

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48a Oliveira, Ubiratan Leal de.

Abordagem da radicatividade nos livros didáticos de química do PNLD 2015-2018 [manuscrito] / Ubiratan Leal de Oliveira. - 2019.

64 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.

"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros . Departamento de Física - CCT."

 Ensino de Química. 2. Radioatividade. 3. História da Ciência. 4. Livro didático. I. Título

21. ed. CDD 372.8

Elaborada por Giulianne M. Pereira - CRB - 15/714

BC/UEPB

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2015-2018

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Química Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros

CAMPINA GRANDE 2019



MARCOS ANTONIO BARROS

Possui graduação em LICENCIATURA EM FÍSICA pela Universidade Estadual da Paraíba (1985), Especialização em Ensino das Ciências (UEPB - 1992), Mestrado em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2006) e Doutorado em História, Filosofia e Ensino de Ciências pela UFBA. Professor do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, onde leciona algumas

disciplinas como: Física Geral, Física Moderna, Física-Matemática, Mecânica Quântica e História da Física. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - UEPB. Professor das disciplinas de Física I, II e III e Mecânica Geral da UNIFACISA.

Endereço para acessar este CV: http://lattes.cnpq.br/5878098076288666

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

Possui graduação em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (2012). Especialista em fundamentos da educação: Práticas Pedagógicas Interdisciplinares pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Ensino de Ciências e Ensino de Química e Graduando em Farmácia. Atualmente é professor - Secretaria de Educação do Estado da



Paraíba e atua como professor da rede privada e cursinhos pré-vestibulares.

Endereço para acessar este CV: http://lattes.cnpq.br/5181769278961084

Sumário

A descoberta dos raios-X e a "Conjectura de Poincaré"	7
Os trabalhos de Becquerel: um breve resumo	. 11
Marie Curie e suas primeiras investigações sobre Radioatividade e pesquisas posteriores	. 14
RADIOATIVIDADE: PERIGOS E BENEFÍCIOS À SOCIEDADE	. 20

A descoberta dos raios-X e a "Conjectura de Poincaré"

Os primeiros estudos acerca do fenômeno da radioatividade estiveram intimamente relacionados à divulgação da existência dos raios-X, feita por Wilhelm Conrad Röntgen¹ em 1896 (MARTINS, 2012, p.17). Grosso modo, pouco tempo após essa descoberta, conjecturou-se que, talvez, houvesse alguma relação entre a emissão dos raios-X e a fluorescência que surgia no vidro utilizado no aparato experimental. Em linhas gerais, tal conjectura teve grande influência nos estudos do físico francês Henri Becquerel, a quem, normalmente, credita-se a descoberta da radioatividade. Portanto, acreditamos ser conveniente mencionar, logo de início, mesmo que de passagem, esses primeiros estudos.

O século XIX foi um período de intensa agitação intelectual. Esse foi um período em que a ideia do progresso estava diretamente ligada à ideia de ciência. Essa concepção de mundo, expressa pelas mentes de filósofos como Comte, por exemplo, afirmou-se, vigorosamente, na segunda metade do século. Falava-se na fé do progresso e na procura de uma lei que operasse o processo histórico. Algumas práticas, como a repetição metódica dos experimentos, seguida por Röntgen e contemporâneos, também, era comum aos físicos da época (CESTARI JUNIOR, 2015).

Röntgen nasceu na província do Reno, atual Alemanha, em 1845. Dentre muitos trabalhos, ele começou a se interessar pelo tipo de experimento realizado por Filipp Lenard envolvendo a emissão de raios catódicos. Esse construiu, em 1892, tubos de descarga dotados de uma fina janela de alumínio, de modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e serem estudados no ar ou em algum outro gás (MARTINS, 1998; 2012, p.23).

O aparato experimental de Lenard era, basicamente, variações dos tubos de Crookes², tubos de vidro com ar rarefeito, em seu interior, utilizados para produzir e estudar os assim chamados "raios catódicos" ou "raios de Lenard", como ficaram posteriormente conhecidos. Lenard havia estabelecido que os raios catódicos são

¹ Uma análise detalhada da descoberta dos raios X por Röntgen em 1895-96, bem como a repercussão de seus trabalhos, pode ser encontrada em Martins (1998) e Martins (1997). Um resumo acerca dos primeiros estudos com raios X é feita na seção 1.7 de Martins e Rosa (2014).

² "Meu interesse nesses assuntos não encontrou expressão direta durante meus dias de estudante. Descargas elétricas de gás não foram consideradas objeto de estudo adequado para iniciantes, e com razão. Mas mesmo os investigadores maduros não conseguiram nada realmente significativo neste campo nos anos que se seguiram ao trabalho de Crookes. Eles não obtiveram nenhum resultado que, por si só, abrisse novas perspectivas, e no que se refere à pureza das condições experimentais, eles dificilmente progrediram além do trabalho de Crookes." (LENARD, 1906). Nomes importantes como Eugen Goldstein, Johann Wilhelm Hittorf, Heirich Geissler, estiveram na época envolvidos nesse tipo de pesquisa.

produzidos pela luz ultravioleta e seu comportamento havia se tornado suficientemente conhecido, sendo possível detectá-los em telas fluorescentes, isto é, esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas (LENARD, 1906). Entretanto, na época, ainda não havia acordo acerca da real natureza dos raios catódicos, muito embora, em 1985, os pesquisadores ingleses já defenderem a ideia de que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica. Atualmente aprendemos que os raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons (MARTINS, 2012, p. 22).

Em 1894, Röntgen, por sua vez, obteve o material necessário para este tipo de experimento (tubos, folhas de alumínio, etc) e, segundo correspondências, conseguiu observar os raios catódicos em junho do mesmo ano (*ibid*, p.17-8). É certo que Röntgen estava trabalhando com raios Lenard, no verão de 1894, mas ele parece ter feito pouco uso dos equipamentos especiais de Lenard, quando trabalhava com raios X, no outono de 1895.

É plausível que Röntgen estivesse mais interessado na luminosidade emanada dos tubos de Crookes do que nos raios catódicos, mais especificamente em baixas luminosidades, já que, em determinado momento de suas pesquisas, ele estava utilizando cartolina preta para recobrir os tubos e realizando experimentos em uma sala escura (MARTINS, 2012, p. 25). Consideremos um trecho de seu relato dado em entrevista a H. J. W. Dam, em 1896:

Eu havia seguido suas pesquisas [de Lenard] e de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro [de 1895]. Eu estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.

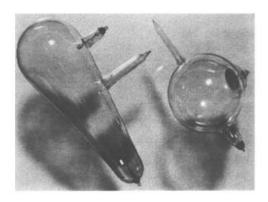
[...] Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com **platino-cianeto de bário** estava lá na mesa. Eu havia passado uma corrente pelo tubo, e notei um linha preta peculiar no papel [...] Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida[...] (DAM 1896, p. 413 *Apud* MARTINS, 2012, p. 24, nosso grifo).

Uma nova radiação estava, portanto, emanando dos tubos e parecia ser diferente de qualquer uma antes observada. Embora o seu próprio artigo seja bastante claro, as circunstâncias exatas em que Röntgen descobriu os raios X são obscuras. Não obstante, a descoberta de Röntgen é mais do que a observação dos raios; inclui também uma exploração completa de suas propriedades.

A nova radiação foi explorada por Röntgen que, em poucas semanas, determinou muitas de suas principais propriedades. Ela produzia luminescência em certos materiais

fluorescentes, como o platino-cianeto de bário, utilizado por Röntgen, sensibilizava chapas fotográficas, era invisível ao olho humano, não parecia sofrer refração, nem reflexão, nem polarização. Não se tratava de luz (por ser invisível e atravessar grandes espessuras de madeira ou papel e emanar dos tubos, mesmo estando recobertos por papeis opacos, não era igual aos raios catódicos, pois não sofria desvio com ímãs e tinha poder de penetração muito superior, nem raios ultravioletas ou infravermelhos (pelo seu poder de penetração) (MARTINS, 2003; MARTINS, 2012, p.63).

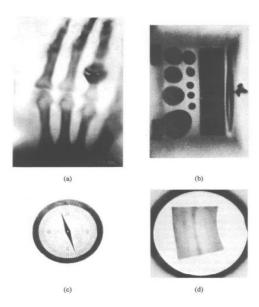
Figura 1 - Tubos de descarga utilizados por Röntgen. Em ambos, o cátodo (em forma de disco) e o ânodo estão em ângulo reto. Nesses tubos, o feixe os raios catódicos atinge o vidro, e não o ânodo.



Fonte: (MARTINS, 1998)

A descoberta teve repercussão imediata, não somente pelo cientistas, mas também pela imprensa. Essa popularidade deveu-se, em parte, por sua famosa aplicação: observação dos ossos de um ser vivo, através de radiografia. Nos meses seguintes, inúmeros jornais e revistas científicas publicaram fotografias obtidas por meio dos raios-X - ou raios de Röntgen, como também ficaram conhecidos- (MARTINS, 1990).

Figura 2- Radiografias feitas por Röntgen em 1895: (a) ossos das mãos de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (com escala em tinta metálica); (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades.



Fonte: (MARTINS, 1998).

Após a divulgação da descoberta - feita num primeiro momento pelo próprio Röntgen, de forma estratégica, enviando separatas de seu trabalho a determinadas pessoas e a diferentes lugares-, os pesquisadores ficaram, num primeiro momento, atônitos e incredúlos. Os que tinham à disposição o material necessário, logo trataram de repetir os experimentos e constataram que ele estava correto; seguindo-se, rapidamente, uma competição para determinar outras informações acerca da nova radiação, além de uma enorme gama de estudos acerca da aplicação prática dos raios X, das condições para uma produção de modo mais eficiente, discussões sobre sua natureza, influência sobre instrumentos de medida e relação entre os raios X de Röntgen e a luminescência (c.f. MARTINS, 2012, pp. 69-91). Foquemos nesse último ponto.

Nas semanas seguintes à divulgação da descoberta dos raios de Röntgen, foram apresentados à Academia Francesa de Ciências diversos trabalhos associados aos raios X. Havia, dentre outras coisas, uma busca por diferentes modos de produzir essas radiações. Ao longo do mês de fevereiro de 1896, trabalhos de físicos como Albert Nodon, Gustave Moreau, dentre outros, apresentaram trabalhos relacionando os raios X a descargas elétricas de altas voltagens, à capacidade desses raios descarrregar eletroscópios, etc. Ainda na França, a divulgação da descoberta dos raios X, na Academia de Ciências de Paris, foi feita por Henri Poincaré, no dia 20 de janeiro de 1896, somente

algumas semanas após a publicação do trabalho de Röntgen (KRAGH, 1989; MARTINS, 2012, p. 91). Poincaré apresentou um relato oral resumido sobre os raios de Röntgen.

Já era fato conhecido que o tubo de Crookes, quando atravessado por uma descarga elétrica, emitia raios X e observa-se que a parede do tubo de vidro, defronte ao cátodo, ficava luminescente, com um brilho amarelo-esverdeado. Poincaré passou a sugerir que a causa dos raios de Röntgen podia não ser elétrica, mas sim relacionada à fluorescência, de forma que, acreditava ele, todos os corpos luminescentes deveriam, também, emitir raios X. Essa possível relação passou a ser conhecida por "Conjectura de Poincaré", segundo explica o professor Roberto Martins (MARTINS, 2012, p. 91-92).

Como veremos, a conjectura de Poincaré exerceu grande influência nas pesquisas de Antoine-Henri Becquerel (1852-1908). A bem da verdade, a autoria desta conjectura é, ainda, motivo de controvérsias. Muitos historiadores defendem que ela é de autoria do próprio Becquerel. Além disso, o próprio Becquerel, ao relatar a descoberta da "radioatividade" do urânio, atribui a conjectura a seu pai Henri Becquerel (*ibid*, p. 94).

Hoje sabemos que a maioria dos materiais fluorescentes não são radioativos, então, por que ele se concentrou em sais de urânio? Mais cedo, junto com seu pai Edmond Bequerel (que também era professor no Museu de História Natural em Paris), estudou os aspectros de fluorescência dos compostos de urânio e notou que as bandas espectrais obedeciam a uma notável regularidade (KRAGH, 1999).

Em linhas gerais, os raios de urânio não causaram a mesma sensação que os raios X e por um ano ou dois, Becquerel foi um dos poucos cientistas que estudaram ativamente o novo fenômeno. Afinal, os efeitos dos raios de urânio eram fracos e muitos físicos consideravam que era apenas um tipo especial de raios X, embora com uma origem que desafiava as explicações. Do ponto de vista de Becquerel, que acreditava que os raios de urânio estavam relacionados aos espectros peculiares de compostos de urânio, não havia nenhuma razão para assumir que os raios, também, eram emitidos por outros compostos (KRAGH, 1999).

Os trabalhos de Becquerel: um breve resumo

Não raro, relatos simplistas afirmam, normalmente, que Becquerel colocou sal de urânio em uma placa fotográfica envolto em papel preto, o expôs à luz solar, por várias horas, e observou um escurecimento distinto da placa quando foi desenvolto. Becquerel

acreditou, segundo tal versão, que os raios penetrantes eram resultado da fluorescência e que a exposição ao sol era, portanto, crucial.

Uma semana depois, quando ele repetiu o experimento, num dia nublado, percebeu que o sal de urânio, ainda, emitia os raios, também emitidos por outros sais de urânio e era, ainda, mais forte no urânio metálico. Os ditos raios foram originalmente referidos como "raios de urânio" e aparentavam ser de natureza diferente da dos raios X. Credita-se, a partir disso, a Becquerel a descoberta da radioatividade da matéria. Uma análise mais cuidadosa, entretanto, mostra que esta é uma versão simplista e que, dificilmente, se poderia afirmar que Becquerel descobriu a radioatividade; e aquilo que ele, de fato, descobriu, não foi devido ao acaso.

Como adiantado na seção anterior, a relação entre os raios X e a luminescência, embora equivocada, serviu como guia para os trabalhos de Becquerel. As principais investigações científicas de Becquerel foram sobre os fenômenos ópticos, especialmente a fosforescência. O físico francês realizou suas pesquisas, utilizando a maioria das substâncias luminescentes, dentre elas, compostos de urânio, colecionadas por seu pai Alexandre-Edmond Becquerel (1852-1908).

Antoine-Henri Becquerel, filho de Alexandre-Edmond, Nasceu em 1852 e iniciou sua carreira científica seguindo os passos do pai. Segundo explica o professor Roberto Martins, seu principal campo de investigação foi fenômenos ópticos, especialmente fluorescência. Na época, os compostos de urânio eram considerados interessantes para pesquisas, envolvendo a luminescência, pelo menos por duas razões especiais: havia muitas substâncias fosforescentes diferentes que continham urânio e sua fosforescência era excepcionalmente forte. Em linhas gerais, os principais resultados de Becquerel foram semelhantes aos obtidos por Charles Henri e Gaston Henri Niewenglowiski. Becquerel conhecia os trabalhos anteriores de Henry e Niewenglowski e reproduziu, sem grande alteração, o experimento do segundo. Apenas testou uma nova substância – o sulfato duplo de uranila e potássio – confirmando, também nesse caso, a hipótese de Poincaré. O diferencial de Becquerel, portanto, foi o uso do sulfato duplo de uranila e potássio. Visto anacronicamente, isso foi o que o tornou famoso e distinguiu o seu trabalho do de seus coetâneos (MARTINS, 2012, p. 104, 133; MARTINS, 1990).

De acordo com algumas descrições, Becquerel deixa claro que a escolha de trabalhar com composto de urânio não foi ao acaso e que a opção por trabalhar com tais compostos está intimamente relacionada a certas séries harmônicas de faixas nos

espectros dos sais de urânio, segundo explica o professor Roberto Martins (MARTINS, 2012, p.137).

Mais cedo, junto com seu pai Edmond Bequerel (que também era um professor do Museu de História Natural de Paris), Becquerel havia estudado os espectros de fluorescência compostos de urânio e notou que as bandas espectrais obedeceram a uma regularidade notável (KRAGH, 1990). Em 1885, ele acreditava que o estudo de tais substâncias especiais poderia elucidar os processos de absorção e emissão seletiva de radiação fluorescente e fosforescente (MARTINS, 2012, p. 137).

Em sua discussão acerca dos espectros peculiares dos compostos de urânio, Henri Becquerel se referiu à teoria vibratória de Eugen Lommel e à lei de Stokes. De acordo com esta última, os corpos fluorescentes podem emitir radiação. Entretanto, só podem emitir em um comprimento de onda maior do que o do da radiação excitante³ (STOKES, 1852). Muito embora, em meados do século, a lei de Stokes tenha sido amplamente confirmada tanto por Stokes quanto pelo pai de Becquerel, no caso específico de certas substâncias, a regra não parecia ser mantida (MARTINS, 2012, p. 141).

Na época, a lei não era considerada absoluta e, segundo a teoria sugerida pelo físico alemão Eugen Lommel, a fluorescência anômala deveria ocorrer em substâncias que exibissem o tipo de espectros regulares que Becquerel observara em sais de urânio. Se esta fosse realmente a linha de raciocínio de Becquerel, não é tão estranho que ele tenha escolhido compostos de urânio para sua pesquisa (KRAGH, 1990).

Essas substâncias tinham uma propriedade especial: para todos os compostos de urânio, as faixas de absorção e emissão obedeciam a uma relação simples. Dito de outro modo: havia algumas faixas de emissão e absorção comuns e, por isso, a absorção parecia ser algum tipo de fenômeno de ressonância. Fora isto, Becquerel notou que a diferença entre as frequências médias de faixas sucessivas eram aproximadamente constantes. Becquerel interpreta o fato da seguinte forma:

As radiações absorvidas pelos compostos de urânio, que satisfazem uma lei comum, excitam em todos esses corpos os mesmos movimentos vibratórios luminososos, de diferentes períodos, que parecem ser harmônicos inferiores das radiações excitantes (BECQUEREL, 1885 *apud* MARTINS, 2012, p. 138).

Uma análise mais aprofundada, especificamente, dos trabalhos de Becquerel, semelhante à realizada em Martins (2012), está fora das possibilidades do presente

_

³ De acordo com nosso conhecimento atual, a lei de Stokes é correta - segue-se da teoria quântica da radiação -, mas, na última parte do século XIX, houve muitos relatos de "fluorescência anômala", isto é, exceções à lei de Stokes (KRAGH, 1990).

trabalho. Entretanto, pode-se concluir que o pesquisador Francês foi guiado pela conjectura de Poincaré (que, do ponto de vista atual, está equivocada) e, a partir dela, iniciou suas pesquisas, considerando, possivelmente, os compostos de urânio, baseados na ideia da radioatividade como um tipo de "fosforescência invisível" (MARTINS, 2012 p. 146). Além disso, o uso do urânio por Becquerel justifica-se, porque ele parecia ser uma confirmação à lei de Stokes, uma lei cuja validade era motivo de controvérsia na época.

Becquerel, também, cometeu diversos erros experimentais e, até 1898, seu trabalho não foi submetido à repetição sistemática nem a críticas, sendo descrito nas revistas e aceito, simplesmente, como uma contribuição que não contrastava fortemente com outros fenômenos conhecidos e, por isso, não exigia qualquer análise mais aprofundada (*ibid*, 174).

Em resumo, os trabalhos de Becquerel não estabeleceram nem a natureza das radiações emitidas pelo urânio nem a natureza sub-atômica do processo. Seu trabalho, guiado pela conjectura, era apenas um dos muitos, da época, que apresentavam resultados de difícil interpretação. Vistas, em seu contexto, suas pesquisas não tiveram nem impacto nem fecundidade semelhantes às da descoberta dos raios X (MARTINS, 1990). Só quando Marie e Pierre Curie descobriram substâncias muito mais ativas do que o urânio, a radioatividade fez manchete e se tornou um fenômeno de grande importância para os físicos.

A radioatividade do tório foi anunciada, na primavera de 1898, de forma independente, por Marie Curie e o alemão Gerhard Schmidt. Mais tarde, no mesmo ano, Marie e Pierre Curie descobriram em minérios de urânio dois elementos, até então, desconhecidos que propuseram nomear polônio e rádio. O rádio extraordinariamente ativo tornou a radioatividade conhecida pelo público em geral e iniciou uma nova e excitante fase no estudo dos raios da Becquerel. Aliás, os termos "radioactividade" e "substâncias radioativas" foram introduzidos pela primeira vez por Marie Curie no mesmo ano, em 1898. Durante os próximos anos, um número crescente de físicos na Europa e na América do Norte estudou a radioatividade, o que logo tornou-se uma das áreas de física mais rápidas.

Marie Curie e suas primeiras investigações sobre Radioatividade e pesquisas posteriores

É fato que após a publicação dos trabalhos de Henri Becquerel, entendia-se que buscar novos elementos radioativos - termo que ainda não era utilizado - seria o mais natural, tendo em vista o elemento conhecido como Urânio. Assim sendo, é comum encontrar em diversas publicações que a principal contribuição de Marie Curie foi apenas a descoberta de novos elementos radioativos (Tório, Polônio, Rádio) em 1898.

Numa análise mais apurada dos trabalhos de Marie Curie, Martins (2003)⁴ mostra que ela conseguiu diferenciar o fenômeno que, hoje, chamamos de Radioatividade de uma série de outros fenômenos hipotéticos. Além disso, afirma, ainda, que ela se embasou em conjecturas, a respeito da natureza atômica do próprio fenômeno de emissão de radiação, descobrindo, assim, novos elementos radioativos.

Aos 30 anos, quando Marie Curie resolveu começar uma pesquisa para obtenção do seu doutoramento em física⁵, na qual ela escolheu como tema o estudo das radiações do Urânio, através do método elétrico, justificando tal escolha, devido à possibilidade de obter resultados mais rápidos.

Em geral, utilizou-se nesses estudos o método elétrico, quer dizer, o método que consiste em medir a condutibilidade do ar sob a influência dos raios que se estuda. Esse método possui, de fato, a vantagem de ser rápido e de fornecer números que podem ser comparados entre si (CURIE, 1899, p.41).

Além disso, ela ainda dispunha de aparelhagem produzida pelo seu marido Pierre e o irmão Jacques que seria contundente no estudo da condutividade do ar, produzida pelos raios do Urânio. Vale salientar que Becquerel, em 1896, havia descoberto que o Urânio emitia radiações penetrantes e, sistematicamente, não fez nenhum tipo de busca para ver se identificava este tipo de emissão em outro elemento, buscou apenas verificar substâncias que possuíam a mesma propriedade, analisou o sulfeto de zinco, sulfeto de cálcio, dentre outros materiais fosforescentes, certamente, Becquerel tinha como certo ter descoberto um tipo de fosforescência invisível (BECQUEREL, 1896a, 1896b).

Com esta conclusão tomada, ele não tinha mais instigação para continuar buscando novos elementos (MARTINS, 1997). Assim sendo, Marie Curie iniciou a sua busca por outros elementos que fossem capazes de emitir radiações semelhantes. O seu primeiro artigo de 1898 traz a seguinte afirmação:

Estudei a condutividade do ar sob a influência dos raios do urânio, descobertos pelo Sr. Becquerel, e procurei se outros corpos além dos compostos do urânio

-

⁴ MARTINS (2003).

⁵ Como naquela época não existia cursos de pós-graduação, o título de doutorado era obtido por defesa direta de tese.

eram suscetíveis de tornar o ar condutor de eletricidade. (CURIE 1898a, p.1101).

Nesta época, Marie Curie ainda não estava ligada a nenhuma instituição científica, e o seu marido, Pierre Curie, era professor de uma escola de engenharia e conseguiu uma autorização para ela trabalhar no cantinho de uma sala fria e úmida, sendo esse o único local disponível, sala de máquinas e depósito. Apesar disso, Marie Curie foi dando partida às suas pesquisas.

Em 16 de dezembro de 1897, a princípio estava criando intimidade com toda aparelhagem sob orientação de Pierre Curie, pois era indispensável uma prática razoável para regular, de forma manual, a força que seria exercida sobre o cristal piezoelétrico (JOLIOT-CURIE, 1940). Martins (2003) faz uma reconstrução historiográfica dos trabalhos de Marie Curie, muito embora tenha tido como base, apenas, os seus escritos que não esclarecem os seus pensamentos, apenas enfatizam as suas ações. Segundo ele, em dezembro e janeiro do ano de 1898, Marie Curie conseguiu afirmar, a partir dos experimentos, que tanto o aquecimento (1º de Janeiro) quanto a iluminação (5 de janeiro) não aumentava a intensidade da radiação do urânio. Assim o conceito de Becquerel acabara de se tornar duvidoso e Marie Curie entedia como provado que a radioatividade não podia ser aumentada pela luz (CURIE, 1899).

No mês de fevereiro de 1898, Marie Curie conseguiu novos resultados no tocante à relação entre o urânio e outras substâncias diferentes. Ela fez testes com vários metais, Cu, Zn, Pb, Sn, Pt, Fe, Au, Pd, Cd, Sb, Mo, W e concluiu que nenhum desses produzia condutividade no ar, no entanto, ao analisar um mineral de Urânio (pechblenda ou uraninita), em 17 de fevereiro, observou que produzia efeitos semelhantes ao urânio puro. Na verdade, ela percebeu que a corrente da pechblenda era maior do que no Urânio puro, como outrora já havia sido anunciado por Becquerel.

Este resultado lhe fez atinar para a possibilidade de haver, na pechblenda, além do urânio, alguma substância que, também, emitia radiações ionizantes, porém, até então, não detectada. Seguindo os testes, Marie Curie, analisou um mineral que continha apenas Tório e Nióbio e não continha Urânio, observou que havia emissões de radiação ionizante, depois testou o Tório e o Nióbio separadamente e observou que só o Nióbio emitia radiações ionizantes. Firmando, assim, a existência de um segundo elemento o Tório (Th) com as mesmas características do Urânio.

Neste mesmo tempo, Schmidt já havia encontrado que o Tório (Th) também emitia estas radiações penetrantes, capazes de ionizar o ar e de penetrar, através de papel opaco, sensibilizando placas fotográficas. Contudo, o seu trabalho ficou limitado a isso, não trazendo mais resultados com isso⁶.

Ainda, segundo Martins (2003), Marie Curie fazia sempre um paralelo entre as substâncias minerais naturais que continham os elementos e os mesmos puros e, com estas análises, ela tomou para si a ideia que a radiação penetrante era uma *propriedade do átomo*. Para isso, ela levou em consideração que as emissões dependiam da presença de elementos específicos, que a intensidade da radiação era proporcional à porcentagem desses elementos químicos nos compostos estudados e que não dependiam de propriedades moleculares. Tudo isso foi determinante e imprescindível para a descoberta de novos elementos, o polônio (Po) e o rádio (Ra). Dentre os fatores que foram indispensáveis para o sucesso dos Curie, a imaginação, os testes e a utilização de que a emissão de radiações ionizantes era uma propriedade atômica foi o que lhes elevaram ao destaque, dos demais pesquisadores daquele período.

Assim sendo, entende-se que, seguindo Martins (2003), Marie Curie foi efetivamente quem caracterizou o fenômeno da Radioatividade e que, com a publicação do seu primeiro artigo, apresentando a hipótese de propriedade do átomo, orientou todas as outras investigações que vieram a suceder os estudos.

O primeiro trabalho em radioatividade foi, principalmente, experimental e exploratório. Quais substâncias eram radioativas? Como eles se encaixam no sistema periódico dos elementos químicos? Quais foram os raios emitidos pelos corpos radioativos? A atividade foi afetada por mudanças físicas ou químicas? Estas foram algumas das perguntas que os físicos abordaram, em torno da virada do século - e não apenas físicos ou químicos, para a radioatividade era tanto uma preocupação dos químicos.

Físicos ou químicos, sua abordagem era fenomenológica e exploratória; isto é, focando na coleta e classificação de dados. Foi um período de grande confusão e incertezas. Por exemplo, durante os primeiros oito anos ou mais do século, geralmente, se acreditava que todos os elementos eram radioativos. Afinal, era difícil acreditar que a propriedade estava confinada a alguns elementos pesados e os métodos brutos de

_

⁶ (STUEWER, 1970), citado em (MARTINS 2003).

detecções pareciam indicar que a radioatividade fraca foi realmente encontrada em todos os lugares.

Em 1901, havia sido estabelecido que os raios eram complexos, constituídos por três espécies de diferente penetrabilidade. Os raios beta, facilmente desviados em um campo magnético, foram rapidamente identificados como elétrons rápidos, ao passo que os raios gama neutros foram, eventualmente, aproximadamente em 1912, como ondas eletromagnéticas semelhantes às do raios-x.

A natureza dos raios alfa era um mistério. Os experimentos iniciais indicaram que eles não foram desviados através de campos elétricos e magnéticos e, portanto, eram neutros, uma visão que Rutherford, entre outros, manteve por um breve período. No entanto, outras experiências feitas, principalmente por Rutherford na Universidade McGill de Montreal, mostraram que as partículas foram positivamente carregadas e com uma massa comparável à do átomo de hidrogênio. Em 1905, aproximadamente, a evidência acumulou que as partículas alfa eram átomos de hélio duplamente carregados, He²⁺. A hipótese foi confirmada em um experimento de 1908 que Rutherford, agora em Royds, provou espectroscopicamente que o hélio foi produzido a partir das partículas alfa que emanavam do radão. Juntamente com os dados da deflexão magnética dos raios alfa, essa identificação resolveu o assunto.

Ainda mais importante do que a natureza dos raios foi a percepção de que a radioatividade não é um fenômeno permanente, mas diminui ao longo do tempo. Uma substância radioativa se transforma em outra substância, no sentido de que os átomos mudam - transmutem - de um elemento para outro. Este foi o conteúdo básico da lei de transformação sugerida por Rutherford e pelo químico Frederic Soddy em 1902.

De acordo com esta lei, não somente os átomos transmutam, mas também o fazem aleatoriamente, o que é expresso pela transformação com um certo decaimento (λ), dependendo apenas da natureza do elemento radioativo. Se originalmente consistiu de Cem átomos, após um tempo t, o número será reduzido para N (t) = Noexp (- λ t). Como Rutherford deixou claro, isso significa que a probabilidade de um átomo decadir é independente da idade do átomo. Este era um fenômeno muito peculiar, e tornou-se, ainda, mais peculiar, quando se descobriu em 1903 que a energia continuamente liberada do rádio era enorme - cerca de 1.000 calorias por grama por hora. De onde veio a energia?

Concedido que a radioatividade consistiu em mudanças subatômicas, qual foi a causa das mudanças? Tais questões teóricas foram evitadas pela maioria dos cientistas, mas foram consideradas legítimas e vários físicos e químicos estavam dispostos a

especular sobre a origem da radioatividade. De acordo com uma hipótese amplamente aceita, baseada no modelo atômico de J. J. Thomson, a radioatividade foi causada por mudanças na configuração interna do átomo.

A partir de 1903, este tipo de modelo dinâmico qualitativo foi proposto, em diferentes versões, por Thomson, Oliver Lodge, Lord Kelvin, James Jeans e outros. Rutherford havia defendido um mecanismo similar, já em 1900 e, em 1904, em sua palestra Bakeriana, argumentou que "os átomos dos elementos de rádio podem ser compostos por elétrons (partículas β) e grupos de elétrons (partículas α) em movimento rápido e mantido em equilíbrio por suas forças mútuas. "Os elétrons aceleradores irradiariam energia e isso deve perturbar o equilíbrio do átomo e resultar em um rearranjo de suas partes componentes ou em sua desintegração final "(KRAGH, 1997a, p. 18). Embora Rutherford logo tenha decidido que o estado da teoria atômica não permitia explicação definitiva da radioatividade, nem ele nem outros pesquisadores duvidaram de que a radioatividade pudesse ser, causalmente, explicada em termos de dinâmica subatômica. Na verdade, tais tentativas inúteis continuaram até meados da década de 1920.

Sabemos que a radioatividade é um fenômeno probabilístico que demonstra explicações causais e que a natureza probabilística é expressa pela lei de decaimento. Isto foi vagamente sugerido por Rutherford e Soddy em 1902 e discutido mais completamente por Egon Von Schweidler em 1905. Deste ponto de vista, parece estranho que os físicos, incluindo Rutherford e Thomson, tenham procurado explicações causais em termos de mudanças subatômicas. Na época, no entanto, não havia motivos para suspeitar que a radioatividade era, casualmente, inexplicável em princípio. A teoria estatística não foi associada à causalidade, mas sim a outros fenômenos estatísticos, como o movimento browniano, em que a natureza estatística pode, em princípio, ser resolvida em microprocessos deterministas.

As tentativas de projetar modelos atômicos que explicariam a radioatividade de forma mecanicista não foram bem-sucedidas. Em 1910, a maioria dos físicos ignorou o problema ou adotou uma atitude pragmática, segundo a qual as leis fenomenológicas se tornaram prioritárias sobre as explicações mecanicistas. Mas a natureza estatística da radioatividade não foi interpretada como uma característica irredutível que exigiu uma rejeição de modelos causais em princípio. Tal interpretação veio apenas com a mecânica quântica e, por esse motivo, seria um erro ver a radioatividade como o primeiro exemplo conhecido de um fenômeno ao acaso.

RADIOATIVIDADE: PERIGOS E BENEFÍCIOS À SOCIEDADE

PARA COMEÇO DE CONVERSA...

Na Cidade de Goiânia em (1972) existia o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), que funcionava na Avenida Paranaíba, nº 1587, Setor Central. Esta tinha autorização do CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), contudo era uma Clínica Privada, mas que estava instalada num terreno que pertencia a Santa Casa de Misericórdia. A relação entre o IGR e a casa de misericórdia era uma espécie de arrendamento, onde o IGR tinha que acolher, sem cobrar, os pacientes da Santa Casa de Misericórdia. Neste mesmo ano, o IGR fez aquisição de uma bomba de Césio-137, de fabricação italiana (CESAPAM F-3000) (Figura 1 e 2) da empresa Barazetti e Cia, a fim de utilizá-la na atenção dispensada aos pacientes como um todo em especial os da Santa Casa.



Figura 1 - CESAPAM F-3000.



Figura 2 – Cápsula abandonada depois de violada.

Contudo, ao transcorrer do tempo, o IGR não estava sendo fiel as suas obrigações e não estava dando a assistência devida aos pacientes da Santa Casa de Misericórdia que, insatisfeita, resolveu vender toda a sua

propriedade, o que incluía a parte das instalações do IGR para o IPASGO (Instituto de

Previdência e Assistência do Estado de Goiás). Ao saber da transação, o IGR deveria, se não portanto, abandonar o prédio. E assim o fez, mudando-se para um outro endereço. A grande responsabilidade imputada ao IGR foi a não comunicação da obsolescência da bomba de Césio ao CNEN ou à Secretaria de Estadual de Saúde.

No dia 4 de maio de 1987 foi iniciado a demolição da construção, sob autorização do senhor ex-sócio do IGR, Amaurillo Monteiro de Oliveira, que levou a destruição parcial da sua estrutural, sendo-lhe afetadas as portas, as janelas, além de ter o seu telhado posto a baixo.



Figura 3 – Ex-sócio do IGR, Amaurillo Monteiro de Oliveira, falecido em 5 de Fevereiro de 2018, aos 81 anos de idade.

Vale salientar que o trabalho de demolição não foi concluído, pelo fato de ter tido um embargo judicial.

Pois bem, esse fato mal planejado foi o começo de um terrível acidente que criou estigmas e que até hoje ainda se resvala nos protagonistas sobreviventes. Ao ser embargada a demolição, o espaço não foi sinalizado sobre a necessidade de se manter



Figura 4 - Instalações da clínica de onde foi retirada a cápsula de césio-137, em Goiânia (Foto: Divulgação/Cnen)

distância do local, nem tão pouco dos perigos que poderiam sem acometidos a máquina tivesse quem acesso. Indubitavelmente, estamos falando de uma questão clara de negligência. Ao mudar de endereço o IGR deveria ter levado a bomba de Césio consigo? O IGR deveria ter avisado ao CNEN ou à Secretaria de Saúde do Estado sobre a desativação da máquina e da Clínica? O que efetivamente deveria ter sido feito com este equipamento?

O ACIDENTE...

Considerando que o IGR havia sido desativado sem nenhuma precaução e que o



Figura 5 - Instalações da clínica de onde foi retirada a cápsula de césio-137, em Goiânia (Foto: Divulgação/Cnen)

espaço estava aberto sem barreiras físicas (portas, janelas e qualquer impedimento), por conta da demolição, a atenção de catadores foi despertada, movidos pela possibilidade de encontrar algum retorno financeiro, principalmente, pela possibilidade de utilizar o chumbo, que era o revestimento do Césio.

Em setembro de 1987, mais precisamente no dia 13, dois catadores, Roberto Santos Alves e Wagner Mota, adentraram no prédio em ruínas e viram

aquela máquina velha e sem nenhum receio começaram a dividir a peça em duas partes, sendo que a parte menor eles transportaram até a casa de Roberto, onde lá eles começaram a desmontar a base de marretadas chegando a atingir a janela de irídio que protegia o Césio-137. Começou-se então um dos piores acidentes radiológico da história da humanidade. sendo superado apenas Chernobyl ocorrido um ano antes, na cidade Figura 6 - Wagner Mota. ucraniana de Pripriat.



Após o Césio ser exposto, começou-se então as emissões e contaminações radioativas. Quando Roberto e Wagner começaram a desmontar a cápsula de forma inocente, eles não tinham a menor noção com o que estavam lidando, além do que, o conhecimento científico deles era limitado, o que não os permitiam fazer reflexões acerca do que poderia resultar aquela ação. Com isso, após abrir a cápsula e ter acesso ao Césio137, eles começaram a sentir alguns sintomas como diarreia, fraqueza no caso de Wagner, enquanto Roberto começou a ter queda de cabelo e o olho começou a se fechar. Essa contaminação se deve ao fato de todo o material ter ficado do dia 13 ao dia 18 na casa de Roberto.

Exatamente no dia 18 eles vendem a peça para o ferro velho do seu Devair, que encarrega os seus empregados de desmontar a peça. Assim sendo, os funcionários simplesmente as deixam guardadas numa prateleira do ferro velho. Em certa ocasião, Seu Devair foi até o ferro velho à noite e foi fisgado por um brilho azul muito atraente (Propriedade Organoléptica), o que posteriormente ele afirmara que seria o "brilho da morte". Neste mesmo dia 18 de setembro de 1987, Seu Devair, extasiado com aquele brilho, leva a peça para casa e eufórico mostra a peça para Maria Gabriela, sua esposa, que igualmente a Seu Devair ficou muito encantada, toda prosa



Figura 7 – Israel Batista dos Santos, funcionário do ferro velho http://g1.globo.com/goias/noitcia/2012/09

ao ver que ele queria fazer um anel com aquele material. É interessante como eles se apegaram aquele material e tomaram posse dividindo tudo com os seus entes mais

queridos, a amiga Santana é a próxima a ter contato com esta radiação até então desconhecida por todos, e mais uma vez fica maravilhada com tamanho encanto do brilho, pede para pegar e aprecia com desvelo todo aquele brilho, que no dia seguinte já amanhece com uma sensação estranha, bem como todos na sua casa que haviam sido contaminados de forma indireta.



Figura 8 – Odesson (Irmão do seu Devair) http://g1.globo.com/goias/noitcia/2012/09

Após 6 dias (24), Seu Devair recebe a visita de um dos seus irmãos, Odesson, que, ao questioná-lo sobre a cápsula, ouviu a resposta que ela era inofensiva e que o pó branco não fazia mal algum. Na verdade, Seu Devair criou um apego muito grande a cápsula e, normalmente, não se separava dela para nada. Ao acordar leva a cápsula para o ferro velho, ia ao bar, a cápsula ali ao lado do copo de Cerveja, voltava para casa trazia consigo, ia dormir a cápsula ao lado da cama, a estima já não tinha tamanho. Nessa visita, Odesson



Figura 9 – Seu Devair http://g1.globo.com/goias/noitcia/2012/09 pegou uma pequena quantidade do pó e colocou na sua mão e com o dedo indicador da outra espalhou o pó dizendo que este não tinha o menor valor e nem tão pouco serventia, sacudindo e batendo as mãos para se "livrar" do pó. Seu Devair aproveita para dizer ao irmão que não estava bem, nem ele nem a esposa, atribuía o malestar a uma feijoada comida no fim de semana, mas jamais lhe passava pela

cabeça que poderia estar sendo contaminado pela radiação emitida pelo material. Vale salientar que ele havia perdido inclusive o paladar, não podendo diferenciar nem sabor doce nem salgado. Ainda retrucado pelo seu irmão se não era o pó, questionava que mal o pó poderia fazer. Após sacudir as mãos, Odesson vai embora contaminado e contaminando o que está ao seu entorno, animais, móveis, esposa, filhos, o que acontece também ao ir trabalhar como motorista, contaminando tudo e a todos que passavam pelo seu caminho.

O CASO DE LEIDE DA NEVES



Figura 10 – Leide das Neves, 6 anos, ingeriu o Césio-137. Fonte:http://g1.globo.com/goias/noitcia/2012/09

No dia seguinte (25), quem visita Seu Devair é o seu outro irmão, IVO, que maravilhado com aquele brilho, só pensa em levar um pouco para a sua filha, que coloca uma pequena quantidade numa caixinha de fósforo. Ao chegar em casa e afagar a filha, Leide das Neves com muito carinho apresenta a novidade para ela, espalhando debaixo da cama aquele pó brilhante, a mesma apossou-se daquilo com o mesmo apego que Seu Devair, quem chegava ela fazia questão de mostrar a "pedrinha alumiante" que o papai trouxe. Contudo, ao brincar com aquele material e sem lavar as mãos contaminadas pelo material radioativo, Leide vai lanchar e ao pegar o ovo cozido com as mãos sujas de Césio e comê-lo passa a ingerir aquele material que, posteriormente, será o grande motivo do seu mal estar, seguido, após alguns dias, da sua morte. Seu pai, Ivo, muito preocupado vai à farmácia e para pagar tira do bolso dinheiro que também está contaminado, não se pode esquecer que este dinheiro também saiu de mão em mão contaminando a todos que nele tocava. A esta altura a radiação já estava tomando proporções onde já não era mais possível ter noção.

Maria Gabriela, por sua vez, começa a perceber que a saúde da família não estava

indo bem e que todos estavam mal, embora tenha recebido um diagnóstico de intoxicação alimentar, ela começara a associar todo aquele mal ao Césio-137, até então um pó branco. Mas ao conversar com sua amiga Santana, decidiu ir a ao médico levar aquele material. Junto com um funcionário do ferro velho vai de ônibus até a vigilância sanitária, dentro do ônibus tudo e todos estão sendo contaminado, afinal não há como ninguém saber que estavam sendo contaminadas.



Figura 11 – Maria Gabriela levou o césio-137 dentro de um saco para a Vigilância Sanitária (Foto: Divulgação/Cnen)

Ao chegar no consultório, a mesma começou a fazer um relato sobre o mal que os



Figura 12 – Maria Gabriela levou o césio-137 dentro de um saco para a vigilância sanitária (Foto: Divulgação/Cnen). Fonte: http://g1.globo.com/goiás/noticia/2012/09/

Fonte: http://gl.globo.com/goias/noticia/2012/09/

assolavam e atribuiu este ao Césio-137. Ao relatar todos os sintomas, o médico suspeitou que poderia ser radioativo, então ele ligou para um físico e notificou a CNEN, que imediatamente começaram os trabalhos de averiguação. Quando o físico chegou à casa da família de Leide, o medidor de radiação disparou chegando ao máximo possível de leitura sempre que se aproximava de Leide.

Foi com isso que o físico retornou ao serviço de vigilância e deu o alarme para que todas as autoridades competentes começassem a tomar

as medidas cabíveis. A operação foi parecida com o que se vê em filmes de ficção, uma operação estilo operação de guerra, isolando área, isolando casas, ruas, recolhendo roupas, objetos e tudo que, possivelmente, pudesse estar contaminado com vestígios de radiação. Nesta mesma madrugada as vítimas, Leide e família, começaram a ser retiradas de suas casas e encaminhadas a um local para verificação, local este que era o estádio Olímpico. No estádio era feito uma triagem, onde os mais graves eram encaminhados para o Hospital e os menos graves ficavam no estádio, como Leide estava com um alto grau de contaminação foi encaminhada para o Hospital junto com o seu pai, Ivo. Este foi o último contato da menina Leide e sua mãe, pois após isso a mãe só iria participar do enterro da filha.

Daí começa a se intensificar o trabalho de isolamento das áreas e materiais contaminados.

os policiais desprotegidos também se tornariam vítimas da radiação, afinal até a esta altura do campeonato nada havia sido divulgado e não se tinha informações do que podia ser, diziam que estava havendo vazamento de gás. Os moradores de Goiânia, muito confusos e saber ao certo o que estava acontecendo começaram a formar filas no



Figura 13 - Monitoramento da radioatividade.

estádio para serem monitoradas, estima-se em cerca de 112.000 pessoas, claro que as pessoas que faziam o monitoramento desligavam os aparelhos para não causar mais pânico e não tornar a situação mais alarmante ainda, pois a população não tinha a menor noção do que estava acontecendo. Durante a triagem se fosse constatado algum tipo de radiação todo e qualquer objeto era deixado lá mesmo, o filho de Santana foi um exemplo de menino que teve que se despir e entregar toda a sua roupa voltando para casa apenas de cueca. Além de todos utensílios, roupas e brinquedos, animais também foram abatidos e juntado ao lixo radioativo.

O preconceito que sobreveio aos moradores de Goiânia foi extremamente ofensivo, pois onde as vítimas chegavam era vistas com um olhar estranho e, por muitas vezes, eram barradas em aeroportos, em fronteiras de estados e até o que era produzido no estado de Goiânia não conseguia ser vendido, pois as pessoas achavam que tudo podia estar contaminado.

O ENTERRO DAS VÍTIMAS

No início de outubro, os pacientes mais graves foram transferidos para o Hospital Naval Marcílio Dias, no Rio de Janeiro, entre os mais graves estavam Seu Devair, Maria Gabriela, Ivo e a sua filha Leide. Maria Gabriela precisa cortar os cabelos e tomar vários banhos por dia para poder ser descontaminada. Leide das Neves não resiste e morre no dia 23 de outubro de 1987, neste mesmo dia, horas antes morrera também a sua tia Maria Gabriela e nesta mesma semana morreram os dois funcionários do ferro velho, Israel Batista dos Santos, de 22 anos, e Admilson Alves de Sousa, de 18 anos. Contudo, a morte destes não é o fim de um problema, afinal precisa-se saber o que será feito com os corpos. Nessa discussão, as autoridades decidem enterrar os corpos no cemitério, enquanto a população desinformada começa a protestar. Logo no dia seguinte, 24 de outubro, começa a preparação para o enterro, entretanto a população com medo da contaminação age furiosamente atacando o cortejo com pau, pedra, cruzes, pedaços de meio fio e tudo o que viam pela frente. Os corpos de Leide e sua tia Maria Gabriela foram enterrados ladeados num local mais afastados no cemitério Parque de Goiânia, tudo foi muito bem planejado, o caixão com o corpo de Maria Gabriela foi retirado com o auxílio de 8 homens e pesava cerca de 500 kilos e uma camada de 0,5cm de chumbo. Já o caixão com o corpo de Leide da Neves foram necessários cerca de 12 homens para carregá-lo, pois o mesmo pesava cerca de 700kg e a camada de



chumbo que revestia era cerca de duas vezes maior que a do caixão de Maria Gabriela. Para baixar os caixões foi utilizado um guindaste. As covas eram duas vezes maiores do que as convencionais e ainda mais profundas, foram todas revestidas de uma camada de

Figura 15 – Caixão revestido de 5cm de chumbo sendo descido por um guindaste.

30cm de concreto. Uma semana mais tarde tudo se repetiu com enterro dos funcionários do ferro-velho.



REFERÊNCIAS

VIEIRA, Suzane de Alencar. Césio-137, um drama recontado. **Estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 217-236, 2013.

WOJTOWICZ, Ana. Roubados em seus Sonhos, uma interpretação da cobertura jornalística do acidente com o césio 137 em Goiânia. Brasília: UnB, 1990. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado, UnB).