

# O USO DA RADIAÇÃO GAMA PARA DESINFESTAÇÃO DE BENS CULTURAIS

**Marcia de Mathias Rizzo**

*docente do Curso Superior de Conservação e Restauro da PUC-SP;  
diretora da MRIZZO Laboratório de Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda.  
Email: mrizzo@mrizzo.com.br*

## RESUMO

As obras de arte fazem parte do patrimônio cultural da humanidade e estão sujeitas às degradações físicas, químicas e biológicas. Do ponto de vista físico-químico, elas são sistemas complexos em cujas interfaces ocorrem inúmeras alterações. Do ponto de vista biológico, elas fazem parte do ecossistema e podem ser utilizadas como substrato por macro e micro organismos (RIZZO, 2008). O ataque biológico é um tema muito importante na preservação do patrimônio cultural, especialmente no Brasil, devido ao clima tropical, que favorece a contaminação e proliferação desses organismos. Dentro do conjunto das obras de arte, as esculturas de madeira policromada são as maiores vítimas de ataque por térmitas, sendo vorazmente devoradas por esses insetos.

Por outro lado os métodos tradicionais, que utilizam produtos químicos, como venenos, para desinfestação, podem interagir com a obra e seus substratos causando danos irreversíveis. Adicionalmente, eles fazem mal aos restauradores, ao público em geral e ao meio-ambiente.

Como alternativa a esses métodos, tem-se utilizado a atmosfera anoxia, introduzida nos anos 90 pelo professor Robert Koesler.

Outro método alternativo de grande eficácia apresentado aqui, é a utilização da radiação gama em obras de materiais diversos com policromia, utilizado no Brasil desde 2001 pela autora deste texto com pesquisas junto ao IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares. O método é bastante seguro e pode eliminar macro e micro organismos. Ele requer conhecimento e estudo prévio dos materiais componentes da obra e cálculo da quantidade e tempo de radiação específica para cada caso. Assim como a atmosfera anoxia, ele não tem efeito residual, portanto requer que a obra seja protegida de futuros ataques após a desinfestação.

**Palavras chave:** ciência da conservação, desinfestação, radiação gama, macro e micro organismos.

## INTRODUÇÃO

A radiação ionizante tornou-se há muitos anos parte integrante de nossas vidas. Sua aplicação se dá desde a área da medicina até às armas bélicas. Atualmente, por exemplo, a sua utilização em alguns exames de diagnóstico médico, através de sua aplicação controlada, como por exemplo, a radiografia, é uma metodologia de grande auxílio. Ela também é usada para desinfestar alimentos e aumentar seu tempo de prateleira ou esterilizar materiais hospitalares.

Resumidamente podemos dizer que a radiação ionizante é aquela com energia suficiente para arrancar um elétron de seu orbital, formando assim íons positivos e negativos. Neste tipo de radiação, destacam-se os raios X (fonte artificial), e os raios gama (fonte natural) (OKUNO; YOSHIMU-

RA, 2010).

Uma das vantagens de utilizar a energia gama, em detrimento das outras fontes de energia, está na sua capacidade de destruir os micro e macro organismos, com seu alto conteúdo de energia, grande penetração e letalidade devida sua ação ao nível celular. Essa penetração é uniforme, profunda e instantânea (SILVA et al., 2003).

As fontes autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear são as radiações gama, Cobalto60 e Césio137, raios X e os aceleradores de elétrons, sendo o mais usado o gama por ser economicamente viável para grandes ou pequenas quantidades de produtos. O irradiador Cobalto60 consiste numa fonte de Cobalto60 instalada numa câmara de irradiação que contém paredes de concreto blindadas. Essa fonte, quando não está em operação, fica há alguns metros abaixo da superfície e somente é elevada quando vai irradiar o objeto.

De acordo com Kappke (2007), uma das particularidades da radiação ionizante é seu alto poder letal à célula. Ela pode afetar o DNA diretamente pela deposição de energia na macromolécula, ou indiretamente pela deposição de energia na água circundante com a formação de radicais primários, incluindo íons de hidrogênio (H-) e elétrons livres. A radiação ao interagir com a molécula da água, abundante em um organismo vivo, participa de quase todas as reações metabólicas. As moléculas de água são atingidas pela radiação em maior número e sofrem radiólise - decomposição química induzida por radiações ionizantes. A morte do micro e/ou macro organismo é consequência da ação ionizante desta irradiação (VALENTE, 2004). Pereira (PEREIRA, 2009) argumenta que a radio sensibilidade dos micro e macro organismos varia com o meio no qual ocorre a irradiação, dependendo da atividade da água, PH, temperatura, presença ou ausência de oxigênio e composição química do meio. A resistência à radiação também varia de acordo com o organismo, podendo haver diferenças na resistência inerente de espécie para espécie, para diferentes tipos de organismos da mesma espécie e essas diferenças dentro de grupos similares estão relacionados com suas estruturas químicas e físicas, bem como com suas habilidades de recuperação dos danos causados pela radiação.

No grupo dos micro organismos que usam as obras de arte como substrato temos os fungos e bactérias, dentre outros; e no grupo dos macro organismos que usam as obras de arte como substrato temos os térmitas (cupins, brocas, etc.).

## **OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho são: mostrar as diferentes possibilidades desta técnica na desinfestação de bens culturais de diferentes tipologias (papel, pinturas, esculturas, etc), em especial nas esculturas de madeira policromadas ou não; enfatizar a importância do estudo prévio dos materiais e componentes da obra; e, a importância de manter uma documentação dos procedimentos realizados, assim como dos resultados.

## **PRIMEIRA PESQUISA SOBRE SUPERFÍCIE POLICROMADA**

A imunização de obras de arte por meio de radiação gama começou a ser divulgada e utilizada no Brasil, a partir do estudo realizado numa pintura peruana do século XVII, a qual gerou dois artigos. O primeiro, *Effects of gamma rays on a restored painting from the XVIIth century* (RIZZO et al, 2002) apresentado no IMPR-12 “12th International Meeting on Radiation Processing” – Avignon,

France (2001), e publicado no “RPC - Radiation Physics and Chemistry”, volume 63, números 3-6, março 2002, paginas 259-262. O segundo, quando a obra foi reinfestada, Gamma rays irradiation process on a restored painting from the XVIIth century, apresentado no INAC 2009 - International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 27 de Setembro a 2 de Outubro de 2009, e, publicado na “Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN”.

A pintura em questão foi restaurada, e, depois, severamente contaminada por fungos. Cerca de 70% de sua área foi atingida (FIG. 1).



*Figura 1 – Primeira contaminação. Fotografia com luz rasante, tirada sob num angulo de 30 para mostrar a que quase 70% da pintura peruana estava coberta por colônias de fungos.*

Depois de diversas tentativas mal sucedidas de descontaminação, pensei no processo de radiação como uma alternativa, uma vez que, como já foi mencionado, é uma tecnologia efetiva já utilizada em outras áreas.

Procurei então, o IPEN-CNEN/ SP, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Centro de Tecnologia das Radiações e, juntos, com o auxílio da Renner Sayerlack S/A, realizamos um estudo, como parte do trabalho de pesquisa que realizava na época no IQ-USP, Instituto de Química - Universidade de São Paulo sobre físico-química aplicada à restauração.

O estudo prévio é importantíssimo, pois a radiação ionizante pode aumentar o grau de polimerização de ligantes, adesivos, vernizes, etc., e, da mesma forma, pode alterar a cor dos pigmentos.

O objetivo desse estudo foi investigar a influência da radiação na pintura original e nos produtos usados no processo de restauração.

## **SÍNTESE DO TRABALHO**

### **DESCRIÇÃO DA PINTURA**

Título: “Fuga para o Egito”; autor: atribuído a Leonardo Flores; época: século XVII; dimensões: 1,90 m x 3,00 m; Origem: Peru / América do Sul; técnica: tempera sobre tela. A pintura chegou ao laboratório de conservação sem estrutura, enrolada, rasgada, com perda significativa do suporte (tela) e da camada de pictórica. Possuía alguns remendos inadequados e havia sido repintada em algumas áreas. Não tinha verniz - como quase todas as pinturas peruanas - e tinha muita sujidade aderida diretamente à camada de pintura. A obra foi restaurada de acordo com os procedimentos e materiais apropriados.

### **MATERIAIS UTILIZADOS NA RESTAURAÇÃO**

Polímeros: Os polímeros utilizados nos processos de restauração foram: (a) cera microcristalina; (b) Paraloid B72 (resina acrílica) da Rhom e Haas; BEVA 371 da Adam - um adesivo desenvolvido especificamente para fins de restauração que contém: (c) Copolímero AC 400 (VAC c.15%) da Allied Chemical, (d) Larapol K-80 (resina cetona) da BASF, (e) Elvax 150 (VAC c.33%) de DuPont, (f) Cellolyn 21 (éster de ftalato de álcool abietílico) de Hercules, e (g) Óleo de parafina livre de 65°C mp.

Tintas de retoque: As tintas de retoque utilizadas foram feitas de pigmentos puros misturados resina acrílica paraloid B72 e tintas para retoque das marcas Lefranc & Borgeois e Maimeri.

### **IDENTIFICAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO BIOLÓGICA**

Após a restauração, a pintura foi atacada por fungos. Para identificar os contaminantes presentes na obra de arte, foi realizada uma abordagem simples. Quase todas as colônias consistiam em fungos, e a observação microscópica de estruturas conidióforas revelou a presença de *Aspergillus sp* e *Penicillium sp* (RIZZO et al, 2002).

### **INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RADIAÇÃO NA COR DAS AMOSTRAS**

Pequenas amostras da pintura original foram tiradas da borda da pintura, tentando cobrir o máximo possível os diferentes pigmentos existentes na obra de arte e também tendo em mente a identificação dos pigmentos da América do Sul feita por outros cientistas (ABAD, 2000) (SELDES et al., 1999). Todas as tintas de retoque utilizadas no processo de restauração também foram testadas. Os comprimentos de onda das cores de todas as amostras foram medidos por um espectrofotômetro Datacolor SF 600 antes e depois da irradiação. Todos os espectros foram comparados. A mudança de cor foi avaliada pela AATCC (Associação Americana de Químicos Têxteis e Coloristas) Procedimento de Avaliação 1 / Escala de Cinza para Mudança de Cor (RIZZO et al., 2002).

### **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE MATERIAIS POLIMÉRICOS**

Todos os materiais poliméricos utilizados no processo de restauração foram caracterizados por técnicas de análise térmica como termogravimetria (TG) e calorimetria de varredura diferencial (DSC) antes e depois da irradiação com raios gama. As medidas termogravimétricas foram realizadas

utilizando uma termobalança TGA50 da Corporação Shimadzu a 20°C/min de taxa de aquecimento, a partir da temperatura ambiente atingida até 600°C, sob fluxo de ar de 50 ml/min. As medidas calorimétricas foram realizadas usando uma Shimadzu Corporation DSC 50 a 10°C/min de taxa de aquecimento, na faixa de -90°C a 300°C dependendo da amostra, sob atmosfera N<sub>2</sub> (RIZZO et al, 2002).

### **PRIMEIRO PROCESSO DE IRRADIAÇÃO**

De acordo com a literatura, a dose apropriada de radiação gama para eliminar os microrganismos identificados é de 6 kGy. Pequenas amostras da pintura original e todos os materiais utilizados no processo de restauração foram submetidos a três processos de irradiação subsequentes usando radiação gama para obter as doses: 6 kGy - recomendado para descontaminação neste caso, 10 kGy - acima do que alguma modificação de cor havia sido detectada antes - e 25 kGy - dose padrão para esterilização (BELYAKOVA, 1961; TOMAZELLO, 1994) .

Antes do procedimento de irradiação, a obra foi limpa. Todos os resíduos de fungos aparentes foram retirados por processo mecânico. A pintura foi colocada dentro de uma caixa acrílica, fechada hermeticamente para evitar a recontaminação após a irradiação. A caixa de acrílico com a pintura foi acomodada em uma caixa de madeira revestida com poliestireno expandido (FIG. 2). Todo este conjunto foi irradiado.

Entretanto, seis anos depois a obra apresentou infestação novamente.



*Figura 2 – Lado de trás da pintura com a proteção de acrílico dentro da caixa de madeira forrada com isopor, sendo observada antes da primeira irradiação.*

### **VERIFICANDO O VAZAMENTO DA CAIXA ACRÍLICA**

Quando a pintura mostrou colônias de fungos na superfície novamente, primeiro verificou-se a vedação da caixa acrílica.

O método utilizado foi: por um pequeno orifício no lado de trás da caixa de acrílico, o gás de hélio foi injetado para dentro e todos os perímetros suscetíveis de vazamento foram testados por

uma sonda Sniffer portátil, Detector de vazamento, Spectron 3000s, Edwards (FIG. 3). O gás hélio é mais leve do que oxigênio e é mais fácil para ele escapar se houver alguma passagem. Foi constatado que não havia nenhum vazamento. Após a verificação do vazamento do sistema, a caixa de acrílico foi aberta.



*Figura 3 – Checando o vazamento da caixa de acrílico com a injeção de gás hélio e o uso de um detector Sniffer (espectrômetro de massa).*

## **SEGUNDO PROCESSO DE IRRADIAÇÃO**

Os estudos prévios sobre o comportamento dos materiais da pintura feitos antes da primeira irradiação nos permitiram decidir a dose certa da segunda irradiação. A nova dose de radiação gama utilizada foi de 9 kGy totalizando 15 kGy, sob o que algumas modificações em pigmentos ou em polímeros foram encontradas (RIZZO et al, 2002). Tanto a caixa como a pintura foram limpas novamente. Todos os resíduos de fungos aparentes foram retirados por processo mecânico. A pintura foi colocada dentro da caixa de acrílico novamente, fechada hermeticamente para evitar a recontaminação após a irradiação. Mas, desta vez, a atmosfera dentro da caixa foi alterada. Dois orifícios com válvulas controladas foram feitos nos extremos diagonais do lado de trás da caixa. Por eles, o gás argônio foi injetado dentro da caixa criando uma atmosfera anóxica com pressão positiva. Esta micro atmosfera sem oxigênio não é favorável ao crescimento do tipo de fungos encontrados na pintura (SELWITZ, MAEKAWA, 1998; RIZZO, 2008). O gás argônio é mais pesado do que oxigênio, portanto, espera-se que seja mais difícil para qualquer molécula de oxigênio entrar na caixa, se houver algum vazamento. As válvulas permitirão a manutenção futura da atmosfera modificada por uma manutenção regular do gás argônio. Todo o processo de irradiação foi repetido com a nova dose selecionada. A pintura foi irradiada no irradiador multi proposito do IPEN.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Todos os dados detalhados sobre a investigação dos materiais de pintura e os materiais de conservação utilizados na pintura feita antes do primeiro tratamento podem ser encontrados na referência (RIZZO et al, 2002) e estão resumidos nos dois parágrafos seguintes:

As comparações da cor de todos os pigmentos antes e depois da irradiação são expressas como números na “escala de cinza”. Nesta escala, o número 5 significa nenhuma modificação, enquanto o número 1 significa uma grande modificação de cor. Nenhuma modificação foi encontrada em qualquer amostra irradiada com 6 ou 10 kGy. E pouca modificação (entre 4 e 5 na escala) foi encontrada em algumas cores com 25 kGy. Portanto, os dados mostram que não há alteração significativa na cor de todas as amostras em função da radiação, mesmo depois de ter sido submetida a uma dose de 25 kGy (RIZZO et al, 2002).

Por outro lado, a interação da radiação ionizante com os materiais poliméricos pode causar reticulação e degradação da cadeia, o que modifica os parâmetros químicos e físicos importantes como estabilidade térmica, temperatura de transição vítrea, cristalização e ponto de fusão dos polímeros termoplásticos. O comportamento térmico dos polímeros utilizados no processo de restauração da imagem original foi estudado tanto por TG quanto por DSC.

Ao comparar as curvas dos polímeros antes e depois da irradiação, pode-se observar que as doses de radiação aplicadas não afetam as propriedades dos materiais estudados. Portanto, não há evidências de reticulação promovida pela radiação (RIZZO et al, 2002).

A possível recontaminação da pintura causada por alguma falha no selo da caixa acrílica foi verificada por uma sonda Sniffer e não foi encontrada nenhuma vazão. O sistema estava intacto. Não há evidências de que alguns espécimes novos entraram no sistema para causar um novo crescimento das colônias.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos até agora permitiram concluir que a dose de 6 kGy não matou todos os espécimes de fungos na pintura. Uma vez que a população de fungos era enorme, provavelmente algum esporo não foi eliminado no primeiro processo de irradiação e germinou anos depois.

Adicionalmente, essa experiência mostrou a importância de realizar um estudo prévio sobre composição e comportamento de materiais de qualquer objeto que seja irradiado. Mostrou também que deve ser utilizada uma forma complementar de prevenir a recontaminação, como uma atmosfera controlada, uma vez que este não é um método residual. Há um limite para repetir este tratamento porque as quantidades de doses de radiação no mesmo objeto são cumulativas. Por todas estas razões, é muito importante manter um relatório detalhado juntamente com a obra para futuras intervenções de conservação.

Por outro lado, a irradiação da pintura com uma dose de 15 kGy (6 kGy na primeira vez mais 9 kGy na segunda vez) não danificou a pintura restaurada, do ponto de vista dos pigmentos e dos polímeros. Nenhuma modificação de cor pôde ser detectada nesses processos.

No entanto, uma vez que uma pintura é um sistema complexo com muitas interfaces, os autores estudam continuamente a possibilidade de alguma alteração molecular causada pela irradiação agir como agente iniciador de catálise heterogênea, o que poderia deteriorar a obra de arte a longo

prazo, a fim de excluir tanto quanto possível, qualquer mecanismo de deterioração induzida.

## APÊNDICE

Vale a pena comentar que a dose para desinfestação de macro organismos, como por exemplo, os termitas que atacam preferencialmente as obras sobre madeira é bem menor do que a dose utilizada para a eliminação de micro organismos, como os fungos, visto no estudo de caso acima. Portanto é um procedimento mais seguro e que pode ser realizado em obras sobre madeira atacadas por cupins ou brocas com menos riscos. Especialmente se a obra de madeira não tiver policromia.

O estudo acima deu início a um metodo simples e muito eficaz de desinfestação da imaginaria de madeira, que é tão atacada em nosso pais.

Segue abaixo um exemplo de obra sobre madeira que foi irradiada por estar atacada por termitas. É uma escultura de madeira policromada, de Nossa Senhora do Patrocínio (FIG. 4 e FIG. 5) pertencente à igreja do mesmo nome em Caldas – MG. A obra estava totalmente infestada com cupins, havia sofrido intervenções inadequadas anteriormente e estava desfigurada. Antes de qualquer procedimento de restauro, foram realizadas várias radiografias cobrindo todas as partes da obra. As radiografias revelaram que a obra se encontrava extremamente fragil com grandes vazios feitos por enormes galerias de insetos. Como se se vê na radiografia da cabeça da santa e do menino Jesus, na FIG. 6, as partes mais escuras correspondem aos locais onde houve perda estrutural da madeira, pois a mesma foi devorada pelos insetos. A obra foi irradiada no irradiador multi proposito do IPEN (FIG. 7) e restaurada adequadamente (FIG. 8).



*Figura 4 – Imagem de madeira policromada e dourada de Nossa Senhora do Patrocínio – atacada por térmitas e com intervenções inadequadas.*



*Figura 5 – Detalhe da figura 4.*



*Figura 8 – Detalhe da figura 4.*





Figura 6 – Imagem de madeira policromada e dourada de Nossa Senhora do Patrocínio – atacada por termitas e com intervenções inadequadas.



Figura 7 – Obra sendo colocada no irradiador multi proposito do IPEN.

## COMENTÁRIO

O que gostaria de ressaltar é que tão importante quanto o resultado obtido pelo trabalho realizado, é o próprio trabalho em si; isto é: o exercício da multi e interdisciplinaridade em qualquer área do conhecimento.

## REFERÊNCIAS

RIZZO, M.M., *Caracterização físico-química de materiais de esculturas cerosas do Museu Alpino*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Química, IQ / USP, SP. 2008.

OKUNO, Emico; YOSHIMURA, E. *Física das radiações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. Disponível em: <https://docslide.com.br/download/link/93825227-livro-fisica-das-radiacoes-emico-okuno>

SILVA, Neusely da et al. *Ocorrência de Escherichia Coli 0157:H7 em vegetais e resistência aos agentes de desinfecção de verduras*. Ciência, Tecnol. Alimentos. Campinas, v. 23, n. 2, maio/ago. 2003.

KAPPKE, Jaqueline. *Estudo dos danos provocados pela radiação gama em células de E. coli*. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba. Curitiba, 2007.

VALENTE, Angélica Moreira. *Efeito da irradiação sobre mexilhões Perna. Coliformes termotolerantes e Enterococcus: ação antimicrobiana e análise sensorial das amostras*. 81 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004.

PEREIRA, Marco Antônio dos Santos. *Estudo da ação da radiação gama de Co60 sobre Salmonella poona, Escherichia coli e Alicyclobacillus acidoterrestris em polpa de manga congelada*. 93f. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares/Universidade de São Paulo, 2009.

RIZZO, M.M., MACHADO, L.D.B., BORRELY, S.I., SAMPA, M.H.O., RELA, P.R., FARAH, J.P.S., SCHUMACHER, R.I. Effects of gamma rays on a restored painting from the XVIIth century. In: *Radiation Physics and Chemistry*, 63, pp. 259-262. 2002.

RIZZO, M.M., MACHADO, L.D.B., RELA, P.R., KODAMA, Y., Gamma rays irradiation process on a restored painting from the XVIIth century. *INAC 2009 - International Nuclear Atlantic Conference*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 27 de Setembro a 2 de Outubro de 2009, e, publicado na Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN. 2009.

- BERGER, G.A., Formulating adhesives for the conservation of paintings. In: *Conservation and restoration of pictorial art*. Brommelle and Smith (eds.), Butterworths-IIC, London, p. 169-181. 1976.
- HORIE, C.V. *Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings*. Hartnolls Ltd., Bodmin, Cornwall, (Reprinted). 1996.
- ABAD, G. *Green, red and yellow pigments in South America painting (1610-1780)*, personal communication with the author. 2000.
- SELDES, A., BURUCÍA, J. E., MAIER, M. S., ABAD, G., JÁUREGUI, A., SIRACUSANO, G., Blue pigments in South America painting (1610-1780). In: *JAIC*, Number 38 : 100-123. 1999.
- BELYAKOVA, L.A., Gamma-radiation as a disinfecting agent for books infected with mould spores. In: *Microbiology*, 29, 548-550. 1961.
- TOMAZELLO, M.G.C., *A aplicabilidade da radiação gama no controle de fungos que afetam papéis*. Tese de Doutorado, IPEN-CNEN/SP, USP. 1994.
- SELWITZ, C., MAEKAWA S. *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*, The J. Paul Getty Trust Ed. 1998.
- MAGAUDDA, G. The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved In: *Journal of Cultural Heritage*, 5 113–118. 2004.
- SILVA, M., MORAES, A.M.L., NISHIKAWAA M.M., GATTIC, M.J.A., ALENCARD, M.A.V., BRANDÃO L.E., NÓBREGA, A. Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. In: *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57 163–167 Elsevier, 2006.