

ALGUNS ASPECTOS DA GAMAGRAFIA COMO CONTRÔLE NÃO DESTRUTIVO ⁽¹⁾

ANGELO A. MAESTRINI ⁽²⁾

RESUMO

O Autor apresenta a gamagrafia como instrumento de grande utilidade para a indústria. Conceitua a radiografia e a gamagrafia, e faz comentários sobre o campo de aplicação desta. Faz um confronto entre a gamagrafia e outros processos de controle não destrutivo e fornece dados econômicos e características dos radioisótopos empregados. Tece considerações sobre técnicas especiais, como xerografia e neutrografia; sobre as tendências modernas e seu emprêgo no Brasil.

1. DEFINIÇÃO E HISTÓRICO

Os raios γ e os raios X têm a mesma natureza e propriedades. São denominados raios X as radiações eletromagnéticas de curto comprimento de onda provenientes das camadas eletrônicas dos átomos e raios γ as provenientes do núcleo de átomos excitados. Segundo o acima exposto, deveríamos chamar radiografia a tóda fotografia obtida com raios X e gamagrafia a tóda fotografia obtida com raios γ . Preferimos porém outra classificação ¹:

Radiografia é tóda fotografia obtida com raios X provenientes de aparelhagem eletrônica. Gamagrafia é tóda fotografia obtida com radioisótopos, naturais ou artificiais, sejam êles emissores γ ou X.

A gamagrafia é um dos métodos usados no exame da estrutura interna de objetos opacos, podendo revelar falhas, inclusões, porosidades, trincas, etc. Isto é feito fazendo-se com que um feixe de radiação penetrante atravesse o material e im-

(1) Contribuição Técnica n.º 517. Apresentada ao XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro do Instituto de Pesquisas Radioativas da Escola de Engenharia da Univ. de Minas Gerais; Belo Horizonte, MG.

pressiona um filme, ecran fluorescente, ou um outro detector qualquer de radiação. O esquema da figura 1 ilustra o princípio da gamagrafia.

A gamagrafia surgiu com o descobrimento da radioatividade, e já Becquerel, em 1895, fez gamagrafias de sua mão e alguns objetos. Durante muitos anos foi usado o Ra, elemento radioativo natural, porém muito caro e difícil de ser obtido; pode dizer-se que a gamagrafia não era mais que uma curiosidade. Com o advento dos reatores nucleares de após-guerra, surgiram os radioisótopos artificiais, muitas vezes mais baratos e mais facilmente manuseáveis.

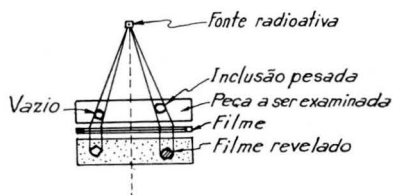


Fig. 1 — Princípio da gamagrafia: um feixe de radiações penetrantes, — oriundas de radioisótopos naturais ou artificiais, emissores de γ ou de X, — atravessa a peça a ser examinada e impressiona um filme, ecran fluorescente ou outro detector de radiação.

2. UTILIZAÇÃO

A radiação γ emitida pelos isótopos radioativos é monoenergética e conseqüentemente monocromática, acontecendo quase sempre que um radioisótopo emite dois ou mais raios γ com diferentes comprimentos de onda, sendo neste caso chamado policromático. Há uma relação entre a energia do raio γ e seu poder de penetração, sendo que quanto mais energético maior o poder de penetração do raio γ .

Os dois principais campos, entre vários, de aplicação da gamagrafia são: inspeção de soldas e siderurgia. No caso de soldas, a maior parte das peças tem espessuras inferiores a 2 cm e o uso dos raios X de baixa energia e alto fluxo é mais indicado. Nos casos em que as soldas a serem examinadas tenham espessura superior a 2 cm o emprêgo da gamagrafia traz vantagens. Há certos casos em que a gamagrafia é, praticamente, o único meio de inspecionar soldas, como por exemplo, em condutos de vapor ou tubos circulares de pequeno diâmetro que irão trabalhar sob severas condições de operação. Podemos citar também a inspeção de tubos longos, nos quais um aparelho de gamagrafia especial pode ser introduzido.

Em siderurgia a gamagrafia se aplica ao exame de lingotes ou de produtos acabados, forjados ou laminados. Em virtude de não poder ser feita uma paralisação demorada para a exposição, o exame dos lingotes e blooms exige técnicas especiais, usando-se um sistema de varredura com o auxílio de contadores. Citamos como exemplo pesquisas levadas a efeito no IRSID², onde o controle de blooms de 20 cm, a quente, foi feito com uma fonte de 1,4 curies de Cobalto 60, adotando-se velocidades de 1 a 15 m/min. Com uma fonte de 20 curies de Cobalto 60 pôde-se operar a velocidade de 100 a 200 m/min.

O exame clássico, por meio de chapa fotográfica, é usado quando o material pode ficar imobilizado durante o tempo necessário para a exposição. A gamagrafia se revela extremamente útil para o exame de peças fundidas, que tenham espessuras entre 3 a 15 cm e que, devido à responsabilidade que seu uso acarretará, devem necessariamente ser inspecionadas.

3. COMPARAÇÃO ENTRE A GAMAGRAFIA E OUTROS MÉTODOS DE CONTRÔLE NÃO DESTRUTIVO

Gamagrafia versus Radiografia — Como poderia parecer à primeira vista, uma técnica não elimina a outra. Se bem que a gamagrafia possa ser empregada em quase todos os casos em que os raios X são indicados, o contrário não se verifica. Há vantagens dos raios X em alguns aspectos como:

- 1 — Como o aparelho de raios X emite um fluxo bastante intenso, o tempo de exposição é bem reduzido, podendo obter-se uma chapa em alguns minutos quando se precisa de horas para obter o mesmo resultado pela gamagrafia, onde o fluxo é pouco intenso.
- 2 — O problema de segurança é menor no caso dos raios X, porque o aparelho pode ser desligado, o mesmo não se dando com os raios γ que fazem com que a fonte deva ser armazenada dentro de forte blindagem.
- 3 — No aparelho de raios X o operador pode variar a energia da radiação de modo a trabalhar com uma energia adequada à espessura a ser examinada. Isto não é possível na gamagrafia porque os radioisótopos emitem γ com características definidas, recorrendo-se, por isto, a vários radioisótopos com características energéticas diferentes, escolhendo-se aquele que seja mais adequado à espessura a ser examinada. Este fato acarreta uma pequena perda de nitidez nas chapas obtidas por gamagrafia.
- 4 — A fonte de raios X, mais do que a fonte de raios γ , se aproxima da forma punctual, o que é uma vantagem, do ponto de vista geométrico, beneficiando, assim, a imagem obtida pelos raios X.

Em compensação devemos considerar que:

- 1 — A aparelhagem de gamagrafia é mais robusta e fácil de ser locomovida.
- 2 — O aparelho de gamagrafia não depende, necessariamente, de corrente elétrica e nem de água para refrigeração. O pequeno tamanho da fonte permite sua colocação em lugares de acesso difícil, podendo ser levada a muitos metros de distância do aparelho.
- 3 — Devido ao fato de os raios γ serem emitidos em tôdas as direções é possível se efetuar exposições simultâneas (panorâmicas) de dezenas de peças, o que compensa o longo tempo de exposição.
- 4 — Torna-se possível, com aparelhagem pouco dispendiosa, examinar grandes espessuras de metal (até 20 cm de aço com uma fonte de Cobalto 60).
- 5 — A aparelhagem de gamagrafia é relativamente barata e a despesa de manutenção quase nula. O preço das fontes radioativas é razoavelmente baixo, como pode ser visto no quadro comparativo (Quadro I)².

QUADRO I — Comparação dos preços de custo de alguns radioisótopos com instalações equivalentes de RX

Radioisótopo	Atividade em Curies	Preços do radioisótopo em dólares	Preço dos acessórios em dólares	Instalação equivalente de RX	
				Potência	Preços em dólares
Cobalto 60	0,5	200	260	2 MV	90.000
Cobalto 60	10	600	1.800	2 MV	90.000
Césio 137	10	1.500	1.800	1 MV	30.000
Túlio 170	10	—	100	200 kV	10.000

Apresentamos também um estudo comparativo dos preços de custo de radiografias e gamagrafia feito por G. C. Carlstrom ("Journal de Fonderie", fev. 1954, pág. 3791)¹, onde são evidenciadas algumas vantagens econômicas da gamagrafia sôbre a radiografia. Devemos notar que devido ao constante progresso por que tem passado a gamagrafia há uma tendência de seu custo ser cada vez mais reduzido.

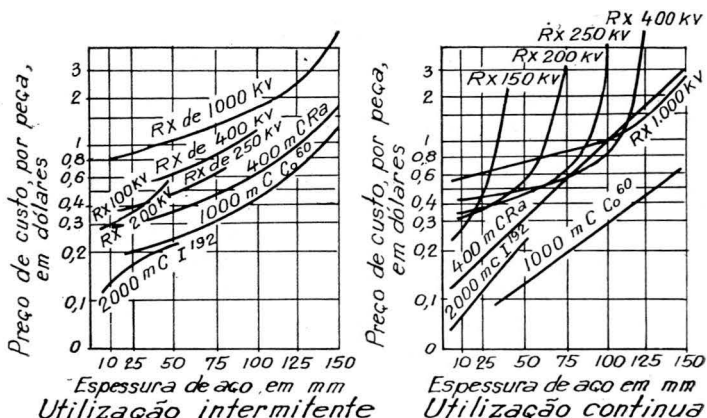


Fig. 2 — Estudo comparativo dos preços de operação da radiografia e da gamagrafia, no controle de peças de aço. O constante progresso da gamagrafia tende a lhe baixar o custo operacional.

O quadro seguinte, elaborado por Carlstrom², nos mostra outra comparação vantajosa para a gamagrafia:

QUADRO II — Número máximo de objetos examinados por semana

Espessura de aço (mm)	RX 250 kv	1 curie Cobalto 60	2 curies Iridio 192
10	600	—	2.160
25	600	—	1.550
50	495	1.290	750
75	400	830	—
100	55	575	—
125	—	320	—
150	—	200	—

Os aparelhos de gamagrafia variam de preço em função da atividade da fonte e da energia do raio γ que o radioisótopo emite. Quanto maiores a atividade e a energia, maior deve ser o aparelho e, conseqüentemente o preço. Pode-se ver isto no quadro anterior. Eis alguns preços recentes de fontes, divulgados pelo Commissariat à l'Energie Atomique, em 1960:

Co ⁶⁰	—	1 curie	—	130 dólares
Co ⁶⁰	—	10 curies	—	180 dólares
Ir ¹⁹²	—	20 curies	—	150 dólares

Êstes preços não incluem manipulação, blindagem e transporte. Para pequenas espessuras, abaixo de 30 mm, a vantagem da gamagrafia em apreço é superada pela melhor qualidade de imagem da radiografia.

Ultra-sons e Magnetoscopia — São êstes, dois outros métodos de contrôle não destrutivo dignos de menção. Os *ultra-sons* dão ótimos resultados, especialmente acima de 10 cm de aço e, revelam defeitos cujos planos são perpendiculares à direção do feixe. É um método rápido e seguro para o operador. Apresentam, porém, alguns inconvenientes, e por isto, algumas vêzes, são substituídos, com vantagem, pela gamagrafia:

- 1 — O ferro fundido é mau condutor das ondas ultra-sonoras por causa da grafita.
- 2 — A sondagem de peças de formato complicado é difícil.
- 3 — É necessário um bom contacto com o material, o que, às vêzes, é problemático nas peças de fundição.
- 4 — O sinal resposta do aparelho é de interpretação mais difícil do que uma chapa fotográfica. Os defeitos próximos da superfície podem escapar à deteção.

A *Magnetoscopia* é bastante simples e eficaz, permitindo localizar pequenos defeitos e não depende do bom estado da superfície. Porém, só se aplica a metais magnéticos, o que limita o seu uso, e ainda mais, pouco revela sôbre os defeitos mais profundos.

4. OS RADIOISÓTOPOS USADOS EM GAMAGRAFIA

Para que um radioisótopo emissor γ possa ser usado como fonte para gamagrafia é necessário que satisfaça a certas condições como:

- 1 — Emitir um fluxo bastante intenso de radiação.
- 2 — Ter a radiação γ emitida uma energia suficiente para penetrar no material a ser examinado.
- 3 — Ter uma duração razoavelmente grande (de preferência meses ou anos). Esta duração é definida pela *meia vida* do radioisótopo, que é o tempo necessário para que metade dos átomos radioativos existentes na fonte se desintegrem emitindo radiação.
- 4 — Ter um volume tão reduzido que possa ser considerado como fonte punctual.

Se bem que haja mais de 20 radioisótopos que preencham estas qualidades, apenas 4 são usados rotineiramente, já que apresentam outras características mais vantajosas como, por

exemplo, facilidade de obtenção, etc. Eis um quadro com quatro radioisótopos mais usados e suas principais características e aplicações.

QUADRO III — Radioisótopos mais usados em gamagrafia

Radioisótopos	Radiação emitida		Meia vida	Utilização
	Energia (Mev)	Proporção		
Cobalto 60	1,17	0,5	5,3 anos	3 a 15 cm aço
	1,33	0,5		
Césio 137	0,66		30 anos	2 a 9 cm aço
Iródio 192	0,31	0,84	74 dias	2 a 8 cm aço ligas leves 3 cm
	0,47	0,14		
	0,60	0,02		
Túlio 170	0,084		127 dias	0,1 a 2 cm aço ligas leves 1 a 4 cm

O Cobalto 60 é o radioisótopo mais empregado em gamagrafia, já que possui uma radiação muito penetrante. Em seguida vem o Iródio 192 que, pelo fato de possuir um espectro de radiação complexo é mais útil que o Césio 137, que é monocromático. O radioisótopo com espectro complexo de radiação permite obter melhor imagem quando a peça não tem espessura uniforme. Além disto o Iródio 192 pode ser conseguido com uma atividade específica, isto é, número de átomos radioativos por grama de elemento, muitas vezes superior ao Césio 137.

5. PROTEÇÃO CONTRA A RADIAÇÃO

O perigo que a radiação γ ou X apresenta para o corpo humano não deve ser exagerado nem subestimado, porém, respeitado. Pode obter-se proteção eficaz adotando-se certos cuidados no manuseio da fonte radioativa e fazendo periodicamente o controle da dose recebida. A dose permissível é definida como uma quantidade de radiação ionizante recebida pelo corpo humano que, no atual estado de nossos conhecimentos, não nos

parece susceptível de causar lesões perceptíveis a um indivíduo durante toda a sua vida. A dose semanal máxima permitida é de 100 mr.

Devemos salientar que um dos meios mais eficazes de proteção é simplesmente manter-se o mais longe possível da fonte. Para maior segurança do pessoal que lida com os aparelhos de gamagrafia, as fábricas os constroem de modo a só poderem ser utilizados por pessoas capacitadas e todos os cuidados são adotados para que a fonte não fique exposta acidentalmente. É bom que se diga que tanto a radiografia como a gamagrafia só deve ser usada sob a orientação de um profissional habilitado.

6. TÉCNICAS ESPECIAIS

Além da radiografia e da gamagrafia, que são processos mais clássicos de controle não destrutivo, há algumas variantes utilizadas em casos especiais. Na bibliografia o leitor encontrará referências sobre estas técnicas que aqui serão descritas sumariamente.

a) *Xerografia* — É uma técnica variante da gamagrafia, na qual se substitui a chapa fotográfica por uma placa semicondutora carregada uniformemente, por indução. O material semicondutor é isolante e mantém a carga. A radiação ionizante ao atravessar a peça descarrega a placa em determinado ponto. No final da exposição fica uma imagem eletrostática latente na placa semicondutora que é, então, revelada por meio de um finíssimo pó resinoso com carga de sinal contrário à placa. Esta técnica tem a vantagem de fornecer uma imagem melhor e pode ser revelada instantaneamente. Devemos ainda mencionar que uma placa pode ser utilizada milhares de vezes.

b) *Neutrografia* — É o nome que toma a técnica quando se substitui a fonte γ ou X por uma fonte de neutrons. Há três tipos de fontes usadas: o reator nuclear, um radioisótopo ou um acelerador de partículas. A neutrografia apresenta algumas vantagens como:

- 1 — Permite examinar grandes espessuras de metal, pois os neutrons têm um enorme poder de penetração.
- 2 — Possibilidade de detetar alguns materiais leves, como Hidrogênio, Boro, Lítio, em meio mais pesado, que absorve os raios X ou γ .
- 3 — Permite melhor definição no caso de peças constituídas de metais diferentes.

7. RECENTES PROGRESSOS

Há uma tendência em se substituir o Túlio 170 por outras fontes radioativas que ofereçam melhores resultados em gamaografias de peças de pequena espessura ou de ligas leves, porque aquele não pode ser obtido com alta atividade específica, apresenta sempre impurezas, e emite raios X de alta energia, o que prejudica sua atuação. Estão em estudo e mesmo já em aplicações restritas, outras fontes como:

QUADRO IV — **Novos radioisótopos usados como fonte de baixa energia**

Radioisótopo	Meia vida	Energia do γ (Kev)
Gadolínio 153	236 dias	69 — 98 — 103
Samário 153	47 horas	100 — 70
Samário 145	340 dias	61
Americio 241	470 anos	60
Europio 155	17 anos	105 — 86

Estes novos radioisótopos emitem γ de baixa energia que *não* são acompanhados de raios X de alta energia. No campo de energias mais altas, a tendência é substituir o Césio 137 (30 anos) pelo Césio 134 que, apesar de ter meia vida menor (2 anos) possui um espectro completo, o que vem beneficiar a qualidade da imagem.

O Iridio 192 (74 dias) tende a ser substituído por uma mistura de Iridio 192 com Tântalo 182 (115 dias), que tem o seu espectro γ aumentado.

Outro tipo de fonte para gamaografia pode ser conseguido misturando-se um emissor β de meia vida longa, como o Promécio 147 (26 anos), o Tálcio 204 (3,6 anos) ou o Estrôncio 90 (28 anos) com um material de número atômico alto como Tungstênio ou o Iôdo. Os raios β ao serem freiados no campo elétrico dos átomos pesados produzem raios X (Bremstrahlung) que podem ser utilizados como fonte de raios X. Já existem fontes de Iodeto de Tálcio e de Tungstato de Promécio, que tendem a substituir as fontes de Túlio 170.

8. POSSIBILIDADES BRASILEIRAS

No Brasil já existem vários aparelhos de gamaografia, a maior parte importada (USA, França). Isto acontece em vir-

tude do pequeno mercado consumidor brasileiro, e não devido à dificuldade de fabricação, pois são relativamente simples. Quanto à confecção de fontes, as de Iridio 192 e Túlio 170 podem ser feitas no reator de São Paulo. As de Cobalto 60 e Césio 137 deverão ainda ser importadas, pois só podem ser feitas em grandes reatores.

Há pelo menos duas firmas brasileiras especializada em radiografia industrial, que possuem aparelhagem de gamagrafia para uso rotineiro. Além destes, há aparelhos de gamagrafia em alguns centros de estudo ou escolas destinados a pesquisas e demonstrações como é o caso do Instituto de Pesquisas Radioativas que possui dois de origem francesa.

No mercado brasileiro é encontrado quase todo o material acessório de gamagrafia, já que é o mesmo de radiografia. Talvez haja uma certa dificuldade na aquisição de certos tipos de filmes. No IPR foram realizados vários testes com o filme Kodak AA, encontrado no mercado, com finalidade de determinar suas características, usando-se fontes de Iridio 192 e Césio 137. Anualmente é realizado um Curso de Aplicações Industriais de Radioisótopos, no qual a gamagrafia tem participação acentuada.

9. CONCLUSÕES

Apesar da gamagrafia ser uma das primeiras aplicações de radioatividade, somente de uns tempos para cá é que nela se verificou um progresso notável; com o desenvolvimento da técnica no campo nuclear são de se esperar novos melhoramentos que venham baratear mais ainda o seu uso. Para o futuro, com o resultado de novas pesquisas e treinamento de pessoal especializado, temos certeza que a gamagrafia terá papel importante nas indústrias do nosso País.

BIBLIOGRAFIA

1. G. COURTOIS — *Gamagraphie et Techniques annexes*. CEA n.º 1709.
2. A. BLONDEL — *Le Controle non Destructif des Matériaux por Gamma-graphie*.
3. W. D. OLIPHANT — *Xerography Research*. Nov. 1956, T.R. C.E.A. n.º B 86.
4. J. THEWLIS — *Neutrons Radiography*. British Journal Applied-Physics, vol. 7, n.º 10, out. 1956, pgs. 345-350.
5. BLONDEL, E. Broquet — *L'emploi du Thulium 170 pour la gammagraphie des pièces en alliages légers*. Revue de Metallurgie, junho 1955, pág. 457.