

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS
MISSÕES**

PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM

DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GIULIA RODRIGUES BARETA

**A FIGURA FEMININA NOS PRIMÓRDIOS DA FÍSICA NUCLEAR: A
CONTRIBUIÇÃO DE MARIE SKLODOWSKA CURIE**

ERECHIM – RS
2020

GIULIA RODRIGUES BARETA

**A FIGURA FEMININA NOS PRIMÓDIOS DA FÍSICA NUCLEAR: A
CONTRIBUIÇÃO DE MARIE SKLODOWSKA CURIE**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito
parcial à obtenção do grau de
Engenheiro Químico,
Departamento das Engenharias e
Ciências da Computação, da
Universidade Regional Integrada
do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

**Orientador: Prof. Me. Cláudio
Augusto Zakrzewski**

ERECHIM – RS

2020

GIULIA RODRIGUES BARETA

**A FIGURA FEMININA NOS PRIMÓRDIOS DA FÍSICA NUCLEAR: A
CONTRIBUIÇÃO DE MARIE SKLODOWSKA CURIE**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
à obtenção do grau de Engenheiro
Químico, Departamento das
Engenharias e Ciências da
Computação da Universidade
Regional Integrada do Alto Uruguai e
das Missões – Campus de Erechim.**

Erechim, ____ de _____ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Cláudio Augusto Zakrzewski
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Luciana Venquiaruto
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Rogério Dallago
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos momentos em que pensei em desistir estive ao meu lado, me possibilitando concretizar um sonho e, em minhas orações, me dando luz e força.

A meus pais, Sergio e Dorian, pelo privilégio da vida, sendo minha base e meu ombro amigo nos momentos difíceis. Por me darem o privilégio de estudar e me capacitar a ser uma grande profissional, minha gratidão eterna. A minha irmã, Daniele, pelo apoio e por ser meu alicerce em toda caminhada. A meu namorado André, pela paciência nos momentos em que não estive presente, e pelo apoio incondicional.

A meu Excelentíssimo Orientador, professor mestre Cláudio Augusto Zakrzewski, por apoiar minha ideia de projeto, pela sua disponibilidade e incentivo, e por não medir esforços em me ajudar durante o desenvolvimento desse trabalho, que foi de grande importância para realizá-lo e concretizá-lo.

As minhas melhores amigas, Verônica e Maria Eduarda, que sempre tiveram uma palavra confortante de apoio nos momentos de dificuldade, e por entenderem os motivos de ausência e, principalmente, pela lealdade e amizade. Ao meu professor de inglês e amigo, Márcio, por sempre ter uma palavra de apoio nos momentos em que precisei, pelo empenho em me ensinar muito mais que uma língua, mas lições de vida, que me acompanha por anos, minha gratidão eterna.

Aos demais professores da universidade, que mais do que mestres, se tornaram amigos e confidentes, que passaram muito mais que conhecimento, e não mediram esforços para que nos tornássemos profissionais muito bem capacitados.

A todos os colaboradores dos laboratórios da URI, por sempre estarem prontamente dispostos a nos ajudar e nos auxiliarem quando tínhamos dúvidas. Aos demais funcionários, sem os quais seria impossível manter esta instituição.

RESUMO

Certamente muitas pessoas já ouviram falar no nome da célebre cientista Marie Sklodowska Curie. Mas muitos não são sabedores das importantes contribuições que ela proporcionou à ciência e à saúde humana. Além do Prêmio Nobel de Física pela descoberta da Radioatividade, dividido com Pierre Curie e Henri Becquerel, Marie ganhou o Prêmio Nobel de Química pela descoberta dos elementos polônio e rádio. Tamanhos êxitos e descobertas exigiram muito estudo e dedicação em uma época onde os recursos materiais como laboratórios e equipamentos, eram bastante precários. Marie Curie foi uma das mulheres pioneiras na ciência e um exemplo de ser humano, pois, além da pesquisa científica, também se preocupou com a saúde das pessoas desenvolvendo equipamentos para tratamento e diagnóstico de doenças e treinando profissionais da área da saúde. Seu legado científico foi de grande importância para o mundo. Sendo assim, sua trajetória na ciência inspirou muitas mulheres a trilharem um caminho até então percorrido somente por homens.

Palavras Chaves: Radioatividade. Novos elementos. Prêmio Nobel.

ABSTRACT

Lots of people have certainly heard of Marie Sklodowska Curie, the most important scientist woman. But what people don't know about her is the great contribution she has given the world until the actual days. Besides the Physics Nobel Prize, she won for the discovery of radioactivity, which was shared with Pierre Curie and Henri Becquerel, Marie has also won the Chemistry Nobel Prize for the discovery of the polonium and radium elements. Such discoveries were made under lots of study and dedication, and although she had inappropriate tools, she made very powerful discoveries. Curie was an example of a woman to be followed because of her contribution to science. She was a very important figure in the human development field, when she equipped cars with x-ray machines and trained professionals to operate them. Her scientific legacy was of great importance to the world. Thus, her scientific background inspired women to pursue the same ideas which were exclusively followed by men.

KEYWORDS: Radioactivity. New elements. Nobel Prize.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2. HISTÓRICO..... | 10 |
| 3. CONTRIBUIÇÕES NO ÂMBITO CIENTÍFICO..... | 13 |
| 3.1. Descoberta da Radioatividade..... | 13 |
| 3.2. Descoberta do Polônio..... | 17 |
| 3.3. Descoberta do Rádio..... | 19 |
| 3.4. Comprovação da existência dos novos elementos..... | 21 |
| 4. CONTRIBUIÇÕES PARA A HUMANIDADE..... | 23 |
| 5. DIFICULDADES ENCONTRADAS E A IMPORTÂNCIA DA IGUALDADE DE GÊNERO..... | 26 |
| 6. CONSEQUÊNCIAS DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO NA SAÚDE DOS PESQUISADORES | 29 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 30 |
| REFERÊNCIAS..... | 31 |

1. INTRODUÇÃO

Quando pensamos na evolução da ciência, vinculamos a esse processo, quase que invariavelmente, imagens masculinas. É natural isto acontecer, em função da sociedade ser predominantemente patriarcal desde a antiguidade. Os homens sempre tiveram prioridade à educação e, por consequência, foram presença constante na pesquisa científica e realização de descobertas. Porém, não podemos esquecer importantes nomes femininos, que mudaram a história da humanidade.

Quem foi Marie Sklodowska Curie? Pouquíssimas pessoas saberiam responder a esta pergunta. Marie Curie foi pioneira em termos intelectuais como modelo para as mulheres na ciência. Lutou para ser reconhecida, e em meio a muitas dificuldades se tornou a primeira mulher na história da ciência a ganhar o prêmio Nobel de Química e de Física.

Nascida em 1867 em Varsóvia, era uma polonesa considerada pupila na escola em que estudava. Depois de juntar com grande dificuldade algum recurso financeiro, em 1891 foi morar em Paris e consegue se matricular na universidade de Sorbonne, uma das poucas que recebia mulheres como alunas. Ela se matriculou na faculdade de Ciências e cursou disciplinas de Química, Física e Matemática. Em 1893 viu seu esforço frutificar quando passou no exame para licenciatura em Física em primeiro lugar, com honras e, em 1894 conquista o segundo lugar na prova de Matemática. Neste mesmo ano, conheceu seu marido, Pierre Curie, com quem dividiu, além de afeição, sua paixão pela ciência (MILLER, 2014).

Dentre seus feitos, devemos citar a descoberta dos elementos, polônio e rádio, e a descoberta da radioatividade, que rendeu a ela e ao marido, o prêmio Nobel de Física. Mas, nesse contexto, alguns questionamentos são importantes: como uma mulher, no século 19, conseguiu tamanho feito, e reconhecimento? Quais foram as adversidades encontradas? Quais as consequências à sua saúde trouxeram a exposição à radiação?

O objetivo do presente trabalho é a elaboração de uma revisão da bibliografia sobre a vida da renomada cientista Marie Sklodowska Curie, ressaltando seus feitos importantes para a história da humanidade, as dificuldades que a mesma passou por ser mulher, e pela precariedade de

materiais, equipamentos e instalações que dispunha, e quais foram os impactos à sua saúde devido a intensa exposição à radioatividade.

2. HISTÓRICO

Nascida em uma família “diferente” e interessante, Marie era a caçula de cinco irmãos. Seus pais foram criados em famílias que valorizavam rigorosamente a educação, tanto para meninos quanto para meninas, igualmente. A família esperava que seus filhos seguissem os estudos ao longo de suas vidas, e que pudessem repassar seus conhecimentos a outros, através de carreiras significativas (ROCKWELL, 2003).

Marie Curie demonstrava ser uma criança brilhante, com dom para línguas e uma incrível memória. Ela formou-se no ensino médio com 15 anos, tendo sido considerada a melhor aluna da turma, e ganhou diversos prêmios escolares de reconhecimento. Apesar de sua majestosa capacidade, em Varsóvia não haviam universidades que aceitassem mulheres (ROCKWELL, 2003).

Marie era reconhecida desde pequena em função de sua ótima memória e capacidade de concentração. Como seu pai, ela foi capaz de aprender diversas línguas, como alemão, russo, francês e inglês (CHAVAUDRA, 1995).

Para auxiliar financeiramente na formação de sua irmã Bronia, que estudava medicina, Marie começou a trabalhar como governanta de família, em uma pequena vila na zona rural da Polônia. Ela ensinou as três crianças da família e também dava aulas clandestinas para crianças camponesas da vila (ROCKWELL, 2003).

A Polônia na época, estava sob domínio da Rússia, Alemanha e Áustria-Hungria, sendo que Varsóvia pertencia ao império russo (LANGEVIN-JOLIOT, 2014). Marie, movida pela vontade de estudar, e inspirada pelos seus irmãos, Bronia e Jozef, que também estudavam medicina, em Paris e em Varsóvia, respectivamente, decidiu mudar-se para Paris onde poderia começar seus estudos (ONISHI, 2014).

Apesar da cidade luz estar dando os primeiros passos a ideias republicanas, ainda não havia igualdade entre os sexos. Marie era uma das 23 mulheres matriculadas na universidade de Sorbonne, contrastando com 1825 homens (ONISHI, 2014). Em 1893, Marie era uma das únicas duas mulheres

que recebeu licença, equivalente a um mestrado em Ciências naquela instituição (ROCKWELL, 2003).

Além de ter uma ótima escrita, Marie acabou se graduando em Física e Matemática, obtendo primeiro e segundo lugar da turma, respectivamente, o que ressalta a sua genialidade. Nesse âmbito, uma das dificuldades que ela enfrentou, foi a predominância de homens no meio acadêmico, e dessa maneira, existia a necessidade de Marie se impor diante de um meio totalmente masculino (PUGLIESE, 2007).

Seu professor de física, impressionado com a capacidade de Marie, conseguiu para ela um passe e uma “comissão” da Sociedade de Incentivo da Indústria Nacional, dando a ela a possibilidade de começar seus experimentos em laboratório. A pesquisa começou com as propriedades de diferentes ligas magnéticas. Foi nesse contexto que ela conheceria seu futuro esposo, Pierre Curie (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Na Figura 1, apresenta-se uma fotografia da época, de Marie Curie trabalhando no laboratório, com a aparelhagem desenvolvida pelos irmãos Curie.

Figura 1. Marie Curie trabalhando em laboratório com a aparelhagem desenvolvida pelos irmãos Curie.



Fonte: MILLER, 2014.

Na primavera de 1894, conheceu Pierre Curie, no ambiente universitário. Apesar de achar necessário voltar para casa e obter um cargo de ensino na Polônia, cartas de amor e de interesse científico de Pierre a fizeram mudar de ideia. Na conexão e relacionamento dos dois, além do amor mútuo,

compartilhavam também o amor pela Ciência. Em 26 de julho de 1895 eles oficializaram seu casamento em uma cerimônia singela, e como presente de lua de mel, os dois ganharam bicicletas, e foram pedalando pelo interior da Bretanha (ONISHI, 2014; ROCKWELL, 2003).

Além de serem um casal harmônico, a união dos dois foi de suma importância na vida de Marie Curie, pois foi com o auxílio de seu marido, que conseguiram êxito na descoberta da radioatividade, dividindo o prêmio Nobel de Física com Henri Becquerel.

O casal teve duas filhas, Irene (ganhadora do prêmio Nobel de química em 1935) e Ève (pianista e escritora). Diante do excesso de trabalho, Marie sofreu um aborto espontâneo, podendo este fato ter relação com a exposição à radioatividade (ONISHI, 2014).

Em 1934, Marie Curie veio a falecer de leucemia, além de sofrer de catarata e lesões nas mãos por manipular o elemento rádio sem os equipamentos de proteção adequados (MILLER, 2014). A vida de Marie Curie é contada no filme “Madame Curie”, lançado nos EUA, onde foi utilizada a biografia da mesma, escrita sua filha Ève Curie.

Apesar das dificuldades enfrentadas, em um cenário não propício para a ascensão da mulher, Marie Curie foi sem dúvidas, a personalidade científica mais importante da sua época, com feitos e descobertas que se perpetuaram nos anais da ciência. A data de nascimento de Curie (7 de novembro) foi a data escolhida para a comemoração do Dia Internacional da Física Médica.

3. CONTRIBUIÇÕES NO ÂMBITO CIENTÍFICO

Tendo passado mais de um século, pouco se ouve falar da brilhante história da cientista mulher, que contribuiu significativamente para o avanço da ciência. Marie Curie auxiliou na descoberta da radioatividade dando continuidade aos estudos de Becquerel, além de ter descoberto dois novos elementos químicos: o rádio e o polônio.

O tema “raios urânicos” foi estudo de diversos pesquisadores, tais como Becquerel, Kelvin, Schmidt e de Curie. Nesse estudo, diferenciando-se dos demais, empregou-se o método elétrico, onde buscava-se medir a condutividade do ar sob influência dos raios estudados. Uma vantagem do método foi a rapidez e o fornecimento de números para comparação entre os elementos (CURIE, 1899).

3.1. Descoberta da Radioatividade

A radioatividade é uma propriedade dos núcleos de alguns elementos químicos e consiste na emissão pelos mesmos de partículas e/ou energia, podendo alguns serem instáveis e se desintegrarem espontaneamente, formando diferentes núcleos. Os três tipos de radiação nuclear são emissão alfa (α), emissão beta (β) e emissão gama (γ). A emissão α consiste em dois prótons e dois nêutrons, sendo equivalente a um núcleo de hélio. A emissão β se subdivide em outras três, β^- (elétron), β^+ (antielétron), e captura de elétron (emissão de nêutron). A emissão γ é um fóton de alta energia (LERNER; TRIGG, 1991; THORNTON; REX, 2011).

Nesta época os raios X, produzidos por descargas elétricas e tubos de vácuo, já eram conhecidos, mas a emissão espontânea de radiação por alguns elementos químicos ainda era uma incógnita.

O fascínio fez com que Curie quisesse ir a fundo na questão. Parafraçando-a: “A questão era inteiramente nova e o tema não dispunha de qualquer bibliografia. Decidi-me assim a começar um trabalho sobre este tema” (CURIE, 1898).

A partir dos estudos dos raios de urânio pelo método de interações elétricas, Marie buscava descobrir a possível existência de novos elementos que emitissem radiação da mesma forma que o urânio.

Para termos uma noção da importância dessa época para o desenvolvimento da Física das radiações e da estrutura da matéria, basta citarmos que Roentgen descobriu os raios X, em 1895, Becquerel por sua vez descobriu os raios urânicos em 1896, e em 1897 Thomson descobriu o elétron.

Um papel telegrafado da descoberta dos raios X de Roentgen que circulou pelo mundo foi o marco que deu o pontapé inicial para as pesquisas dos Curie (ROCKWELL, 2003). Becquerel estudou substâncias com propriedades luminescentes, como o sulfeto de zinco, sulfeto de cálcio e outras, que emanavam uma radiação penetrante fosforescente (BECQUEREL, 1896) por isso, o fato já era conhecido, não apontando motivos para continuar a pesquisa com todos os elementos químicos (MARTINS, 1997).

Os considerados raios “urânicos” eram um desafio científico, mantinham suas características por longos períodos, onde subentendia-se que a energia destes era criada do nada, violando o princípio da termodinâmica de Carnot, onde “a energia pode ser transformada, mas não criada ou destruída” (CARVALHO, 2014).

Por Marie não pertencer a nenhuma instituição científica, Pierre Curie conseguiu convencer o diretor da *École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles*, onde era professor, a autorizar Marie a usar um canto de uma pequena sala, que antes era um depósito, para realizar suas pesquisas (MARTINS, 2003).

Para dar início as suas investigações, Marie decidiu usar a técnica já estudada por Becquerel e Rutherford, através da medida da ionização do ar, porém com uma associação experimental melhor, associando a câmara de ionização com o equipamento desenvolvido por Pierre e Jacques Curie (CHAVAUDRA, 1995).

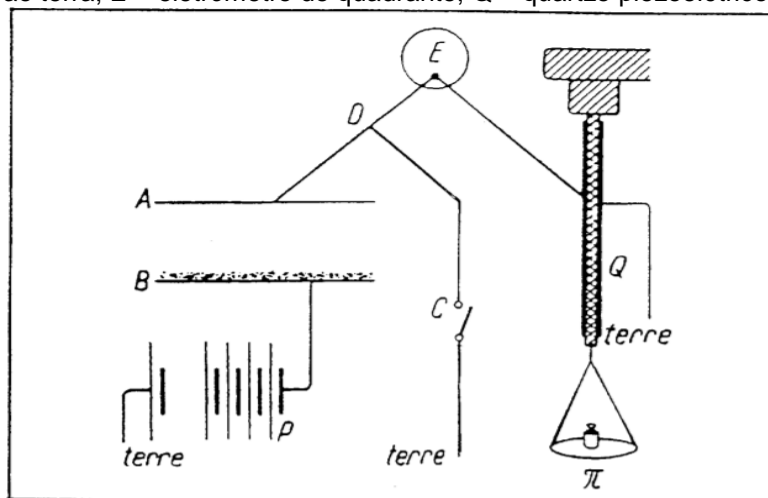
Com a ajuda de seu irmão, Jacques, Pierre Curie descobriu a piezoelectricidade antes da descoberta da radioatividade. Piezoelectricidade é o nome designado para a produção de cargas elétricas quando pressão é aplicada em cristais, como quartzo. Pierre desenvolveu um dispositivo que se

baseava nesse fenômeno, decisivo para ajudar sua esposa nos estudos da radioatividade (ADLOFF, 1999).

Testes preliminares foram o primeiro passo de Marie, para que se familiarizasse com a aparelhagem, por ser necessário certa prática com a manipulação da força exercida sobre o cristal piezoelétrico. Primeiramente foi investigada a condutividade do ar quando exposto sobre raios X e também urânio metálico (MARTINS, 2003).

O sistema contava com dois eletrodos metálicos, onde no meio, uma carga elétrica era aplicada. Os raios urânicos produziam cargas elétricas no ar, e este ficava ionizado entre os eletrodos (ADLOFF, 1999). Com o aparelho desenvolvido pelos irmãos Curie, o método consistia em contrabalançar em um eletrômetro sensível, a quantidade de eletricidade que era transportada pela corrente, com a cedida pelo quartzo piezoelétrico (CURIE, 1923). A Figura 2 apresenta a esquematização do aparelho desenvolvido pelos irmãos Curie.

Figura 2. Esquema do aparelho de medida de ionização (AB – câmara de ionização; CD – conexão ao terra; E – eletrômetro de quadrante; Q – quartzo piezoelétrico)



Fonte: ADLOFF, 1999.

O aparelho consistia de dois eletrodos metálicos entre os quais uma tensão elétrica era aplicada. Um prato entrava em contato com a substância a ser testada. Os raios urânicos produziam cargas elétricas no ar e a ionização gerava fluxos de correntes entre os eletrodos. As cargas na câmara eram compensadas por cargas opostas obtidas pela aplicação de um peso ao quartzo piezoelétrico (ADLOFF, 1999).

Duas decisões importantes foram tomadas antes de começarem os experimentos, a primeira era a escolha de qual método quantitativo seria usado. E a segunda, Marie teria que testar a maior quantia de sais e mineiras que fosse possível (LANGEVIN-JOLIOT, 2014). Dentre as substâncias analisadas, estavam: metais facilmente encontrados e alguns mais raros como o gálio, germânio, neodímio, praseodímio, nióbio, escândio, érbio, rubídio, samário, itérbio, ítrio, hólmio; e grande número de minerais (CURIE & CURIE, 1900).

Ao examinar o pó de urânio colocado no aparelho, Marie percebeu que a corrente elétrica não aumentava com a espessura do material, desde que a mesma não fosse muito pequena (uma camada de meio milímetro produzia o mesmo efeito que uma de 3mm) (CURIE, 1903). Assim, concluiu-se que a corrente aumentava à medida que aumentava a distância entre as placas do capacitor, mas a partir de certa distância a corrente tornava-se constante.

Foram definidos padrões experimentais a serem seguidos, sendo a distância entre as placas, a voltagem e o tamanho das placas, assim, o único parâmetro que alternava era a substância de estudo.

Curie testou novos minérios de urânio, como a calcita e autunita, que assim como a pechblenda, emitiam ionização mais intensa que o esperado pela quantidade de urânio e tório presentes. Ela deduziu que junto com esses minerais, existiria um novo elemento desconhecido, em pequena quantidade, mas altamente ativo (CURIE, 1923).

Em 1898, Marie defendeu sua tese “Raios emitidos por compostos de urânio e tório” na academia de Ciência. Ela concluiu que, além de produção de atividade ionizante da pechblenda (uraninita) e da calcita, a atividade que ela estava mensurando era uma propriedade atômica, não molecular, já que a atividade de urânio não dependia do seu estado químico (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Dentre suas anotações, algumas não foram apresentadas à Academia de Ciências de Paris, tais como: (a) a radiação não é influenciada pela luz ou presença de Sol; (b) não é influenciada pela temperatura; (c) não é influenciada por reações químicas, dissolução em água ou presença de impurezas (CURIE, 1899). Diante dessas pontuações, percebe-se que o fenômeno era novo,

diferente da fosforescência. O termo “radioativo” surgiu, a partir de seu estudo com o tório. Antes disso, o termo utilizado era apenas “ativo”.

A primeira publicação de Marie, descrevia que tanto a pechblenda quanto a calcita produziam ionização (ROCKWELL, 2003). Por consequência, ela introduziu um novo conceito, que um novo elemento ainda desconhecido, poderia ser estudado pela radioatividade que emitisse, sendo este diferente dos já conhecidos.

Em 1902, junto com Becquerel, o casal ganhou o prêmio Nobel de física, pela descoberta da radioatividade.

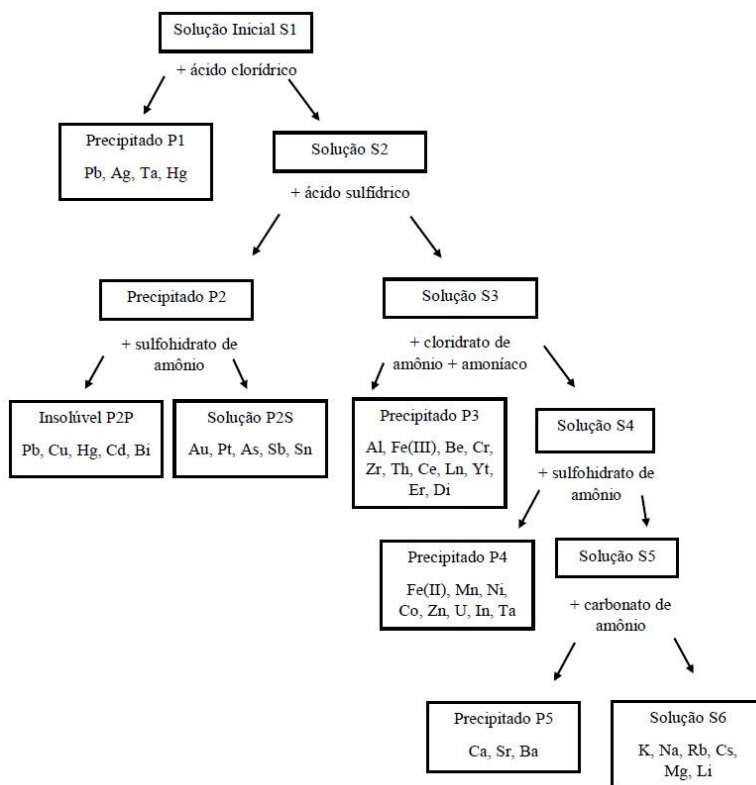
3.2. Descoberta do Polônio

Diante da grande inteligência de Curie, seu próximo passo foi examinar um mineral de tório e nióbio (que não possuía urânio), visto que a pechblenda além de óxido de urânio, possuía outras substâncias, como tório. Notou que o mineral emitia radiações ionizantes, porém ao examinar minerais que continham nióbio, não constatava atividade radioativa (MARTINS, 2003).

Ao perceber o comportamento “anormal” do tório, ela caracterizou os raios emitidos por ele, sendo mais penetrantes que os raios urânicos. A pechblenda e a calcita emitiam maior radiação que o esperado pelo conteúdo de urânio presente (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

A análise química ocorreu por via úmida. Por ser insolúvel em água, primeiro se dissolvia o corpo com ácido clorídrico diluído, após ácido nítrico e por fim água régia. As principais etapas do processo estão demonstradas na Figura 3 (DITTE, 1893).

Figura 3. Principais etapas da análise química de metais por via úmida



Fonte: adaptado de DITTE, 1893.

Foi examinado um grande grupo de metais, entre eles, cobre, chumbo, cadmio, tungstênio, porém notou-se que nenhum deles produzia condutividade no ar. Após foi analisada a pechblenda (minério de urânio), onde produziu-se efeitos coincidentes com o urânio puro, como esperado. Algo que chamou a atenção de Marie, foi o fato de a pechblenda produzir corrente elétrica maior que do urânio metálico puro. Comparando a ionização de quantidades iguais de urânio metálicos e diferentes minérios de urânio, ela percebeu que a ionização era mais baixa nos minérios que no urânio metálico, exceto na pechblenda. A partir desse ponto, Marie começou a suspeitar da presença de outro elemento que também emitia radiações além do urânio presente na amostra (CURIE, 1923).

Também foi testado minério de tório, onde notou-se uma significativa emissão de ionização, comparada ao urânio, sendo que este não estava presente na amostra (CURIE, 1923).

A pechblenda analisada era cerca de duas vezes mais reativa que o urânio. Ela foi atacada com ácido clorídrico, e o líquido tratado com ácido

sulfídrico. O urânio e o tório permaneceram, logo: sulfetos precipitados possuem uma substância muito ativa (junto de chumbo, bismuto, arsênio, cobre e antimônio); a substância é 100% insolúvel no sulfeto de amônio, que separa o arsênio e o antimônio; o líquido restante continha bismuto e era ativo (CURIE & CURIE, 1898).

Para realizar a completa separação da “nova substância” do bismuto, foi utilizado o processo de sublimação. Precipitou-se a solução com hidrogênio sulfurado, e os sulfetos submetidos a sublimação em vácuo à 700°C. O sulfeto ativo depositava-se (sob forma de resíduo negro) nas partes do tubo na temperatura de 250° a 300°C, e nas partes mais quentes permaneciam os sulfetos de bismuto e chumbo. Ao realizar a operação diversas vezes, a substância final, tinha atividade cerca de 400 vezes maior que do urânio (CURIE, 1899).

Posteriormente, ela percebeu que dois minérios de urânio eram mais radioativos que o urânio isolado. Esses minérios, eram de três a quatro vezes mais radioativos. Com o uso de tratamento adequado, conseguiram isolar o novo elemento dos minérios de urânio, dando-lhe o nome de Polônio (MARTINS, 2003). O nome polônio foi escolhido em função da Polônia ser o país de nascimento de Marie Curie.

3.3. Descoberta do Rádío

Marie decidiu então, analisar a calcita, mineral que contem fosfato duplo de urânio e de cobre. A amostra tinha atividade muito superior ao urânio e tório puros. Para esclarecer essa “anormalidade”, ela sintetizou essas substâncias, e usou a calcita artificial para comparação. Constatou que ela era menos ativa que o urânio (comportamento “normal”). Diante desse fato, confirmou-se a teoria da propriedade atômica, e a necessidade em revelar a presença de um novo elemento (MARTINS, 2003).

Marie queria isolar o novo elemento, porém a proporção presente na amostra era muito pequena para ser detectada por espectroscopia ou testes químicos. Foi necessário realizar a purificação da amostra e medir a radioatividade emitida pelos produtos da reação (ROCKWELL, 2003).

Os Curie trabalharam encima da pechblenda, de onde deveriam extrair uma quantidade significativa do novo composto. Porém, a quantia presente era da ordem de 10^{-7} a 10^{-8} . Para isso, desenvolveram um novo método, combinando análises físicas e químicas, com intuito de traçar o novo elemento após cada reação química para selecionar o composto mais reativo (CHAVAUDRA, 1995).

Para conseguir isolar esse elemento, utilizaram a técnica de separação por precipitação de sulfuretos com solução contendo bismuto. O precipitado isolado era 300 vezes mais radioativo que o urânio (CARVALHO, 2014).

Curie não tinha noção da concentração do novo elemento presente na amostra. Estima-se que havia $30\mu\text{g}$ de rádio e 9ng de polônio em $100\text{-}200\text{g}$ de pechblenda. Apenas a medida de radiação seria capaz de traçar essas frações. Caminhava-se para o estudo da radioquímica (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Para obtenção dessas substancias, a fim de realizar as caracterizações necessárias, foram realizados diversos tratamentos sequenciais. O primeiro começou com 100g de pechblenda onde sofreu um ataque com ácido nítrico. Marie evaporou a amostra e mediu a atividade, onde percebeu a presença de azotato de urânio ao que ela chamou de X (ADLOFF, 1999).

Dadas as diversas ideias que surgiram com o passar dos dias, eles perceberam que esse X poderia estar disfarçado na amostra, e que estava associado com chumbo, cobre e bismuto. Diversos elementos foram testados com intuito de se descobrir alguma familiaridade, porem nenhum elemento apresentou atividade (ADLOFF, 1999).

Pela primeira vez na história da química uma substancia só conseguia ser identificada a partir das emissões de raios urânicos.

Passado algum tempo, Marie e Pierre conseguiram identificar outro novo elemento, que emitia grande poder de radiação, deram-lhe o nome de Rádio (WEILL, 2007).

O caminho seguido foi a análise por via úmida. Os elementos foram separados sucessivamente, e notou-se que o bário obtido no final do processo era altamente radioativo (considerando que o bário comum não apresenta radioatividade), logo os Curie deduziram que misturado ao bário, em pequena quantidade haveria uma nova substancia, como ocorrido com o polônio misturado ao bismuto (CURIE, CURIE e BÉMONT, 1898).

Procuraram uma substancia concentrada por cristalização fracionada a partir de cloreto de bário, proveniente da pechblenda. Prosseguiu-se a operação de separação até obter um cloreto com radioatividade 900 vezes maior que o uranio metálico. A espectrometria revelou padrões que não correspondiam a nenhum elemento conhecido e da qual, a intensidade das raias aumentava com a radiação (purificação do cloreto) (CURIE, CURIE e BÉMONT, 1898). A descoberta do rádio se deu por meio de análise espectral, onde o suposto elemento que apareceu, ainda não tinha registros. As propriedades do rádio eram muito intrigantes. O elemento conseguia emitir com grande intensidade os raios, produzidos em vácuo (CURIE, 1904).

“Assim, havia-se produzido a prova absoluta de que o rádio é um novo elemento químico, e de que a hipótese inicial estava confirmada. Esses resultados também foram corroborados por outros cientistas posteriormente” (CURIE, 1921).

3.4. Comprovação da existência dos novos elementos

Como a maioria dos físicos e cientistas ainda não estavam convencidos da descoberta do novo elemento, o desafio a enfrentar seria preparar uma quantidade significativa de rádio, para determinar seu peso atômico. Assim, seria possível “alocar” o novo elemento na tabela periódica (CURIE, 1954). Em minérios de uranio, a concentração de rádio presente, em massa, é da ordem de 1g/ton, e o polônio na ordem de 0,1mg/ton, sendo os elementos mais raros do planeta (CARVALHO, 2014).

Seria preciso extrair esses elementos da pechblenda. Diante do comportamento que os elementos apresentaram, e as teorias delineadas, primeiramente foi escolhido extrair o rádio, esperando ser mais rápido e confiável, sendo que as quantidades presentes na amostra eram mínimas. Em 1902, Marie conseguiu isolar um decigrama de rádio puro, e assim, determinar seu peso atômico, ganhando a medalha Berthelot da academia de ciências (WEILL, 2007). O primeiro peso atômico determinado foi de 225, porém em 1907, atualizou o valor para 226,45, muito próximo ao valor conhecido atualmente, 226,0254 (HURVIC, 1995). Deve-se destacar que a determinação ocorreu com uma amostra de 0,120 gramas de cloreto de bário-rádio, contendo

4. CONTRIBUIÇÕES PARA A HUMANIDADE

Pode-se definir Marie Curie, como multifacetada e atenta às dificuldades de seu tempo, onde sua posição entre as mulheres é a de que mais contribuiu para o avanço da humanidade (CARVALHO, 2014).

Após a morte de Pierre, começou a dar aulas no lugar do marido, mas também queria provar para comunidade científica com argumentos irrefutáveis a presença dos novos elementos. Em 1910, conseguiu extrair uma minúscula amostra de rádio e assim determinar seu ponto de fusão, 700°C. Também foi possível obter uma quantidade significativa de polônio para realizar a espectroscopia e identifica-lo (CURIE, 1906).

Um tempo após a descoberta destes elementos, eles começaram a ser utilizados para a radioterapia. Como foi Marie Curie quem desenvolveu o primeiro padrão de radioatividade, este ficou conhecido como Curie (Ci), usado então para a “*Curieterapia*”. O objetivo era o tratamento de doenças dermatológicas e destruição de tumores, assim como era utilizado os raios-X (CARVALHO, 2014).

A medida Curie (Ci) foi baseada no rádio, e depositado no *Bureau International de Poids et Mesures*, em Sèvres (CURIE, 1912). Curie (Ci) é a unidade de quantidade de material radioativo, onde $3,7 \times 10^{10}$ núcleos desintegram em cada segundo. Atualmente a medida não é mais aceita, tendo sido substituída a partir de dados da ICRU (*International Commission on Radiation Units*), pelo Bequerel (Bq), que é igual a 1 desintegração por segundo (UFRGS, 2002).

Nos primeiros anos do século XX eram poucas as minas de urânio, assim a produção de rádio era baixíssima. A necessidade da extração de rádio para fornecimento do Instituto do Rádio em Paris e centros de oncologia desencadeou uma corrida econômica. O rádio foi inicialmente produzido na Europa (MOULD, 2007).

Durante a Primeira Guerra Mundial, em 1914, travando-se a guerra das trincheiras, principalmente entre França e Alemanha, a preocupação de Marie passou a ser a organização de serviços radiológicos e radioterápicos para hospitais militares. Ela equipou diversos meios de transportes, como

ambulâncias e vans, além de treinar técnicos para usar os equipamentos (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Marie auxiliou o exército desenvolvendo ambulâncias com aparelhos de raio X portáteis. Os carros contavam com toda aparelhagem necessária, além de energia para opera-los. Criou cursos intensivos para treinar enfermeiros. Em 1920, contou detalhes desse fato marcante, no livro “A radiologia e a Guerra” (WEILL, 2007). Marie Curie, tirou a “habilitação” de condução, o que na época era raríssimo para mulheres, a fim de conduzir esses veículos com a aparelhagem necessária (CURIE, 1921).

A fama de “madame Curie”, se deu por sua grande descoberta e pelos inúmeros serviços prestados a hospitais através das técnicas de diagnóstico por ela desenvolvidos que utilizavam radiações nucleares. Em 1912 foi construído o “*Institut du Radium*”. O instituto consistia em dois grandes laboratórios, o pavilhão Curie, designado para pesquisas em química e física, sob a supervisão de Marie Curie. O segundo, pavilhão Pasteur, utilizado para pesquisas de cunho biológico, sob a supervisão de Claudius Regaud (PAJOT, SCHAEFFER e BARHELEMY, 2011). A Figura 5 apresenta uma imagem da época do pavilhão Pasteur e o Instituto do Rádío.

Figura 5. O Pavilhão Pasteur e o Instituto do Rádío (acervo Curie e Joliot-Curie)



Fonte: RÓQUE, 1994.

Marie, como diretora de laboratório, estava procurando maneiras de conseguir suporte financeiro para obter certa quantidade do elemento rádío. Conheceu então, a senhorita Meloney, uma jornalista americana que se tornou sua amiga. A jornalista impressionada com a história de Curie, promoveu uma campanha nos EUA para angariar fundos. Marie Curie viajou para os EUA em

1921, onde recebeu, além de presentes e honras, uma grama de rádio, diretamente do presidente Harding (ABBÉ, 1904).

A viagem de Marie para os EUA mostrou que seu prestígio poderia ser usado para dar apoio a projetos de interesse geral. Curie conseguiu arrecadar boa quantidade de dinheiro para suas pesquisas e de seus alunos do Instituto.

O caminho aberto por Madame Curie para o estudo do uso de outros radioisótopos na medicina e na medicina nuclear com radiofármacos (iodo, paládio) é um dos maiores legados deixados pela cientista (CARVALHO, 2014). Na Figura 6, mostra-se um paciente com angioma, tratado com rádio no Instituto em Paris, antes e depois do tratamento.

Figura 6. Paciente com angioma, tratado com rádio no Instituto do Rádio, antes e depois do tratamento



Fonte: CARVALHO, 2014.

5. DIFICULDADES ENFRENTADAS E A IMPORTÂNCIA DA IGUALDADE DE GÊNERO

Uma das primeiras conquistas de Marie Curie foi a permissão dada a ela para trabalhar em laboratórios. Foi um fato marcante, pois nenhuma mulher era aceita em laboratórios naquela época.

No início, uma das maiores dificuldades encontradas por Marie, foi as péssimas condições de trabalho. Não haviam laboratórios adequados para processar o resíduo da pechblenda. Foi disponibilizado a ela um galpão de madeira, sem os equipamentos com a qualidade que necessitava. Apesar do fato, o governo Austríaco disponibilizou para o estudo uma tonelada de resíduo de pechblenda (ADLOFF, 1999; LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Dada as péssimas instalações, tudo estava contaminado. Não havia saída para liberação de gases, nem mesmo uma “coifa” com exaustor. Todas anotações bem como todo material básico estava contaminado. Marie descrevia aquilo como o “trabalho da morte” (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

Após a morte de Pierre Curie, Marie tornou-se diretora de laboratório, e continuou suas pesquisas. Ela também assumiu as turmas em que Pierre lecionava, e assim, tornou-se a primeira mulher a doutrinar aulas na renomada universidade de Sorbonne, França (ROCKWELL, 2003).

O fato marca um importante avanço no que diz respeito a igualdade de acesso para mulheres em pesquisas e cargos acadêmicos elevados.

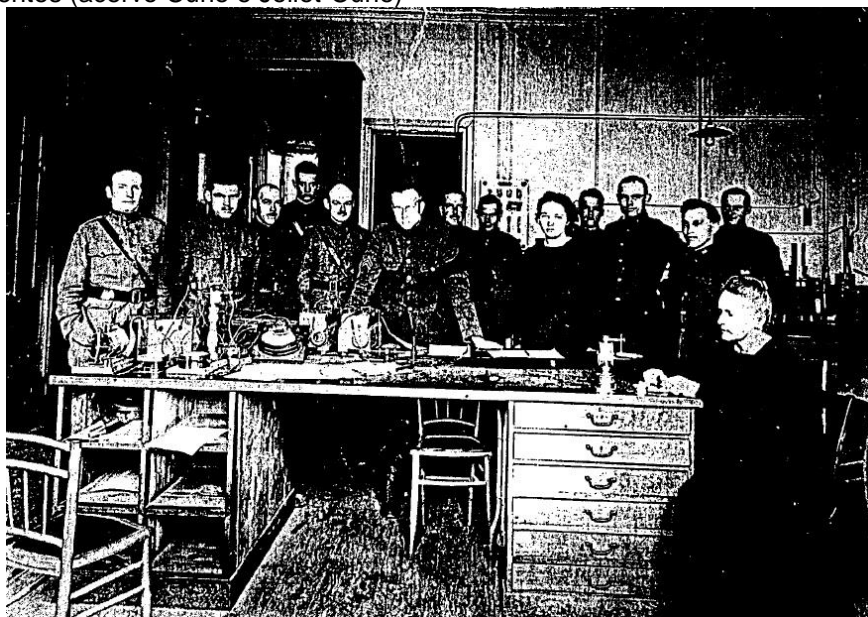
Marie tinha prazer em lecionar. Se tornou a primeira mulher a dar aulas na *École Normale Supérieure de Sèvres*, a melhor escola preparatória para mulheres que almejavam ser professoras na França (ROCKWELL, 2003).

A bondade de Marie Curie era vista a olhos nus. O dinheiro que ganhou com o Premio Nobel não foi gasto com futilidades, mas como “presentes” para alunos poloneses, assistentes de laboratórios e para uma menina com necessidades que conheceu em uma pequena comunidade francesa (YOGANANDA, 2001).

Atualmente necessidade de igualdade entre gêneros ainda persiste. Marie Curie foi pioneira dessa luta. Conseguiu vencer as adversidades materiais e de reconhecimento pessoal tornando-se uma imagem de respeito, luta e persistência. Na Figura 7, é possível ver a fotografia da época, em que

uma expedição americana visitava o Instituto do Rádio (1919), onde Marie e sua filha Irene, eram as únicas mulheres presentes na sala.

Figura 7. Visita de uma expedição americana ao Instituto do Rádio, com Marie e Irene Curie presentes (acervo Curie e Joliot-Curie)



Fonte: RÓQUE, 1994.

Após “abrir caminho” no ramo da ciência, e demonstrando que as mulheres podem, sim, alcançar posições da mesma forma que os homens, outros nomes devem ser citados, como merecedoras dos prêmios obtidos. Considerada da Primeira Geração, e motivada por Marie Curie, Lise Meitner (1878 – 1968) foi uma renomada Física Nuclear e diretora de um Centro de Física Nuclear em Berlim, que é associada à descoberta da fissão. Porém, apesar do fato, o prêmio Nobel por esse trabalho foi entregue a Hahn, apenas um dos três integrantes da equipe (Meitner, Hahn e Strassmann), mesmo sendo ela, a líder da equipe. Dentre inúmeras dificuldades que passou, em péssimas condições, trabalhou em porões, não sendo aceita para dividir laboratórios com seus colegas do sexo masculino. Meitner é mais uma prova da importância da igualdade entre os gêneros entre os séculos (SIME, 1989; MCGRAYNE, 1994).

Outro nome que deve ser mencionado, é o da filha de Marie Curie, Irène Joliot-Curie (1897 – 1956), considerada da Segunda Geração, seguindo os passos da mãe, ganhou em 1935 o prêmio Nobel de Química em reconhecimento pela síntese de novos elementos radioativos (radioatividade

artificial). Além do prêmio, Irène entrou para o governo completando sua imagem de modernidade, ao sair em uma importante revista, *Paris-Soir magazine*, com uma reportagem intitulada: “Uma mulher no governo: o belo romance da família Curie, dinastia da inteligência” (BARD, 2009).

Estes são apenas alguns nomes que podem ser citados, mas que foram fortemente influenciados pela pioneira da ciência, Marie Curie.

6. CONSEQUENCIAS DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO NA SAÚDE DOS PESQUISADORES

Querendo verificar a veracidade da radiação ser prejudicial, Pierre Curie fez um experimento em si mesmo. Colocou uma amostra radioativa em seu braço, por 10 horas. A reação aconteceu lentamente, iniciando com um simples eritema até uma ulcera profunda, em alguns dias. A cicatrização começou a ocorrer depois de 6 semanas (ROQUÉ, 1994).

Devido a contaminação, tanto externa quanto interna de seus corpos, pela radiação, Marie começou a sofrer alterações crônicas (CHAVAUDRA, 1995). Dada a falta de conhecimento e cuidado com os perigos da radiação, e por não haverem maneiras de acondicionar essas substancias com a segurança necessária, fadiga, anemia crônica, queimaduras nas mãos e problemas de movimentação de mãos e pernas, foram alguns dos primeiros sintomas apresentados (ROCKWELL, 2003). Além de uma fadiga inexplicável, Marie tornou-se mais frágil e adoecia facilmente. As extremidades dos seus dedos a cada dia tornavam-se mais doloridos, à medida que manipulava as substancias purificadas (REID, 1979).

Marie Curie faleceu em 1935. A causa não pôde ser especificada naquela época, mas considera-se os efeitos da radiação intensiva, sendo que sua morte pode ter sido ocasionada por leucemia induzida pela radiação (ROCKWELL, 2003). Pierre e Marie Curie foram enterrados juntos em um cemitério próximo de Paris, e em 1995 suas cinzas foram levadas para o Pantheon, Roma, onde repousam os cidadãos mais ilustres da sociedade francesa (LANGEVIN-JOLIOT, 2014).

7. CONCLUSÕES

A partir do estudo sobre a vida e obra deixada por Marie Sklodowska Curie, percebe-se a importância que teve esta mente brilhante, deixando um legado permanente para a humanidade.

Vindo de uma família simples, porém rigorosa quanto aos estudos, Marie se tornou uma célebre cientista, superando adversidades e sendo pioneira no desenvolvimento da Física Nuclear.

Com a ajuda de seu marido e amigo, Pierre Curie, Marie realizou a descoberta de dois novos elementos químicos, polônio e rádio, e tornou-se a primeira mulher com sucesso na área de pesquisa em Química. Foi também a primeira mulher e pessoa a ser ganhadora de dois Prêmios Nobéis: de química e física.

Além de suas contribuições científicas, Curie preocupava-se com a humanidade. Seus estudos sobre as radiações e efeitos benéficos à saúde humana, permitiram que ela contribuísse humanitariamente durante a primeira guerra mundial equipando carros com aparelhos de raio X e treinando diversos profissionais da saúde para operá-los. Foi criadora do Instituto do Rádio, e utilizou sua influência sempre buscando o melhor para a ciência e o avanço da humanidade.

Através do seu árduo trabalho, sua saúde sofreu consequências ao longo dos anos, adquirindo diversos problemas de saúde. Apesar de todos os problemas que surgiram diante de sua jornada, Marie Curie é um símbolo, tanto para a Química quanto para a luta pela igualdade de gêneros e pelo fato de ter sido modelo entre as mulheres no cenário mundial.

REFERENCIAS

- ABBÉ, R. **The subtle power of radium**. New York: Med. Record., 1904. (in: CARVALHO, F. P. *Gazeta de Física: para os físicos e os amigos da física. Sociedade Portuguesa de Física*, v. 37, n. 1, 2014.)
- ADLOFF, J. P. **The laboratory notebooks of Pierre and Marie Curie and the discovery of polonium and radium**. França: Czech. J. Phys. 49/S1, 1999.
- BALIBAR, F. **Marie Curie: Femme savant ou Sainte Vierge de la Science**. Paris: Éditions Gallimard, 2006.
- BARD, C. Marie Curie et Irène Joliot-Curie: Le féminisme arcouestien. **Revue de la bibliothèque nationale de France**, n. 32, p. 32-40, 2009.
- BECQUEREL, H. **Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents**. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris, v. 122, p. 501-503, 1896. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)
- CARVALHO, F. P. *Gazeta de Física: para os físicos e os amigos da física. Sociedade Portuguesa de Física*, v. 37, n. 1, 2014.
- CHAVAUDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.
- CURIE, E. **Madame Curie**. Paris: Gallimard, 2010.
- CURIE, I. J. Oeuvres de Marie Sklodowska Curie. Varsovie: **Panstwowe Wydawnictwo Naukowe**, 1954. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)
- CURIE, M. Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium. **Journal de Physique**, 5th series 2, p. 795-798, 1912. (in: CARVALHO, F. P. *Gazeta de Física: para os físicos e os amigos da física. Sociedade Portuguesa de Física*, v. 37, n. 1, 2014.)

CURIE, M. **Radiologie de la Guerre**. Paris: Librairie Félix Alcan, 1921. (in: CARVALHO, F. P. *Gazeta de Física: para os físicos e os amigos da física. Sociedade Portuguesa de Física*, v. 37, n. 1, 2014.)

CURIE, M. **Sur la décroissance de la radioactivité du polonium avec le temps**. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, p. 273-276, 1906. (in: CHAVAUDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.)

CURIE, M. Radium and Radioactivity. **Century Magazine**, v. 67, p. 461-466, 1904. Disponível em: https://history.aip.org/history/exhibits/curie/article_text.htm. Acesso em: maio. 2020.

CURIE, M. **Pierre Curie: an autobiographical note**. New York: The Macmillan Company, 1923. (in: CHAVAUDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.)

CURIE, M. S. Les rayons de Becquerel et le polonium. **Révue Générale des Sciences**, n. 10, p. 41-50, 1899. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

CURIE, M. S. **Recherches sur les substances radioactives**. Paris: Gauthier-Villars, 1903. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

CURIE, M. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes-rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, n. 126, p. 1101– 1103 (Note du 12 Avril), 1898. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

CURIE, P. **Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles émettent**. *Rapports Présentés au Congrès International de Physique réuni a Paris en 1900*, v. 3, p. 79-114, 1900. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da**

Ciência – USP. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

CURIE, P.; CURIE, M. S. **Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende**. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, n. 127, p. 175-8, 1898. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

CURIE, P.; CURIE, M.; BÉMONT, G. **Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende**. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, n. 127, p. 1215-1217, (Note du 26 December), 1898. Disponível em: <https://history.aip.org/history/exhibits/curie/discover.htm>. Acesso em: maio. 2020.

DITTE, A. **Traité élémentaire d'analyse qualitative des matières minérales**. Paris: Vve. Ch. Dunod, 1893. (in: MARTINS, R. A. Do uranio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos. **Grupo de História e Teoria da Ciência – USP**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/CURIE-2b.PDF>. Acesso em: maio. 2020)

HURVIC, J. Sur la thèse de Doctorat de Marie Curie. **L'Actualité Chimie**, p. 43, 1995. (in: CHAVALDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.)

LANGEVIN-JOLIOT, H. Radium, Marie Curie and Modern Science. **Radiation Research**, v. 150, n. 5, Junho, 2014.

LERNER, R. G.; TRIGG, G. L. **Encyclopedia of physics**. New York: VCH, 1991.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, USP**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2003.

MARTINS, R. A. Becquerel and the choice of uranium compounds. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 51, n. 1, p. 67-81, 1997.

MARTINS, R. A. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Roentgen. **Revista Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 17, p. 81-102, 1997.

- MCGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências:** suas vidas, lutas e notáveis descobertas. São Paulo: Marco Zero, 1994.
- MILLER, D. Chemists. **Cavendish Square Publishing**, n. 160, p. 37- 41, 2014.
- MOULD, R. F. Radium History Mosaic. **Nowotwory Journal Oncology**, Warsaw, v. 60, n. 3, p. 293, 2007.
- ONISHI, E. Análise biográfica de Marie Curie. **Glasnot**, v. 1, n. 1, p. 34-45, 2014.
- PAJOT, P. H.; SCHAEFFER, A.; BARHELEMY, P. L'héritage Marie Curie. **Les dossiers de la Recherche**, n. 42, p. 6-75, Paris, 2011.
- PUGLIESE, G. Um sobrevôo no "Caso Marie Curie": um experimento de antropologia, gênero e ciência. **Revista de Antropologia**, v. 50, n. 1, p. 347-385, 2007.
- REID, R. W. **Marie Curie derrière la legende**. Paris: Éditions du Seuil, 1979. (in: CHAVAUDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.)
- ROCKWELL, S. The life and legacy of Marie Curie. **Yale Journal of Biology and Medicine**, n. 76, p. 167-180, 2003.
- ROQUÉ, X. La stratégie de l'isolement. **Cahiers de Science de Vie**, v. 24, p. 68-74, 1994. (in: CHAVAUDRA, J. Pierre and Marie Curie-Sklodowska. **Medical Physics**. 22 (11), part. 2, 1995.)
- SIME, R. L. Lise Meitner and the Discovery of Fission. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 5, p. 373-376, 1989.
- THORNTON, S. T.; REX, A. **Modern Physics for Scientists and Engineers**. Boston: Cengage Language. 4th edition, 2011.
- UFRGS. **Glossário (Radioatividade)**. Revisado em 02/07/2002. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/radio/glossario.htm>. Acesso em: maio. 2020.
- WEILL, A. R. Curie, Marie. In: GILLISPIE, C.C. (ed), **Dicionário de Biografias Científicas**. Rio de Janeiro: Contraponto, v.1, p. 551-557, 2007.
- YOGANANDA, C. S. Madame Curie. **Resonance** (Book review), n. 6, p. 86-89, março, 2001.