

A CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA DE IONIZAÇÃO GAMA NA RECUPERAÇÃO DE ACERVOS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

The contribution of gamma ionization technology to the recovery of cultural heritage collections

Pablo Antonio Salvador Vasquez | Pesquisador Doutor do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação do Centro de Tecnologia das Radiações (CETER-IPEN) e Professor da Pós-Graduação do Programa de Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: pavsalva@usp.br

Maria Luiza Emi Nagai | Doutoranda e Mestre em Ciências, pelo Programa de Tecnologia Nuclear – IPEN/USP, Especialista em Conservação e Restauro da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: malunagai@usp.br

RESUMO

Os bens culturais materiais estão sujeitos a fatores de deterioração que afetam a legibilidade, a integridade física e a longevidade dos materiais. Controlar a contaminação por insetos e fungos, principalmente em materiais de origem orgânica, é um desafio para os conservadores, pois a biodeterioração acontece de forma veloz. Neste caso, ações de conservação devem ser tomadas imediatamente para estabilizar os danos e cessar a deterioração para que a contaminação não se espalhe pelos acervos. Este artigo pretende demonstrar que a ionização gama é uma opção eficiente e segura para eliminar insetos e fungos nos objetos do patrimônio cultural. Dentre as vantagens da aplicação da técnica, destacam-se: capacidade, tempo de processamento, tecnologia segura, dispensa de quarentena, ausência de impactos à saúde e ao meio ambiente. Os exemplos de aplicação da ionização gama em bens culturais físicos demonstram a eficácia e a viabilidade do processo para a preservação do patrimônio cultural.

Palavras-chaves: Tratamento com ionização gama. IPEN. Desinfestação e desinfecção de bens culturais. Preservação do patrimônio cultural. Conservação de bens culturais materiais

ABSTRACT

The cultural heritage objects are subject to deterioration factors that affect the readability, physical integrity and longevity of materials. Controlling contamination by insects and fungi is a challenge for conservators. The biodeterioration occurs in a fast way in artifacts made especially of cellulose, conservation actions must be taken immediately to stabilize the damage from deterioration and prevent the spread of contamination to other collections. Gamma ionizing is an efficient and safe option to eliminate insects and fungi from objects. Among the advantages of applying the irradiation technique, the highlights are: capacity, processing time, safe technology, no need for quarantine, no impact on human health and the environment. World and national examples of the application of gamma ionizing in physical cultural assets demonstrate the effectiveness and viability of the irradiation process for the preservation of cultural heritage.

Keywords: Gamma ionizing treatment. IPEN. Tangible cultural heritage disinfection. Conservation of cultural artifacts. Preservation of tangible cultural heritage

Introdução

O desenvolvimento de métodos de conservação para o patrimônio cultural está diretamente relacionado à necessidade da proteção dos bens culturais materiais e preservação da identidade cultural e histórica da humanidade. O século XXI evidenciou a necessidade da interdisciplinaridade pela demanda de conhecimentos científicos especializados e, assim, indicou a presença de profissionais de diversas formações dentro das instituições culturais e museus. Os processos de reconhecimento de deterioração e de restauro necessitariam cada vez mais de identificação por meio de técnicas analíticas, cujo manejo dos equipamentos depende de um profissional com expertise, por exemplo, na área de química, física e materiais. Nesta linha, os trabalhos científicos apresentaram um papel fundamental na contribuição para o gerenciamento das coleções e acervos, no sentido de aprofundar as questões do entendimento de como os materiais se comportam, face à ação dos agentes de deterioração e as alternativas dos tratamentos de conservação e restauro adequados a cada caso para assegurar a longevidade dos bens culturais.

A degradação de objetos de patrimônio cultural com base em matéria orgânica, em especial os celulósicos, é causada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos são aqueles inerentes ao próprio processo de fabricação do material, como a acidificação e oxidação dos componentes. Para os fatores extrínsecos, a questão de altos índices de umidade relativa do ar é aparentemente um dos fatores mais complexos nos acervos em geral, pois este é, principalmente, responsável pela aceleração da deterioração de alguns materiais utilizados na composição dos objetos do patrimônio cultural. E o desequilíbrio no teor de umidade do material favorece o crescimento de fungos em seu substrato. Os acervos documentais, culturais e históricos são facilmente contaminados por fungos e insetos e exigem um cuidado e atenção especial, pois estes agentes biológicos de degradação, em suas condições ideais, se proliferam em alta velocidade e podem degradar por completo os materiais se medidas de combate não forem adotadas imediatamente. Além disso, coloca em risco a saúde de todos que entram em contato com o material contaminado, chegando a impossibilitar o seu acesso (HAVERMANS, 2017).

Os materiais de base celulósica estão sujeitos à degradação por calor, umidade relativa do ar e reações fotoquímicas excessivas. Adicionalmente, a celulose é uma fonte de alimentação dos fungos e insetos. Como nem sempre é possível detectar a atividade de determinadas pragas em tempo hábil de impedir sua proliferação, o desenvolvimento de pesquisas ligadas às novas tecnologias para tratamento interventivo contra a biodeterioração do patrimônio faz-se imprescindível. As condições climáticas do Brasil são favoráveis ao crescimento dos fungos e insetos e seus acervos histórico-culturais estão constantemente ameaçados, e o monitoramento do local de guarda e as medidas preventivas contra a presença de insetos e microrganismos devem ser feitos regularmente. Além disso, fatores de degradação relacionados a desastres naturais, como enchentes, podem levar a contaminações em massa por fungos e insetos nos acervos. O tratamento para descontaminação deve considerar a desativação dos agentes biológicos de deterioração e o tratamento preventivo com controle dos parâmetros de climatização dos ambientes de armazenamento. O efeito biocida da ionização gama é destacado como uma ferramenta eficaz e única que viabiliza o tratamento em massa de materiais afetados pela biodeterioração. A utilização da ionização gama nos bens culturais materiais considera os princípios fundamentais de justificativa, otimização e limitação da dose absorvida e, ao mesmo tempo, respeita os princípios éticos da conservação do patrimônio cultural mantendo o objeto o mais próximo possível das suas condições originais pelo maior tempo possível.

Processamento por ionização gama de materiais do patrimônio cultural

Remontam ao fim da década de 1950 os primeiros experimentos relacionados aos efeitos da radiação ionizante para o combate de agentes biológicos na deterioração dos bens culturais. Estes experimentos foram realizados por Bletchy (1957, 1961, 1962), que irradiou com raios gama chapas de madeira contaminadas com insetos xilófagos e logrou a desinfestação com a dose de radiação de 0,5 kGy¹, sugerindo que o seu efeito biocida poderia ser utilizado para estabilizar a biodeterioração em objetos do patrimônio cultural. Logo, os primeiros estudos com relação à utilização desta técnica no tratamento de documentos infectados por fungos foram publicados na Rússia (RAMIERE, 1982) e sugeriu-se uma dose mínima de 6,5 kGy para desinfecção. Na Europa, a partir de 1970, o programa ARC-Nucléart, na França (TRAN e

¹ A ordem de grandeza da dose absorvida é expressa em Gray (Gy) ou quilograys (kGy) e cada Gray equivale a 1 Joule por quilograma de material (1 Gy = 1 J/kg).

CORTELLA, 2017), passou a desenvolver trabalhos em cooperação com diversas instituições culturais da Europa e resultou em uma grande aceitação pela comunidade ao se transferir a tecnologia de irradiadores com fontes de cobalto-60 para o tratamento com ionização gama.

Muitos casos bem-sucedidos foram publicados nos Estados Unidos, França, Holanda e Itália, mas somente nos últimos cinco anos conferiu-se destaque à utilização da ionização gama como uma ferramenta única e que viabiliza o tratamento em massa dos materiais. As primeiras pesquisas realizadas no Brasil foram efetivadas em 1994 e demonstraram a aplicabilidade da ionização gama para tratar documentos infectados por fungos (TOMAZELLO; WIENDL; MAXIMILIANO, 1995).

Sendo uma técnica relativamente nova no campo da conservação de bens culturais materiais, e que se encontra em processo de disseminação, principalmente entre as instituições culturais da América Latina, muitos profissionais ainda receiam escolher a tecnologia de ionização gama como um método de tratamento seguro e, portanto, a importância de se ampliar a divulgação das análises de resultados do tratamento por meio da pesquisa e estabelecimento de protocolos (NAGAI et al., 2019).

Além disso, a utilização de agentes químicos para controle da biodeterioração em acervos do patrimônio cultural, como brometo de metila e óxido de etileno (CHOI et al., 2012; AIEA, 2017), era prática comum nas instituições culturais principalmente no tratamento em massa de materiais contaminados. Porém, os efeitos tóxicos à saúde e ao meio ambiente inviabilizaram a aplicação dos agentes químicos no tratamento de acervos culturais. Desta forma, a ionização gama para desinfestação e desinfecção tornou-se uma alternativa segura. A regulamentação mais importante que disseminou e incentivou a utilização da ionização gama em vários países foi a proibição do uso do óxido de etileno (EtO), considerado um emissor de poluentes altamente contaminante² que apresenta propriedades cancerígenas. O uso do brometo de metila foi banido de forma gradual atendendo ao Protocolo de Montreal³, que regula o uso de compostos nocivos à camada de ozônio. A escolha do uso da ionização gama como um método de tratamento para a desinfestação (erradicação de insetos) e desinfecção (eliminação de fungos) de acervos, quando comparado a outros métodos tradicionais utilizados na área (**Tabela 1**), possibilita uma relativa facilidade de aplicação e eficácia imediata, não deixa resíduos químicos, não ativa os núcleos dos materiais e os produtos processados não requerem quarentena (SEVERIANO et al., 2011; DESPOT et al., 2012; GEBA et al., 2014). Outra vantagem está relacionada à possibilidade de erradicar insetos e fungos definitivamente, pois a ionização gama age em qualquer estágio do ciclo de vida destes (RAMIERE, 1982; ADAMO et al., 2003), o que garante confiabilidade ao tratamento da biodeterioração nos materiais.

Tabela 1 – Eficácia dos métodos tradicionais de desinfestação e desinfecção de acervos culturais

Método	Eficácia
Álcool 70%	Elimina o fungo, mas não produz efeito nos esporos.
Fumigação (óxido de etileno, brometo de metila)	Eficaz, porém cancerígeno. Uso descontinuado.
Anóxia	Não garante penetrabilidade no material e não elimina fungos e outros organismos anaeróbios
Congelamento	Elimina o fungo, mas os esporos permanecem em estado latente.
Higienização a seco	Remove o fungo superficialmente, mas o micélio permanece ramificado no material.

Fonte: Autores do artigo.

Várias pesquisas demonstraram que os possíveis efeitos secundários que a ionização gama pode induzir nos materiais não são significativos quando comparados com o seu processo natural de

² Por exemplo, a partir de 2002 o Japão incluiu o óxido de etileno na lista de materiais tóxicos (NEDO, 2004).

³ BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, página eletrônica, <http://www.mma.gov.br/clima/protexao-da-camada-de-ozonio/substancias-controladas-pelo-protocolo-de-montreal.html>, Substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, 2018.

envelhecimento (GONZALEZ et al., 2002; D'ALMEIDA et al., 2009; HEGAZY et al., 2009; CHOI et al., 2012; MICHAELSEN et al., 2013), mesmo em baixas doses, no que diz respeito ao grau de polimerização. Outros autores (BICCHIERI et al., 2016; DRÁBKOVÁ et al., 2018) apresentaram controvérsias em relação ao tratamento com irradiação em acervos, mas é preciso considerar que, caso um acervo atacado por fungos e/ou insetos não receba tratamento de conservação ou de intervenção adequados a um curto prazo, há grande probabilidade de sofrer intensa despolimerização dos materiais e de se deteriorar integralmente, tanto no que diz respeito à matéria do suporte quanto da informação. Pois, ainda que se considere uma relativa despolimerização atribuída ao tratamento com ionização gama, as macro propriedades dos materiais não são afetadas (BRATU et al., 2009; HAVERMANS, 2017; IAEA, 2017; MOISE et al., 2017; COPPOLA et al., 2018). Para os processos de desinfestação devidos a ataques de várias espécies de insetos ao mesmo tempo, estudos de CANEVA et al (1991), NITTERUS (2000), ADAMO et al. (2003) e MAGAUDDA (2004) demonstraram que doses de radiação absorvida entre 1 e 3 kGy foram suficientes para promover a erradicação de insetos e em todos os estágios do ciclo de vida. A eficácia da ionização gama para eliminação das espécies comuns de fungos encontradas no ambiente de acervos, tais como: *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Eurotium*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Trichosporon* foi demonstrada em estudos de TOMAZELLO et al. (1995) MITRAN et al. (2002), ADAMO et al. (2003), DA SILVA et al. 2006) e comprovou-se que a dose recomendada para desinfecção deve ser aplicada entre 6 kGy e 10 kGy.

Além do efeito biocida para a desinfestação e desinfecção dos bens culturais materiais, a técnica de ionização gama pode ser aplicada para a consolidação de suportes fragilizados ou materiais porosos com o uso de resinas de preenchimento que são reticuladas por meio dos raios gama. Por ser um tratamento irreversível, a prática da consolidação deve ser limitada a casos em que se justifique a importância do reforço das propriedades mecânicas (CORTELLA et al., 2015).

A tecnologia do processo de ionização gama

A ionização gama atua a partir da interação de raios gama com os materiais e organismos. A interação da ionização gama para eliminação de insetos e fungos produz efeitos diretos e indiretos nas moléculas de DNA dos organismos vivos. Os efeitos diretos acontecem no DNA, produzindo danos diretos na molécula. Os efeitos indiretos estão relacionados à quebra das moléculas de água das células que geram os radicais livres. Esses radicais livres são altamente reativos e vão provocar quebras e danos no DNA dos agentes biológicos de degradação. As quebras de ligações químicas são consequências dos efeitos da interação dos raios gama com os materiais.

A quantificação da ionização gama é expressa pelo termo “dose absorvida”. A dose absorvida é relacionada à quantidade de energia que é absorvida pela quantidade de massa do material. O estabelecimento da dose absorvida nos tratamentos de ionização gama em artefatos do patrimônio cultural é embasado em testes e pesquisas com a avaliação dos efeitos nos materiais e na descontaminação. O efeito que se deseja, seja para tratar a biodeterioração ou para consolidar materiais porosos, é garantido pelo sistema de dosimetria que é responsável pela qualificação do processo de ionização gama. A ordem de grandeza da dose absorvida é expressa em Gray (Gy) ou quilograys (kGy) e cada Gray equivale a 1 Joule por quilograma de material ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

A aplicação da ionização gama envolve a utilização de irradiadores que contêm fontes seladas de cobalto-60, um radionuclídeo que emite os raios gama. O processamento por ionização gama apresenta as seguintes vantagens para o tratamento de acervos do patrimônio cultural:

- a. é uma tecnologia bem estabelecida e segura para diversos materiais;
- b. permite tratar os materiais sem necessidade de retirá-los da embalagem final, assim, não requer quarentena após o processo de descontaminação;
- c. o tratamento não associa nenhum risco ao conservador, restaurador, curador, visitante ou ambiente; tampouco para o operador da instalação que geralmente realiza suas atividades dentro uma sala de controle;
- d. os artefatos tratados não se tornam radioativos (não ficam ativados e não emitem radiação) e nenhum resíduo tóxico permanece no objeto após o tratamento;

- e. o processo é de alta eficiência devido às características de penetração da ionização gama. Quando é utilizado um gás para esterilizar (como o tratamento por atmosfera anóxica) a eficiência deste tratamento está limitada pela sua difusão dentro do material, sendo este um parâmetro de difícil medida;
- f. a ionização gama atua simultaneamente em todos os contaminantes biológicos;
- g. objetos de grandes dimensões e grandes quantidades podem ser simultaneamente tratados;
- h. o tratamento em instalações industriais é realizado em intervalos de tempo curtos (dias ou horas);
- i. quando a ionização gama é devidamente aplicada para descontaminação, não há modificações das propriedades básicas da madeira, papel, couro, pergaminho, seda, algodão, lã e outros produtos como têxteis e móveis;
- j. matérias-primas utilizadas para a restauração (colas, resinas, tintas e vernizes) podem ser tratadas por ionização gama;
- k. o tratamento é realizado à temperatura ambiente;
- l. os objetos são tratados em suas embalagens originais, sem necessidade de manipulação do conteúdo.

Doses aplicadas

Insetos

São mais de 70 espécies de insetos que ameaçam os artefatos do patrimônio cultural. Os insetos se alimentam da celulose presente em objetos de madeira, papel e tecido; de proteínas presentes em lã, couro e pergaminho; e de amido encontrado em colas utilizadas em encadernações. As condições favoráveis para o desenvolvimento dos insetos são ambientes com temperaturas entre 20 e 30 °C e umidade relativa do ar de 60 a 80%. Os insetos podem apresentar até 4 estágios do ciclo de vida (ovo, larva, pupa, fase adulta), sendo o ovo a forma mais resistente e a larva a forma que mais precisa de alimento. A ionização gama atua em todos os estágios de crescimento dos insetos, sendo recomendadas doses de aplicação de 0,5 kGy a 1 kGy e de 2 kGy a 3 kGy para a erradicação imediata (CORTELLA et al., 2015).

Fungos

Há uma imensa diversidade de fungos que ameaçam os bens culturais materiais. Os fungos afetam a estrutura e a função dos materiais e causam danos tais como: excreção de pigmentos, produção de metabólitos ácidos, dissolvem aditivos e monômeros, criam máscara superficial e penetram nos materiais interagindo de forma perturbadora. Ambientes de alta umidade relativa do ar desencadeiam rápida colonização dos fungos e aceleram a degradação dos materiais. Nos estágios iniciais, os fungos causam intensa despolimerização da celulose e perdas da resistência mecânica dos materiais (IAEA, 2017). Além disso, algumas espécies são patogênicas a humanos. A dose aplicada para eliminação de fungos (desinfecção) está entre 6 kGy e 10 kGy.

Requisitos para o tratamento de ionização gama

O método é recomendado sem hesitação nas seguintes situações:

- quando requer uma intervenção rápida ou curta, como nos casos de desastres, infestações ou infecções em massa;
- volumes grandes de objetos;
- quando há uma grande quantidade de material a ser tratado;
- após tentativas de outros tratamentos que não obtiveram sucesso na descontaminação.

Alguns tipos de materiais podem sofrer efeitos secundários por conta da ionização gama, como o caso de corantes, vidros, pedras translúcidas, âmbar, marfim e ossos. A opção pelo tratamento com ionização gama deve sempre ser avaliada com os especialistas.

O processamento por ionização gama é um tratamento curativo, portanto, é fundamental o comprometimento

dos conservadores e restauradores com a garantia das condições adequadas do armazenamento dos objetos tratados, a fim de que não haja nova contaminação biológica.

Casos bem-sucedidos da aplicação da ionização gama em acervos, realizados no IPEN

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do Governo Federal. O Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 do IPEN atende às necessidades da atuação do Instituto com esterilização de produtos e pesquisas, colabora em parceria com instituições culturais e museus do Brasil e realiza pesquisas para o tratamento do patrimônio cultural com a ionização gama. A seguir são relatados alguns casos de atendimento do IPEN na salvaguarda dos bens materiais do patrimônio cultural.

Biblioteca do Conjunto das Químicas da Universidade de São Paulo (USP)

A Divisão de Biblioteca e Documentação do Conjunto das Químicas (DBDCQ) é integrada pelos acervos bibliográficos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas e do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP). Seu acervo é constituído de 111.181 volumes tombados, incluindo livros, teses e volumes de periódicos encadernados. Há, ainda, 229.372 fascículos de periódicos desencadernados, além de 55.105 patentes estrangeiras em forma de microfichas e 312 fitas de vídeo. Parte do acervo, cerca de 12.000 volumes, necessitava de intervenções imediatas emergenciais face à infestação por brocas (Anobiídeos) (**Figura 1**). Optou-se pelo tratamento de desinfestação e desinfecção e aplicou-se o intervalo de dose absorvida de 6 a 10 kGy. Após a intervenção, os exemplares foram higienizados manualmente para retirada dos resíduos dos insetos e fungos.

Fonte: Fotografias de Fátima Aparecida Colombo Palleta - 2018



Figura. 1 - No sentido horário: resíduos da infestação por brocas nas estantes de livros e periódicos do acervo da Biblioteca, preparação para o envio com os exemplares acondicionados em caixas para transporte, as caixas nas instalações do Irradiador Multipropósito do IPEN

Companhia City (Cia. City)

A Cia. City é uma empresa de desenvolvimento urbano, fundada em 1911, por investidores franceses, ingleses e brasileiros. Ao longo de todo o século XX, a empresa foi destaque na história da cidade de São Paulo, pois foi responsável pelo planejamento dos bairros tradicionais da cidade. O seu acervo é constituído de documentos em papel, plantas arquitetônicas, projetos, cartazes, propagandas publicitárias, registros e documentos societários, contábeis e financeiros (**Figura 2**). No início do ano de 2015, uma incidência de chuva alagou parte do acervo e a empresa, em entendimento com o IPEN, optou pelo tratamento com a dose absorvida para esterilização, que é de 25 kGy. O processo todo durou 6 meses, devido ao grande volume tratado. Foram 2.500 caixas arquivo e cerca de 4.000 plantas arquitetônicas (**Figura 3**). Após o tratamento com ionização gama, o acervo todo foi armazenado em um novo local.

Fonte: Imagens de Fernanda dos Santos Fernandes – 2019



Figura 2 - Exemplos dos documentos do acervo da Cia. City tratados por ionização gama

Fonte: Fotografias de Pablo Antonio Salvador Vasquez - 2015



Figura 3 - Chegada das caixas dos documentos da Cia. City nas instalações do Irradiador Multipropósito do IPEN e dentro da câmara de processamento

Museu Paulista – USP

Um conjunto de 42 itens da coleção de mobiliário de madeira do Museu Paulista, objetos de grandes dimensões, apresentavam infestação ativa ou suspeita por insetos xilófagos (**Figura 4**). O tratamento por ionização permitiu a desinfestação de objetos de grandes dimensões, como leitos desmontados, vitrines e armários de madeira, e outros objetos menores (**Figura 5**). Entre os itens tratados, estão o leito que pertenceu à Marquesa de Santos, datado de 1890, confeccionado na França em madeira de nogueira e bronze dourado e mobiliário pertencente a Santos Dumont, também fabricado na França em madeira de nogueira. A dose absorvida aplicada para o tratamento de desinfestação foi de 3 kGy. Os objetos foram submetidos a tratamento de conservação após o tratamento por ionização gama para serem alocados em uma nova reserva técnica.

Fonte: Fotografias de Fabiola Zambrano Figueroa - 2019



Figura 4 - Itens do mobiliário de grandes dimensões que apresentavam biodeterioração e foram tratados no IPEN

Fonte: Fotografias de Fabiola Zambrano Figueroa - 2019



Figura 5 - Chegada e processamento do mobiliário nas instalações do IPEN

Considerações finais

A tecnologia da ionização gama pode ser considerada uma ferramenta da conservação preventiva na medida em que garante uma efetividade na descontaminação biológica dos objetos do patrimônio cultural afetados por processos de biodeterioração.

A eficiência do tratamento com a ionização gama está fortemente relacionada a um plano de conservação preventiva posterior ao processamento, que inclua o monitoramento constante dos parâmetros climáticos, com temperatura e umidade relativa do ar em índices estáveis, e da qualidade do ar com a troca constante dos filtros de ar dos sistemas de ar condicionado ou das entradas de ar externo, bem como o gerenciamento de riscos.

Outras ações da conservação preventiva com a higienização, os pequenos reparos e a escolha de materiais adequados para o acondicionamento, também influenciam a longevidade dos materiais. Evidentemente que o comportamento intrínseco de degradação dos materiais conduzirá a uma perda permanente da informação. A conservação preventiva visa estender a vida útil dos materiais e, assim, assegurar por mais tempo a acessibilidade às informações. Nesse sentido, o tratamento com ionização gama é uma alternativa viável que contribui para a preservação das coleções de bens materiais dos acervos, especialmente em situações que exigem rápida intervenção por conta de contaminações em massa por agentes biológicos de degradação.

Bibliografia

ADAMO, M. et al. Susceptibility of Cellulose to Attack by Cellulolytic Microfungi after Gamma Irradiation and Ageing. *Restaurator*, v. 24, n. 3, p. 145–151, 2003.

BICCHIERI, M. et al. Effects of gamma irradiation on deteriorated paper. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 125, p. 21–26, 2016.

BLETCHLY, J.D. The effect of gamma radiation on some wood-boring insects. *Annals of Applied Biology*, v. 49, n. 2, p. 362–370, 1961.

BLETCHLY, J. D. Effects on subsequent generations after γ -irradiation of larvae of *Lyctus brunneus* (Steph.) (Coleoptera, Lyctidae). *Annals of Applied Biology*, v. 50, n. 4, p. 661–667, 1962.

BLETCHLY, J.D.; FISHER, R.C. Use of Gamma Radiation for the Destruction of Wood-boring insects. *Nature*, v. 179, n. March 30, p. 670, 1957.

BRATU, E. et al. Archives decontamination by gamma irradiation. *Nukleonika*, v. 54, n. 2, p. 77–84, 2009.

CANEVA, G.; NUGARI, M.P.; SALVADORI, O. *Biology in the conservation of Works of art*. Rome: International Centre for the Study of the Preservation- ICCROM, 1991.

CHOI, J. et al. Effect of radiation on disinfection and mechanical properties of Korean traditional paper, Hanji. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 81, p. 1051–1054, 2012.

COPPOLA, F. et al. Effects of γ -ray treatment on paper. *Polymer Degradation and Stability*, v. 150, n. December 2017, p. 25–30, 2018.

CORTELLA, L. et al. *Nuclear Techniques for Preservation of Cultural Heritage Artefacts*. Vienna: 2015. 1–44p. (Technical Report for the International Atomic Energy Agency).

D'ALMEIDA, M.L.O. et al. Radiation effects on the integrity of paper. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 78, n. 7–8, p. 489–492, 2009.

DA SILVA, M. et al. Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v. 57, n. 3, p. 163–167, 2006.

DESPOT, R. et al. Changes in Selected Properties of Wood Caused by Gamma Radiation. In: ADROVIC, F. *Gamma Radiation*. Croatia: InTech, 2012. cap. 14. p. 281–304.

DRÁBKOVÁ, K.; ĐUROVIČ, M.; KUČEROVÁ, I. Influence of gamma radiation on properties of paper and textile fibres during disinfection. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 152, n. July, p. 75–80, 2018.

GEBA, M. et al. Gamma irradiation of protein-based textiles for historical collections decontamination. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 118, n. 2, p. 977–985, 2014.

GONZALEZ, M.E.; CALVO, A.M.; KAIRIYAMA, E. Gamma radiation for preservation of biologically damaged paper. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, n. 3–6, p. 263–265, 2002.

HAVERMANS, J. Introduction. Uses of ionizing radiation for tangible cultural heritage conservation. 2017. cap. 1. p. 1–8.

HEGAZY, E.A. et al. Controlling of degradation effects in radiation processing of polymers. *Controlling of Degradation Effects in Radiation Processing of Polymers*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009. p. 64–84.

IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation*. Vienna: IAEA, 2017. 92 p.

MAGAUDDA, G. The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: Some considerations on the results achieved. *Journal of Cultural Heritage*, v. 5, n. 1, p. 113–118, 2004.

MICHAELSEN, A. et al. Monitoring the effects of different conservation treatments on paper-infecting fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v. 84, p. 333–341, 2013.

MOISE, I. V. et al. Radiation processing for cultural heritage preservation- Romanian experience. *Nukleonika*, v. 62, n. 4, p. 253–260, 2017.

NAGAI, M.L.E.; SANTOS, P.S.; VASQUEZ, P.A.S. Irradiation protocol for cultural heritage conservation treatment. In: *International Nuclear Atlantic Conference- INAC 2019*, Santos: Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2019.

NEDO (NEW ENERGY AND INDUSTRIAL TECHNOLOGY DEVELOPMENT; ORGANIZATION). Hazard Assessment Report Cabinet order number in the gazetted list (Law for PRTR and Promotion of Chemical Management): 1-116 CAS registry number : 107-06-2 New Energy and Industrial Technology Development Organization Outsourcer : Chemicals Evaluation. 2004. 42p.

NEGUT, C.D.; BERCU, V.; DULIU, O.G. Defects induced by gamma irradiation in historical pigments. *Journal of Cultural Heritage*, v. 13, n. 4, p. 397–403, 2012.

NITTERUS, M. Fungi in archives and libraries. *Restaurator*, v. 21, n. 1, p. 25–40, 2000.

RAMIERE, R. Protection de l'environnement culturel par les techniques nucleaires. In: *Industrial application of radioisotopes and radiation technology*, Vienna: International Atomic Energy Agency, 1982. p. 255–270.

SEVERIANO, L.C. et al. Evaluation of the effects of gamma radiation on thermal properties of wood species used in Brazilian artistic and cultural heritage. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 106, n. 3, p. 783–786, 2011.

TOMAZELLO, G.C.; WIENDL, M.; MAXIMILIANO, F. The applicability of gamma-radiation to the control of fungi in naturally contaminated paper. *Restaurator-International Journal For the Preservation of Library and Archival Material*, v. 16, n. 2, p. 93–99, 1995.

TRAN, Q.K.; CORTELLA, L. The state of the art in radiation processing for cultural heritage in France. *Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation*. Radiation.ed. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2017. cap. 26. p. 221–228.