and chromatographic techniques (e.g., UV-Vis spectrophotometry, atomic absorption spectroscopy (AAS), high performance liquid chromatography (HPLC), and thin-layer chromatography (TLC)). Selection of the suitable solvent is essential when this preparation methodology is used. Occasionally, it is necessary to perform an acid or alkaline attack for dissolving the sample. Melting of samples is necessary for performing the analysis of ceramics and glass materials by means of x-ray fluorescence (XRF). Lithium tetraborate is added as flux for lowering the melting temperature. The homogeneous disks that form can be considered a solid solution of the sample compounds in the binder. Finally, microscopic examination of samples often requires their preparation as cross sections or thin sections, or by mounting the sample on a glass slide by means of a mounting medium. For preparing thin and cross sections, samples are embedded in a polymer solution. After curing of the polymer, the thin or cross section is obtained by polishing the embedded sample with SiC abrasive disks. Aluminum suspensions or diamond paste are occasionally employed in a final polishing step (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.10-11).

processo analítico escolhido. A preparação é, muitas vezes, realizada por abrasão (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2009, p.10).

Ressalta-se que para alguns dos processos analíticos, em alguns tipos de material, é necessária a metalização da amostra. Nestes casos deve ser considerado se a amostra será integrada novamente ao objeto, se for o caso, como será feita a remoção da metalização? Os efeitos que este processo pode ter na amostra podem ser irremovíveis.

Confiabilidade dos dados obtidos

Outra questão importante tem relação com a confiabilidade e expectativa de veracidade nos dados obtidos, pois as informações provindas dos processos analíticos podem variar de acordo com: a preparação da amostra, a calibração do equipamento utilizado, a atenção e capacitação do técnico que realizou as análises, da versão do *software* (banco de dados) utilizado ou com a sensibilidade do procedimento escolhido.

Cada análise vai depender do equipamento usado para que se tenha um determinado resultado. Desta forma, deve-se sempre levar em consideração que os resultados podem estar com erros e variações relacionados a esses aspectos.

O custo e a aplicação

As análises científicas mencionadas nesta dissertação nem sempre possuem um custo que permite aplicá-las a um grande número de bens culturais. Este tipo de estudo deve ser feito após grande consideração e estudo do objeto, quando as questões a serem respondidas já estiverem elaboradas, ou seja, é necessário pensar claramente o problema antes de se propor uma solução. Sempre que possível devem ser avaliadas outras possibilidades de obtenção das respostas, tais como uma pesquisa mais aprofundada e documentação do bem cultural. Campos e Granato refletem sobre isso:

As limitações do uso dessas técnicas para as instituições, assim como para os profissionais, arqueólogos e conservadores, são devido ao fato de serem muitas vezes onerosas, além da necessidade do auxílio de um especialista para interpretar os resultados das análises. Para viabilizar as análises, sugere-se que os responsáveis pelas coleções realizem convênios com laboratórios e instituições que tenham o interesse em desenvolver projetos de pesquisa em parceria, onde o arqueólogo e o conservador possam trabalhar em colaboração com os técnicos responsáveis dos laboratórios (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.280-281).

A maioria das técnicas de análise aqui apresentadas tem alto custo por amostra. Por outro lado, quando se pensa em custos, não se deve ter apenas em mente o custo da utilização das técnicas em si. É imprescindível pensar nos profissionais necessários para a análise dos resultados e que precisam ter larga experiência no campo da preservação.

Em alguns casos, por exemplo, quando se deseja uma análise mais generalizada do objeto, é possível fazer uma mistura de diversas amostras, afim de se obter uma amostra homogênea resultando em menor custo, uma vez que só será analisado uma vez. Ressalta-se que o ideal é analisar cada amostra retirada de pontos diferentes separadamente e comparar os resultados. Entretanto, essa prática tende a ser muito onerosa.

Para as instituições públicas, a alternativa que se apresenta é procurar estabelecer convênios com outras instituições públicas, normalmente universitárias, que possam atender às necessidades analíticas a custo zero.

A comunicação entre os profissionais

Outro problema caracterizado por diversos autores lidos na pesquisa para esta dissertação é relativo à comunicação entre os profissionais das divisões das ciências participantes do processo de preservação de bens culturais. Alves exemplifica este problema com uma metáfora:

Cientistas são como pianistas que resolveram especializar-se numa técnica só. Imagine as várias divisões da ciência – física, química, biologia, psicologia, sociologia – como técnicas especializadas. No início pensava-se que tais especializações produziram, miraculosamente, uma sinfonia. Isto não ocorreu. O que ocorre, freqüentemente, é que cada músico é surdo para o que os outros estão tocando. Físicos não entendem os sociólogos, que não sabem traduzir as afirmações dos biólogos, que por sua vez não compreendem a linguagem da economia, e assim por diante (ALVES, 1981, p.8).

Em resumo, trata-se de um refinamento de potenciais comuns a todos. Com essa metáfora é possível compreender a necessidade de uma melhor conexão e conversa entre os profissionais envolvidos no processo de preservação de bens culturais.

Portabilidade da análise

Alguns dos equipamentos possuem uma versão portátil, outros só podem ser

utilizados em laboratórios com instalações apropriadas. Existe uma diversidade de equipamentos, cada um possui sua especificação e sua função. A diferença entre esses equipamentos vai além da sua portabilidade. É de conhecimento geral que os resultados oferecidos por equipamentos de bancada são na maioria das vezes mais acurados. Isso acontece devido à quantidade de ruídos entre o equipamento e a amostra, que acontece em maior quantidade em ambiente externo.

Assim, técnicas que permitem a análise *in situ* são muito interessantes, especialmente para investigações exploratórias que dão direção aos passos seguintes que serão realizados. Por outro lado, quando é necessário obter resultados precisos e que irão interferir diretamente nas decisões de conservação a serem tomadas, será melhor contar com os equipamentos de laboratório.

Incompatibilidade e planejamento

Algumas análises provocam efeitos nas amostras ou nos objetos que os tornam inviáveis para o uso em outras técnicas. É necessário pensar em um sequenciamento na hora do planejamento das técnicas a serem utilizadas, para melhor aproveitar a amostra, não precisando de retirada de maior quantidade ou de, até mesmo, não interferir no objeto de forma definitiva.

A prática no restauro

Quando as análises forem solicitadas como parte de um procedimento de restauro é necessário que sejam incorporadas no planejamento, para que o melhor aproveitamento dos resultados seja obtido.

CAPÍTULO 4

UM PRODUTO PARA AUXILIAR OS USUÁRIOS DE PROCESSOS ANALÍTICOS PARA BENS CULTURAIS

4. UM PRODUTO PARA AUXILIAR OS USUÁRIOS DE PROCESSOS ANALÍTICOS PARA BENS CULTURAIS

4.1 - A Tabela de Procedimentos Analíticos Utilizados em Bens Culturais Metálicos de C&T

A compilação das informações encontradas durante esta pesquisa de dissertação possibilitou, dentre outras atividades, a confecção de um produto, caracterizado como uma Tabela Resumo de Métodos Analíticos para Bens Culturais Metálicos. Este, por sua vez, busca auxiliar aos usuários que trabalham com bens culturais, em especial os metálicos, no sentido de propiciar fácil visualização e consulta rápida às técnicas e alguns dos itens pertinentes, os quais consideramos os mais importantes em primeira instância para profissionais de preservação.

Seguindo a mesma metodologia proposta na dissertação, a Tabela é uma compilação de mais de 300 textos relacionados ao tema. Desta forma ela não contempla a totalidade das possibilidades de cada um dos processos constantes nela.

Ressalta-se que apesar da tabela propor uma singularidade aos processos analíticos, deve-se estudar cada caso como único e sempre que possível consultar especialistas interdisciplinares antes de se solicitar uma análise.

Na relação de itens considerados para compor a tabela inicialmente, destaca-se o custo da análise e o tamanho do porta-amostras do equipamento a ser utilizado. Ambos foram considerados durante a confecção da tabela, entretanto não os mantivemos na tabela. O custo da prestação de serviço dos processos analíticos citados se mostrou muito variável e dependente da região do Brasil e da Instituição em que pode ser feita a análise, bem como do tipo de relação estabelecida entre o usuário/instituição demandante da análise e a instituição/empresa que fará a análise.

O tamanho do porta-amostra é um dado importante. Em alguns casos, como em análises de moedas e medalhas, é possível fazer uma análise que se considera destrutiva ou invasiva, de forma não destrutiva ou não invasiva, devido às dimensões do objeto e as dimensões do porta-amostra do equipamento a ser utilizado. No entanto, esse dado é variável, pois os equipamentos se modificam e os modelos se multiplicam, com grande variedade de possibilidades desse aspecto. Assim, para esse dado, os usuários precisam verificar essa alternativa ao fazerem contato com a instituição/empresa que fará a análise pretendida. O campo tamanho do porta-amostra auxilia nesta perspectiva.

A seguir serão apresentadas as definições que guiam cada um dos campos trabalhados na tabela:

- **Tipo de análise (em português) – Tipo de análise (em inglês)**

Os nomes da técnica indicada, tanto em português quanto em inglês, são as primeiras informações disponibilizadas. Uma vez que a maior parte da bibliografia estudada foi em língua estrangeira, tornou-se necessário manter o nome das análises tanto em português quanto em inglês. O leitor pode se aproveitar deste mecanismo para efetuar outras pesquisas sobre o tema.

- **Materiais a serem analisados para além dos metais**

Em algumas das referências bibliográficas analisadas foi possível identificar outros materiais que as técnicas possibilitam analisar, além dos metais. Quando possível foi indicado quais são esses outros materiais. Os itens destacados aqui foram completados apenas com os materiais que as referências lidas mostraram.

- **Usos possíveis**

Considerado um dos itens mais importantes da tabela, os usos possíveis contêm os resultados e respostas que podem ser alcançados com a aplicação dessas análises em bens culturais de ciência e tecnologia com presença de metais.

- **Técnicas associadas**

Em alguns casos as técnicas mencionadas podem ser acopladas umas às outras, para produzir resultados específicos. Nestes casos, a sigla para essa associação de técnicas é apontada neste espaço.

- **Qualitativa ou quantitativa**

Para melhor compreensão de que tipo de resultado pode ser esperado de cada técnica, foi criada a coluna “qualitativa ou quantitativa”. Através desta informação pode-se guiar o usuário para a compreensão do uso daquele processo analítico e o que deve esperar nos resultados a serem obtidos.

- **Destrutiva ou não destrutiva - invasiva ou não Invasiva**

A definição destes dois itens foi vastamente trabalhada no capítulo anterior. Entretanto, cabe aqui ressaltar que a escolha por manter os dois itens separados foi baseada no livro “Analytical Archaeometry: Selected Topics” dos autores Howell G. M.

Edwards e Peter Vandenabeele (2012). Esta é uma publicação recente e voltada para o público do campo da arqueologia e conservação que corrobora com o princípio difundido por alguns teóricos de que os termos destrutivo e não destrutivo devem referir-se a possibilidade de destruição da amostra. Enquanto os termos invasivo e não invasivo se referem ao dano (mesmo que mínimo) causado ao objeto a ser estudado. O uso desta terminologia aproxima os campos das ciências e do patrimônio, pois possibilita a compreensão ampla das publicações, sem ruídos na comunicação.

- **Tamanho da amostra**

O campo tamanho da amostra necessária para a análise serve para que o usuário reflita com maior critério sobre a possibilidade de se retirar ou não uma amostra do bem cultural em estudo.

- **Limitações**

Este campo apresenta algumas das principais limitações encontradas para cada tipo de análise, destacando possibilidades como: elementos que não são detectados, se a análise é apenas superficial, etc..

- **Referências**

Este campo apresenta os textos que forneceram o embasamento para a construção da Tabela, relacionados a cada uma das análises.

- **Tempo da análise**

A duração de tempo entre o início da análise e o resultado foi indicada para que se possa ter uma noção mais completa da técnica. Vale esclarecer que, dependendo do tipo de compromisso estabelecido entre as partes interessadas na realização da análise, o tempo de entrega dos resultados pode variar muito.

- **Onde se faz essa análise no Brasil**

Por fim, quando disponível, foi acrescentada uma listagem de locais no Brasil que efetuam estes procedimentos. Ressalta-se que este item não contém todos os locais no Brasil que possuem o equipamento, mas somente os que possuem publicação e foram utilizados como leitura para essa dissertação.

A seguir, é apresentada a Tabela 04 que resume de forma sucinta as informações

pesquisadas sobre as metodologias de análise e que se espera seja útil aos profissionais que trabalham com a preservação de bens culturais.

Tabela 04 - Processos analíticos aplicados para bens metálicos. Fonte: a autora

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Radiografia (Raios-X) |
| Análise (em inglês) | <i>Radiography (X-Rays)</i> |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Possibilita investigar a estrutura interna de peças metálicas, permitindo visualizar defeitos, trincas, decorações, detalhes em geral. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Para objetos com grandes dimensões (como canhões) é necessário realizar várias vezes a técnica, para radiografar a totalidade dos bens. |
| Referências | (MORA, 2010, p.101); (TROSTI-FERRONI, p.159); (ROSA, 2012, p. 175-176); (ANTELO, 2011, p.18); (BRADLEY; CREAGH, 2006, p.15); (BARRIO <i>et al.</i> , 2005, p.165); (ANTELO et al, 2005, p.213); (MARTINEZ e ALONSO, p.40); (CAMPOS; GRANTO, 2015); (BARRIO <i>et al.</i> , 2007, p. 580); (MOHEN, 1999, p. 127); (TROSTI-FERRONI, 1999, p.161); (BERNARDINI, 1999, p.165); (CAPLE, 2000); (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012, p.37) |
| Tempo da análise | Variável pois depende da revelação ou geração de imagem computadorizada. |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Instrumentação Nuclear da COPPE/UFRJ; Laboratório de Documentação Científica por Imagem (ILAB-UFMG) |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Tomografia Computadorizada (CT) |
| Análise (em inglês) | <i>Computed Tomography (CT)</i> |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Registro minucioso da morfologia do objeto e dos procedimentos usados para sua elaboração. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Extremamente difícil de ser realizada <i>in-situ</i> |
| Referências | (CAMPOS; GRANATO, 2015); (BRADLEY; CREAGH, 2006); (SCOTT <i>et al.</i> , 2007) |
| Tempo da análise | Depende do tamanho do objeto |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | --- |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Microtomografia Computadorizada 3D (microCT) |
| Análise (em inglês) | <i>X-ray computed microtomographs (MicroCT)</i> |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Registro minucioso da morfologia do objeto e dos procedimentos usados para sua elaboração em bens culturais menores aos que usados na CT. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | > 10cm |
| Limitações | Difícil de ser realizada <i>in-situ</i> |
| Referências | (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.14); (CAMPOS; GRANATO, 2015) |
| Tempo da análise | 5 - 10 minutos |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Instrumentação Nuclear da COPPE/UFRJ; LPDI na PUC/RJ |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Microscópio Estereoscópico |
| Análise (em inglês) | <i>Stereoscopic Microscope</i> |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Aumento da visualização da superfície e estrutura do objeto em até 80X. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Análise apenas da superfície do objeto |
| Referências | --- |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Presentes em diversas instituições. |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Microscopia Ótica por Luz Refletida |
| Análise (em inglês) | Reflected Light Microscopy |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Exame da superfície e estrutura do objeto. Análise da técnica de fabricação. Caracterização das ligas utilizadas. Visualização da microestrutura dos metais e do produto de corrosão. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 1 a 2 cm ² |
| Limitações | --- |
| Referências | (CAMPOS, 2009); (KILLICK, 2001); (CAMPOS; GRANATO, 2015,); (CARMO, ALVES, RIBEIRO, 1987); (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001,); (LEAL, 2000); (VALADARES, s/data); (LIGHT, 2000); (BOUTAINE, 2000); (WAYMAN, 1989); (IGEA <i>et al.</i> , 2007); (MORA, 2010) (SCOTT, 1991) (MANSUR, 2016) (BRADLEY; CREAGH, 2006) (BARRIO <i>et al.</i> , 2007); (PEREIRA, sem data); (NOVELLAS, 2007) |
| Tempo da análise | Imediato |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Coppe-UFRJ); Laboratório de Ciências da Conservação da Escola de Belas Artes. Departamento de Engenharia de Minas, UFMG |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) |
| Análise (em inglês) | Scanning electron microscopy (SEM) |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Permite ampliação bem maior da imagem de uma amostra que aquela obtida com MO. Através do uso de diferentes detectores, possibilita também a análise elementar e morfológica da superfície da amostra. |
| Técnicas Associadas | EDS, WDS, FIB, EBSD |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Semi-Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva e não destrutiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva e não invasiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Tamanho da amostra | Até cerca de (5,0 x 5,0 x 2,0)cm |
| Limitações | Técnica pontual; porta amostra a vácuo; detecta elementos que estão cadastrados no software utilizado; interação com o feixe prejudicial a amostra. |
| Referências | (BOUTAINE, 2000); (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID, s/d); (CARAMÉ, 2007); (LEAL, 2000); (CAMACHO-BRAGADO <i>et al.</i> , 2005); (VALADARES, s/d); (CAMPOS, 2009); (GRANATO; MIRANDA, 2011); (CAMPOS; GRANATO, 2015); (CAPLE, 2000); (MIRA, 2006); (HOMEM, 2013); (MORA, 2010); (MORA, 2010); (GARBACZ-KLEMPKA <i>et al.</i> , 2015); (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001); (CARL e YOUNG, 2016); (FREITAS <i>et al.</i> , 2016); (SCOTT; PODANY; CONSIDINE, 2007); (MANSUR, 2016); (DEDAVID <i>et al.</i> , 2007); (LANTERNA, 1999); (CANO; BARRIO, 2015); (FELL; WILLIAMS, 2004); (BARRIO <i>et al.</i> , 2004); (BERNARDINI, 1999); (GRANATO; MIRANDA, 2005); (MARTINEZ; ALONSO, s/d); (VIEIRA, R.M.L; <i>et al.</i> , 2007); (BOUTAINE, 2000); (PEREIRA, s/data); (NOVELLAS, 2007); (LEAL, 2000); (GRANATO; MIRANDA, 2011); (GRANATO; SANTOS; MIRANDA, 2007); (SCHMIDT-OTT, 2008); (LANTERNA, 1999); (BARRIO <i>et al.</i> , 2005, p.159); (CANO; BARRIO, 2015, p.43); (CRIADO <i>et al.</i> , 2013); (INGO <i>et al.</i> , 2004, p.319); (UNIVERSIDADE DE LEICESTER); (HOMEM, 2008); (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012) |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Caracterização Tecnológica, situado no Setor de Caracterização Tecnológica e Ambiental (SCT) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) / laboratório do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ) / Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-MCT) / Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio / Central Analítica Instituto de Química – USP / Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura e Transmissão - IME |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) |
| Análise (em inglês) | Transmission electron microscopy (TEM) |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Permite visualizar a microestrutura do metal, em nível de resolução atômica. |
| Técnicas Associadas | DRX e EDS |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa e Qualitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | Inferior a 200nm |
| Limitações | Requer retirada de quantidade expressiva de amostras do bem |
| Referências | (SCOTT, 1991) |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Núcleo multiusuário de microscopia - COPPE/UFRJ / Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio / Central Analítica Instituto de Química - USP / Escola de Microscopia Eletrônica de Transmissão do CBPF/LABNANO / Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura e Transmissão - IME |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) |
| Análise (em inglês) | Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS or XEDS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Análise elemental ou caracterização química. Detecta pontualmente elementos presentes. Análise em nível de elemento traço. |
| Técnicas Associadas | MEV |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa e Qualitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva e não destrutiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva e não invasiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Tamanho da amostra | Máximo de 4cm em diâmetro |
| Limitações | Detecta elementos com número atômico superior a 12. Precisa de concentração mínima de amostra de 100ppm |
| Referências | (CARL; YOUNG, 2016, p.308); (FREITAS <i>et al.</i> , 2016, p.140); (GRANATO; MIRANDA, 2011) |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Núcleo multiusuário de microscopia - COPPE/UFRJ / Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio / Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura e Transmissão - IME |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Raios X de Dispersão de Comprimento de Onda (WDS) |
| Análise (em inglês) | Wavelength-dispersive X-ray spectroscopy (WDXS or WDS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Análise elementar até níveis de elementos traço. Medição simultânea de múltiplos elementos. É uma técnica mais precisa do que a de EDS |
| Técnicas Associadas | FRX |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | Máximo de cerca de 5cm em diâmetro |
| Limitações | Não pode determinar elementos de NA abaixo do Boro. |
| Referências | (HENRY; GOODGE, sem data); (LEAL, 2000); (GÜNZLER; WILLIANS, 2001) |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Microsonda Eletrônica – UFRGS |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia Raman |
| Análise (em inglês) | Raman spectroscopy |
| Materiais além dos metais e ligas | Pigmento, têxtil, mineral, resina, papel |
| Usos possíveis | Caracterização química, elementar e molecular. Análise seletiva de áreas microscópicas. Estudo do processo de corrosão. Análise pode ser do bulk ou pontual (em bancada ou pistola) |
| Técnicas Associadas | MO, MEV |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva em sistemas portáteis |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva em sistemas portáteis |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Não analisa alumínio ou manganês, pois alteram ou mascaram o resultado |
| Referências | (HORIBA, sem data); (MARTINA <i>et al.</i> , 2012); (CASTELLUCI <i>et al.</i> , 1999); (MARASCHIN, 2013); (BERNARD; JOIRET, 2009); (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012) |
| Tempo da análise | Menos de um minuto |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Arqueometria do GFAA da Universidade de São Paulo / laboratório do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ) / Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-MCT) / Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio / Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade de Londrina (LFNA na UEL) |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Espectroscopia Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) |
| Análise (em inglês) | Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy (FTIR) |
| Materiais além dos metais e ligas | Minerais, plásticos, vernizes, pigmentos, cerâmicas, materiais ósseos, resinas |
| Usos possíveis | Identificação de materiais orgânicos em superfície metálica. Específico para estudo do processo de corrosão |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Semi Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 1 a 2mg |
| Limitações | Análise dos produtos de corrosão |
| Referências | (RINCÓN, 2007); (MADURO; TISSOT, 2008, p. 113); (SCOTT <i>et al.</i> , 2007, p.213); (POLLARD; HERON, 2008, p.67); (CANO; BARRIO, 2015, p.79); (MOHAMED <i>et al.</i> , 2004, p.369) (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.20); (CAPLE, 2000); (REGGIO; PÉREZ, 2015); (MADURO; TISSOT, 2008, p. 113) |
| Tempo da análise | 10 a 15 minutos |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação (LACIFID) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo; Laboratório de Ciências da Conservação da Escola de Belas Artes; Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais (LMCM) do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM/UFRJ) |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) |
| Análise (em inglês) | Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Substâncias orgânicas e inorgânicas |
| Usos possíveis | Análise composicional de artefatos metálicos, análise de relação de isótopos de chumbo. Determinar a origem do material, pelos elementos traço. Estudo de origem do material metálico. |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Semi Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | Cerca de centenas de mg |
| Limitações | --- |
| Referências | (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.17); (MADURO; TISSOT, 2008) |
| Tempo da análise | Menos de 1 min |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação (LACIFID) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo / Departamento de Química - PUC-Rio |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Massa com Emissão de Plasma Indutivo e Ablação a Laser (ICP-MS-LA) |
| Análise (em inglês) | Inductively coupled plasma mass spectrometry with laser ablation (LA-ICP-MS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Vidro, cerâmica, mineral |
| Usos possíveis | Análise multielementar. Auxiliar no estudo de procedência, pela determinação de elementos com alta precisão e acurácia e baixos limites de detecção. Permite análise de isótopos |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva minimamente |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Produz cavidades não detectáveis à olho nu na superfície do objeto, |
| Referências | (VIEIRA <i>et al.</i> , 2007) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Caracterização Tecnológica, situado no Setor de Caracterização Tecnológica e Ambiental (SCT) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). / Laboratório de Laser Ablation LA-ICP-MS - Geociências USP / Departamento de Química - PUC-Rio |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) |
| Análise (em inglês) | Inductively coupled plasma - Atomic emission spectrometry (ICP-AES) |
| Materiais além dos metais e ligas | Vidro, esmalte, sedimento, mineral |
| Usos possíveis | Permite a determinação de quase todos os elementos da tabela periódica. Pode ser usada juntamente com o ASS pra detecção e determinação da composição química. Elas são especialmente boas em detectar elementos traço. Analisa vários elementos simultaneamente e para níveis tão baixos quanto 1-10 partes por bilhão (ppb) |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 0,1 a 10g |
| Limitações | --- |
| Referências | (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.17); (SELWYN, 2004, p.15); (DELALIEUX <i>et al.</i> , 2002) |
| Tempo da análise | Menos de 1 min |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Departamento de Química - PUC-Rio |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Absorção de Raios-X (XAS) |
| Análise (em inglês) | X-ray absorption spectroscopy (XAS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Pigmento |
| Usos possíveis | Fornecer informação sobre a composição elementar, estrutura e eletrônica sobre a matéria. Permite determinar o estado de oxidação. Aliada a um acelerador de partículas, consegue detectar a presença de elementos traço |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva para camadas finas |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Precisa de um sincrotron |
| Referências | (GUTIÉRREZ-LEÓN <i>et al.</i> , 2007) (SCHROEDER <i>et al.</i> , s/ data) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | --- |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma induzido por Laser (LIBS) |
| Análise (em inglês) | Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Pigmento, cerâmica, polímero |
| Usos possíveis | Detecção de todos os elementos. Pode ser combinada à aplicações de limpeza, usando lasers ou outros meios convencionais, para monitorar e controlar o processo |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Minimamente destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 1-10µm de profundidade e ~100µm de diâmetro |
| Limitações | Limitada pela potência do laser, bem como a sensibilidade e a faixa de comprimento de onda do espectrógrafo e detector |
| Referências | (CRIADO et al, 2013); (DOMÉNECH-CARBÓ et al, 2009, p.25-26) ; (BARRIO et al, 2007, p. 580) |
| Tempo da análise | Segundos |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | --- |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Emissão Óptica (OES) |
| Análise (em inglês) | Optical emission spectroscopy (OES) |
| Materiais além dos metais e ligas | Cerâmica |
| Usos possíveis | Analisa a composição química de materiais |
| Técnicas Associadas | ICP |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | --- |
| Referências | (CRIADO <i>et al.</i> , 2013); (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.25-26) ; (BARRIO <i>et al.</i> , 2007, p. 580) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório Van de Graaff do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Retro Espalhamento Rutherford (RBS) |
| Análise (em inglês) | Rutherford backscattering spectrometry (RBS) |
| Materiais além dos metais e ligas | --- |
| Usos possíveis | Fornecer a composição elementar das primeiras camadas. Determinação de perfis de concentração de elementos em camada de pátina sobre objetos metálicos, assim como no estudo dos processos de alteração de objetos de chumbo |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 1ng |
| Limitações | Análise superficial. Precisa de um acelerador de partículas |
| Referências | (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001, p.899); (BARRIO <i>et al.</i> , 2007, p. 580) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório Van de Graaff do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Laboratório de Análises de Materiais por Feixes Iônicos (LAMFI) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Massas por Ionização Térmica (TIMS) |
| Análise (em inglês) | Thermal ionization mass spectrometry (TIMS) |
| Materiais além dos metais e ligas | --- |
| Usos possíveis | Auxilia no estudo de procedência de matérias primas |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Amostra precisa ser descartada após o uso para evitar contaminação. Há uma probabilidade de que a alteração na composição isotópica ocorra durante a ionização (os isótopos leves evaporam mais rapidamente do que os mais pesados da superfície do filamento) |
| Referências | (HORTALÀ, 2007, p.450) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Instituto de Física/UFRJ; Instituto de Química/USP |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios-X (XPS) ou Espectroscopia de Elétrons para Análise Química (ESCA) |
| Análise (em inglês) | X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) or Electron spectroscopy for chemical analysis (ESCA) |
| Materiais além dos metais e ligas | --- |
| Usos possíveis | Análise de superfícies. Detectar a composição elementar com uma profundidade dentre 20-100Å. Detecção de elementos presentes dentro de uma fração de uma monocamada |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Semi-Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | entre 0,1 e 4,0cm ² |
| Limitações | As amostras devem estar limpas e livres de qualquer material de alta pressão de vapor, não pode ser empregada em objetos cobertos por pátinas e crostas. Precisão de análise quantitativa limitada a 3-4%. Realizado sob vácuo |
| Referências | (HOMEM, 2013) |
| Tempo da análise | 30min |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório Multiusuário de Caracterização de Superfícies da COPPE/UFRJ |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Espectroscopia por Impedância Eletroquímica (EIE) |
| Análise (em inglês) | Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) |
| Materiais além dos metais e ligas | --- |
| Usos possíveis | Caracteriza o estado e a morfologia da corrosão. Permite obter, para processos de corrosão, a velocidade e eficiência dos sistemas e mecanismos de proteção |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | --- |
| Referências | (DALEWICZ-KITTO, 2016) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | --- |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectroscopia Mössbauer |
| Análise (em inglês) | Mössbauer Spectroscopy |
| Materiais além dos metais e ligas | Cerâmicas, paleosedimento, pigmentos, minerais |
| Usos possíveis | Estudar compostos de ferro, por exemplo, em cerâmicas. Essa técnica tem sido aplicada para identificação da origem da argila. Capaz de distinguir entre os estados de valência de elementos (por exemplo Fe ²⁺ vs. Fe ³⁺) |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Mössbauer pode somente ser usada para analisar amostras que contenham um número relativamente pequeno de elementos e a maior parte das aplicações baseia-se na detecção de ⁵⁷ Fe, ⁶¹ Ni e ¹¹⁹ Sn |
| Referências | (CASELLATO <i>et al.</i> , 1999); (GUNZLER; WILLIAMS, 2001) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | COPPE/UFRJ; CBPF; UFPI |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) |
| Análise (em inglês) | Atomic absorption spectrometry (AAS) |
| Materiais além dos metais e ligas | Vidro, esmalte, minerais, têxteis, pigmentos, cerâmica |
| Usos possíveis | Determinação da concentração de multielementos |
| Técnicas Associadas | ICP-AES ou ICP-OES |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutivas |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 10-20mg |
| Limitações | A amostra deve estar em forma líquida. Problemas como interferências químicas e espectrais na chama. Requerem processos analíticos específicos e padrões de calibração para cada substância analisada. |
| Referências | (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.17) |
| Tempo da análise | --- |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | CETEM; INT; Departamentos de Química de muitas universidades federais |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Difratometria de Raios-X (DRX) |
| Análise (em inglês) | X-Ray diffraction (XRD) |
| Materiais além dos metais e ligas | Materiais cristalinos |
| Usos possíveis | Auxilia na identificação dos compostos metálicos, de pátinas e auxilia na identificação de técnicas de fabricação |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva em sistemas portáteis |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva e não invasiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Tamanho da amostra | menos de 0,02mm |
| Limitações | As melhores amostras são na forma de pó, para dados mais confiáveis. Só analisa fases cristalinas. |
| Referências | (ASFORA, 2010); (MORA, 2010, p.100); (SCOTT; PODANY; CONSIDINE, 2007, p.212); (FELL ;WILLIAMS, 2004, p.17); (BRADLEY; CREAGH, 2006, p.23); (CANO; BARRIO, 2015, p.30-31); (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.20); (SCOTT <i>et al.</i> , 2007, p.8); (GUERRA, 2005, p.83); (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.287); (MOHEN, 1999, p.129); (CAPLE, 2000); (CAMPOS; GRANATO; GOMES, 2012, p.37); (CAMPOS; GRANATO, 2015, p.8); (BARRIO <i>et al.</i> , 2007, p. 580) |
| Tempo da análise | 1 segundo |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-MCT); Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais (LMCM) do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM/UFRJ); laboratório do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ) / Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-MCT); Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio |

| | |
|---|---|
| Análise (em português) | Fluorescência de Raios-X (FRX) |
| Análise (em inglês) | X-ray fluorescence (XRF) |
| Materiais além dos metais e ligas | Todos os materiais sólidos |
| Usos possíveis | Mapeamento multielementar e identificação de elementos maiores, menores e traços que compõe os metais e suas ligas |
| Técnicas Associadas | EDS; WDS |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não destrutiva em sistemas portáteis |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva e não invasiva, dependendo do tamanho do porta amostras |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Sensibilidade relativamente fraca aos elementos traço. Os elementos detectados vão do potássio a números atômicos mais elevados na ausência de fluxo de Hélio. |
| Referências | (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.17); (CAMPOS; GRANATO, 2015); (VIEIRA <i>et al.</i> , 2007); (CAMPOS, 2009); (BOUTAINE, 2000); (PEREIRA, s/d); (ASFORA, 2010); (ALVES <i>et al.</i> , 2014, p.61); (CALZA <i>et al.</i> , 2008, p.2); (UNIVERSITY OF LEICESTER); (CARAMÉ, 2007, p.405); (MADURO; TISSOT, 2008, p. 113); (GARBACZ-KLEMPKA <i>et al.</i> , 2015, p.32); (GÜNZLER; WILLIAMS, 2001, p.755); (SELWYN, 2004, p.15); (SCOTT; PODANY; CONSIDINE, 2007, p.35); (BATISTA, 2012, p.11); (POLLARD <i>et al.</i> , 2007; 306); (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009, p.17); (CALZA <i>et al.</i> , 2008, p.5); (BARRIO <i>et al.</i> , 2007, p. 580); (CAMPOS, 2009, p.82); (NEIVA, <i>et al.</i> 2006).; (FILHO, 1999, p.4); (CREAGH <i>et al.</i> , 2004, p.210-211); (BRADLEY; CREAGH, 2006, p.19); (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012) |
| Tempo da análise | até 5 minutos |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Centro de Tecnologia Mineral - CETEM / Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) / Departamento de Química - PUC-Rio / Insituto Alberto Luiz Coimbra de pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COOPE-UFRJ) / Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) / Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade de Londrina (LFNA na UEL) |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Emissão de Raios-X por Partículas Induzidas ou Emissão de Raios-X por Prótons Induzidos (PIXE) |
| Análise (em inglês) | Particle-induced X-ray emission or proton-induced X-ray emission (PIXE) |
| Materiais além dos metais e ligas | Cerâmica, pigmentos, pedras semipreciosas, papel, vidro |
| Usos possíveis | Técnica multi-elementar, que determina a composição química da amostra com alta precisão e sensibilidade. Analisa pátinas |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Semi-Quantitativa (por aproximação) |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Não Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Não Invasiva |
| Tamanho da amostra | --- |
| Limitações | Precisa de um acelerador de partículas ou de uma fonte radioativa. Análise superficial que pode ser afetada por produtos de corrosão. Os elementos detectados passam de Sódio (uso de fluxo de Hélio) para números atômicos mais altos. Executado no vácuo, atinge elementos de números atômicos inferiores. |
| Referências | (CAPLE, 2000); (BARRIO et al, 2007, p. 580); (NEIVA et al, 2005, p.146); (BARRIO et al, 2005, p.167); (GUERRA, 2005, p.81); (MOHEN, 1999. p.129); (EDWARDS; VANDENABEELE, 2012) |
| Tempo da análise | até 5 minutos |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Laboratório de Análises de Materiais por Feixes Iônicos (LAMFI) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo; Departamento de Química - PUC-Rio |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Análise por Ativação com Neutrons (NAA) |
| Análise (em inglês) | Neutron activation analysis (NAA) |
| Materiais além dos metais e ligas | Pigmentos, vidro, cerâmica, minerais |
| Usos possíveis | Identificação de elementos maiores, menores e traços |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Qualitativa e Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | 5mg |
| Limitações | Precisa de um reator nuclear. Manuseio de material radioativo. |
| Referências | (CHARALAMBOUS, 2015) |
| Tempo da análise | Variável |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | IQ e Engenharia Nuclear/UFRJ; Faculdade de Medicina/USP |

| | |
|---|--|
| Análise (em português) | Cromatografia por Troca Iônica (IEX) |
| Análise (em inglês) | Ion exchange chromatography |
| Materiais além dos metais e ligas | Minerais |
| Usos possíveis | Determinação seletiva e rápida de concentrações baixas (até o nível de ppb) |
| Técnicas Associadas | --- |
| Qualitativa ou Quantitativa | Quantitativa |
| Destrutiva ou Não destrutiva | Destrutiva |
| Invasiva ou Não Invasiva | Invasiva |
| Tamanho da amostra | poucos mg |
| Limitações | Podem surgir alguns problemas de determinação numa mistura complexa. Precisa solubilizar a amostra |
| Referências | (TOSINI, 1999); (DOMÉNECH-CARBÓ <i>et al.</i> , 2009); (DELALIEUX <i>et al.</i> , 2002) |
| Tempo da análise | Cerca de 15 min |
| Alguns locais onde se faz essa análise no Brasil | Institutos de Química de várias universidades federais |

4.2 - Alguns Exemplos Práticos de Uso das Análises para Bens Culturais

A seguir, serão apresentados resumidamente alguns estudos de caso que foram pesquisados no decorrer do levantamento de dados, utilizado como base para a construção da Tabela 4, por utilizarem algumas das técnicas principais mencionadas. Pretende-se assim mostrar, na prática, como as análises de bens culturais são importantes para seu conhecimento e preservação.

Granato e Miranda (2015) no artigo “A Restauração na Trajetória de um Teodolito

do Acervo do MAST” apresentam um estudo de caso sobre a restauração de um instrumento científico pertencente à coleção do MAST. A partir da avaliação do estado de conservação dos objetos da coleção do MAST, a seleção do objeto a ser estudado utilizou como critérios o estado geral de conservação e o potencial histórico da peça. O teodolito foi escolhido devido à sua situação bastante comprometida e os indícios históricos de sua relevância, justificando o investimento para a restauração. O teodolito é composto por ligas metálicas e os processos analíticos utilizados no decorrer do estudo de caso foram a MEV e o EDS, e possibilitaram conhecer a composição metálica de partes do objeto. A metalografia foi importante para a observação da microestrutura das peças cujas dimensões eram incompatíveis com o porta amostra do MEV disponível para a análise. Os resultados da aplicação das técnicas possibilitaram a caracterização dos materiais constituintes do objeto, sendo ele formado predominantemente por latão, seguido do bronze em fases α e ϵ ; em menor grau, aparecem a liga de prata (usada nas escalas) e o aço da alma da coluna principal do instrumento e de partes de alguns parafusos (GRANATO; MIRANDA, 2011).

Neiva e colaboradores (2007) no artigo “Cuidados com picos espúrios no uso de espectroscopia de Fluorescência de raios-X para a análise de peças metálicas pré-Hispânicas do museu de arqueologia” relatam os usos da FRX, destacando as possibilidades em análises de peças metálicas pré-hispânicas do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo (MAE), em especial se realizada *in situ*, para identificação de materiais e de seus eventuais produtos de corrosão, para determinação de origem, processamento e uso, compreensão de seus processos de deterioração, definição de métodos de preservação e restauração, autenticação, etc.. O estudo de caso apresentado discute principalmente os cuidados tomados para a interpretação dos espectros obtidos, com especial atenção à identificação de radiação espúria⁸⁵ gerada pelo colimador de Zircônio do detector e pelo colimador primário de chumbo. Para avaliação da qualidade dos picos obtidos para teores relativamente baixos de elementos, foi analisada a liga $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{79,9}\text{B}_6\text{Nb}_{0,1}$. Apesar do baixo teor de Nb na amostra, o espectro obtido apresentou picos de Zr. Esses picos não vieram da amostra, mas sim do detector. Na análise inicial da coleção, foi possível identificar a presença ou não de Zr e Pb nas peças, e também, por exemplo, de Fe. Em diversas peças da coleção, identificou-se a presença apenas de Ag, Au e Cu. Em outras, identificou-se a presença adicional de Pb, Fe, Ca, As, Bi e Zn. Todas as peças identificadas como de origem Chimu ou Huali

⁸⁵ A radiação espúria é definida como a radiação do instrumento que está fora da banda de comprimento de onda nominal escolhida para uma determinação (SKOOG *et al.*, 2006).

continham alguns destes elementos adicionais. As peças sem origem identificada ou de origem Inca poderiam apresentá-los ou não (NEIVA *et al.*, 2007).

Wanhill e colaboradores (2008), no estudo de caso “EBSD of Corrosion, deformation and precipitation in the Gundestrup Cauldron”, utilizaram a técnica da Difração de Elétrons Retro-Espalhados (EBSD) para estudar amostras do Caldeirão de Gundestrup. O caldeirão é a maior peça restante feita de prata, da Era de ferro Europeia, datando do segundo ao primeiro século a.C.. O estudo teve como objetivo comparar a composição das amostras retiradas de diferentes partes do objeto onde o processo de corrosão se dava em estágios diferentes, para estudar o quanto suscetível o objeto estava à corrosão. Além do EBSD, foi também utilizado o MEV e o FEG-MEV, para análises microestruturais, incluindo textura cristalográfica, orientação dos grãos e formatos, limites dos grãos, deformações microestruturais e identificação de fases. As análises químicas mostram que o cobre é o principal componente, variando o elemento de impureza. As imagens de MEV revelaram que as amostras foram danificadas por corrosão e continham remanentes de deformação à frio. Concluiu-se através dos resultados dos processos analíticos, que a deformação à frio foi muito mais prejudicial à corrosão da prata, no caso do caldeirão, do que a precipitação descontínua (WANHILL *et al.*, 2008).

Vieira e colaboradores (2007), no artigo “Estudo preliminar de algumas moedas holandesas da coleção do Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro”, faz uso de várias técnicas analíticas para obtenção de informações sobre a tecnologia de fabricação da liga e/ou sobre a proveniência do metal amoadado. Dentre as técnicas utilizadas está o MEV, usado para obter imagens muito ampliadas dos detalhes, ou inclusões, o que permitiu obter informações sobre, por exemplo, os vestígios da cunhagem, os pontos de corrosão, as inclusões muito pequenas de metais exógenos, etc.. A FRX foi utilizada para determinar as concentrações dos elementos maiores e menores que compõem a liga e consequentemente fornecer indicações sobre a proveniência dos metais. Como resultado as análises preliminares das moedas obsidionais permitiram obter pela primeira vez informações sobre os cunhos utilizados para a fabricação das moedas de prata e ouro, assim como sobre a composição da liga com que foram fabricadas (VIEIRA, *et al.*, 2007).

Campos e Solórzano (2004), no artigo “Microanalytical study of a ferrous agricultural tool recovered from a historical site in Rio de Janeiro”, relatam sobre um estudo de caso utilizando análises microanalíticas de uma ferramenta de agricultura (enxada), descoberta em um sítio arqueológico no Rio de Janeiro. O objetivo do estudo

foi analisar o objeto metálico através das técnicas OM, MEV, MET e metalografia. Como resultados, o objeto foi identificado como feito de ferro forjado e fabricado no final do século XVIII por ferreiros locais, em uma plantação de cana-de-açúcar brasileira. Uma análise microestrutural detalhada da enxada indicou um teor de carbono muito baixo, indicando que foi fabricada por um processo de trabalho a quente tal como martelamento. Espectros EDS de análises de partículas de escórias indicaram o uso de carvão mineral no curso da elaboração do ferro forjado, o que, por sua vez, é uma evidência de que esse material havia sido produzido na Europa e enviado para colônias portuguesas na América do Sul (CAMPOS; SOLÓRZANO, 2004).

Ingo e colaboradores (2004), no artigo “Microchemical investigation on Renaissance coins minted at Gubbio (Central Italy)”, tinham como objetivo determinar a composição de moedas cunhadas no período renascentista em Gubbio, além de verificar a sua natureza superficial e se foram revestidas por uma fina película de prata ou outros metais brancos semelhantes à prata. A moeda foi analisada através das seguintes técnicas MEV-EDS e MO, que ajudaram a determinar a composição química das moedas e a verificar a natureza da sua superfície, além de determinar se foram revestidas por uma fina película de prata ou metal similar. Foi também possível obter mais informações sobre as antigas tecnologias de chapeamento. Os resultados do MEV-EDS permitiram verificar que estas moedas foram revestidas por uma película fina de liga de prata-antimônio-chumbo. Também foi possível observar que os teores de prata, chumbo e antimônio não podem ser atribuídos aos fenômenos de corrosão seletiva. A presença de antimônio é considerada um deliberado acabamento superficial das moedas, relacionado a um período de dificuldades econômicas (INGO *et al.*, 2004).

Gascón (2008) no artigo “Un escudo romano del Museo de León: Análisis y estudio” apresenta resultados da aplicação de análises científicas como SEM-EDS e DRX para caracterização de metais em um escudo Romano. O escudo é uma peça excepcional em seu gênero, de grande relevância e interesse e iria ser exposta no Museu de León. O objeto foi enviado para análise e caracterização de forma preliminar ao trabalho de restauração a ser realizado antes da exposição. O interesse dos estudos realizados não está somente nos resultados, mas também na necessidade de se caracterizar um achado arqueológico de grande relevância. O SEM-EDS forneceu informações a partir da estrutura sequencial estratigráfica e processos de alteração desenvolvidos. A DRX foi utilizada para a identificação das fases cristalinas presentes nos produtos de corrosão dos metais e nas crostas de superfície composição. O conjunto

de dados possibilitou as seguintes conclusões: O escudo é feito de uma placa de cobre fina em que uma decoração sol aparece, elaborada em bronze. A decoração é fixada ao suporte através de um sistema de rebites, totalmente corroído, apresentando em sua área central de um núcleo de ferro. As amostras estudadas, total ou parcialmente alteradas, apresentaram cuprita e atacamita como mineralizações dominantes. Na superfície exterior, as incrustações aparecem da mesma forma, cimentadas por sais de cobre; a brocantita predomina na zona mais interna e a malaquita nas áreas exteriores, a presença de uma película exterior fina de composto fosfatado também foi frequente. Incrustações encontradas em vários grãos e partículas de silicato e resíduos carbonáceos com estruturas de madeira parcialmente mineralizadas sugeriram que o enterro do escudo foi em um local com vestígios de fundição (GASCON, 2008).

Novellas e colaboradores (2007), no artigo “Estudio arqueometalúrgico: la herreria medieval de l’esquerda, siglos XII-XIII dc (roda de ter, Catalunya)”, apresentam um estudo de caso com 15 objetos metálicos encontrados em uma ferraria do século XII-XIII d.C. descoberta em um sítio arqueológico Ibérico e medieval por pesquisadores da Universidade de Barcelona. O objetivo da pesquisa foi o estudo metalográfico dos objetos. As técnicas utilizadas foram: MEV, EDS, análise metalográfica óptica de microdureza Vickers e espectrometria de emissão óptica (OES). Os resultados deste estudo mostram que na oficina medieval se trabalhou com um ferro muito puro e com um grande conhecimento de técnicas de soldagem. Além disso, a descoberta de um resto de bronze fundido confirma a hipótese do fabrico de outros metais no período. A MEV foi usada para determinar a microestrutura dos metais e ver quais podiam ser as técnicas utilizadas em sua fabricação. Para análise da composição química foi usado o MEV-EDS; a análise de microdureza e o OES (NOVELLAS *et al.*, 2007),

Antelo (2011), no texto *La técnica radiográfica en los metales históricos*, apresenta resultados sobre a aplicação da radiografia em bens culturais metálicos. A análise da imagem radiográfica permitiu observar alterações que demonstram que o objeto passou ao longo de sua vida, como rachaduras, fissuras, etc., e reintegrações realizadas em restaurações antigas. O autor trabalha com uma sequência de vários estudos de casos de peças fundidas, ressaltando a importância da interpretação dos dados radiográficos para o conhecimento dos bens estudados (ANTELO, 2011).

Tosini (1999), no artigo *Methodologies for investigation on metallic artefacts, Ion Chromatography*, discute a importância de conhecer e caracterizar os produtos de corrosão, a fim de conseguir uma melhor compreensão de todos os processos envolvidos

na corrosão de bronze e para definir o estado de conservação do próprio artefato antes e após a restauração. As técnicas FTIR e DRX foram utilizadas para o reconhecimento quantitativo ou semiquantitativo de compostos cristalinos. Outra técnica utilizada foi a cromatografia iônica, que permitiu completar os resultados analíticos obtidos com outras instrumentações e forneceu a correta identificação e quantificação de espécies iônicas, caracterizando as diferentes substâncias salinas. (TOSINI, 1999).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os procedimentos oriundos das ciências exatas e biológicas podem ajudar a compreender e resolver questões relacionadas à conservação de bens culturais, mas não deveriam estabelecer certezas ou verdades absolutas. Cada bem cultural é constituído por um ou mais materiais, tendo sido criado com técnicas particulares e se situa em um determinado lugar, exposto a fatores de deterioração em maior ou menor intensidade, mesmo que dentro de reservas técnicas.

Em bens culturais, cada caso é um caso, por isso não se deve generalizar nenhum tipo de informação. Cada bem cultural deve passar por abordagem particular e personalizada. Os processos analíticos aqui demonstrados e seus benefícios devem ser avaliados e considerados com cautela e sua aplicação ser ponderada por uma equipe de profissionais competente.

O estado de desenvolvimento atual e, em particular, o avanço das tecnologias nas últimas décadas, oferece instrumentos que permitem processar uma imensa quantidade de dados, imprescindíveis para integração das áreas do saber que contribuem para a preservação do patrimônio cultural. Deve-se considerar com extrema cautela o uso destes meios, visando sempre alcançar um enfoque integral para as estratégias presentes e futuras na conservação e valorização dos bens do patrimônio cultural.

Em todo o processo interdisciplinar com cerne na preservação do patrimônio, um dos principais obstáculos tem sido a pouca comunicação efetiva entre cientistas e profissionais encarregados de tarefas de conservação e restauração. Apesar desta dificuldade real, o campo avançou substancialmente, incorporando nas práticas de conservação os avanços científicos. A pouca comunicação afirmada anteriormente é na prática um ruído entre as diversas linguagens dos campos que em suas bases são diferentes, mas que encontram no objetivo em comum, um contexto para coabitar e se completar.

O papel da ciência é cada vez mais bem definido em sua relação com os processos de conservação, não só porque pode envolver a identificação de um material específico, mas no sentido de avaliar, juntamente com outros especialistas, os efeitos dos fatores identificados nos valores e na vida de objetos e coleções. O trabalho interdisciplinar permite identificar quão importante é seu impacto sobre os valores, o quanto pode ser feito, quando e como, auxiliando diretamente no desenvolvimento de estratégias de investigação mais objetivas e na tomada de decisão.

Uma alternativa aos altos custos das técnicas e ao pouco conhecimento sobre as mesmas, o que por vezes se torna uma limitação para as instituições e profissionais, é a realização de convênios com laboratórios e instituições que tenham o interesse em desenvolver projetos de pesquisa em parceria, onde o profissional de preservação possa trabalhar em colaboração com os técnicos responsáveis dos laboratórios.

Dentro da interdisciplinaridade mencionada ao longo desta dissertação, a ciência não pode ser considerada como um saber absoluto e puro, cuja racionalidade seria totalmente transparente e cujo método constitui a garantia de uma objetividade incontestável. Assim como na preservação, a subjetividade permeia o campo principalmente porque a interpretação dos dados é parte fundamental do processo e as ciências por si só não têm o conhecimento necessário para aplicar e compreender os resultados obtidos e aplicá-los no campo da preservação. A subjetividade mencionada precisa ser considerada como parte do processo.

Ressalta-se que é necessário formular as perguntas certas para saber qual processo analítico usar, a fim que gastos e riscos sejam os menores possíveis. Às vezes um processo analítico só não trará as informações buscadas, sendo necessário entender as limitações da técnica para planejar e executar as análises de modo eficiente. A interpretação dos dados e a interface utilizada faz diferença. Deve-se ater também a que alguns materiais não são reconhecidos em determinadas técnicas por causa dos filtros utilizados. Esse tipo de situação deve ser considerado na escolha da análise.

A metodologia de aplicação dos processos analíticos deve estar inserida nos objetivos das diferentes fases de desenvolvimento de intervenções de conservação e restauro; tanto no diagnóstico, na intervenção restaurativa e também na conservação preventiva.

Destaca-se que a aplicação de processos analíticos deve sempre ser considerada com muita moderação, no que tange à sua necessidade de aplicação. Nos casos em que se provar necessária, a aplicação dos processos analíticos, para que seja possível prosseguir com a tomada de decisão e outros motivos impossibilitarem a confecção das análises, deve-se interromper o processo de conservação e buscar outras alternativas de obtenção das informações necessárias. Neste caso, sem essas informações, não há embasamento suficiente para prosseguir seguramente.

Grupos de discussão e estudo sobre metais e suas ligas existem e devem ser

consultados quando necessário. Ressalto aqui o grupo sobre metais no ICOM-CC⁸⁶, cujo objetivo é promover a conservação e promover a ciência de conservação dos metais, incentivar a criação de redes de conservadores e especialistas em metais e facilitar a divulgação de informações sobre as atuais práticas de conservação, pesquisa e educação.

O desenvolvimento das pesquisas que resultaram nessa dissertação constituiu-se num grande desafio, pois exigiu a leitura de inúmeros textos acadêmicos relacionados às denominadas ciências *hard* que nada tem de triviais e determinou um grande esforço para finalizar o trabalho e alcançar o propósito inicial. Esperamos que os resultados obtidos possam auxiliar os profissionais que trabalham com bens culturais, de forma a facilitar o diálogo com os profissionais que trabalham com as análises aqui detalhadas.

Destaca-se por fim a importância da confecção da tabela final com o resumos das metodologias de análise, pois representa uma possibilidade de compreensão e união entre os campos das ciências e do patrimônio, uma vez que com ela será possível estreitar a intercessão da comunicação entre os campos.

⁸⁶ Mais informações sobre o grupo disponível na página:<http://www.icom-cc.org/31/working-groups/metals/>

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AGUIARI, Antonio; BRIANESE, Nicola; CASELLATO, Umberto; VIGATO, Pietro A. Inductively coupled plasma spectroscopy. *Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália*, v. 11, n. 1, p.146-157, 1999.

AINSWORTH, Maryan W. From Connoisseurship to Technical Art History: The Evolution of the Interdisciplinary Study of Art. *The Getty Conservation Institute Newsletter*, v.20, n.1, p.4-10, 2005.

ALMEIDA, Adriana Montara. Instituto Butantan's first electron microscope. In: Granato, Marcus; LOURENÇO, Marta. *Scientific instruments in the history of science: Studies in transfer, use and preservation*, Rio de Janeiro: MAST, 2013. p. 173 - 183.

ALARCÃO, Catarina. Prevenir para preservar o património museológico. *Revista do Museu Municipal de Faro*, 2007. Disponível em: <http://www.museumachadocastro.pt/Data/Documents/Prevenir%20para%20preservar%20o%20patrimonio%20museo>. Acesso em: 12 dez. 2015.

ALONSO, Emma García; MARTÍNEZ, Soledad Díaz. Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico. Ed. Ministerio de Cultura, Madrid, 2011. 84p. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/000075335c184bd7c7b68> Acesso em: 18 dez. 2016.

ALVES, F.; JOÃO, E.; MADSON, G.; SOARIGUES, C; RICART, I.; ANDRADE, M.; KHOURY, V.; FRASSINETTI, P.. Raios X aplicados à arqueometria. *Ciências biológicas e da Saúde*, Recife, v. 1, n.3, p. 59-68, Julho 2014.

ANDERSON, Katharine. Beyond the Glass Cabinet: The History of Scientific Instruments. *Revista Electrónica de Fuentes y Archivos Centro de Estudios Históricos "Prof. Carlos S. A. Segreti"*. Córdoba (Argentina), ano 4, n.4, p. 34-46, 2013.

ANTELO, Tomás. *La técnica radiográfica en los metales históricos*. Ministerio de Cultura, Madrid, 2011. ISBN: 9788481814699.

APPOLONI, Carlos Roberto; PARREIRA, Paulo Sérgio. Doze anos de atividades em arte e arqueometria no laboratório de física nuclear aplicada da universidade estadual de Londrina. *Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação*, v.1, n.6, p.301-304, 2007.

AVRAMI, Erica; MANSON, Randall e TORRE, Marta de la. *Values and Heritage Conservation*. Research Report. The Getty Conservation Institute, Los Angeles. 2000.

BAPTÍSTA, André I. B.; SOARES, Angêlo R.; NASCIMENTO, Ivaldo A. O ensaio metalográfico no controle de qualidade. Disponível em: http://www.spectru.com.br/ensaio_metal.pdf Acesso em 03 janeiro 2017.

BARRIO, J; CHAMÓN, J.; ARROYO, M.; PARDO, A. I.; CATALÁN, E. La conservación y restauración de los metales arqueológicos: propuestas metodológicas y arqueometría. In: LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; MORET, M. G.; RUIZ, I. M. *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Madri. 2007. p 577- 592.

BARRIO, Joaquín; FERRETI, Marco; PARDO, Ana I. Conservación & restauración del patrimonio arqueológico e innovación tecnológica: los metales arqueológicos sobredorados de la Edad Media en España. In: *ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RESTAURAÇÃO DE METAIS*. 2005. Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST. Rio de Janeiro. Julho de 2005. p.159 - 178.

BATISTA, Rafaela Tavares. Caracterização de um sistema de fluorescência de raios X por dispersão em energia para análise quantitativa de ligas metálicas. Universidade do

Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Instituto de Física. Rio de Janeiro, 2012. 68f.

BERNARDINI, Gian Piero. Scientific methods of investigation of metal artifacts. *Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália*, v. 11, n. 1, p.163-170, 1999. Anual.

BOUTAINE, Jean Louis. A contribuição das ciências e técnicas para exame e análise das obras do patrimônio cultural. Alguns exemplos recentes. Palestra apresentada no evento Conservar para Não Restaurar. São Paulo, SP. 30 agosto 2000. (sem paginação) Disponível em : http://54.232.114.233/extranet/conservar_ao_restaurar/ acesso em : 20/06/2016

_____. Non-destructive techniques used at the Laboratoire de Recherche des Musées de France. In.: *The Restoration of Scientific Instruments. Istituto e Museo di Storia della Scienza / Opificio delle Pietre Dure The restoration of scientific instruments. Proceedings of the workshop held in Florence, December 14-15, 1998. Le Lettere, Florence, 2000. 113 pages. ISBN 88 7166 501 5*

BRADLEY, David e CREAGH, Dudley. *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage. Volume 01. 2006(a). p. 10-221.*

_____. *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage. Volume 02. 2006(b). p. 274p.*

BRASIL. Decreto nº 8.124, de 17 de outubro de 2013. Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.904, de 14 de janeiro de 2009, que institui o Estatuto de Museus, e da Lei nº 11.906, de 20 de janeiro de 2009, que cria o Instituto Brasileiro de Museus - IBRAM. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2013/Decreto/D8124.htm acesso em 21.01.2017.

C2RMF. *Vade-Mecum de la Conservation Préventive. Centre de recherche et de restauration des musées de France. Department conservation préventive. 2006.*

CALDEIRA, Cleide Cristina. *Conservação Preventiva: histórico. R. CPC, São Paulo, v.1, n.1, p. 91-102, nov. 2005/ abr. 2006.*

CAMPOS, Guadalupe do Nascimento. *Estudo arqueometalúrgico de objetos metálicos resgatados de sítios históricos do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado departamento de ciências materiais e metalúrgica. Rio de Janeiro, 2005.*

CAMPOS, G. N.. *Técnicas Microanalíticas da Arqueometalurgia. Diagnósticos e Métodos.. In: Felipe Reigada; Laura Di Blasi; Leyla Mariath. (Org.). Metais, Restauração e Conservação. Rio de Janeiro: In-Fólio, 2009, v. 1, p. 79-82.*

CAMPOS, Guadalupe do Nascimento; GRANATO, Marcus. *A Preservação de Coleções Científicas de Objetos Arqueológicos Metálicos. In.: GRANATO, Marcus (Org). MAST: 30 Anos de pesquisa - Museologia e Patrimônio. Volume 1. Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST/MCTI. Rio de Janeiro, Novembro de 2015. p.269-296*

CAMPOS, Guadalupe do N; GRANATO, Marcus; GOMES, Otávio da F. M.. *Interdisciplinaridade e Preservação: a caracterização micro analítica dos ornatos e da Escultura da Águia da cobertura de cobre do Theatro Municipal do Rio de Janeiro. MUSEOLOGIA & INTERDISCIPLINARIDADE Vol.1, nº2, jul/dez de 2012*

CAMPOS, G. N; SOLÓRZANO, I. G. *Microanalytical study of a ferrous agricultural too recovered from a historical site in Rio de Janeiro. Applied Physics A: Materials Science & Processing. p.315-318, 2004. DOI: 10.1007/s00339-004-2525-1*

CANO, Emilio e BARRIO, Joaquim. Metal España 2015. Actas del II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico. Segovia, Real Casa de Moneda, 1-3 de octubre de 2015.

CAPLE, Chris. Conservation Skills: judgement, method and decision making. 2000. London: Routledge. 232 p.

CARAMÉ, Manuel Eleazar Costa. Estado actual de la investigación arqueometalúrgica en España: una aproximación bibliométrica. In.: LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; MORET, M. G.; RUIZ, I. M. Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría. Madri. 2007. p. 398-409

CARL, Matthew; YOUNG, Marcus. Complementary analytical methods for analysis of Ag-plated cultural heritage objects. Microchemical Journal 126 (2016) 307–315p.

CARMO, Ana M. M.; ALVES, Luísa M. P. A.; RIBEIRO, Maria Isabel M. A investigação científica aplicada ao estudo das obras de arte: Resumo das actividades do Laboratório Central do Instituto de Jose de Figueiredo. Boletim da sociedade Portuguesa de Química: A química e a Arte. Publicação trimestral. nº 28, série II, junho 1987. p.51-56.

CARTA DE 1987 DE LA CONSERVACION Y RESTAURACION DE LOS OBJETOS DE ARTE Y CULTURA. tradução por María José Martínez Justicia. Disponível em: http://ipce.mcu.es/pdfs/1987_Carta_BienesMuebles-Italia.pdf Acesso em: 21/01/2017

CARTA DE LAUSANNE: CARTA PARA A PROTECÇÃO E GESTÃO DO PATRIMÓNIO ARQUEOLÓGICO. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Lausanne%201990.pdf> Acesso em 14 abr 2016.

CARTA DO RESTAURO, 1972. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauro%201972.pdf> Acesso em março 2016

CASELLATO, Umberto; RUSSO, Umberto; VIGATO, Pietro Alessandro. Application of Mossbauer spectroscopy to cultural heritage. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.59-66, 1999. Anual.

CASTELLUCI, Emilio Mario; PERARDI, Alessandra; ZOPPI, Angela. Micro-Raman spectroscopy and its applications. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.16-29, 1999. Anual.

CESAREO, R.; FRANCO JORDAN, R.; FERNANDEZ, A.; BUSTAMANTE, A.; FABIAN, J.; ZAMBRANO, S. P.; AZEREDO. Analysis of the spectacular gold and silver from the Moche tomb 'Señora de Cao'. Research article. Received: 20 November 2015, Revised: 11 December 2015, Accepted: 13 December 2015, Published online in Wiley Online Library: 26 January 2016.

CHARALAMBOUS, Andreas. Analytical methods of the determination of the chemical composition of ancient coins. Kyprios Character: History, Archaeology & Numismatics of Ancient Cyprus. 7 Julho 2015. Disponível em: <http://kyprioscharacter.eie.gr/en/scientific-texts/details/numismatics/analytical-methods-for-determination-of-chemical-composition-of-ancient-coins>. Acesso em 10/10/2016.

COSTA, Virginia. Panorama sobre a restauração de objetos de prata. In.: ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RESTAURAÇÃO DE METAIS. 2005. Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST. Rio de Janeiro. Julho de 2005. p.13-28.

COSTA, Virginia. Ligas metálicas: estrutura propriedades e conservação de objetos culturais. In.: SILVA, Armando Coelho Ferreira da; HOMEM, Paula Menino (Org.). Ligas

Metálicas: Investigação e Conservação. Secção de Museologia e Laboratório de Conservação e Restauro do Departamento de Ciências e Técnicas do Patrimônio da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto: Porto : Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2008. p.15-27.

CREAGH, D; THOROWGOOD, G; JAMES, M.; HALLAM, D. Analyses of Joe Byrne's armour. IN.: ASHTON, John; HALLAM, David (org). METAL 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation. National Museum of Australia, 2004.p.207-214.

CULTILY, B.D. Elements of X-ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Massachusetts: 1978. ISBN 0-201-01174-3.

CURY, Isabelle (Org.) Cartas Patrimoniais. 2ª Ed. rev. aum. Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.

DALEWICZ-KITTO, Suzanne J. Stopping corrosion around the world: an investigation into protective surface coatings on arms and armour. Journal of the Institute of Conservation. Vol. 39, No. 1. Mar 2016. p. 44-56. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/19455224.2016.1152990>. Acesso em: 06 Abril 2016.

DEDAVID, Berenice A.; GOMES, Carmem I.; MACHADO, Giovanna. Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras. Materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Edição do Centro de Microscopia Eletrônica (CEMM) do IDEIA-PUCRS. Porto Alegre, 2007. 60p.

DELALIEUX, Filip; KOUICHI, Tsuji; WAGATSUMA, Kazuaki; GRIEKEN, René Van. Material Analysis Methods Applied to the Study of Ancient Monuments, Works of Art and Artefacts. The Japan Institute of Metals. Materials Transactions, Vol. 43, No. 9 (2002) pp. 2197 to 2200.

DESVALLÉES, André; MAIRESSE, François. Conceitos-chave de museologia. Bruno Brulon Soares e Marília Xavier Cury, tradução e comentários. São Paulo: Comitê Brasileiro do Conselho Internacional de Museus: Pinacoteca do Estado de São Paulo : Secretaria de Estado da Cultura, 2013. 100 p. ISBN 978-85-8256-025-9

DOMÉNECH-CARBÓ, A.; DOMÉNECH-CARBÓ, M.T.; COSTA, V. Electrochemical Methods in Archaeometry, Conservation and Restoration. Springer. Berlin. 2009. ISBN 978-3-540-92867-6

EDWARDS, Howell G. M.; VANDENABEELE, Peter. Analytical Archaeometry: Selected Topics. RSC Publishing. The Royal Society of Chemistry. United Kingdom, 2012. ISBN: 978-1-84973-162-1

ELIAS, Isis Baldini. Conservação e restauro de obras de arte em suporte de papel. 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FELL, V.; WILLIAMS, J.; Monitoring of archaeological and experimental iron at Fiskerton, England. ASHTON, John; HALLAM, David (org). METAL 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation. National Museum of Australia, 2004. p.17-27.

FERNÁNDEZ, Isabel M. García. Historia de la conservación preventiva. Parte I. Ge-conservación, n.5, 2013. ISBN 978-85-8568. p.27-41

_____. Historia de la conservación preventiva. Parte II. Ge-conservación, n.6, 2014. ISBN 978-85-8568. p.5-18.

FERREZ, Helena Dodd. Documentação Museológica: Teoria para uma Boa Prática. CADERNOS de ensaios, nº2. Estudos de museologia. Rio de Janeiro, Minc/IPhan, 1994, p. 64-73.

FIGUEIREDO JUNIOR, J. C. D. Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais móveis. 1 ed. 2012. v. 1.

FIGUEREDO, A. L. F.; ZALDÍVAR, D. L. B. Conservación de medallas en las bibliotecas. *Biblios*. No 54. 2014, p.34-41

FIGUEIREDO, M. O; SILVA, T. P.; VEIGA, J. P; DIOGO, A. M. DIAS; TRINDADE, L. Archeology of Lisbon Old City: ceramic crucibles from pre-XVIIIth century metallurgical foundries. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*. p.327-329, 2004. DOI: 10.1007/s00339-004-2525-1

FREITAS, R. P.; RIBEIRO, I. M.; CALZA, C.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA, M.; FELIX, V. S.; FERREIRA, D. S.; COELHO, F. A.; GASPARGAR, M. D.; PIMENTA, A. R.; MEDEIROS, E. A.; LOPES, R. T. Analysis of clay smoking pipes from archeological sites in the region of the Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil) by FT-IR. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 163. 2016. p.140–144.

FRONER, Y. A. Patrimônio Histórico e modernidade: construção do conceito a partir da noção de revitalização de sítios, monumentos e centros urbanos. In: *Simpósio em Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais*, 1., 2001, Olinda. *Anais...Olinda – PE*, 2001, s.p

FRONER, Yacy-Ara; ROSADO, Alessandra. Princípios históricos e filosóficos da conservação preventiva. Belo Horizonte: Escola de Belas Artes-UFMG; IPHAN, 2008. Disponível em: www.patrimoniocultural.org/demu/cursos/. Acesso em: Agosto/2010

FRONER, Yacy-Ara; ROSADO, Alessandra. Princípios históricos e filosóficos da conservação preventiva. Belo Horizonte: Escola de Belas Artes-UFMG; IPHAN, 2008. Disponível em: www.patrimoniocultural.org/demu/cursos/. Acesso em: Agosto/2010

FRONER, Yacy-Ara; SOUZA, Luiz A. C. Reconhecimento de materiais que compõem acervos. Belo Horizonte: Escola de Belas Artes-UFMG; IPHAN, 2008. Disponível em: www.patrimoniocultural.org/demu/cursos/. Acesso em: Agosto/2010

FUNARI, Pedro Paulo. *Arqueologia São Paulo*: Contexto, 2003. 125p. ISBN 85-7244251-0.

GASCÓN, José V. Navarro. Un escudo romano del Museo de León. Análisis y estudio, In.: *BIENES CULTURALES*. Ciencias aplicadas al patrimonio. Revista del Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de cultura subdirección general del instituto del patrimonio cultural de España. Dirección general de bellas artes y bienes culturales. Gobierno de España. Número 8. p.249-257. 2008.

GOMES, Pedro Barroso. Caracterização de materiais: uma abordagem das possibilidades de algumas técnicas instrumentais. Universidade Federal de São João del-Rei. Coordenadoria do Curso de Química. São João del-Rei. 2015

GONÇALVES, José Reginaldo Santos. A apropriação da cultura nacional. In.: *A Retórica da Perda: Os discursos do patrimônio cultural do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ; IPHAN, 1996.

GRANATO, Marcus; CÂMARA, Roberta Nobre da. Patrimônio, ciência e tecnologia: inter-relações. In: GRANATO, Marcus; CARVALHO, Claudia; ZAMORANO, Rafael; BENCHETRIT, Sarah F. (org). *Um olhar contemporâneo sobre a preservação do patrimônio material*. Rio de Janeiro: Museu Histórico Nacional, p.172-200, 2008.

GRANATO, Marcus; CAMPOS, Guadalupe do Nascimento. Teorias da conservação e desafios relacionados aos acervos científicos. *MIDAS. Museus e estudos Interdisciplinares*, v. 1, p. 1-12, 2013. Disponível em: <http://midas.revues.org/131>. Acesso em: 28 de Mai. 2015.

GRANATO, Marcus; DUARTE, Jusselma; SUZUKI, Cristiane. Restauração do Pavilhão, Cúpula Metálica e Luneta Equatorial de 32 cm - Conjunto Arquitetônico do Museu de Astronomia e Ciências Afins MAST. Anais do Museu Paulista, São Paulo, v. 13, p. 273-314, 2005.

GRANATO, Marcus; MIRANDA, Luiz R. M. de. A restauração na trajetória de um teodolito do acervo do MAST. Anais do Museu Paulista. São Paulo. N. Sér. v.19. n.1. p. 279-312. jan.- jun. 2011.

GRANATO, Marcus; SANTOS, Fernanda Pires . Os Museus e a Salvaguarda do Patrimônio Cultural de Ciência e Tecnologia no Brasil. In: Marcus Granato. (Org.). Museologia e Patrimônio. 1ed.Rio de Janeiro: MAST, 2015, v. 01, p. 78-119.

GRANATO, Marcus; SANTOS, Claudia P.; FURTADO, Janaina L; GOMES, Luiz P. Objetos de ciência e tecnologia como fontes documentais para a história das ciências: resultados parciais. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação, 2007, Salvador. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. Brasília: ANCIB, 2007. v. 1, p. 1-16.

GRANATO, Marcus; SANTOS, Leandro R. dos; MIRANDA, Luiz R. M. de. Estudos sobre a corrosão do latão em ambiente interno de um museu. Revista CPC, São Paulo, n. 4, p.114-138, maio/out. 2007

GUEDES, Manuel Vaz. Instrumentos Científicos. In.: Revista Eletricidade. nº370. p.245-246. Outubro 1999.

GUEDES, Manuel Vaz. Oficina de Instrumentos Científicos. In.: Revista Eletricidade. nº373, p.16-17, 2000

GUERRA, Maria F. Patrimônio cultural em ouro e prata : técnicas de fabricação de objetos e origem dos metais. In.: ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RESTAURAÇÃO DE METAIS. 2005. Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST. Rio de Janeiro. Julho de 2005. p.77- 104.

GUICHEN, Gâel de. La conservation préventive: un changement profond de mentalité, In. : Cahiers d'études du Comité de conservation de l'Icom (I.C.O.M.-C.C.), 1995.

_____. La conservación preventiva: ¿simple moda pasajera o cambio transcendental?. In.: Museum International, 201 vol. LI, 1999. p. 4-6.

GUNZLER, Helmut; WILLIAMS, Alex. Handbook of Analytical Techniques. Wiley-Vch. United Kingdom. 2001.

GUTIÉRREZ-LEÓN, Ana; RUBIO-ZUAZO, Juan; CASTRO, Germán R. Línea española spline de radiación sincrotrón: Posibles aplicaciones en arqueometría. IN.: LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; MORET, M. G.; RUIZ, I. M. Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría. Madrid. 2007. p 19-27.

GÚTIEZ. Alejandro Carrión (coord.). The COREMANS Project: Intervention criteria for metallic materials. Ministerio de educación, cultura e deporte. 2015.

HALLAM, D.; THURROWGOOD, D.; OTIENO-ALEGO, V.; CREAGH, D. An EIS method for assessing thin oil films used in museums. In.: ASHTON, John; HALLAM, David (org). METAL 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation. National Museum of Australia, 2004. p.388-399.

HEIZER, Alda. Observar o Céu e medir a Terra. Instrumentos científicos e a participação do Império do Brasil na Exposição de Paris de 1889. 2004.Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Ensino de História e Ciências da Terra.UNICAMP, Campinas

HENRY, Darrell; GOODGE John. Wavelength-Dispersive X-Ray Spectroscopy (WDS). Disponível em: Acesso em 30/05/2016

HOMEM, P. C. M. D. Corrosão atmosférica da prata: monitorização e perspectivas de conservação preventiva. Tese de doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade do Porto em Museologia. Porto, 2013.

HORTALÀ, M. C. R.; ORTIZ, M. A. H.; RUÍZ, I. M.; LLORENS, S. R.; CACHERO, F. J. L. Caracterización elemental e isotópica de bronces de la necrópole proto histórica can pitéu-can roqueta (Sabadell, Barcelona). In.: LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; MORET, M. G.; RUIZ, I. M. Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría. Madri. 2007. p 577- 592.

HOUSE OF LORDS. Science and Heritage: Report with Evidence. British Parliament, Science and Technology. Committee Authority of the House of Lords, 16 de noviembre 2006.

ICOM-CC. Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage. Disponível em: <<http://www.icom-cc.org/242/about-icom-cc/what-is-conversation/terminology/#.Vk9x43YvfIW>> Acesso em 20/11/2015

INGO, G. M.; CARO, T. DE; PADELETTI, G.; CHIOZZINI, G. Microchemical investigation on Renaissance coins minted at Gubbio (Central Italy). Applied Physics A: Materials Science & Processing. p.319-325, 2004. DOI: 10.1007/s00339-004-2525-1

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology. Polycrystalline grafite. 2nd Edition, 1997. Disponível em: <http://old.iupac.org/goldbook/P04723.pdf> Acesso em 20/11/2016

IUPAC. Isotopic compositions of the elements 2009 (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem., Vol. 83, No. 2, pp. 397–410, 2011.

JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. Dicionário Básico de Filosofia. terceira edição revista e ampliada. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 2001.

JIXIANG, Shan. Dialectical Speculations on the Scientific and Technological Aspects of Cultural Heritage Protection. , No. 237–238 (Vol. 60, No. 1–2, 2008. UNESCO. 2008. ISSN 1350-0775

JOKILEHTO, Jukka. Princípios da conservação e suas bases teóricas. Tradução por Márcia Braga. Setembro de 1986. Disponível em: <http://www.marciabraga.arq.br/voi/images/stories/pdf/principios_da_conservacao_e_suas_bases_teoricas.pdf> Acesso em 22/11/2015.

KLEIN, Julie Tompson. Crossing boundaries, knowledge disciplinarity, and interdisciplinarity. Charlottesville, London: University Press of Virginia, 1996. 281p.

LARAIA, Roque de Barros. Cultura: Um conceito antropológico. 14ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

LEAL, Luiz Henrique. Fundamentos de Microscopia. Rio de Janeiro. Ed UERJ. 2000. 128p.

LOPES, Maria Margaret. Por que história nos Museus e Centros de Ciências? In. MARANDINO, Martha; ALMEIDA, Adriana Mortara e VALENTE, Maria Esther Alvarez (Org.). Museu Lugar do Público. Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, 2009, p.199 - 210.

LOUREIRO, Joana Gonzalez. Archaeometallurgical study of the Proto-historic collection of Moinhos de Golas (North Portugal): A forecast for technological changes?. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 2014.

MAGALHÃES, Aloísio. E triunfo? A questão dos bens culturais no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira; Fundação Roberto Marinho, 1997.

MANSUR, Herman S. Cap. 7 - Técnicas de Caracterização de Materiais. Universidade Federal de Minas Gerais. 2016. Apostila

MAROEVIC, Ivo. The museum message: between the document and the information. In: Museum, media, message. E. Hooper-Greenhill (ed.). London: Routledge, 2004.

MARTINA, Irene; WIESINGER, Rita; JEMBRIH-SIMBÜRGER, Dubravka; SCHREINER, Manfred. Micro-Raman characterisation of silver corrosion products: Instrumental Setup and reference database. e-PRESERVATION Science, 2012, 9, p.1-8.

MARTÍNEZ, Soledad Díaz; ALONSO, Emma García. Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico. Ed. Ministerio de Cultura, Madrid, 2011. 84p. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/000075335c184bd7c7b68> Acesso em 18/10/2016.

MASIC, Admir. Topographic Confocal Raman Imaging of Archaeological Samples. Application note. WITec focus innovations.

MATTEINI, Mauro; NEPOTI, Maria Rosa. Infrared absorption spectroscopy for investigation on works of art. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.217-225, 1999. Anual.

MINASSIAN-SARAGA, L. Ter. Pure &App. Chern. Vol. 66, n. 8. Great Britain. pp. 1667-1738, 1994.

MIRA, Isidro Martínez. Análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) de la base de cerámica vidriada de un molde para soplar vidrio procedente de "augustobriga" (talavera la vieja, Cáceres).LVCENTVM XXV, 2006.

MOHEN, Jean-Pierre . Les sciences du patrimoine: Identifier, conserver, restaurer. Odile Jacob, 1999 - 370 pages

MORA, Nora Díaz. Apostila de materiais elétricos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Foz do Iguaçu. Centro de Engenharias e ciências exatas. LAMAT - Laboratório de materiais. Foz do Iguaçu, 2010. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/> Acesso em 13.08.2016.

MORALES, Luiz Fernando Grafulha; HINRICHS, Ruth; FERNANDES, Luís Alberto D'Ávila. A técnica de difração de elétrons retro-espalhados (EBSD) em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e sua aplicação no estudo de rochas deformadas. Revista Pesquisas em Geociências, 34. Porto Alegre, RS. 2007. p.19-34. ISSN 1807-9806.

NEELMEIJER, Christian. Non-destructive Ion Beam Analysis of Art Objects. Publicado em 18.05.2016. Disponível em:<http://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10944&pNid=0> Acesso em 05/07/2016

NEIVA, Augusto C.; DRON, Jérémie N.; HERNANDEZ, Rocio P. B.; MELO, Hercílio G. M.; LIMA, Sílvia C. Cuidados com picos espúrios no uso de espectroscopia de Fluorescência de raios x para a análise de peças metálicas pré- Hispânicas do museu de arqueologia. Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação. 2007. Vol.1, No.4, pp. 149 - 154.

NEIVA, Augusto C.; MELO, Hercílio G. de; BENDEZÚ, Rocio P.; RIZZUTTO, Márcia A; TABAGNIKS, Manfredo H.; ADDED Nemitala; APPOLONI, Carlos R.; PARREIRA, Paulo S.; LIMA, Silvia Cunha. Caracterização espectroscópica das ligas e dos produtos de corrosão de peças metálicas do Museu de Arqueologia e Etnologia da USP. In.: ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RESTAURAÇÃO DE METAIS. 2005. Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST. Rio de Janeiro. Julho de 2005. p.143-158.

NOVELLAS, O. A; MOLERA, J.; CASTANYER, I. O. Estudio arqueometalúrgico: la herrería medieval de l'esquerda, siglos XII-XIII dc (roda de ter, Catalunya). LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; MORET, M. G.; RUIZ, I. M. Actas VII Congreso Ibético de Arqueometría. Madri. 2007. p.500- 509.

PEREIRA, Vitor Paulo. Técnicas analíticas no estudo de materiais. Powerpoint da aula ministrada no Instituto de Geociências - UFRGS

PINHEIRO, Lena Vania Ribeiro; GRANATO, Marcus. Para Pensar a Interdisciplinaridade na Preservação: algumas questões preliminares. In: Rubens Ribeiro Gonçalves da Silva. (Org.). Preservação Documental: uma mensagem para o futuro. 1ed.Salvador: EDUFBA, 2012, v. 1, p. 23-40

POLLARD, A. Mark; HERON, Carl. Archaeological Chemistry. 2ª Edição. RSC Publishing. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2008. 454 p. ISBN: 978-0-85404-262-3

POMIAN, Krzysztof. Coleção. Enciclopédia Einaudi. Lisboa: Einaudi, 1985.

RADZIEMSKI, Leon J.; CREMERS, David A. Handbook of laser-induced breakdown spectroscopy. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2006. ISBN 0-470-09299-8.

RANDLE, Valerie; OLAF Engler. Introduction to Texture Analysis: Macrotecture, Microtexture, and Orientation Mapping. CRC Press, 2009.

RANGEL, Marcio Ferreira. A coleção do Museu de Astronomia e Ciências Afins. In.: LOPES, MM., and HEIZER, A., orgs. Colecionismos, práticas de campo e representações. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 280 p. Ciência & Sociedade collection. ISBN 978-85-7879-079-0.

ROHDE, Regis Almir. Metalografia preparação de amostras: Uma abordagem prática. Versão 3.0. outubro de 2010. Disponível em: <http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf> acesso em 13.03.2017

ROSA, Carlos Augusto de Proença. História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX. Vol. II. Tomo II 2. ed. — Brasília : FUNAG, 2012.

ROSADO, Alessandra. História da Arte Técnica e Arqueometria: uma contribuição no processo de autenticação de obras de arte. 19 & 20, Rio de Janeiro, v.III, n.2, abr. 2008. Disponível em: <http://www.dezenovevinte.net/obras/obras_arqueometria.htm>.

RUSKIN, John. A lâmpada da memória. Traduzido por Maria Lucia Bressan Pinheiro. Artes & Ofícios, Ateliê Editorial, São Paulo; 1ª edição, 2008. 88 p

SANTANA, Luciano de Assis. Orientação do grão em forjados – O básico – Parte I. FORGE BRASIL. Disponível em: <http://revistaforge.com.br/orientacao-do-grao-em-forjados-o-basico-parte-i/> Acesso em 27 março 2017.

SANTOS, Dário Júnior; TARELHO, Luiz Vicente Gomes; KRUG, Francisco José; MILOR, Débora M. B. Pereira; NETO, Ladislau Martin; JUNIOR, Nilson Dias VIEIRA. Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) - Fundamentos, aplicações e perspectivas. Revista Analytica. Agosto/Setembro. 2006, n.24. p. 72-81

SCHIAVON, Nick; PALMAS, Anna de; BULLA, Claudio; PIGA, Giampaolo; BRUNETTI, Antonio. An Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry and Monte Carlo simulation study of Iron-Age Nuragic small bronzes ("Navicelle") from Sardinia, Italy. Spectrochimica Acta Part B 123. 2016. p.42-46.

SCOTT, David A. Metallography and microstructure of ancient And historic metals. The Getty Conservation Institute in association with Archetype Books. Printing: Tien Wah Press. 2007. ISBN 0-89236-195-6.

SELWYN, Lyndsie. Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional. Canadian Conservation Institute, 2004. 223 p. ISBN: 0-662-37984-5

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Metalurgia Geral. SENAI-SP Editora, São Paulo, 2015. 344p.

SILVA, Armando Coelho Ferreira da; HOMEM, Paula Menino (Org.). Ligas Metálicas: Investigação e Conservação. Secção de Museologia e Laboratório de Conservação e Restauro do Departamento de Ciências e Técnicas do Patrimônio da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto: Porto : Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2008. 135 p.

SINGH, J. P. ; THAKUR, S. N.; Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. 1st ed. Elsevier, 2007. ISBN: 978-0-444-51734-0.

SKOOG, D. A, WEST, D. M., HOLLER, F. J., CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica, Editora Thomson, tradução da 8ª edição, 2006

SMITH, William, F.; HASHEMI, Javad. Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais. McGrawHill Bookman. AMGH Editora Ltda. 5ª Edição. Porto Alegre. 2012

SQUARCIALUPI, Maria Cristina. Metallography of ancient metals. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.171-177, 1999. Anual.

TAGLE, Alberto de. El papel de las ciencias en la preservación del patrimonio cultural. La situación en Europa. IN.: BIENES CULTURALES. Ciencias aplicadas al patrimonio. Revista del Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de cultura subdirección general del instituto del patrimonio cultural de España. Dirección general de bellas artes y bienes culturales. Gobierno de españa. Número 8. p.27-36. 2008.

TEIXEIRA, Lia Canola; GHIZONI, Vanilde Rohling. Conservação preventiva de acervos. In: Coleção de Estudos Museológicos. Volume 1. Florianópolis, 2012.

TOSINI, Isetta. Methodologies for investigation on metallic artefacts, Ion Chromatography. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.241-248, 1999. Anual.

TROSTI-FERRONI, Renza. Mineralogical techniques for characterization of alteration patinas. Opd Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, Itália, v. 11, n. 1, p.158-162, 1999. Anual.

TYLECOTE, R. F. A History of metallurgy. Maney for the institute of materials. Second Edition. UK: 2002. 205p. ISBN 1-902653-79-3

UNIVERSITY OF LEICESTER. Leicester Analytical Services. Disponível em: <http://www2.le.ac.uk/business/consultancy/services/LAS> Acesso em 28.01.2017

UZEDA, Helena Cunha de. Introdução ao Estudo de Prataria e Ourivesaria. Curso de Museologia. Disciplina: Museologia Aplicada a Acervos IV, Janeiro, 2009. Notas de Aula.

VALADARES, Leonardo Gleidson. Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica como Técnicas para Caracterização e Inspeção de Padrões em Microestruturas. Instituto Metodista Izabela Hendrix. Trabalho da disciplina Ciências dos Materiais no curso Engenharia Civil, ministrada pelo professor Alisson Marques de Miranda.

VELLA, Malta D.; DEGRIGNY, C.; WILLIAMS, Grech A. Metallurgy of armour exhibited at the Palace Armoury Valletta. In.: ASHTON, John; HALLAM, David (org). METAL 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation. National Museum of Australia, 2004. p. 215-234.

VIEIRA, R.M.L.; et al. Estudo preliminar de algumas moedas holandesas da coleção do Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação*. Vol.1, No.6, 2007, pp. 296 - 300

VIÑAS, Salvador Muñoz. *Teoría contemporánea de la restauración*. Patrimonio Cultural. Editorial Síntesis. Madrid. 2014

VLACK, L.H.van. *Propriedades de Materiais Cerâmicos*. Edgard Blücher, São Paulo. 1973.

WANHILL; HATTENBERG; NORTHOVER. EBSD of Corrosion, deformation and precipitation in the Gundestrup Cauldron. In.: SILVA, A. C. F. da; HOMEM P. M. (Org.), *Ligas Metálicas: Investigação e Conservação*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2008.

WARD, Philip. *The Nature of conservation: a race against Time*. Marina del Rey, CA: Getty Conservation Institute, 1986.

WARNER, Deborah Jean. What Is a Scientific Instrument, When Did It Become One, and Why? *The British Journal for the History of Science*, v. 23, n. 1, p. 83 - 93, mar., 1990.

ZANIRATO, Sílvia Helena; CAVICCHIOLI, Andrea. Estratégias de conservação do patrimônio cultural material. *Revista Memória em Rede, Pelotas*, v.3, n.8, Jan./Jun.2013 – ISSN- 2177-4129

ZOSKI, Cynthia G. *Handbook of Electrochemistry*. ELSEVIER. Novo México, USA. 2007.

ANEXOS

ANEXO 01

PRINCIPAIS TIPOS DE CORROSÃO QUE AFETAM OS METAIS

Existem vários tipos de corrosão. As principais formas de corrosão em metais são: por corrosão uniforme, em toda a superfície metálica uniformemente; corrosão localizada, em apenas um local no metal, de forma pontual; corrosão seletiva, vindas da galvanização durante a junção das ligas metálicas e a corrosão intergranular, ao longo dos contornos dos grãos das estruturas cristalinas dos metais (JAMBO; FÓFANO, 2008).

Mora (2010) classifica a corrosão em metais conforme a tabela abaixo:

Tabela 05 - Classificação da corrosão em metais. Fonte: MORA, 2010, p.206

| | |
|--------------------------|---|
| MORFOLOGIA | Corrosão uniforme ou generalizada Perfurante (em placas) pite Intergranular |
| MECANISMOS | Galvânica Lixiviação seletiva Aeração diferencial (ex. trocadores UIB) Eletrolítica ou por corrente de fuga Tensão fraturante |
| FATORES MECÂNICOS | Tensão Erosão Fadiga Atrito |
| MEIO CORROSIVO | Atmosférica Solo Microorganismos Água do mar |
| LOCALIZAÇÃO | Uniforme Pite Transgranular Intergranular |

Visando melhor compreender as formas de corrosão, a seguir serão definidos os principais tipos:

Corrosão generalizada: É aquela paralela à superfície metálica, onde ocorrem reações de oxi-redução randomicamente (MORA, 2010, p.207).

Corrosão perfurante: É aquela que perfura a parede do metal. Ocorre em consequência de íons ou gases dissolvidos na solução de eletrólitos entre duas regiões de uma mesma peça. A corrosão ocorre na região de mais baixa concentração (MORA, 2010, p.207).

Pite (puntiforme): É uma corrosão localizada, produzindo uma cavidade cuja profundidade é maior que o diâmetro, formando pequenos buracos. Origina-se em defeitos de superfície como riscos, sujeira ou em ligeira variação de composição (MORA,

2010, p.207). Costuma ocorrer em superfícies metálicas com películas protetoras corrompidas (SELWYN, 2004, p.30). Objetos metálicos recobertos por vernizes ou ceras e confinados em ambientes sob condições adversas podem apresentar o fenômeno de *corrosão localizada*. Embora visualmente quase imperceptível, pode deixar marcas profundas (ACÁN, 2005, p.21).

Intergranular ou intercristalina: Esse tipo de corrosão se produz na periferia dos grãos de um metal ou liga e em ambientes específicos. O resultado é que a peça se desintegra no contorno do cristal (MORA, 2010, p.207). É causada pela corrosão preferencial entre os limites de grãos ou suas adjacências e pode resultar na desintegração da liga conforme os grãos se decompõem. Ocorre quando os limites dos grãos são mais reativos do que o material que os envolve (SELWYN, 2004, p.32).

Corrosão galvânica: Ocorre quando a reação de corrosão se realiza pelo contato elétrico entre dois metais ou ligas diferentes, em um mesmo ambiente corrosivo (SELWYN, 2004, p.28). A parte metálica que se corrói é a menos nobre das duas partes em contato. A corrosão galvânica, a menos que intencionalmente planejada deve ser evitada a todo custo, pois é o tipo mais agressivo de corrosão.

Lixiviação seletiva: É encontrada em ligas e ocorre quando um elemento ou constituinte é preferencialmente removido como consequência do processo de corrosão. As propriedades mecânicas da liga são significativamente diminuídas, dado que permanece apenas uma massa porosa na região corroída (MORA, 2010, p.208). O resultado é o aparecimento de uma camada de produtos avermelhados, pretos ou esverdeados, se o ambiente contiver oxidantes, sulfetos ou cloretos, respectivamente (ACÁN, 2005, p.20).

Corrosão sob tensão: A deterioração de metais também pode acentuar-se pela presença de esforço mecânico. Há fadiga, tendência à fratura sob solicitações cíclicas, tanto pela tensão aplicada como pela tensão interna associada a microestrutura. (MORA, 2010, p.209) Essa corrosão é observada em objetos que foram intensivamente trabalhados a frio (martelado, laminado, cinzelado) apresentando tensões residuais. As alterações estruturais provocadas por estas operações tornam os objetos mecanicamente frágeis e susceptíveis à corrosão (ACÁN, 2005, p.20).

Corrosão por erosão: Surge da ação combinada entre ataque químico e abrasão mecânica, ou uso como consequência do fluxo de fluidos. Praticamente todas as ligas metálicas, de uma forma ou outra, são susceptíveis à corrosão por erosão. É

especialmente prejudicial para ligas “passivadas” pela formação de uma película superficial protetora: a ação abrasiva pode causar erosão na película, deixando exposta a superfície do metal (MORA, 2010, p.208-209).

Corrosão por fadiga ou por estresse: Se referem a rachaduras observadas em algumas ligas quando simultaneamente expostas ao estresse e ambientes corrosivos. Elas só ocorrem na combinação de estresse e corrosão. O estresse pode ser interno (soldas) ou externo (por impacto). (SELWYN, 2004, p.32)

Corrosão atmosférica: É o tipo de corrosão que acontece pelo contato dos metais ou ligas com a atmosfera e seus componentes. É afetada pelos seguintes fatores: temperatura; umidade relativa; direção e velocidade dos ventos; radiação solar e pluviosidade, presença de poluentes (MORA, 2010, p.210). A atmosfera é uma das principais causas pelas quais os objetos são corroídos isso se dá, pois na atmosfera há a presença de gases como oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, entre outros, que favorecem as reações químicas, tais como a eletrolítica.

Corrosão microbiológica: A corrosão microbiológica é provocada pela ação de microrganismos, tanto anaeróbicos quanto aeróbicos. Alguns aderem à superfície metálica formando um biofilme que aumenta a velocidade da corrosão e outros realizam reações químicas cujos produtos atacam os metais (SELWYN, 2004, p.32).

Corrosão uniforme: É o afinamento geral da superfície metálica sem um ataque localizado, ocorre de forma generalizada. Como exemplos podem ser citados a camada de escurecimento da prata e a de ferrugem no aço temperado em ambiente externo (SELWYN, 2004, p.30).

ANEXO 02

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

A

Aço-carbono - O aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono. Aço carbono é a composição da liga que confere ao aço o seu nível de resistência mecânica, normalmente contendo de 0,02 a 2% de carbono. A quantidade de Carbono define sua classificação: o baixo carbono possui no máximo 0,30% do elemento; o médio carbono apresenta acima de 0,30 até 0,60% e o alto carbono possui acima 0,60 até 1,00%. Todos os aços-carbonos comerciais contêm cerca de 0,3 a 0,9% de manganês, enxofre, fósforo e impurezas como o silício (SMITH; HASHEMI, 2012, p.677).

Agregado policristalino - A maioria dos metais assume a forma de policristais com dimensões da ordem de grandeza de μm . Agregado policristalino é um agregado de um grande número de pequenos cristais ou grãos nos quais a estrutura é regular, mas os cristais ou grãos são dispostos de forma aleatória (IUPAC, 1997).

Amálgama - Liga de prata e mercúrio.

Ametal - Os ametais ou não metais são onze elementos: carbono, nitrogênio, fósforo, oxigênio, enxofre, selênio, flúor, cloro, bromo, iodo e astato. Eles apresentam propriedades opostas às dos metais. São maus condutores de calor e de eletricidade; em geral, são opacos e não apresentam brilho, não são dúcteis nem maleáveis e têm tendência a ganhar elétrons, transformando-se em íons negativos (SENAI, 2015, p.20).

Análise do bulk - Análise do corpo da amostra.

Análise fitoquímica - Análise realizada com o intuito de conhecer os constituintes químicos das plantas ou conhecer o grupo de metabólitos secundários relevantes nas mesmas.

Análise química - É o conjunto de técnicas de laboratório utilizadas na identificação e quantificação das espécies químicas envolvidas em uma reação química, ou que compõem uma determina amostra.

Ataque químico – Uma das etapas da metalografia, feita através da imersão da amostra em um reagente ácido, por um tempo determinado (por exemplo 20 segundos). O

objetivo é permitir a identificação dos contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura. Existe uma variedade de ataques químicos, cada um melhor aplicado em cada metal e situação. Os reagentes são escolhidos em função do material e dos constituintes macroestruturais que se deseja revelar (ROHDE, 2010, p. 19).

B

Bulk – *ver análise bulk*

C

Cadinho - Recipiente de material resistente ao fogo. Usado para fundir ou calcinar minérios e minerais ou para realizar certas operações químicas ou fisicoquímicas que exigem altas temperaturas. Também conhecido como crisol.

Campo claro - A imagem de campo claro é usada na microscopia ótica onde a luz passa através de uma amostra, ou é refletida por ele. A iluminação é a existente no microscópio.

Campo escuro - A imagem de campo escuro é usada na microscopia onde o contraste é criado por uma amostra brilhante em um fundo escuro. É ideal para revelar contornos de grão e gradientes de índice refrativo.

Cementação - Impregnação das camadas superficiais de um metal ou liga (normalmente aço) com outro material (normalmente carbono), realizada sob temperatura inferior à da sua fusão, e que visa aperfeiçoar alguma propriedade do metal (VLACK, 1973, p. 386).

Composição isotópica - Indica a abundância relativa de cada um dos seus isótopos. A abundância de um isótopo é um valor necessário para os cálculos de massas atômicas (relativas ou não) de elementos químicos (IUPAC, 2011).

Comportamento ótico – Está relacionado com sua estrutura eletrônica dos elementos. Pode ser caracterizado pela opacidade, transparência e luminescência (VLACK, 1973, p. 124).

Conformação mecânica - São os processos em que se aplica uma força externa à matéria-prima, obrigando-a a adquirir a forma desejada por deformação plástica. As ferramentas usadas podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros, como

os empregados na laminação (CIMM, sem data).

Contornos de grão - Os cristais se organizam de forma regular e as regiões onde todos os cristais estão empilhados numa mesma direção denomina-se de grão. Contornos de grãos são as fronteiras que separam esses grupos de cristais que apresentam diferentes orientações, constituindo um agregado policristalino (SENAI, 2015, p.256).

Coque - As moléculas do carvão mineral, quando submetidas a temperaturas elevadas (entre 900°C a 1.100°C), decompõem-se formando gases, líquidos e compostos sólidos de peso molecular mais reduzido, além de um resíduo sólido, que é o coque. Costuma-se dizer que o coque é o produto da destilação a seco (ausência de ar) do carvão mineral (SENAI, 2015, p.115).

Cristal – Os átomos nos metais se organizam em estruturas regulares e tridimensionais que se repetem no espaço, como tijolos que se encaixam. Essas unidades básicas que se repetem são denominadas Cristais, com dimensões de poucas dezenas de micrômetros (SMITH; HASHEMI, 2012, p.679). Os cristais seguem formas geométricas estabelecidas, por exemplo, cúbica, cúbica de corpo centrado, tetragonal, etc..

Cristalografia - Ciência que classifica e descreve os cristais, em suas estruturas, suas formas e nas leis que presidem o seu processo de formação.

Crostas – Material resultante da corrosão do metal, encontrado normalmente na superfície de objetos arqueológicos.

Cunhagem – Método de fabricação de moedas.

D

Deformação estrutural – Alteração na estrutura do metal (comprimento) normalmente ocorrida durante o processo de fabricação de artefatos metálicos (VLACK, 1973, p. 387).

Deformação plástica – Alterações morfológicas nos metais, quando submetidos a tensões, que não permitem que voltem ao seu estado inicial, permanecendo deformados permanentemente.

Deformação mecânica – *ver deformação plástica.*

Denário de prata – Parte do sistema monetário romano, é caracterizado como uma moeda de prata de grande circulação.

Descontinuidades – É a interrupção física causada em um metal pela abertura de uma trinca ou pela presença de um segundo material. Elas podem ser classificadas quanto à origem (geométricas e metalúrgicas) e à forma (planas e volumétricas).

Detector sem janelas (*windowless detector*) - É um detector EDS que não usa nenhum material de janela para manter o vácuo em um detector de semicondutores, evitando a absorção de raios-X nesta região. Como não há absorção de raios-X pela janela, o detector sem janela pode analisar elementos leves acima do Boro. Disponível em: <http://www.jeol.co.jp/en/words/emterms/search_result.html?keyword=windowless%20EDS%20detector>

Discordância – Imperfeição ou defeito cristalino na constituição de metais e suas ligas solidificados, resultante da existência de uma distorção da rede centrada em torno de uma linha (SMITH; HASHEMI, 2012, p.679).

Dispersão eletrônica do feixe (*electron beam scattering*) - Este tipo de interferência ocorre nos microscópios eletrônicos quando os elétrons são desviados da trajetória programada.

E

Efeitos de absorção na janela (*window absorption effects*) - Quando o raio-X chega ao detector, deve passar através de uma janela, um eletrodo de superfície de ouro e uma camada inativa de Si. A absorção que ocorre durante a passagem através dessas camadas elimina virtualmente todos os raios-X com energia abaixo de 500eV. Acima de uma energia de cerca de 2keV, a absorção torna-se relativamente insignificante, de modo que quase todos os raios-X passam para a camada ativa do detector. Em alguns casos, no EDS, pode existir uma complicação nesta passagem. Disponível em: <<http://www2.arnes.si/~sgszmera1/html/procedures/1eds.html>>

Eletrólito - Solução condutora de eletricidade, de natureza líquida ou sólida, na qual cargas são transportadas por meio de íons, também conhecido como um soluto iônico (VLACK, 1973, p. 388).

Elétron - Partícula sub-atômica portadora de carga negativa ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$) (SMITH; HASHEMI, 2012, p.679).

Elementos traço – São elementos presentes nas amostras em quantidades muito inferiores aos outros presentes na mesma amostra.

Embutimento - Pode ser chamado de estampagem profunda é o processo de conformação pelo qual folhas metálicas planas são transformadas em objetos côncavos. (SMITH; HASHEMI, 2012, p.680). Também pode se referir ao processo preparação da amostra para análise metalográfica, quando a mostra é embutida em uma resina (ex.: resina epoxi), de forma a facilitar o manuseio de peças pequenas, evitando que amostras com arestas rasguem as lixas de polimento, bem como o abaulamento durante o polimento. Existem dois tipos de embutimento: a frio e a quente.

Escórias - Rejeito da redução do minério de ferro, originado da mistura de minério de ferro, carvão, coque, ar e calcário nos altos-fornos, na fabricação do aço. Trata-se basicamente de óxidos e outras impurezas (CIMM, sem data).

Estado de agregação – Estado no qual a matéria está organizada. Normalmente caracterizado por sólido, líquido ou gasoso.

Estado nativo - Como determinado metal é encontrado na natureza.

Estiramento - É a operação que consiste na aplicação de forças de tração, de modo a esticar o material sobre uma ferramenta ou bloco (matriz) (CIMM, sem data).

Estrutura atômica - São as partes que compõe um átomo. A estrutura atômica é composta por um núcleo (prótons e neutrons) e uma nuvem de elétrons que gravita em torno do núcleo. apresenta três partículas fundamentais: os prótons, com carga positiva; nêutrons, sem carga elétrica, e elétrons, com carga negativa.

Estruturas de grãos - *ver grão*

Estrutura cristalina - Trata-se da estrutura de organização da matéria de muitos materiais sólidos. Os átomos que compõem o material se organizam nessa forma regular onde cada unidade mínima de organização se denomina cristal. Os cristais se empilham como tijolos e se arrumam de uma forma muito organizada. Essa organização parece uma rede em três dimensões que se repete em todo o material. Ela é chamada de

estrutura cristalina. Todos os metais cristalizam-se quando se solidificam. Seus átomos se organizam em um modelo tridimensional, ordenado e repetido (SENAI, 2015, p.37).

Extrusão - É um processo de conformação mecânica ou plástica, feita através da compressão de um material plástico através de uma matriz. São exemplos de extrusão a trefilação e a laminação (VLACK, 1973, p. 389).

F

Fase – Parte fisicamente homogênea de um sistema material (VLACK, 1973, p. 389).

Ferro fundido - O ferro fundido é uma liga de ferro com elementos como carbono (acima de 2,1%) e silício (entre 1 e 3%) (VLACK, 1973, p. 389). Sua diferença para o aço está na é percentagem de carbono (no aço entre entre 0,002 e 2,11%). Os ferros fundidos dividem-se em três tipos principais: branco, cinzento e nodular.

Fissuras - Rompimento interno da estrutura cristalina que não aflora na superfície do material, conhecida também como trinca interna. São descontinuidades que ocorrem na solda ou no metal de base quando a tensão localizada excede o limite de ruptura local do material. Tende a se propagar devido ao efeito de concentração de tensões nos extremos das mesmas. Desta forma, a fissura tende a aflorar na superfície da peça quando passa a ser uma trinca (CIMM, sem data).

Forma iônica - É a forma em que os átomos dos elementos se encontram após perderem ou ganharem elétrons em razão de reações químicas. A forma iônica pode ser aniônica, quando o átomo recebe elétrons e fica carregado negativamente, ou catiônica, quando o átomo perde elétrons e fica carregado positivamente.

Forjas - Local onde se trabalha a quente peças metálicas, para obter diferentes formas. Fornalha, fole e bigorna onde os ferreiros e outros operários caldeiam o metal.

Forjamento - Ato ou efeito de forjar.

Fole - Também conhecida como Fole de ferreiro ou fole de forja é uma ferramenta usada pelos ferreiros para avivar o fogo durante a forja de metais, insuflando ar no sistema de aquecimento.

Fundido - Metal que passou pelo processo de fusão e se encontra no estado líquido.

G

Galvanização - É o processo de revestimento de um metal por outro com o propósito de proteger o metal contra a corrosão ou alterar sua aparência.

Grãos - É um aglomerado de cristais que se organizam de forma regular em uma mesma direção (VLACK, 1973, p. 389).

H

I

Isótopos - Isótopos são variantes de um mesmo elemento químico, onde os núcleos têm o mesmo número atômico mas diferem no número de nêutrons (VLACK, 1973, p. 390).

Inclusões - São pequenas partículas dispersas na matriz metálica. As inclusões interrompem a matriz metálica e acarretam concentração de tensões, por extinguir a distribuição uniforme da tensão (BAPTÍSTA *et al.*, sem data)

Incrustação – Aquilo que é incrustado, embutido no metal de base. Usado também para se referir a algum detalhe que foi adicionado ao objeto metálico.

J

K

L

M

Matriz – Relativo ao processo de moldagem: aquele que dá forma. Quando relativo a microestrutura, é a fase contínua na qual outra fase está dispersa (VLACK, 1973, p. 391).

Metais Alcalinos - Os metais alcalinos são elementos químicos do grupo 1A da tabela periódica e apresentam propriedades similares. Os metais alcalinos apresentam um elétron (presentes no subnível s) na camada de valência (nível mais externo do átomo).

Esses elementos ao reagirem com a água, formam bases inorgânicas e, por isso, recebem o nome de alcalinos. O grupo é formado pelos seguintes metais: Lítio (Li), Sódio (Na), Potássio (K), Rubídio (Rb), Césio (Cs) e Frâncio (Fr).

Metais Alcalinos Terrosos - Os metais alcalinos terrosos são elementos químicos do grupo 2A da tabela periódica e apresentam propriedades similares. Os metais alcalinos terrosos apresentam dois elétrons (presentes no subnível s) na camada de valência (nível mais externo do átomo). Essa família é composta pelos seguintes metais: Berílio (Be), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Estrôncio (Sr), Bário (Ba) e Rádio (Ra).

Metais de Transição - Essa classe de elementos se subdivide em duas: a dos metais de transição externa e a dos metais de transição interna. É composto pelos elementos com número atômico de 21 a 30; de 39 a 48; de 72 a 80; de 57 a 71 e de 89 até ao 103.

Metal puro – Metais que não apresentam nenhum outro elemento que o impurifique.

Metal nativo – Metais tais como são encontrados na natureza.

Metais Representativos - Os elementos químicos que fazem parte dos Metais representativos são os seguintes: Alumínio (Al), Gálio (Ga), Índio (In), Estanho (Sn), Tálho (Tl), Chumbo (Pb), Bismuto (Bi), Ununtrio (Uut), Ununquádio (Uuq), Ununpentio (Uup) e o Ununhécio (Uuq).

Microanálise - A microanálise é um procedimento químico usado para definir quais são os elementos constituintes de uma determinada molécula de um composto e sua proporção.

Microescala - Escala microscópica.

Microestrutura - Estrutura em que se organiza a matéria, em escala microscópica, e determina suas características físicas. Pode ser observada ao microscópio (VLACK, 1973, p. 391).

Mineralizada - Material que passou por reações químicas que transformaram o material totalmente ou parcialmente em mineral ou minério.

Monocamada - Refere-se a uma única camada de átomos ou moléculas (MINASSIAN-SARAGA, 19994, p.1672).

Multicomponente – Que consegue analisar mais de um componente ou elemento ao mesmo tempo.

N

Núcleo do metal – Parte de um objeto metálico que apresenta a estrutura original que ainda não passou por processo de corrosão ou oxidação. Ver *bulk*.

O

Orientação cristalográfica – Direções que passam pelo centro do cristal e que servem como eixos de referência para orientação e notação dos elementos do cristal. São as relações angulares entre o alinhamento cristalino ou molecular e direções externas de referência (VLACK, 1973, p. 392).

Orientação de grãos - Consiste na direção em que os cristais existentes em um grão estão orientados. A análise da orientação do grão possibilita estudar a direção de fluxo dos grãos do metal e quaisquer inclusões que tenham sido formadas durante o forjamento (SANTANA, sem data).

Off-gasing – São gases emitidos na atmosfera de um determinado local por um objeto específico que está passando por um processo químico que libera algum tipo de gás.

Oxidação - Termo normalmente correlacionado à reação química em que um elemento perde elétrons e aumenta sua carga positiva (VLACK, 1973, p. 392). É uma palavra do âmbito da química que significa a perda de elétrons, mesmo que não seja causada pelo oxigênio. Indica também o processo de oxidar, ou seja, de combinar um elemento com oxigênio, transformando-o em um óxido. *Ver também redução*.

Óxido de ferro vermelho - Também conhecido como óxido de ferro (III) ou óxido férrico, ou no coloquial ferrugem, é o composto químico de fórmula Fe_2O_3 .

P

Pátina - É um composto químico que se forma na superfície de um metal ou liga metálica. Pode ser formada naturalmente ou artificialmente.

Picos de escape (*escape peaks*) - No EDS, quando os raios-X emitidos a partir de uma amostra são detectados com um detector de semicondutores, uma parte das energias dos raios X que entra no detector é utilizada para excitar elétrons de silício que é um elemento constituinte do detector. Como resultado, um pequeno pico aparece no espectro, com a energia menor que a dos raios X característicos pela energia de excitação de Si. Este pico é chamado de "pico de escape". http://www.jeol.co.jp/en/words/emterms/search_result.html?keyword=escape%20peak

Pileups pulso (*pulse pileups*) - Também chamado de "random summing", pode representar uma imprecisão, na análise. A chegada acidental de um sinal de dois raios gama não relacionados no amplificador dentro de um intervalo de tempo curto, resulta em um pulso composto cuja amplitude é a soma dos dois eventos. Como resultado, os dois raios são representados no resultado como um só. Disponível em: <<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/58611/R%26R.pdf%3Bjsessionid%3DCB0B797D727DDD1D77C42060A994D269?sequence%3D1>>

Plasma - É um dos estados físicos da matéria, similar ao gás, no qual certa porção das partículas é ionizada.

Planos cristalinos - A regularidade da estrutura cristalina também forma planos de átomos. Estes planos são chamados de planos cristalinos.

Q

R

Reatividades químicas diferenciais – Em reações de oxido-redução a reatividade química é a tendência de ganhar elétrons enquanto o outro tende a perder elétrons.

Rede cristalina – *ver estrutura cristalina*

Redução - Termo normalmente correlacionado à reação química em que um elemento ganha elétrons e reduz sua carga positiva. É o processo inverso da oxidação. *Ver também oxidação.*

Reticulado cristalino – É um arranjo simétrico de átomos ou moléculas que formam uma substância sólida cristalina. A forma do retículo define a forma do cristal (CIMM, sem data).

S

Segregações - É um tipo de defeito que pode ocorrer em peças fundidas. Também é reconhecido como heterogeneidade química. Ocorre devido à distribuição heterogênea de elementos de liga e impurezas dentro da estrutura do material (CIMM, sem data).

Semimetais - Semimetais apresentam características intermediárias entre os metais e não metais. São eles na tabela periódica: Boro (B), Silício (Si), Germânio (Ge), Arsênio (As), Antimônio (Sb), Telúrio (Te) e Polônio (Po).

Sistema de epi-iluminação – Sistema acoplado em microscópios onde a luz provém do mesmo lado da lente objetiva. Também conhecido como Luz incidente.

Sobreposição de pico (peak overlap) É quando um pico sobrepõe o outro no espectro da análise. Podendo gerar uma interpretação dos resultados errada. Disponível em: <<https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/D10051~.pdf>>

Solução iônica - As soluções capazes de conduzir corrente elétrica são chamadas de soluções eletrolíticas ou soluções iônicas, pois a condutibilidade deve-se à presença de íons no meio.

Sub-nanograma – Medida de sensibilidade de uma determinada técnica com valores mais sensíveis e detecção de quantidades menores aos do nanograma.

T

Termoluminescência - A termoluminescência é a emissão de luz em resultado do aquecimento dos minerais após absorção prévia de energia de fonte ionizante. As temperaturas de aquecimento são inferiores à temperatura de incandescência. A termoluminescência é observada normalmente apenas durante o primeiro aquecimento, e não no reaquecimento, sendo que não é uma forma de transformação do calor em luz. É comum o uso desta técnica para datação de materiais arqueológicos (CIMM, sem data).

Transiluminação – Um sistema de transiluminação é normalmente acoplado a um microscópio onde a fonte de luz é transmitida.

Textura cristalográfica - É a distribuição de orientações de cristal em um policristal. Essa distribuição de orientação é uma consequência das condições de sua formação (RANDLE, 2009).

U

V

Vazados / vazamento - O vazamento é a operação que compreende a transferência do metal líquido retirado do forno para um recipiente que pode ser um cadinho ou um molde.

W

X

Y

Z