3 – Costa Ribeiro

pesquisas de minerais radioativos à termoeletricidade

Wanderley Vitorino da Silva Filho

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

SILVA FILHO, WV. Costa Ribeiro: pesquisas de minerais radioativos à termoeletricidade. In: *Costa Ribeiro: ensino, pesquisa e desenvolvimento da física no Brasil* [online]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2013, pp. 103-264. ISBN 9788578792763. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

3

Costa Ribeiro: Pesquisas de Minerais Radioativos à Termoeletricidade

Iniciação Científica e Radioatividade

Costa Ribeiro teve como primeiro objeto de pesquisa as medidas da radioatividade de alguns minerais brasileiros. Sobre a origem de tais minerais Costa Ribeiro indica que era:

[...] Proveniente da localidade denominada <<Engenho Central>>, no município de Rio Branco, estado de Minas Gerais.

A amostra do referido mineral que serviu de base às nossas medidas, nos foi gentilmente cedida pelo Dr. *Caio Pandiá Guimarães*, do Serviço Geológico do Estado de Minas Gerais, em dezembro de 1937.

Declarou-nos naquela ocasião, o Dr *Caio Guimarães*, que supunha tratar-se de uma <<Uranita>>.

Uma outra amostra de um mineral perfeitamente análogo, nos foi também oferecida pelo Dr. *Viktor Leinz*, quando Professor da Faculdade de Ciências da Universidade do Distrito Federal, e traz como indicação de

procedência o Distrito de Brejaúbas, no mesmo estado de Minas Gerais (COSTA RIBEIRO, 1940b).

Para medir a radioatividade dos citados minerais, Costa Ribeiro montou o circuito elétrico proposto por H.L.Bronson. Utilizou também o método de desvios constantes, do mesmo autor, publicado no periódico *Philosophical Magazine*, em 1906.

De modo, geral obtinham-se as medidas colocando a amostra do mineral a ser analisada num instrumento apropriado: a câmara de ionização. Ligado à câmara estava o circuito que compunha o equipamento. Integrado ainda ao circuito, e consequentemente ao conjunto que compunha o equipamento, estava o instrumento responsável para obter as medidas, conhecido como eletrômetro¹, este utilizado para medir a tensão (voltagem).

Colocava-se a amostra na câmara de ionização e olhava-se pelo ocular do eletrômetro² o valor inicial da tensão que o aparelho marcava. A partir daí acompanhava-se no eletrômetro a evolução da tensão. A tensão aumentava ao longo de certo intervalo de tempo, da ordem de poucos minutos, o tempo poderia ser maior ou menor, dependendo da amostra do mineral. Finalmente, quando a tensão parava de aumentar, o valor visto no eletrômetro permanecia constante, obtendo-se assim o valor final da tensão.

1 “Para efeitos práticos, um eletrômetro nada mais é que um eletroscópio provido de escala [...]” (MEDEIROS, 2002 *apud* VIEIRA, 2009)

2 O eletrômetro utilizado foi o eletrômetro unifilar de wulf.

De posse da leitura final e inicial, aplicava-se tais valores ao Método dos Desvios Constantes de Bronson, método utilizado para obter a corrente de ionização e saber o quanto o mineral era radioativo em comparação a uma outra amostra.

Fato observado por Costa Ribeiro na utilização do circuito de Bronson é que tal circuito apresentava dificuldades práticas. A principal dificuldade “[...] era obter a estabilidade da leitura inicial do eletrômetro, condição essa indispensável, em tal método, para que possa assegurar a fidelidade das medidas” (COSTA RIBEIRO, 1940a). A posição inicial do fio do eletrômetro era “[...] influenciada por um grande número de causas, algumas das quais difíceis de eliminar, sobretudo quando se aumenta a sensibilidade do instrumento [...]” (COSTA RIBEIRO, 1940a). O objetivo de aumentar a sensibilidade do eletrômetro era obter medidas mais precisas. Além da dificuldade ocasionada pelo circuito para obter um valor confiável da tensão inicial no eletrômetro, outro inconveniente apresentado referia-se ao tempo necessário para obter a leitura final no eletrômetro, que para sua pesquisa era um tempo consideravelmente longo, já que o comportamento da tensão era acompanhado o tempo todo pelo ocular do eletrômetro.

A fim de resolver os inconvenientes apresentados, Costa Ribeiro utilizou um método de ponte³ no circuito, método muito utilizado por quem trabalha com circuitos elétricos, livrando-se dos problemas apresentados. O novo circuito utilizado encontra-se representado na figura 6, abaixo:

3 O método (ou circuito) de ponte mais conhecido é a ponte de Wheatstone, inventada por Samuel Henrique Christie (1784-1865) em 1833 e popularizada por Charles Wheatstone (1802-1875).

Figura 6: Circuito de ponte montado por Costa Ribeiro

Fonte: Anais da ABC

Na figura 6, P representa a bateria responsável por fornecer tensão ao circuito e assegurar as condições de saturação na câmara, e I representa a câmara de ionização. De início consideraremos que o cursor S acha-se na extremidade esquerda da resistência R. Para essa posição do cursor a diferença de potencial (voltagem) entre os pontos 2 e 3 é nula.

Colocando-se a amostra do mineral radioativo na câmara de ionização, esta estabelecerá uma corrente elétrica no circuito, a corrente de ionização, que é de intensidade pequena, e ao atravessar a resistência B⁴ da figura 6 (resistência de Bronson), estabelece uma diferença de potencial entre as extremidades 3 e 1 da resistência B, fazendo com que o fio do eletrômetro se desloque, indicando a tensão. Basicamente esse é o circuito de Bronson. Deslocando-se, porém o cursor S através da resistência

4 Cujo valor é de 10^{12} ohms.

R, aplica-se entre os pontos 3 e 2 a mesma diferença de potencial existente entre os pontos 3 e 1. Tal diferença de potencial aplicada pelo cursor era obtida por um pequeno número de tentativas e o procedimento se repetia para diferentes minerais. Costa Ribeiro sabia que havia igualado as tensões, quando o fio do eletrômetro ficara imóvel e na posição inicial, marcando o valor zero. Com tal solução, o eletrômetro perdeu sua função de medidor de tensão, passando à função de indicador do equilíbrio entre as tensões estabelecidas, e a tensão passou a ser medida por meio de um milivoltímetro, VB na figura 6.

Com o método de ponte, Costa Ribeiro livrava-se dos inconvenientes da estabilidade da leitura inicial, do tempo de espera para obter a leitura final da tensão, bem como não precisava obter mais a tensão final. O valor da tensão era indicado imediatamente pelo milivoltímetro⁵.

Conhecida a tensão estabelecida entre os terminais da resistência B e também o valor da referida resistência, poderia se determinar o valor da corrente de ionização. Tal procedimento era chamado de método eletrométrico.

Sobre a resistência utilizada, Costa Ribeiro apresenta que “A construção de uma resistência da ordem de 10^{12} ohms e dotada das indispensáveis características de estabilidade, não é problema fácil. Adotamos, a título de experiência, uma resistência de *Bronson*, constituída por uma coluna de ar ionizado e que, como é sabido, não se comporta como uma resistência ôhmica” (COSTA RIBEIRO, 1940a).

5 Ou por um potenciômetro, este utilizado para obter medidas mais precisas.

Costa Ribeiro então precisou fazer um estudo do comportamento da referida resistência, obtendo ao final o gráfico, corrente de ionização *versus* tensão, que dava a relação direta entre a tensão lida no milivoltímetro e a corrente de ionização. Com o gráfico obtido não precisou utilizar mais o Método dos Desvios Constantes de Bronson para obter a corrente de ionização.

Como a resistência de Bronson não possuía um comportamento ôhmico, Costa Ribeiro deveria trabalhar dentro de limites para a tensão e corrente. A tensão deveria atingir o valor máximo de aproximadamente 5 volts e o valor da corrente máxima era aproximadamente $15 \cdot 10^{-12}$ Ampère. Tais valores não impunham limitações na pesquisa já que permitia “[...]trabalhar muito comodamente, na prática das medidas de radioatividade, em que se opera pelo método de comparação, determinando as correntes de ionização produzidas respectivamente pela substância radioativa em estudo e pela substância radioativa padrão” (COSTA RIBEIRO, 1940a).

Além da rapidez com que pôde obter os valores da corrente de ionização, vantajoso para as medidas dos produtos radioativos de evolução rápida, Costa Ribeiro apresenta outra vantagem do seu método de ponte: “Parece-nos que será possível obter com o circuito proposto, características de sensibilidade que permitam a sua utilização para a medida de correntes de ionização extremamente fracas, como as que se apresentam no estudo da radiação cósmica” (COSTA RIBEIRO, 1940a).

Em junho de 1940 Costa Ribeiro publicou seus dois primeiros trabalhos nos *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias*, sendo o primeiro artigo intitulado *Sobre um método de ponte para*

determinação das correntes de ionização nas medidas de radioatividade apresentando o trabalho acima descrito sobre o circuito utilizado. A Academia Brasileira de Ciências (ABC) publicava 4 exemplares dos *Anais* por ano.

Nas suas considerações no referido artigo, Costa Ribeiro escreve:

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Física Experimental da Faculdade de Ciências da Universidade do Distrito Federal, e é com prazer que testemunhamos aqui o nosso reconhecimento aos professores Roberto Marinho de Azevedo e José Baeta Viana, antigos Diretores daquela instituição, pelo muito que fizeram em prol do aparelhamento material do referido Laboratório.

Agradecemos também ao nosso antigo mestre e amigo prof. Dulcídio Pereira, pela generosa hospitalidade que nos dispensou no Laboratório de Física da Escola Nacional de Engenharia, pelo permanente estímulo com que tem animado o nosso interesse pela pesquisa experimental e pelo espírito de cooperação com que poz à nossa disposição os recursos do seu laboratório.

Desejamos outrossim consignar os mais vivos agradecimentos ao nosso amigo Dr. Bernhard Gross, cuja a tese, acima citada, serviu de inspiração ao presente trabalho e cujas valiosas sugestões e conselhos tornaram possível a sua realização.

A tese de Gross que Costa Ribeiro menciona tem o título *Temperatureinfluss auf den ionisationsstrom*. (Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Stuttgart, 1932⁶).

Figura 7: Equipamento utilizado para medidas de radioatividades de minerais utilizando o método de ponte

Fonte: Anais da ABC

Utilizando o circuito de ponte, Costa Ribeiro fez suas primeiras medidas da radioatividade dos minerais cedidos por Caio Pandiá Guimarães e Viktor Leinz. Seus resultados foram publicados nos *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* cujo título é *Sôbre a radioatividade de alguns minerais brasileiros*, publicado em junho de 1940 e datado de novembro de 1939. Juntamente com o já referido artigo *Sobre um método de ponte para determinação das correntes de ionização nas medidas de radioatividade* constitui suas duas primeiras publicações de pesquisas.

6 Efeito da temperatura sobre a ionização. (Departamento de Física da Universidade Técnica, Stuttgart, 1932).

No referido artigo Costa Ribeiro apresenta os resultados da radioatividade da *uranita* de Engenho Central doada por Caio Guimarães. Além da referida amostra, também mediu a radioatividade dos minerais: monazita, samarskita, curita, policrasita, uranita, e do óxido negro de urânio, esse último como amostra radioativa padrão para comparação das radioatividades dos minerais em questão.

A preparação das amostras - por Costa Ribeiro - para a pesquisa, incluindo a amostra padrão, óxido negro de urânio consistia, primeiramente em, remover a camada externa de cada mineral, que não era utilizada. A parte interna ele triturou em graal de vidro até obter um pó muito fino. Com o pó do mineral era preparada uma suspensão em clorofórmio e a partir da evaporação deste último, obtinha-se um depósito aderente e uniforme sobre um disco metálico de área conhecida. Para cada mineral foi repetido o mesmo procedimento. Essa era a amostra que se colocava na câmara de ionização. Como os minerais que ele estava analisando eram radioativos, ao serem colocados na referida câmara, ionizavam o gás existente lá dentro. O gás ionizado se torna condutor elétrico, permitindo a passagem de corrente elétrica, daí o nome corrente de ionização. Havia também a vigilância sobre o valor da corrente de ionização, que assim como a tensão, não poderia ultrapassar um valor determinado devido ao comportamento não ôhmico já mencionado do resistor utilizado.

De posse dos discos com as amostras, Costa Ribeiro fez suas medidas nos dias 24 e 31 de julho, 8 de agosto e 18 de outubro

de 1939. Abaixo (tabela 4) apresentamos a tabela geral com os valores das medidas da radioatividade⁷:

Quadro V (Comparação de <radioatividade relativa> dos minerais estudados)

1	2	3	4	5	6	7
Óxido negro de Urânio	Monazita de Divino de Ubá	Samar-skita de Divino de Ubá	Policra-sita de Pomba	Uranita da Serra da Moeda	Urani-ta de Engenho Central	Curita do Congo Belga
1,00	0,38	0,56	-	-	3,76	3,61
1,00	0,38	0,52	-	-	3,74	3,65
1,00	0,37	0,52	0,55	0,58	3,98	3,63
1,00	0,35	0,49	-	0,66	3,90	3,65
1,00	-	-	-	0,50	-	-
1,00	-	-	0,53	-	-	-
- Valores Médios -						
1,00	0,37	0,53	0,54	0,54	3,85	3,62

Tabela 4

Fonte: Anais da ABC

⁷ Os valores apresentados na tabela 4 encontram-se na forma de radioatividade relativa. A radioatividade relativa É obtida a partir da relação entre as correntes de ionização, , por este motivo aparece adimensional. Utilizando como exemplo a monazita, vê-se que ela é 0,37 vezes o valor do óxido de urânio, ou seja, é menos radioativa que o padrão. Já a *uranita* possuía 3,85 vezes mais radiação que a amostra padrão. A título de informação, a unidade de corrente de ionização utilizada na pesquisa por Costa Ribeiro foi o Ampère.

Sendo a *uranita*, 3,85 vezes mais radioativa que a amostra padrão, Costa Ribeiro obteve uma curita da província do katanga no antigo Congo Belga, atual República Democrática do Congo para servir de padrão para a referida amostra. A escolha pela Curita deveu-se ao fato de que o referido mineral contribuía naquele período “[...] com elevada porcentagem para a produção mundial do Radium⁸” (COSTA RIBEIRO, 1940b).

A pesquisa apresentada referia-se somente à comparação entre as amostras radioativas, e segundo Costa Ribeiro: “Nada queremos ainda adiantar sobre o valor da <<uranita>> de Engenho Central, do ponto de vista da sua utilização industrial, tornando-se para isso necessário um estudo mais completo da composição do mineral, das condições de sua ocorrência e das possibilidades econômicas de sua exploração” (COSTA RIBEIRO, 1940b).

Sobre o estudo da composição da *uranita*, ou seja, a identificação dos elementos químicos radiativos, completa:

Temos iniciado um trabalho de identificação e dosagem dos radio-elementos do referido mineral pela sua dissolução em água régia [...].

Esse trabalho, que vinha sendo realizado no Laboratório de Física Experimental da Faculdade de Ciências da Universidade do Distrito Federal, foi interrompido em consequência de dificuldades resultantes da transferência, ainda não ultimada,

8 Elemento químico Rádio, em latim.

do mesmo Laboratório para a Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, onde trabalhamos atualmente (COSTA RIBEIRO, 1940b).

A água régia a que se refere é um líquido incolor obtido pela mistura de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO₃) concentrados, na proporção de 1:3, na qual se colocou a amostra do mineral para dissolvê-lo, obtendo ao final uma solução do mineral. Tal procedimento foi realizado em junho de 1939.

Além da medida da corrente de ionização já citada, outro processo de investigação do objeto de estudo foi a utilização por Costa Ribeiro da câmara de nuvens⁹. A câmara de nuvens,

⁹ Nas pesquisas básicas de radiações, a câmara de nuvens é um dos instrumentos básicos mais importantes utilizados. Seu princípio de funcionamento é baseado na descoberta de Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) em que íons se unem às moléculas, condensando o vapor d'água. Basicamente existem dois modelos da câmara de Wilson, A câmara de expansão e a câmara de difusão. A câmara contém em seu interior vapor d'água e ar ou argônio e álcool etílico constituindo na mistura gás-vapor. As misturas citadas são utilizadas na câmara de expansão. Na câmara de difusão, para mistura gás-vapor utiliza-se álcool metílico ou etílico como vapor e ar ou hidrogênio como gás. Seja qual for a mistura utilizada, ela deve estar tão resfriada que qualquer perturbação será capaz de condensá-la, estado chamado de supersaturado. O resfriamento pode ser obtido pela expansão da câmara ou utilização do gelo seco externo a ela, cada uso específico para um tipo de instrumento. Colocando a amostra na câmara, as partículas emitidas por ela, α ou β , causará a perturbação, ionizando algumas moléculas, obtendo íons. Como o estado está supersaturado, os íons irão se ligar as moléculas imediatamente próximas provocando sua condensação, como ocorrem com as nuvens, daí câmara de nuvens. Por onde as partículas passarem deixarão um rastro de nuvens, que podem ser fotografados e analisados (figura 9). De modo geral, as partículas percorrem trajetórias retilíneas, porém deixam rastros diferentes. Com exemplo, a partícula α percorre um traçado retilíneo sofrendo desvios abruptos de pequenos ângulos,

ou câmara de Wilson, é utilizada para identificar que tipo de radiação (alfa, beta ou gama) está sendo emitida pelo mineral em questão, ou somente para saber se o mineral é radioativo. Utilizou-se então a câmara de Wilson existente no laboratório do professor Carlos Chagas Filho, da Faculdade Nacional de Medicina da Universidade do Brasil (figura 8), na qual foram fotografadas as trajetórias das radiações (figura 9).

Destaca-se novamente os agradecimentos de Costa Ribeiro no referido artigo, que mostram as colaborações que obteve para desenvolver seu trabalho:

Somos particularmente gratos ao Dr. *Caio Pandiá Guimarães*, do Serviço Geológico do Estado de Minas Gerais, ao Dr. *Glicon de Paiva*, Diretor do Serviço de Fomento da Produção Mineral e ao Dr. *Viktor Leinz*, pelo oferecimento das amostras utilizadas no presente trabalho, e ao prof. *Carlos Chagas Filho*, da Faculdade de Medicina da Universidade do Brasil, por nos ter permitido a utilização da câmara de *Wilson* do seu Laboratório.

Testemunhamos ainda o nosso reconhecimento ao saudoso cientista Dr. *Euzébio de Oliveira*, pelo oferecimento da amostra de <<Curita>> de Katanga, no Congo Belga, a que fizemos referência no texto do trabalho (COSTA RIBEIRO, 1940b).

especialmente no final da trajetória. Outros traçados podem ser estreitos e tortuosos, como é o caso da partícula β ou em outros casos, retos e estreitos. Pode-se ainda obter com a câmara de nuvens traçados das radiações cósmicas, elas podem aparecer na mesma fotografia que esta sendo utilizada para analisar radioatividades de minerais, dependendo do quanto o estado esteja supersaturado (KAPLAN, 1978).

Figura 8: foto do aparato para produção de fotografias de trajetórias em camara de nuvens da Faculdade Nacional de Medicina

Fonte: Anais da ABC

Figura 9: Fotografias feitas por Costa Ribeiro das trajetórias dos elementos radioativos na câmara de Wilson

Fonte: Anais da ABC

Em julho de 1940 Costa Ribeiro retomou sua pesquisa de identificação e dosagem dos elementos radioativos da *uranita*, que havia colocado em água régia em junho de 1939. A identificação dos elementos radioativos foi feita “[...] pelo estudo da emanção desprendida de uma solução do mineral, em balão fechado [...]” (Costa Ribeiro, 1940b). A emanção que se refere é do elemento químico Rádio. Faremos uma superficial explanação para entender como ocorre; assim recorreremos a Kaplan e Costa Ribeiro.

Isótopos de urânio ocorrem naturalmente na natureza. Esse elemento tem 92 prótons no seu núcleo, e como sabemos hoje da física nuclear, o núcleo atômico é composto de prótons e nêutrons. Se no núcleo do átomo de urânio existirem 142 nêutrons, então este será o urânio-234 (U-234), se existirem 143 nêutrons, U-235 e finalmente apresentando 146 nêutrons no núcleo, U-238. Todos são isótopos do urânio, por possuírem o mesmo numero atômico (ou número de prótons) e é este que identifica um elemento químico. Acontece que, se o núcleo de um átomo, como por exemplo, um isótopo de urânio, estiver com excesso de partículas ou de carga, este núcleo procurará se estabilizar, e para isto começará a emitir algumas partículas (α ou β) e/ou energia (γ). É a emissão destas partículas e energias pelo núcleo atômico que se denomina radioatividade.

Na busca por sua estabilidade, o núcleo atômico, além de emitir partículas α ou β , emite também radiação gama ou raios γ gama. Quando as partículas citadas são lançadas, o núcleo pode ainda ter excesso de energia, esta energia, conhecida como raios γ , é da mesma natureza das ondas eletromagnéticas, como a luz, por exemplo. Ao emitir as radiações, o núcleo irá reduzindo sua atividade radioativa por um período de tempo, que pode ser de poucos segundos a bilhões de anos.

Para acompanhar a duração de um elemento químico radioativo, criou-se o conceito de meia-vida. Assim como contamos a duração de uma vida humana em anos, a duração da radioatividade de um elemento químico contamos em meias-vidas. Ao pegarmos uma amostra de tal elemento radioativo, podemos atribuir uma radioatividade de 100% ou valor 1. Após um período de tempo, esta radioatividade cai à metade de seu valor inicial, ou seja, 50% ou Passado igual período de tempo, cai à metade deste último valor, 25% ou . A partir daí, em iguais períodos de tempo, a atividade radioativa vai decaindo em 12,5% ou , 6,25% ou , 3,125% ou , ..., até a radioatividade atingir um valor insignificante. Em muitos casos, após dez meias-vidas atinge-se esta condição, porém não é regra.

Um caso que nos interessa é o das famílias radioativas, que ao perderem suas atividades radioativas, se transformam em outros elementos químicos também radioativos e assim prosseguem até atingirem a condição de emitir radiações insignificantes, ou em outras palavras, o núcleo atingir sua estabilidade. Estas são denominadas famílias radioativas naturais ou séries radioativas. Ocorrem naturalmente três delas: a série do urânio, a série do actínio e a série do tório. Analisemos a série do urânio-238, como exemplo.

Ela começa com o referido elemento químico, que tem meia-vida de 4,5 bilhões de anos, isto significa que a cada período de 4,5 bilhões de anos a atividade radioativa do urânio 238 cairá à metade da radiação anterior (meia vida) e assim prossegue ate sofrer um decaimento radioativo, ocasionado pela tentativa de seu núcleo em se estabilizar. Ao chegar nesta condição é emitida uma radiação α e então surge um novo elemento químico também radioativo. Quando este fenômeno ocorre diz-se

que o elemento sofreu um decaimento radioativo, transmutação radioativa ou desintegração radioativa. Esta sequência fica assim estabelecida: o urânio-238 de meia-vida de 4,5 bilhões de anos; ao decair emite uma radiação α e dá origem ao elemento tório-234. Este, de meia-vida de 24,6 dias; ao decair emite uma radiação β e dá origem ao elemento protactínio-234. Este, de meia-vida de 1,4 minutos; ao decair emite uma radiação β e dá origem ao urânio-234. Este, de meia-vida de 270 000 anos; ao decair emite uma radiação α e dá origem ao tório-230. Este, de meia-vida de 83 000 anos; ao decair emite radiação α e dá origem ao elemento rádio-226. Este, de meia-vida de 1 600 anos; ao decair emite radiação α e dá origem ao radônio-222, e assim a sequência de decaimentos prossegue até chegar ao núcleo (ou nuclídeo) estável de chumbo 206, e então os decaimentos se encerram, já que este núcleo atingiu a sua estabilidade.

Voltemos nossa atenção ao decaimento ou desintegração do rádio. Como vemos, este ao se desintegrar dá origem ao elemento químico radônio, um gás pertencente à família dos gases nobres e neste caso com núcleo instável, e consequentemente radioativo.

Como o radônio¹⁰ é um gás originado pela desintegração do rádio, este era conhecido como *emanação*¹¹ do rádio.

10 Do latim *radonium*, derivado do rádio. Para o radônio aparece também a forma *radon*.

11 Em seu artigo *Nota Prévia Sobre Um Elevado Teor Em Radium De Um Mineral Brasileiro*, Costa Ribeiro usa o termo *emanação*, termo utilizado neste período.

Quando Costa Ribeiro colocou a amostra da *uranita* em água régia para a sua dissolução e obter uma solução, recolheu este gás emanado em um balão fechado, e no dia dois de julho do já citado ano de 1940 fez as medidas em que foi possível identificar o radônio. Ele analisou também o elemento químico decorrente do decaimento do radônio, e confirmou a presença do rádio na *uranita*. A dosagem estimada de rádio por Costa Ribeiro foi de 273 miligramas de rádio por tonelada do mineral. Repetiu então as medidas oito dias depois com outras amostras preparadas, porém com um tempo menor de acumulação do radônio, que conduziu ao valor de 268 mg de rádio por tonelada. Sobre os valores apresentados pela dosagem ele foi cauteloso, já que havia preparado a solução com uma concentração excessiva do mineral e os resultados apresentavam elevado teor de rádio.

Fez então novos testes, utilizando agora amostras do mineral proveniente do Distrito de Brejaúbas e que foi doada por Benjamim Barradas e Jair Porto, da Porto, Barradas e Cia. Preparou então duas soluções menos concentradas utilizando os mesmos procedimentos descritos anteriormente para a *uranita* do Engenho Central. Utilizou como mineral de referência a Pechblenda, “[...] mineral onde foi descoberto o Radium por Madame Curie”¹² (RIBEIRO, 1945), preparando outras duas soluções. A Pechblenda foi doada por Carlos Chagas Filho. As soluções foram preparadas no início de julho de 1940

Ainda em julho, fez as medidas utilizando uma amostra de cada mineral, analisando a corrente de ionização produzida pelo radônio e pelo depósito (elemento químico) radioativo produzido pelo seu decaimento, que confirmavam a presença de alto

12 O termo radium se refere ao elemento químico rádio.

teor de rádio no mineral. A dosagem obtida por ele para o mineral foi de 232 mg de rádio por tonelada. Para a Pechblenda a dosagem foi de 219 mg de rádio por tonelada.

Costa Ribeiro procurou confirmar os valores obtidos enviando as outras duas amostras, de cada mineral, ao professor de Física da Escola Politécnica de São Paulo Luiz Cintra do Prado.

Na obra de Fernando de Azevedo *As ciências no Brasil*, no capítulo *A física no Brasil* escrito por Costa Ribeiro, assim é apresentado Cintra do Prado:

O professor Cintra do Prado, que teve a oportunidade de fazer em Paris, no Institut Du Radium e no Collège de France, trabalhos de especialização com o professor Debeierne e Lepape, voltando ao Brasil publicou interessante trabalho que, sob o modesto título de 'A radioatividade das fontes hidrominerais', constituiu, na verdade, notável memória sobre os métodos de medida da radioatividade pela dosagem do teor em Radon, contendo numerosas contribuições originais do autor, referentes à técnica das medidas e sobretudo ao cálculo das correções e à avaliação dos erros e da precisão das determinações experimentais (1994).

Cintra do Prado se especializou num período anterior a Costa Ribeiro se interessar por radioatividade.

Cintra do Prado, utilizando as amostras enviadas, fez as medidas nos dias 29 e 30 do mês e ano supracitado, obtendo os

valores de 236 e 258 mg de rádio por tonelada para a amostra do mineral em estudo e 216 e 211 mg de rádio por tonelada para a amostra de pechblenda, confirmando plenamente a presença de rádio no mineral. Nessa pesquisa, não foi constatada por Costa Ribeiro a presença de tório, já que a alta radioatividade poderia provir desse mineral.

Costa Ribeiro calculou a média de todas as medidas realizadas, incluindo a de Cintra do Prado, obtendo para a pechblenda, 215 mg de rádio por tonelada e para a amostra do outro mineral, 253 mg de rádio por tonelada. De posse do valor da pechblenda, originária de Joachimsthal, na antiga Tchecoslováquia, que era de 210 mg de rádio por tonelada, concluiu: “Somos assim levados a considerar como estabelecida a existência de um alto teor em Radium no mineral em estudo, cerca de 18% mais elevado que o da Pechblenda, que é um dos mais ricos entre os minerais radioativos conhecidos”(1940c).

Sobre a presença de outro elemento radioativo, o urânio, Costa Ribeiro relata:

Si, se trata porém, como somos levados a crer, de um mineral do tipo Pechblenda, o seu teor em uranium [...] deverá ser da ordem de 74% de U.

Trata-se pois de um mineral que se apresenta com características que poderão ser do maior interesse para o Paiz, caso ocorra em quantidade apreciável e em condições de ser explorado industrialmente, o que no entato não é possível afirmar.

Êsse interesse resulta não só do seu alto teor em Radium, que representa um valor considerável, mas também da sua alta porcentagem provável de Uranium, em face dos novos e promissores resultados que se anunciam no terreno da física nuclear, relacionados com o processo de ruptura do núcleo do uranium 235 (<<fission process>>) e á possibilidade, já entrevista, da utilização da energia libertada nêsse processo (1940c).

A análise do mineral em questão por Costa Ribeiro foi a análise física do teor da radioatividade, era necessário ainda a análise química e o cálculo da idade do mineral para saber a viabilidade de exploração, e sobre isso apresenta: “Estamos prosseguindo porém no estudo do mineral a fim de determinar, por processos químicos, o seu teor em Uranium e a sua composição centesimal, o que nos permitirá realizar o cálculo de sua <<idade>> provável, mas ainda não temos resultados conclusivos nêsse terreno” (COSTA RIBEIRO, 1940 c).

Ainda sobre a possível exploração, do mineral em questão, Costa Ribeiro escreveu:

Nada podemos ainda afirmar, no entanto, quanto ás condições da sua ocorrência e quanto à possibilidade de sua exploração industrial, pois, embora já tenhamos sido convidados pela firma *Porto, Barradas e Cia*, para verificações e medidas no local, ainda não nos foi dada por aquela firma a oportunidade de realizar esse estudo <<in loco>> (1940c).

Os resultados da análise física feita por Costa Ribeiro, em julho de 1940, foram publicados, em dezembro do mesmo ano, nos *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias* sob o título *Nota prévia sôbre o elevado teor em radium de um mineral brasileiro*.

Costa Ribeiro encaminhou então uma solicitação a Caio Pandiá Guimarães para que fosse realizada a análise química do mineral proveniente do município de Rio Branco, Engenho Central. A análise química e a dosagem de urânio do referido mineral foi feita por Willer Florêncio e Celso de Castro do Departamento de Produção Mineral do Estado de Minas Gerais. Os resultados foram publicados também nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, em março de 1943, sob o título *Uraninita em Minas*.

A análise química feita, ou seja, a identificação dos elementos químicos componentes, mostrou que se tratava de uma uraninita, cuja ocorrência do mineral foi verificada nos municípios de Rio Branco e Conceição, pertencentes aos distritos de Brejaúbas e Engenho Central, respectivamente, no estado de Minas Gerais.

Para o tório, Willer e Castro confirmaram o resultado obtido por Costa Ribeiro, ou seja, ausência do referido elemento químico. A dosagem de urânio foi feita pela análise química e também pelo método eletrométrico, ou seja, medida da corrente de ionização. Os valores obtidos nos dois casos foram respectivamente 70,91% e 70, 61%. Também utilizando o método eletrométrico, obteve para o rádio o teor de 240,10 mg por tonelada na uraninita. Como amostra de comparação, Willer e Castro utilizaram o elemento químico Rádio, diferente de Costa Ribeiro que utilizou amostras de minerais. O cálculo da idade do mineral, necessário para saber sua a viabilidade de exploração conduziu ao valor aproximado de 503 milhões de anos.

Sobre as medidas feitas por Costa Ribeiro, Willer e Castro registram no artigo:” como se pode verificar pelos resultados obtidos, os trabalhos do Dr. J. Costa Ribeiro, sobre a Uraninita de Engenho Central, caracterizam-se por uma grande precisão, o que muito nos agrada”(1943).

Sobre a diferença entre os valores das radioatividades obtidos por Costa Ribeiro e Willer e Castro, os autores esclarecem: “Em vista de se tratar de um mineral em estado de decomposição, achamos satisfatoriamente comparáveis os resultados, principalmente na parte referente à radioatividade, cujas maiores autoridades toleram erros de 10%” (1943).

Finalmente, sobre um ponto que interessava muito a Costa Ribeiro, a viabilidade da exploração para a extração dos elementos químicos radioativos, esclarecem Willer e Castro:

Sob o ponto de vista industrial, a ocorrência de Uraninita só apresentaria interesse econômico se sua exploração se fizesse como sub-produto [...] (mica, pedras coradas, quartzo, bismutita, etc).

Em geral a dispersão dos minerais raros [...] é muito grande, não comportando uma exploração rendosa senão quando a lavra aproveita grande parte dos minerais acessórios deste tipo de rocha (1943).

A física Elisa Frota Pessoa fez a iniciação científica e sua linha de pesquisa tendo como objeto a radioatividade:

[...] No segundo ano fui aluna do Costa Ribeiro e convidada para trabalhar com ele. Naquele tempo o negócio era assim: convidavam-nos para trabalhar, ficávamos satisfeitiíssimos,

porque iríamos trabalhar em pesquisa. Nem se pensava em perguntar quanto iríamos ganhar. Por sinal, não ganhávamos nada. Nem bolsas havia. Então a gente se virava dando aulas particulares e não ficávamos reclamando. As condições mudaram muito, não? Na verdade naquela época não existiam grupos de pesquisa em Física e Matemática no Rio. Aquela pequena quantidade de pessoas que estavam doidas para começar ficavam satisfeitas com a oportunidade, queriam mesmo era trabalhar. Além das aulas com o Costa Ribeiro tínhamos um horário de pesquisas muito esquisito. Ele tinha uma família grande e precisava ter vários empregos. Assim começávamos às 18:00 horas. A faculdade funcionava no Largo do Machado, em um prédio velho que foi uma escola primária e não tinha laboratórios. Ele arranjava laboratórios emprestados para trabalhar.

O Costa Ribeiro conseguiu um laboratóriozinho na FNM onde nós montamos a seção de dosagem de minerais radioativos, campo em que ele trabalhava. Às 18:00 horas começava o trabalho e lá pelas 21:00 horas saíamos. Descíamos com uma vela e passávamos pela sala de dissecação, com os cadáveres deitados na mesa. Quando nos mudamos para a Casa d'Itália, o Costa Ribeiro começou a receber o material didático encomendado pela UDF e a montar com o Jayme Tiomno, que era seu instrutor não remunerado, o laboratório de Física da FNF e uma pequena oficina mecânica. Sua habilidade manual era uma coisa espetacular, tinha uma intuição muito grande, era muito inteligente e muito minucioso. Ele várias vezes

dizia para mim, quando eu estava caprichando demais: “Elisa, o ótimo é inimigo do bom”. Mas ele não praticava isso porque era muito perfeccionista. Dava as aulas dele assim: falava alguma coisa e escrevia no quadro. Expunha muito bem, tinha um português muito bom e era conciso. Apresentava o negócio assim tão bem, tão bem, que você tinha a impressão que era perfeito, que não tinha nada para perguntar. Quando você ia estudar é que apareciam as dúvidas, então, você ia perguntar a ele e via que ele tinha muito interesse em ensinar, mas ele não aparentava as dificuldades em aula. A primeira vez que eu fui trabalhar com ele na pesquisa, nós tínhamos lá o aparelhinho e ele disse: “Vamos começar nossa medida, vamos fazer o seguinte, Dona Elisa...” Já era casada, nessa época, então era Dona Elisa. Ele dizia assim: “Dona Elisa, aqui, de tantos em tantos minutos a senhora marca e tal e tal... a senhora entendeu?” “Não, professor, não entendi; fazer essa leitura eu entendi mas, para quê e porquê eu não entendi”. Ele ficou espantado, mas foi explicando tudo com uma atenção muito grande, me respondeu a todas as perguntas. Era uma coisa interessante do Costa Ribeiro: a gente devia perguntar. Acho que pelo fato dele ter lutado muito, ele foi autodidata, não tomava a iniciativa de auxiliar ninguém, como não fora auxiliado. Ele era de muita compreensão, deixava, por exemplo, quando eu tinha o garoto muito pequenininho, amamentando ainda, levar para o laboratório. Eu fazia uma caminha no nosso laboratório e ele achava tudo “ok”, não se aborrecia com isso. Esse negócio de ser muito cuidadoso, muito

cioso da aparelhagem, a gente compreende, porque era muito difícil conseguí-la.(TIOMNO E FROTA PESSOA, 1988).

Em dezembro de 1940, Costa Ribeiro tornou-se membro da Academia Brasileira de Ciências. Dois anos depois de se tornar acadêmico, ele ocupava a função de 1º secretário da ABC. No ano seguinte ocorreu o Simpósio Sobre Raios Cósmicos, no Rio de Janeiro:

Sob os auspícios da Academia Brasileira de Ciências, realizou-se nesta capital, de 4 a 8 de agosto de 1941, um “Symposium” sobre raios cósmicos, por ocasião da visita da missão científica norte-americana, chefiada pelo professor Arthur H. Compton, da Universidade de Chicago, e constituída pelos professores William P. Jesse, da Universidade de Chicago; Norman Hilberry e Ann Hepburn Hilberry, da Universidade de Nova York; Ernest O. Wollan e Donald Hughes, da Universidade de Chicago e Paulus A. Pompéia, da Universidade de São Paulo, em viagem à América do Sul para realização de medidas da radiação cósmica, como parte do programa de pesquisas do “Ryerson Physical Laboratory”, da Universidade de Chicago.

Além dos componentes da missão acima mencionados, apresentaram comunicações ao “Symposium” os professores: J. Whataghin, G. Occhialili, M. Schönberg, M. D. de Souza Santos e Yolande Monteux, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo; J. A. Ribeiro Saboya, da Escola Politécnica de São Paulo; Padre Dr. F. X.

Roser S. J. do Colégio Anchieta; Adalberto Menezes de Oliveira da Escola Naval; B. Gross, do Instituto Nacional de Tecnologia; René Wurmser, do Collège de France e J. Costa Ribeiro, da Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil (SYMPOSIUM SOBRE RAIOS COSMICOS, 1943).

No simpósio, Costa Ribeiro apresentou a comunicação *On a bridge for the measurement of cosmic rays with ionization chambers*. O que ele apresentou foi o método de ponte utilizado nas medidas de radioatividades de minerais, já apresentado no início do capítulo, só que para o simpósio a utilidade era medidas de raios cósmicos com câmara de ionização.

Além de pesquisas sobre radioatividade, Costa Ribeiro e Luigi Sobrero desenvolveram um trabalho conjunto na Elasticidade¹³, conforme Costa Ribeiro informa:

Em 1942, trabalhando em colaboração com o Professor Luigi Sobrero, da Universidade de Roma, que naquela época se achava entre nós, idealizamos e construímos em nosso laboratório um aparelho de polarização auto-colimador, destinado a estudos de *foto-elasticidade*, e de *birefringência* natural ou acidental. Tal aparelho permite ainda a verificação da existência das perigosas tensões moleculares residuais, na fabricação das peças de vidro, bem como a pesquisa das geminações e outros defeitos de cristalização do quartzo, que não podem ser evidenciados nos ensaios com luz natural (RIBEIRO, 1945).

13 Área da Física que estuda as deformações sofridas por um corpo quando uma força ou um sistema de forças é aplicado.

A fotoelasticidade é assim definida por Sobrero (1942): “Quando um sólido elástico transparente é submetido a certo sistema de deformações, ele adquire geralmente propriedades óticas diferentes das que possui no estado natural. Tais propriedades, se oportunamente reveladas, permitem determinar as deformações elásticas que as acompanham”. O aparelho contruído por Costa Ribeiro e Sobrero é apresentado na figura 10 e “[...] foi objeto de uma comunicação apresentada por seus autores à Academia Brasileira de Ciências na sessão de 30 de dezembro de 1941, sob o título: Sôbre um aparelho de polarização auto-colimador e sua aplicação à foto-elasticidade” (SOBRERO, 1942).

Figura 10: Aparelho de polarização autocolimador de autoria do Prof. Costa Ribeiro e de L. Sobrero

Fonte: Ribeiro, 1945

Figura 11: Esquema do aparelho de fotoelasticidade autocolimador de J. Costa Ribeiro e L. Sobrero (fonte: Sobrero, 1942)

A figura 11 apresenta o esquema do funcionamento do aparelho e é assim descrito:

A luz proveniente de uma fonte extensa L (lâmpada a incandescência e lâmina de vidro semi-transparente) eventualmente

transformada em luz monocromática com a junção de um filtro (vidro de cor) *F* é polarizada por reflexão brewsteriana numa pilha de vidros *P*. A luz refletida polarizada é dirigida ortogonalmente para o modelo *M*. Parte desta luz se reflete na parede posterior do modelo (ou, se quisermos aumentar o rendimento do aparelho, num espelho *E* plano, colocado além do modelo). Esta luz refletida atravessa novamente o modelo e volta à pilha de vidros (que funciona, agora, como analisador), atravessa a pilha e é recolhida (por um sistema ótico) num anteparo ou numa câmara fotográfica (SOBRERO, 1942).

Em 1942 foi publicado no Brasil o livro *Elasticidade*, de Luigi Sobrero, sendo apresentado no capítulo 12, de título *Fotoelasticidade*, o trabalho conjunto acima descrito.

Efeito Termodielétrico

Ao concluir as suas pesquisas sobre radioatividade, Costa Ribeiro iniciou um outro projeto, agora na Física do Estado Sólido. Juntou-se a Gross nas pesquisas realizadas sobre dielétricos sólidos.

Como citado no capítulo anterior, Gross e Sussekind passaram a pesquisar sobre dielétricos a partir de uma solicitação da empresa LIGHT:

Naquele tempo a Light estava interessada em saber **a resistência do isolamento** (grifo nosso) dos cabos telefônicos, que ela usava. Então, eu, ou melhor, nós começamos a medir.

Aí estes fios apresentaram um fenômeno que sempre me tinha fascinado, já na Alemanha, além de raios cósmicos. Era o que se chama absorção dielétrica. (GROSS, 1976)

A resistência a que Gross se refere é a resistência elétrica, neste caso, dos dielétricos sólidos. A absorção dielétrica consiste no “aparecimento de correntes de carga e descarga em condensadores mantidos sob tensão constante ou fechados em curto circuito” (GROSS, 1945).

Torna-se necessário descrever sucintamente suas pesquisas, até o momento em que Costa Ribeiro passou a interagir no mesmo projeto.

Os dielétricos reais possuíam comportamentos não previstos pela teoria e por isso eram considerados como anomalias.

As <<anomalias>> dos dieléctricos são conhecimentos tão antigos como o condensador, que as revelou.

Só com Maxwell porém é que começou o estudo systematico dellas, que, desde então, tem crescido sempre, como evidência uma inspecção rapida na litteratura abundante que hoje já existe a respeito.

Realmente, o interesse científico por ellas não póde ser maior: a denominação de <<anomalias>> não significa em absoluto que taes phenômenos sejam aleatórios ou esporádicos; accusa simplesmente que eles permanecem extranhos á concepção maxwelliana em sua fórmula clássica [...] (grifo nosso).

A esse interesse veio se sommar uma extraordinária importância technica, pela melhor compreensão, e conseqüente dominação, que seu estudo poderá trazer da acção dos isoladores nosapparelhos. (Basta lembrar que o progresso de muitos ramos da electrotécnica só poderá continuar si transpuzer a verdadeira barreira que um **isolamento imperfecto** (grifo nosso) representa, pelo limite que impõe á altura das tensões utilisáveis, ás perdas de transmissão, etc.) .

Mas si a literatura é grande [...] poucos são ainda os resultados definitivamente adquiridos (GROSS E ROCHA, 1937).

Juntamente com os testes solicitados pela empresa LIGHT, Gross utilizou os isolamentos dos cabos telefônicos para, a partir das pesquisas experimentais, fornecer um exame crítico das diferentes teorias sobre as anomalias. Havia controvérsia sobre as teorias vigentes e faltava ainda uma pesquisa quantitativa mais ampla sobre o tema.

As anomalias pelas quais Gross se interessa se manifestavam a partir da utilização de dielétricos em condensadores¹⁴.

Utilizaremos um caso particular e simples para entendermos o funcionamento dos condensadores, entendimento que será útil nas páginas seguintes. Na figura 12, encontra-se representado um condensador constituído de dois condutores planos, próxi-

14 Condensadores e capacitores constituem o mesmo componente, são sinônimos. Assim manteremos o termo condensador, que era o usado por Gross.

mos um do outro e isolados entre si, chamado de condensador de placas paralelas ou condensador de armaduras¹⁵.

Figura 12: Condensador de placas paralelas¹⁶

Será possível a transferência de certa quantidade de carga (elétrons) de uma placa (armadura) a outra, ligando-as por um instante aos terminais de um gerador (que pode ser uma pilha ou bateria¹⁷), por meio de fios condutores que saem dessas placas - também condutoras - e chegam ao gerador. A transferência de cargas de uma placa a outra com o auxílio de um gerador é o

¹⁵ Nas experiências de Gross, as placas muitas vezes passavam a ter a função de eletrodos, possuindo formas diferentes apresentadas na figura 12.

¹⁶ Nelson Martins, 1975

¹⁷ Como já apresentado, Gross utilizou inicialmente baterias de aproximadamente 500 volts.

processo utilizado para carregar o condensador. O gerador realiza durante um intervalo de tempo o trabalho de transportar de uma placa a outra, cargas $-q$, isto é, o gerador *retira* de uma das placas cargas $-q$ e as deposita sobre a outra placa, que ficará carregada com uma carga $-q$. A placa da qual o gerador retirou as cargas $-q$ ficará carregada com cargas $+q$, ou carregada positivamente. Durante o período de carga há uma corrente elétrica de uma placa a outra somente através do gerador, pois não há corrente elétrica entre as placas. Em geral o espaço entre as placas contém isolantes; tais isolantes podem ser o ar, vácuo ou um dielétrico sólido¹⁸. A corrente elétrica cessará quando a diferença de potencial entre as placas do condensador for igual a do gerador, e então o condensador estará carregado, ou seja, não há mais transferência de cargas (NELSON MARTINS, 1975). Neste instante, ao se desfazer o contato existente entre os terminais do condensador e o gerador (o contato é feito através de fios), o condensador continuará carregado. Ligando os terminais das placas diretamente um ao outro, ou seja, ligando os fios em curto circuito, o condensador se descarregará, e as cargas $-q$ voltarão para a placa de onde foram retiradas. Nesse instante haverá passagem de corrente elétrica somente pelo fio condutor até que todas as cargas retornem e, finalmente, o condensador se descarregue. Na figura 12 está representada a direção e sentido do campo elétrico (E) quando o condensador está carregado. A menção ao campo elétrico será feita posteriormente.

Das anomalias existentes, duas interessavam ao mencionado físico alemão: o fenômeno de descarga interna e o de regeneração. Para um condensador perfeito (teórico), carregado e

18 Gross utilizou dielétricos sólidos entre as placas do condensador.

isolado externamente¹⁹, ele se descarregaria pela condutibilidade interna do próprio condensador, independente do tempo de carga; porém o que se observava é que a velocidade de descarga interna de um condensador real dependia do tempo de carga deste. Conforme fosse este grande ou pequeno, a tensão diminuía lenta ou rapidamente. Esse era o fenômeno da descarga interna. No fenômeno de regeneração (resíduos) mantendo externamente isolado um condensador perfeito descarregado, nenhuma diferença de potencial poderia se manifestar entre suas placas; porém no condensador real descarregado e isolado, externamente, observava-se uma regeneração da tensão capaz de fornecer descargas residuais, podendo atingir considerável fração da tensão de carga. O físico Sérgio Mascarenhas Oliveira nos apresenta as consequências desse fenômeno:

[...] havia um fenômeno muito curioso que era o seguinte: você pega um condensador que tem um dielétrico dentro, mica ou qualquer dielétrico, uma cerâmica ou qualquer coisa, e carrega o condensador com uma bateria; carregou o condensador, está lá com aquela voltagem; você tira a bateria fora e dá um curto no condensador, dá uma faísca, você diz: bom desapareceu a carga. Muita gente fez isso e quase morreu depois, porque o condensador sozinho começou a se recarregar e ganhou uma voltagem nova, uma voltagem chamada de retorno.

19 Dizer isolado externamente significa que os terminais das placas não tiveram nenhum tipo de ligação, incluindo ligações entre si ou no gerador após a carga ou descarga.

No período do Gross, isso já era conhecido de muita gente, na Inglaterra, na Alemanha, todo o mundo que lidava com engenharia elétrica, com esse tipo de coisa, sabia o perigo que você tinha de dá um curto no condensador, desligar o aparelho e pensar que o condensador..., põe a mão lá e leva um choque, pode morrer. Agora, por que isso? Porque o dielétrico tem essa propriedade de que, quando você descarrega as placas do condensador, não significa que dentro do dielétrico, as cargas que ele separou lá dentro, se separaram, foram anuladas também, é um fenômeno típico de que? De condutividade elétrica em um sólido, em um dielétrico, e o Gross estudou a matemática dessa função de retorno. (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Utilizando então os isoladores dos cabos telefônicos, os dielétricos sólidos, de fabricação brasileira das marcas Pirelli e Marsicano, Gross e, inicialmente, Sussekind faziam a parte experimental, e subsequentemente apresentavam suas conclusões teóricas tiradas da experimentação, apoiados na literatura sobre o tema, e contribuindo para novas explicações. Esta literatura não era uma produção nacional, mas livros e periódicos publicados fora do país. Com respeito aos periódicos o próprio Gross enfatiza:

Bom, agora eu deveria contar uma coisa que acho importante sobre a questão de bibliografia e revistas. Na verdade não havia biblioteca, no Rio. Na Escola de Engenharia tinha uma biblioteca onde havia muita coisa antiga, coisas que talvez, hoje tenham um

valor histórico, e realmente tem. Tinha também, aliás, uma biblioteca relativamente boa, mas não completa, no Observatorio Nacional [...] Castro e eu fomos muitas vezes de noite lá, no Observatório Nacional, para folhear aquelas revistas na biblioteca. Mas a Biblioteca mais completa que existia, também de Física, era no Manguinhos. Em geral talvez uma vez por mês eu ia a Manguinhos, o que naquele tempo era um empreendimento de uma viagem de um dia inteiro[...] Lá, tinha uma biblioteca muito boa com todas as revistas, com as revistas de Física mais importantes que naquele tempo eram muito menos do que hoje, tinha a *Physical Review*, tinha a *Zeitschrift Für Physik*. Estas revistas o único lugar que as tinha era o Manguinhos. Sem esta biblioteca nunca teria, por exemplo, chegado a saber o que se passava em outros lugares (GROSS, 1976).

Gross e Sussekind discutiam e apresentavam suas explicações apoiados no que se produzia mundialmente sobre o tema. Juntamente com suas teorias, apresentavam todo o estudo matemático procurando obter uma equação geral que pudesse predizer os fenômenos ditos anômalos, citados. Eles não deixavam de lado as equações existentes, adaptava e as utiliza ao seu caso, assim fazia com as teorias vigentes. Eles partiram de equações e teorias que já previam em parte o comportamento das anomalias.

Inicialmente Gross e Sussekind trabalhavam com tempos de carga e descarga que iam de um milésimo de segundo a duas horas. Para obter medidas de tempo tão pequeno, tiveram que

improvisar um contador a partir de um equipamento utilizado na psicologia que se chamava “chronaxímetro” (uma alavanca impelida por um peso em queda livre aciona sucessivamente dois contatos). Inicialmente este artifício permitiu que pudesse obter boas medidas e conseqüentemente as expressões matemáticas para as correntes anômalas; contudo, à medida que as equações ficavam mais rigorosas e complexas, exigiam-se medidas de tempos menores. Esta preocupação com o tempo devia-se ao fato de que esta componente era indispensável para prever comportamentos gerais dos fenômenos. Juntamente com Plínio Sussekind, Gross publicou três artigos sobre dielétricos sólidos nos *Anais da ABC* em 1937. Identificamos nestes trabalhos um dos primeiros realizados na Física do Estado Sólido no Brasil.

Para continuar os seus trabalhos, sobre dielétricos, Gross solicitou ao diretor do INT a compra de um equipamento conhecido como pêndulo de Helmholtz, que substituiu o chronaxímetro e foi atendido²⁰. Com o pêndulo de Helmholtz podia-se carregar e descarregar condensadores em tempos ainda menores, da ordem de 5.10^{-6} segundos. Assim podia aplicar tempos mínimos na equação geral de regeneração e descarga interna, e nessa empreitada contou algumas vezes com a ajuda dos matemáticos Mário Schönberg e Francisco Mendes de Oliveira Castro.

No artigo intitulado *Uma nova aplicação do princípio de superposição na teoria dos dielétricos anômalos* publicado no terceiro volume, de 1939, dos *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias*, Gross sinalizou o uso da cera da carnaúba, justificando que as anomalias se apresentavam mais intensas naquele dielétrico.

20 Conforme citado por Gross nos *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias*, número 4 de 1938.

Testou então a validade das equações, em particular uma das condições previstas por Oliveira Castro nas equações para tempos muito longos de carga, 25 horas, e descarga da mesma ordem de tempo, além de tempos menores.

Estando no Brasil, e sendo membro da ABC, desde 1935, Gross publicava nos *Anais da ABC*, e também em periódicos da área, fora do país, a exemplo do periódico *Zeitschrift fuer Physik* e *Physical Review*. Vale ressaltar que os *Anais da ABC* não era um periódico da área, publicava-se de tudo o que fosse correlato com as áreas das ciências e matemática. No período que interessa no presente trabalho, Gross publicou os seguintes artigos nos *Anais da ABC*: 1934 – *O Problema da Ionização Residual nas Medidas da Radiação Cósmica; Sobre a Absorção dos Raios Cósmicos; Sobre a Condutibilidade Elétrica dos Zeolithos*; 1935 – *Pour L'analyse des Rayons Cosmiques*; 1937 – *Um Novo Método para Medidas de Tensões de Polarização; Estudos Sobre Dielétricos* (B. Gross e Plinio Sussekind R); *Estudos Sobre Dielétricos - II Regeneração e Descarga Interna* (B. Gross e P.Sussekind Rocha); 1938 – *A Análise da Curva de Absorção da Radiação Cósmica; Estudos Sobre Dielétricos, IV – A Corrente Inicial*; 1939 – *Sobre o Efeito de Latitude da Radiação Cósmica; Uma Nova Aplicação do Princípio de Superposição na Teoria dos Dielétricos Anômalos*; 1940 – *Contribuição à Teoria dos Dielétricos Reais; O Condensador Anômalo no Campo Alternado; Sobre uma Nova Transformação Integral*; 1941 – *Sobre uma Transformação Integral que Interessa a Eletrotécnica; Sobre uma Transformação Integral que Interessa a Eletrotécnica II*; 1942 – *Efeitos de Temperatura em Condensadores Carregados* (B. Gross e L. Ferreira Denard); 1943 – *Estabilizador de Voltagem Eletrônico para um Gerador de Corrente Alternada*; 1944 – *On The Experiment Of The Dissectible Condenser* ; 1945 – *Experiências com Eletretos II*; 1946 – *Uma nota sobre o Efeito*

Termodielétrico; Nota Sobre a Carga de Rutura de Madeira no Ensaio de Flexão; On Relaxation Phenomena; 1948 – On The Carnauba Wax Electret; Resumo de Comunicações – Novo Tipo de Contador Geiger – Mueller; 1953 – Teoria do Efeito Termodielétrico; 1954 – Field-Induced Melting of Dielectrics.

No mesmo período, Gross publicou os seguintes artigos na *Physical Review*: 1936 – *On The Hard Component of Cosmic Rays*; 1938 – *On the Latitude Effect of the Soft Component of Cosmic Rays*; *A Remark on the Latitude Effect of Cosmic Rays*; 1941 – *On the Theory of Dielectric Loss*; 1944 – *Experiments on Electrets*; 1945 – *On Permanent Charges in Solid Dielectrics I – Dielectric Absorption and Temperature Effects in Carnauba Wax* (B. Gross e L. Ferreira Denard); 1954 – *Theory of Thermodielectric Effect.*

Sobre os trabalhos solicitados pela empresa LIGHT, os resultados foram publicados no artigo *Estudos Sobre Dielétricos*, de 1937. A resistência calculada por Gross e Sussekind para os isolantes dos fios telefônicos foi de 10^{10} Ohms/100 metros. Os fios telefônicos (condutores) eram feitos de bronze, e os isolantes (dielétricos) eram de borracha, constituídos de duas camadas: a primeira de borracha pura de 0,2 mm, e a segunda de borracha vulcanizada de 0,66 mm de espessura. Havia também uma capa de algodão impregnado de alcatrão que protegia os isolantes e mantinha os fios unidos. Sobre os trabalhos solicitados pela empresa LIGHT, Gross apresenta: “Aquilo que a LIGHT queria saber, eu podia resolver em tempo razoável. Agora, aproveitei isto para estudar o comportamento de isoladores, de maneira mais básica. Se bem que o trabalho leva a aspectos de interesse científico, necessariamente, vão ter, também, interesse tecnológico” (GROSS, 1976).

Com relação às suas pesquisas sobre dielétricos, e outros colaboradores, Gross nos apresenta:

O número de colaboradores aumentou quando Francisco Mendes de Oliveira Castro foi contratado para o nosso grupo em 1938. Com Oliveira Castro realizei um estudo teórico que envolveu a discussão da equação integral de Volterra que descreve fenômenos de carga e descarga de capacitores e que por Castro foi resolvida pelo método clássico de Volterra. Nesta ocasião iniciamos também algum intercâmbio científico com físicos de São Paulo. O professor Mário Schenberg começou a se interessar pela teoria daquela equação integral e junto com Abrahão de Moraes resolveu a mesma pelo método da transformada de Laplace. Estudos sobre comportamento de dielétricos foram feitos por Hilmar Medeiros Silva que foi contratado em 1940 e mais tarde se tornou professor de termodinâmica. Nos anos seguintes estes trabalhos foram largamente aumentados [...].(GROSS, 1976)

No início da década de 1940 Gross começou a se interessar por eletretos:

Então, por mera curiosidade – eu tinha lido sobre eletretos, estas substâncias permanentemente polarizadas – fiz uma série de medidas, completamente sozinho, lá no Instituto, e cheguei a formular uma nova interpretação dos eletretos. Era um trabalho experimental. Não, sou injusto, o primeiro trabalho foi feito justamente em cooperação com uma moça francesa, Line Ferreira Denard

que trabalhara no Instituto de Tecnologia de 1941 a 1944 ou 1945 [...] Ao mesmo tempo o professor Costa Ribeiro se interessou e começou também a fazer uns trabalhos práticos (GROSS, 1976).

No último volume do supracitado periódico, do ano de 1942, Gross e Line Ferreira Denard publicaram o artigo *Efeitos de temperatura em condensadores carregados*. Nele, os autores voltam suas pesquisas para outra anomalia ocorrida nos dielétricos. Estavam agora interessados em fornecer uma explicação satisfatória para o mecanismo de formação dos eletretos.

Eletretos são corpos dotados de momentos elétricos permanentes, ou seja, dielétricos permanentemente carregados eletricamente ou ainda dielétricos permanentemente eletrizados. As primeiras realizações experimentais para a obtenção de eletreto devem-se aos japoneses M. Satô e M. Eguchi nos anos de 1922 e 1926, respectivamente. Para obterem eletretos, os referidos físicos derreteram cera de carnaúba pura ou misturada ao colofônio e durante a sua solidificação aplicaram campos elétricos intensos²¹. O termo eletreto, do inglês *electrets*, deve-se a uma analogia aos corpos permanentemente magnetizados, em inglês *magnets* (GROSS e DENARD; COSTA RIBEIRO, 1942,1945).

Nesse trabalho, Gross e Denard utilizaram os mesmos métodos de pesquisas sobre dielétricos que o próprio Gross e outros colaboradores vinham fazendo desde 1935, ou seja, carga e descarga de condensadores e análise do comportamento das

21 A aplicação de campo elétrico no dielétrico em solidificação se dá colocando o isolante entre as placas do capacitor carregado.

correntes elétricas; porém, com uma diferença: as cargas e descargas se dariam com variações de temperatura.

Vale ressaltar que em 1936, H. Frei e G. Groetzinger apresentaram seus resultados referentes às cargas liberadas durante a fusão de eletretos. (COSTA RIBEIRO, 1945).

Basicamente, a pesquisa de Gross e Denard consistia em elevar a temperatura do dielétrico utilizado por eles - a cera de carnaúba - à temperatura próxima à de fusão. O aquecimento se dava colocando-se o conjunto (condensador com a cera de carnaúba entre seus eletrodos) dentro de uma pequena estufa que podia ser variada da temperatura ambiente até 80° C. A tensão aplicada era constante e igual a 100 Volts, 1/5 do valor aplicado nos trabalhos anteriores que não envolviam variações de temperaturas. As amostras da cera de carnaúba consistiam de finas camadas de 1 mm de espessura e 20 cm² de área - área da ordem dos eletrodos. Dividiu-se então a pesquisa em cinco fases: carga do condensador à temperatura constante, aquecimento do condensador mantido sob tensão constante, resfriamento do condensador mantido sob tensão constante, descarga em curto circuito à temperatura constante e reaquecimento do condensador fechado em curto circuito.

Sobre as fases da pesquisa, apresentaremos algumas das observações obtidas experimentalmente. Na carga do condensador à temperatura constante, fixava-se a temperatura no valor escolhido, em seguida aplicava-se a tensão e observava-se a corrente de carga em função do tempo. Primeiramente manteve-se a temperatura estável em 20°C, então aplicou-se a tensão, 118V, por 20 horas e observou-se o comportamento da corrente de carga. Repetiu-se o mesmo procedimento para as temperaturas de 50°C, 58°C e 64°C. Observou-se, então, que quanto maior fosse a temperatura, maior era a corrente de carga. Repetiu-se

o mesmo procedimento para o condensador em curto circuito, ou seja, para a descarga do condensador, e verificou-se, então, que quanto maior fosse a temperatura, maior seria a corrente de descarga.

Na fase seguinte, o aquecimento do condensador, mantido sob tensão constante, manteve o condensador carregando durante um período de 24 horas e logo em seguida passou então a aquecê-lo, mantendo a tensão constante de carga de 118 V, e observou-se um crescimento extraordinário da corrente elétrica. Observou-se, ainda, que enquanto a temperatura aumentava, a corrente crescia e chegava ao seu máximo quando a temperatura se tornava constante; porém a corrente não crescia em fase com a temperatura, já que quando essa última apresentava valor constante, a corrente continuava crescendo por um tempo apreciável. Logo em seguida, a corrente decrescia e, finalmente, tornava-se estacionária, ou seja, apresentava um valor constante. Além disso, observou-se que quanto mais rápida era a variação da temperatura de aquecimento, maior era a intensidade da corrente elétrica. Atingida a temperatura constante do ítem anterior, resfriou-se então o condensador sob tensão constante até a temperatura inicial e verificou-se que a corrente diminuía inteiramente em fase com a temperatura, e, independentemente, se o resfriamento fosse mais rápido ou mais lento, o comportamento da corrente elétrica era o mesmo. Após 24 horas do início do resfriamento, e na mesma temperatura em que se realizou a carga, o condensador foi fechado em curto circuito e observou-se uma corrente transitória de descarga. Essa corrente não possuía nada de especial, e tinha o mesmo comportamento observado nos trabalhos anteriores de Gross (já citado) para a cera da carnaúba, em que não havia variação da temperatura. Com isso conjecturou-se que o tratamento térmico não exerceu influência alguma sobre a corrente

de descarga para esse item. Finalmente, resfriado o condensador e algumas horas após o início da descarga acima citada, o condensador foi aquecido até atingir o valor final da temperatura observada no primeiro aquecimento e com a mesma velocidade. Nessas condições, apareceu uma corrente transitória de descarga; essa corrente sobe novamente e permanece alta durante bastante tempo. Para Gross a corrente representava a libertação da quantidade de carga adicional absorvida pelo condensador no primeiro aquecimento. Gross, então, conjecturou que tal quantidade de carga permaneceu no condensador sob uma forma de carga *congelada* e tal procedimento consistia na libertação da carga *congelada*. Tais resultados foram publicados também na *Physical Review*, em 1945.

Para Costa Ribeiro estas pesquisas o ligavam às pesquisas desenvolvidas por Gross, segundo relato abaixo:

Desde 1943 temos concentrado nossa atividade no estudo de certos aspectos, ainda mal conhecidos, do comportamento dos dielétricos reais, por sugestão do nosso amigo Dr. Bernardo Gross, do Instituto Nacional de Tecnologia, que há vários anos se vem dedicando ao estudo das anomalias dos dielétricos e que presentemente está realizando pesquisas de grande interêsse sôbre os “eletretos”, isto é, dielétricos que em consequência de tratamentos especiais adquirem momentos elétricos permanentes.

Obedecendo àquela sugestão pretendíamos estudar a influência eventual da presença de impurezas radioativas sôbre o comportamento dos dielétricos sólidos e em particular da cêra da carnaúba, mas, no decurso das

primeiras experiências, nossa atenção foi desviada para a observação de outros fenômenos que se manifestam nos dielétricos e cujo estudo constitui presentemente o principal objeto de nossas investigações (RIBEIRO, 1945).

O que Costa Ribeiro estava pesquisando era a possível presença de elementos radioativos nos dielétricos:

J. Costa Ribeiro se propôs a estudar a influência das radiações radioativas sobre os dielétricos reais. A este efeito, ele preparou os discos de cera de carnaúba, adicionados a óxido de urânio, por solidificação sobre as placas de vidro; os discos de cera de carnaúba pura eram igualmente confeccionados. Após ter destacado cada disco de sua placa ele teve a surpresa de constatar que os discos eram fortemente e mais ou menos igualmente carregados. Ao fazer o estudo radioativo, Costa Ribeiro se interessou sob a possibilidade de ter a evidência de obter os eletretos sem aplicar, como fez Eguchi, um campo elétrico exterior. Ele repetiu suas experiências com os discos preparados sobre a superfície de uma cuba de mercúrio. Estes discos estavam ainda carregados. Duas hipóteses eram possíveis sobre a origem dessas cargas, que poderiam provir de uma diferença de potencial de contato entre o dielétrico e o vidro ou mercúrio, ou bem estar ligada à solidificação (WLERICK, 1948)²².

22 Tradução livre.

Costa Ribeiro passou a fazer pesquisa na Física do Estado Sólido na universidade, ressaltando que a fez com toda a adversidade financeira, e de equipamentos.

Na sessão de 13 de abril de 1943 da Academia Brasileira de Ciências, os acadêmicos Gross e Costa Ribeiro apresentaram comunicações referentes aos seus projetos de pesquisas. Gross foi o primeiro a fazer a comunicação, apresentando estudos teóricos que visavam a esclarecer os mecanismos de formação do eletreto e que suas pesquisas - realizadas nos últimos meses - nos laboratórios do INT, traziam novos esclarecimentos ao assunto. O estudo dos eletretos por Gross apresentava interesse pelas conclusões que lhe permitia tirar sobre as propriedades dielétricas dos sólidos. Costa Ribeiro - comentando a comunicação - chamou a atenção da Academia para as novas e importantes observações e resultados obtidos por Gross. Logo em seguida, Gross e Costa Ribeiro apresentaram comunicação conjunta intitulada *Sobre um Novo Método para a Investigação Experimental dos Eletretos*. O referido método baseava-se na determinação das cargas por um equipamento constituído de armaduras móveis, localizadas a diferentes distâncias das duas faces do disco de eletreto, tornando possível tirar conclusões tanto sobre a variação do campo elétrico nas vizinhanças do eletreto como sobre a distribuição interna das cargas no eletreto. Para os citados autores, a vantagem de tal método consistia em fazer uma sondagem externa da distribuição interna das cargas do eletreto sem a necessidade de utilizar os métodos tradicionais: raspagem e corte do eletreto, empregados por outros pesquisadores, que poderiam alterar a própria distribuição interna das cargas. Fizeram, então, demonstrações experimentais com o aparelho - para tal fim - construído no Laboratório de Física Experimental da UB. Finalizada a demonstração, Costa Ribeiro apresentou a sua comunicação *Sobre a eletrização da Cera de Carnaúba Solidificada na Ausência de Campo Elétrico Exterior*. Primeiramente apresentou

os trabalhos de Eguchi e Gemant sobre a formação de eletretos por solidificação da cera de carnaúba sob a ação de campos elétricos intensos. Logo em seguida, apresentou os resultados das experiências realizadas por ele, em que verificava que discos de cera de carnaúba solidificados sobre placas de vidro - na ausência de campo elétrico - apresentavam, ao serem destacados das placas, densidades elétricas superficiais da mesma ordem de grandeza dos eletretos formados sob a ação de campo elétrico de 1000 volts/centímetro; portanto, eletrização do disco de cera de carnaúba. Tanto a face do disco de cera solidificada em contato com o vidro, como a outra face solidificada em contato com o ar, apresentavam altas densidades elétricas superficiais. Costa Ribeiro comunicou ainda que obteve a eletrização de discos de colofônio solidificado sobre mercúrio, e apresentou também gráficos levantados para o colofônio e para a cera de carnaúba, utilizando o aparelho exposto²³, encerrando a comunicação fazendo demonstrações experimentais.

Em sua tese de cátedra *Sobre o Fenômeno Termo-Dielétrico (Correntes Elétricas Associadas a Mudança de Estado Físico)*, de 1945, Costa Ribeiro apresenta assim tal descoberta:

Ao prepararmos alguns discos de *cêra de carnaúba* para uma projetada investigação sobre as anomalias desse dielétrico, observamos que tais discos, tendo sido solidificados sobre placas de vidro, apresentavam, após serem destacados dessas placas, fortes cargas elétricas.

23 Um dos gráficos referiu-se aos valores das densidades elétricas superficiais nas duas faces dos discos e o outro se referiu aos valores das carga elétricas induzida em armaduras moveis em função das distâncias das armaduras às faces dos discos.

Costa Ribeiro sabia que, quando as superfícies dos eletretos produzidos por campo elétrico eram deixadas desprotegidas, o campo elétrico produzido pelas cargas do eletreto decresciam ou mesmo se extinguíam com o tempo. Colocando-se, porém, o eletreto entre armaduras metálicas ligadas em curto, as cargas conservavam-se sem alteração durante anos. Desse conhecimento, Costa Ribeiro testou se o corpo eletrizado obtido por ele tinha o mesmo comportamento descrito para o eletreto, o que foi confirmado, “[...]. Parecia-nos pois que tal experiência mostrava a possibilidade da obtenção de *eletretos* sem aplicação de campo elétrico exterior”. (*idem, ibidem*).

Em junho de 1944, novamente em sessão da Academia, Costa Ribeiro apresentou sua comunicação *Correntes Elétricas Produzidas pelo Aquecimento de Eletretos*. Na mencionada sessão, relata que estava produzindo eletretos sem aplicação de campo elétrico, solidificando além do já citado colofônio, também discos de cera de carnaúba sobre mercúrio. O citado autor continuou apresentando as pesquisas que vinha realizando sobre os eletretos no Laboratório de Física Experimental da UB. Tais pesquisas consistiam em colocar o disco de eletreto de cera de carnaúba, produzido por ele, entre dois eletrodos dentro de uma estufa e aquecê-lo. Tal procedimento fez surgir uma corrente elétrica que foi detectada pelo equipamento externo à estufa e ligado ao eletrodo. Repetindo o processo para o disco de eletreto de colofônio, ele confirmou as mesmas observações. A ordem de grandeza da corrente elétrica observada foi de 10^{-14} ampère. Ao aquecer o eletreto, Costa Ribeiro observou que a corrente cresce rapidamente no início, atinge um valor máximo e em seguida decresce. Para ele, o comportamento da corrente parecia estar relacionado com o fenômeno do *congelamento* das

cargas nos dielétricos descrito por Gross. Encerrada a comunicação, agora foi a vez de Gross chamar a atenção da Academia para a importância dos trabalhos de Costa Ribeiro.

Sobre o aquecimento dos eletretos, consta na tese de cátedra que Costa Ribeiro estava procurando respostas para uma das duas conjecturas levantadas por ele sobre a origem das cargas, que tornavam o dielétrico permanentemente eletrizado: o eletreto. A primeira hipótese aventada era a de que a eletrização dos dielétricos se dava pelo processo de eletrização por contato, em que o dielétrico já solidificado arrancaria cargas das superfícies que estavam em contato, ou as superfícies arrancariam cargas do dielétrico.

Para testar a primeira hipótese ele aqueceu os dielétricos descritos na comunicação. Na tese consta, ainda, o aquecimento de discos de dielétricos que não tinham o comportamento dos eletretos. Nos dois casos - tanto o aquecimento dos eletretos como o aquecimento de dielétricos, que não possuíam o comportamento de eletretos - foi verificada a corrente elétrica.

A segunda conjectura apresentada, para explicar a formação dos eletretos obtidos na ausência de campo elétrico, é que as cargas poderiam ter surgidas durante a solidificação do dielétrico, “ficando congeladas durante o processo de resfriamento desde a temperatura de fusão até a temperatura ambiente”(*idem, ibidem*).

A corrente elétrica surgida durante o aquecimento de eletretos, dentro da estufa, sugeriu a Costa Ribeiro que as cargas teriam origem no processo de solidificação, contemplando a segunda conjectura. Para testar a segunda hipótese repetiu-se o procedimento experimental anteriormente descrito para

o aquecimento, com uma diferença: a temperatura foi elevada além do ponto de fusão do dielétrico. Foi então que Costa Ribeiro observou, “pela primeira vez, uma forte corrente durante a fusão de um disco de parafina” (*idem,ibdem*).

Para Costa Ribeiro, a corrente observada durante a fusão da parafina poderia provir da libertação das cargas preexistentes no disco do dielétrico, ou seja, cargas *congeladas*. Para esclarecer tal dúvida, realizou “uma série de fusões e solidificações sucessivas” (*idem,ibdem*) e observou “correntes intensas durante essas mudanças de estados” (*idem,ibdem*). Repetiu a experiência para discos de cera de carnaúba e de colofônio solidificados sobre mercúrio que conduziram aos mesmos resultados.

Na sessão de 14 de novembro de 1944, Costa Ribeiro apresentou uma nota prévia, sem título, dos primeiros resultados de suas observações de um novo fenômeno físico que ele denominou de Fenômeno Termo-Dielétrico. No novo fenômeno, o citado Acadêmico observou o surgimento de correntes elétricas associadas à mudança de estado físico. A descoberta de tal fenômeno deveu-se ao fato de Costa Ribeiro procurar esclarecer a origem das cargas elétricas, observadas em dielétricos solidificados na ausência de campo elétrico exterior (eletretos) que fora comunicado à Academia em sessões anteriores. Na nota prévia, o novo fenômeno foi observado durante a fusão e também na solidificação da cera de carnaúba, parafina e naftaleno, conforme descrito na tese. Naquela sessão, Costa Ribeiro “chamou a atenção para o fato de que a observação do Fenômeno no naftaleno mostra estar o mesmo relacionado com a modificação do estado de agregação de substâncias quimicamente puras e não apenas de misturas completas como a cera de carnaúba ou a parafina [...]”. Apresentou ainda o

esquema do aparelho que construiu para o estudo quantitativo do Fenômeno Termo-Dielétrico. A comunicação foi encerrada com experiências demonstrativas.

As primeiras observações do Fenômeno Termo-Dielétrico ressaltavam do fato de que “As correntes observadas apresentavam no entanto certas características que atribuímos ao fato de se processar a mudança de estado em torno de dois eletrodos dentro da estufa” (*idem, ibidem*). Tal fato levou Costa Ribeiro a adaptar equipamentos e a construir o aparelho citado para observar o Fenômeno em outras circunstâncias, e sem a utilização da estufa. Realizando as experiências com parafina, colofônio, cera de carnaúba e naftaleno, confirmou “a suposição inicial de que se tratava realmente de um fato novo, isto é, da produção de correntes elétricas associadas à mudança de estado físico do dielétrico” (*idem, ibidem*), daí o título de sua tese de cátedra *Sobre o Fenômeno Termo-Dielétrico (Correntes Elétricas Associadas à Mudança de Estado Físico)*.

Sobre a escolha do nome para o fenômeno, Costa Ribeiro justifica:

Seria por certo preferível escolher uma denominação mais específica que exprimisse o fato essencial de se tratar de uma *corrente elétrica associada a uma mudança de estado*, conservando-se o termo genérico *termo-dielétrico* para qualquer interdependência entre calor e as propriedades dos dielétricos. Não tendo porém encontrado uma expressão mais adequada (a denominação “*eletrometástase*”, além de ser complicada, exprimia melhor o efeito recíproco, ainda não observado, isto é: uma

mudança de estado produzida por uma ação elétrica), preferimos conservar a terminologia usada em nossa primeira comunicação sobre o fenômeno à Academia Brasileira de Ciências (idem, ibidem).

Relembrando agora a pesquisa de Costa Ribeiro, presente em sua tese de cátedra, que expõe o fenômeno termodielétrico. É apresentada numa, sequência, a evolução dos equipamentos utilizados nas pesquisas do referido fenômeno, com exceção da estufa e eletrodos utilizados nas primeiras observações.

O primeiro aparato apresentado em sua tese, montado para observar correntes elétricas surgidas na fusão de dielétricos é o da figura 13. Nele, Costa Ribeiro apresenta como observar qualitativamente e de maneira simples, o fenômeno termodielétrico.

Figura 13: Experiência demonstrativa do Fenômeno Termodielétrico

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

Para observar a corrente elétrica, Costa Ribeiro denominou-a de corrente termodielétrica utilizando o aparato da figura 13. Ele fundiu, primeiramente, o dielétrico a ser examinado e, em seguida, aguardou sua solidificação que ocorre lentamente dentro de uma cápsula metálica (C), ficando o dielétrico com a forma de um disco, forma da cápsula metálica. O dielétrico não é destacado da cápsula. O eletrodo metálico (E), também com a forma de um disco, porém de diâmetro menor, é preso por meio de um isolador feito de âmbar (A) a um suporte (S) que permite deslocá-lo, verticalmente, estando o eletrodo ligado ao eletrômetro unifilar de Wulf (EL). O eletrodo é então aquecido até atingir uma temperatura superior àquela de fusão do dielétrico a ser examinado. Atingida a referida temperatura abaixa-se o eletrodo até que ele toque a superfície do dielétrico, que se encontra solidificado dentro da cápsula metálica. O eletrodo provoca, então, uma rápida fusão de uma parte do dielétrico. Esta rápida fusão provoca o surgimento de uma corrente elétrica, provocando a deflexão do fio do eletrômetro, ou seja, o eletrômetro acusa, mas não mede a corrente elétrica produzida. Pela rapidez com que se desloca o fio²⁴ do eletrômetro, podia-se calcular a intensidade da corrente elétrica produzida.

A experiência relatada permitiu observar a corrente elétrica associada à fusão de dielétricos. Ao realizar tais procedimentos, Costa Ribeiro observou a corrente termo-dielétrica no naftaleno, naftol, no ácido esteárico, em parafinas, na cera de carnaúba, na cera de ouricuri, no colofônio, na cera de moldagem (dos dentistas), no enxofre e em misturas de colofônio e cera de carnaúba. Desses, a corrente mais intensa se manifestou no naftaleno. Em tal procedimento um aspecto que deveria ser levado em consideração era referente à solidificação da parte fundida. Quando a solidificação ocorria de baixo para cima, ou seja, aproximando-se

24 Para fácil compreensão, podemos fazer a analogia do fio do eletrômetro a um ponteiro, que indica a tensão estabelecida quando surge a corrente elétrica.

do eletrodo, aspectos gerais do fenômeno não apresentavam maiores problemas. Acontece que devido à perda de calor e o consequente resfriamento do eletrodo, a solidificação podia ocorrer de cima para baixo, ou seja, a partir do eletrodo, o que complicava o aspecto do fenômeno observado, dificultando sua interpretação.

Procurando realizar mais comodamente o aquecimento do eletrodo na experiência acima citada, Costa Ribeiro introduziu a utilização de resistência elétrica contida dentro de uma caixa, que era aproximada do eletrodo, provocando seu aquecimento, sem tocá-lo, por transmissão de calor (irradiação), figura 14.

Figura 14: Célula termielétrica com eletrodo aquecido

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

A fim de evitar os inconvenientes surgidos na utilização dos aparatos anteriormente apresentados, Costa Ribeiro passou a realizar experiências de solidificação e fusão, iniciando as experiências com o dielétrico em estado líquido, derretido. Apresenta, então, um eletrodo que possui um duto interno permitindo a passagem de corrente de ar, como mostram as figuras 15 e 16.

Figura 15: Célula termodielétrica com eletrodo resfriado por corrente de ar

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

Figura 16: Célula termielétrica com eletrodo resfriado por corrente de ar

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

A corrente de ar era fornecida ao duto do eletrodo por um pequeno compressor com reservatório de ar comprimido. A partir de um registro (válvula) era possível controlar a corrente de ar fornecida ao eletrodo e sua pressão era acompanhada por meio de um manômetro.

Utilizando o eletrodo vazado, as experiências se iniciavam com o dielétrico em estado líquido, e assim se mantinha na cápsula metálica (C), através da utilização de uma resistência externa (R) que mantinha sua temperatura superior à temperatura de solidificação do dielétrico usado, conforme as figuras 15 e 16. Tal resistência não toca à cápsula metálica mantendo aquecida por irradiação.

Estando o dielétrico em estado líquido no interior da cápsula²⁵ e o eletrodo parcialmente mergulhado nele, de modo que os dutos permitam a saída da corrente de ar livremente, iniciava-se a experiência. Uma visão geral do equipamento é apresentada na figura 17.

Figura 17: Experiência demonstrativa da reversibilidade do Fenômeno Termodielétrico

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

Abrindo-se o registro do compressor, o ar era insuflado, percorrendo o duto interno do eletrodo e saindo na direção vertical, de baixo para cima como mostram as figuras 15 e 17.

²⁵ A cápsula deveria ser do mesmo metal que constituía o eletrodo.

Tal procedimento fazia com que o eletrodo fosse resfriado pela passagem da corrente de ar pelo duto interno, e o dielétrico em contato com o eletrodo, então líquido, começava a solidificar. Tão logo a superfície do eletrodo ficava completamente revestida por uma película sólida, de modo que não houvesse contato direto do dielétrico em estado líquido com o eletrodo, o fio do eletrômetro sofria uma deflexão acusando o surgimento de uma corrente elétrica. Costa Ribeiro observou que se aumentando a pressão e, portanto, a rapidez com que o ar era insuflado, consequentemente a velocidade²⁶ de solidificação aumentava, e aumentava também a intensidade da corrente elétrica produzida. Reduzindo a velocidade da corrente de ar, diminuía a intensidade da corrente elétrica, e isso ocorria porque a solidificação era mais lenta. Controlando-se cuidadosamente a velocidade do ar insuflado, era possível manter constante certo volume do dielétrico solidificado em torno do eletrodo. Então o volume bem definido e constante do dielétrico solidificado permanecia em equilíbrio com o dielétrico em estado líquido coexistindo um sistema difásico sólido(S)-líquido(L) em equilíbrio, observados nas figuras 15 e 17. Nesta situação não era observado corrente elétrica. A partir do equilíbrio citado, reduzia-se a velocidade do ar insuflado, e começava a ocorrer a fusão do dielétrico e o eletrômetro acusava o surgimento de corrente elétrica. Podia-se ainda a partir do equilíbrio do sistema difásico sólido(S)-líquido(L) insuflar corrente de ar, aumentando a massa solidificada, tendo como consequência o surgimento de corrente elétrica, como citado.

26 O termo velocidade refere-se à rapidez com que o dielétrico era solidificado ou fundido, termo utilizado por Costa Ribeiro que será mantido. O mesmo termo é utilizado para a rapidez com que a corrente de ar insuflado pelo compressor percorria o duto interno do eletrodo vazado.

Para Costa Ribeiro, a experiência mostrava claramente que a corrente elétrica observada é um fenômeno associado à mudança de estado físico e que se tratava de um fenômeno reversível, ocorrendo tanto na solidificação como na fusão. Tal experiência mostrava ainda que a intensidade da corrente produzida é tanto maior quanto maior for a velocidade ou rapidez da mudança de estado.

Voltemos nossa atenção para a figura 15. Observa-se nela o conjunto formado pelo sistema difásico dielétrico líquido(L) - dielétrico sólido(S) entre os dois eletrodos²⁷. Tal sistema constitui o elemento que Costa Ribeiro denominou de célula termodielétrica, capaz de produzir corrente elétrica toda vez que se estabelece uma mudança de estado, seja solidificação ou fusão.

Ao procurar pesquisar as leis que regem o fenômeno, Costa Ribeiro montou o aparato apresentado nas figuras 18 e 19. Com o equipamento, pôde realizar as experiências em condições controláveis. A experiência seria conduzida agora de modo a medir, em função do tempo, a massa do dielétrico que muda de estado físico e a intensidade da corrente elétrica produzida.

27 Um eletrodo é o vazado ligado diretamente ao eletrômetro e o outro eletrodo é a própria cápsula metálica ligada à terra, conforme figura 17.

Figura 18: Dispositivo de medida para estudo quantitativo do fenômeno

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

Figura 19: Conjunto da aparelhagem utilizada para o estudo do Fenômeno Termielétrico

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Nessa nova etapa da pesquisa, será apresentado, primeiramente, como Costa Ribeiro procedeu para calcular a corrente produzida e depois apresentaremos como se mediu a massa que muda de estado físico. A citada corrente era calculada, e o que o eletrômetro (EL) acusava era a voltagem quando o sistema carregava-se eletricamente devido à corrente elétrica surgida durante a mudança de estado físico do dielétrico.

A corrente elétrica era calculada pelo método eletrométrico, ou seja, por valores obtidos pelos componentes ligados entre si e ao eletrômetro, e para tal fim utilizou-se o eletrômetro unifilar de Wulf associado em paralelo a um condensador cilíndrico

variável de ar, conforme figura 20. A capacidade²⁸ do condensador de ar podia ser variada permitindo obter várias intensidades de corrente. Um aperfeiçoamento dos equipamentos utilizados pode ser visto no eletrômetro da figura 18; nele foi adaptado um dispositivo de projeção no microscópio de leitura do eletrômetro (ou ocular) que facilitava a leitura das medidas.

Figura 20: Circuito eletrométrico para medida da corrente pela velocidade de carga

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

²⁸ Também conhecido como capacitância, é a quantidade de carga acumulada no condensador.

Ao se interromper o curto circuito, com a abertura da chave K, figura 20, o sistema se carregava pela corrente produzida na célula termodielétrica (T.D)²⁹, e o fio do eletrômetro marcava os valores da tensão que variava com o tempo.

A forma geral da equação utilizada para calcular a corrente elétrica era:

$$i = C \left(\frac{dU}{dt} \right)_0$$

O termo i refere-se à corrente elétrica ou termo-dielétrica e o termo U é a variação da tensão em função do tempo. As observações eram feitas em intervalos de tempo (Δt) suficientemente pequenos, e o correspondente valor da tensão (ΔU) é também pequeno³⁰. Assim, a equação acima toma a seguinte forma:

$$i = C \left(\frac{\Delta U}{\Delta t} \right)_0$$

O termo C refere-se à capacidade (ou capacitância) total dos equipamentos que compõem o aparato montado, constituído pelo eletrômetro (C_1), blindagens (C_2), condensador de ar (C_3) e a célula termo-dielétrica (C_4). Todos os valores das capacidades eram previamente obtidos e eram valores fixos³¹. Assim, $C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$. O valor de C_4 dependia do dielétrico utilizado, tendo para cada um deles, valores diferentes.

29 A célula apresentada na figura 20 tem um formato diferente do apresentado anteriormente e que será tratado com mais detalhes adiante.

30 A variação da tensão sendo pequena tornava desprezível a componente ôhmica, ou resistência, do dielétrico.

31 $C_1 + C_2 = 71,4 \times 10^{-12}$ Faraday, $C_3 = 459,4 \times 10^{-12}$ Faraday e o valor de C_4 dependia do dielétrico utilizado, para o naftaleno, $C_4 = 28,6 \times 10^{-12}$ Faraday.

A forma final da equação para calcular a corrente elétrica era:

$$i = (C_0 + C_4) \xi \left(\frac{\Delta L}{\Delta t} \right)$$

O termo refere-se à sensibilidade do eletrômetro e tem valor constante. Assim $= 3,33 \times 10^{-2}$ Volts/divisão. Tal valor é obtido levantando-se um gráfico. ΔL refere-se ao deslocamento do fio do eletrômetro lido na escala do aparelho durante o intervalo de tempo Δt . $C_0 = C_1 + C_2 + C_3$.

Ao pesquisar o naftaleno, $C_4 = 28,6 \times 10^{-12} F$, e substituindo todos os valores, a equação acima ficava na forma simplificada:

$$i = 17,6 \times 10^{-12} \left(\frac{\Delta L}{\Delta t} \right) \text{ Ampère}$$

Com a forma simplificada da equação, bastava agora fazer a pesquisa com o naftaleno e obter os valores ΔL no eletrômetro e Δt no cronômetro. Para outros dielétricos, o primeiro termo da equação apresentava outro valor em consequência de C_4 , e que deveria ser calculado previamente. Essa era a única modificação na forma simplificada da equação, de resto bastava repetir os procedimentos anteriormente descritos, ou seja, obter os valores de ΔL no eletrômetro e Δt no cronômetro.

Efetivamente, a intensidade da corrente surgida no fenômeno termodielétrico era da ordem de 10^{-11} a 10^{-12} Ampère.

Medir a massa do dielétrico que muda de estado físico (solidificação ou fusão) em função do tempo, constituiu-se, para Costa Ribeiro, uma das maiores dificuldades para a realização de seu trabalho de estabelecer as leis gerais do fenômeno. Tal medida devia ser feita continuamente, pois a retirada do eletrodo com

o respectivo revestimento sólido para se medir a massa (pesar) introduziria uma perturbação que não poderia ser avaliada.

Após tentar vários métodos, conseguiu uma solução satisfatória, construindo uma célula termo-dielétrica com eletrodo de imersão resfriado por corrente de ar, preso a uma das extremidades de uma balança de braço. O eletrodo de imersão e outros componentes são apresentados na figura 21 e visto no seu conjunto na figura 18.

Figura 21: Suspensão especial com sistema compensador da reação do ar insuflado

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Figura 22: Câmara Termostática

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Equilibrada a balança, era possível medir as variações da massa da fase sólida a partir de um artifício engenhoso utilizado por Costa Ribeiro, no qual uma fonte luminosa emitia um feixe de luz que era refletida em um pequeno espelho fixo ao travessão vertical da balança. Tal feixe refletido atinge uma escala vertical (E da figura 18), que acusava a variação da massa. A escala encontrava-se a dois metros de distância do pequeno espelho.

Havia um inconveniente na experimentação que deveria ser eliminado. O ar insuflado, ao escapar do eletrodo de imersão, daria origem a uma força que iria afetar o equilíbrio da balança e falsear o resultado da massa solidificada. Eliminou-se tal inconveniente construindo todo o conjunto já apresentado na figura 21.

Por meio de tal dispositivo, a corrente de ar insuflada era separada no distribuidor (D da figura 21) em duas partes distintas e conduzida por dois tubos de borracha (T da figura 21) muito finos e flexíveis. Um dos tubos de borracha era ligado ao eletrodo de imersão (E.I da figura 21) que conduzia parte da corrente de ar vinda do compressor, que passava pelo interior do eletrodo de imersão e saía pelo tubo de escapamento (E_2 da figura 21), na direção vertical de baixo para cima. O outro tubo de borracha era ligado ao dispositivo compensador (E_3 da figura 21), conduzindo também parte da corrente de ar, fazendo com que ele escape também na direção vertical, porém de cima para baixo. Por meio dos registros (R_2 e R_3 da figura 21) regulavam-se as velocidades de escapamento dessas duas correntes de ar, de modo que as duas forças se anulassem.

A célula termodielétrica com eletrodo de imersão é apresentada nas figuras 23 e 24.

Figura 23: Célula Termofilétrica

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

Figura 24: Célula Termodielétrica

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Na figura 23 são vistos dois eletrodos: o de imersão já citado e o eletrodo exterior; uma evolução do conjunto é apresentado na figura 15, sendo possível estabelecer uma célula termo-dielétrica. O eletrodo exterior (E.E)³², ligado à terra, é constituído por uma hélice cilíndrica de alumínio. Tal eletrodo encontra-se encostado na parede interna da proveta de vidro (P) ficando permanentemente imerso no dielétrico fundido. O eletrodo de imersão (E.I) é um cilindro de alumínio, de parede muito delgada, possuindo dois condutos que permitem a passagem e saída do ar insuflado. A insuflação era feita pelo conduto central (I) que conduzia o ar a um cilindro oco com vários orifícios que permitia a passagem do ar, a fim de realizar o resfriamento uniforme da superfície do eletrodo.

³² Na figura 23, o eletrodo exterior é representado pelas barras paralelas levemente inclinadas.

O eletrodo de imersão ficava permanentemente mergulhado no dielétrico em estado líquido (L), porém o tubo de saída de ar (E_2) era protegido do contato do dielétrico líquido por um isolador de vidro pyrex³³ (V) que era soldado ao tubo E_2 com o próprio dielétrico em estado sólido. Duas eram as funções desse isolador: a primeira era não permitir que o dielétrico solidifique no conduto de saída E_2 , e a segunda era que estando o dielétrico em estado líquido (cuja a resistividade é muito menor que a do dielétrico sólido) ficando, permanentemente, em contato com o eletrodo, ponha em curto circuito o eletrômetro, fazendo com que o fenômeno não seja observado. Resumindo, a solidificação deveria se dar somente em torno do eletrodo cilíndrico, representado na figura 23 pela área retangular imersa no dielétrico.

A proveta (P) que continha os dois eletrodos e o dielétrico fundido da figura 23, ficava permanentemente mergulhado numa câmara termostática (C.T na figura 18, vista também na figura 22) com circulação de água, cuja temperatura era mantida constante por meio de um termostato (T) e superior ao ponto de fusão do dielétrico a ser pesquisado.

Movendo-se o registro R_1 (figura 18), produzia-se solidificação ou fusão em torno do eletrodo de imersão, que era acusado pelo feixe de luz na escala vertical.

A massa que efetivamente mudava de estado era calculada pela equação:

$$m = \sigma \Delta l \left(\frac{D_s}{D_s - S_1} \right)$$

33 Tipo de vidro que pode ser aquecido.

Em que D_s e D_l referem-se, respectivamente, às densidades do dielétrico em estado sólido e em estado líquido calculadas previamente. Cada dielétrico possui um valor característico das densidades. σ refere-se à sensibilidade da balança, estando o eletrodo de imersão mergulhado no dielétrico líquido, é um valor fixo e é obtido a partir de um gráfico. Para Costa Ribeiro o valor de σ já leva em conta a variação do empuxo. Δl é o deslocamento apontado pelo feixe luminoso na escala vertical, quando ocorre solidificação ou fusão do dielétrico. Δl é o valor a ser obtido durante a experiência.

Na sua pesquisa Costa Ribeiro tem como dielétrico principal a ser pesquisado o naftaleno, mas resultados para outros dielétricos aparecem. A escolha por tal dielétrico deveu-se, primeiramente, ao fato de apresentar as maiores correntes dentre os dielétricos utilizados por ele, como já descrito anteriormente. O outro motivo apresentado para tal escolha deveu-se ao fato de ser o naftaleno “uma espécie química bem definida, podendo ser facilmente purificada e possuindo uma temperatura de fusão bem definida e relativamente baixa (80°C)” (*idem,ibdem*).

Costa Ribeiro ressalta na sua tese de cátedra que os resultados apresentados, e que veremos a seguir, “são os resultados desses primeiros estudos” (*idem,ibdem*).

Ajustando a quantidade de ar insuflado para o interior do eletrodo de imersão, fez-se variar a velocidade da mudança de estado, observando uma correspondente variação da intensidade da corrente termo-dielétrica.

Aspectos gerais do fenômeno mostram que se a massa da fase sólida cresce, isto é, se há solidificação, há corrente elétrica. Se a massa da fase sólida decresce, isto é, se há fusão, há também corrente elétrica.

Costa Ribeiro observou que para cada velocidade de mudança de estado³⁴, havia uma intensidade de corrente associada a cada uma delas, existindo uma interdependência entre a velocidade da mudança de estado e a intensidade da corrente. A fim de estabelecer a forma da interdependência, realizou uma série de medidas com diferentes velocidades de solidificação e fusão para distintos dielétricos.

Nessa parte da pesquisa Costa Ribeiro partiu do sistema difásico sólido-líquido em equilíbrio e começou a aumentar a velocidade do ar insuflado obtendo uma solidificação contínua, acusando o eletrômetro a corrente elétrica. Após um curto intervalo de tempo foi reduzindo a velocidade do ar e a solidificação foi diminuindo até que fosse atingido um novo equilíbrio do sistema sólido-líquido, não havendo solidificação ou fusão, ou seja, mudança de estado físico. Fato observado era que não havendo mudança de estado físico não havia corrente elétrica. Repetiu tal procedimento para diferentes velocidades de solidificação para o naftaleno, possibilitando construir o gráfico da figura 25 e a tabela 5 (abaixo).

³⁴ A velocidade (v) do dielétrico que muda de estado físico era dada pela expressão $v = \frac{m}{t}$, ou seja, a massa que muda de estado físico em função do tempo, m .

Figura 25: Gráficos dos resultados obtidos na solidificação do naftaleno

Fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST

QUADRO I

$v: \frac{dm}{dt}$	i	$k = \frac{i}{v}$	Observações
$g \cdot \text{seg}^{-1}$	$10^{-12} A$	$10^{-9} Cg^{-1}$	
+4,2	+12,6	+3,0	Solidificação
+8,0	+25,4	+3,2	"
+13,3	+40,6	+3,0	"
+14,6	+47,4	+3,2	"
+19,6	+66,2	+3,4	"
+26,4	+87,4	+3,3	"
+9,7	+25,4	+2,6	Solidificação com grande espessura
-6,9	-16,0	+2,3	Fusão

PROPORCIONALIDADE ENTRE A INTENSIDADE DA CORRENTE TERMO-DIELETRICA E A VELOCIDADE DA MUDANÇA DE ESTADO (NAFTELENO)
(EXPERIÊNCIAS FEITAS COM O ELETRODO DE IMERSÃO)

Tabela 5

fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Na primeira coluna da tabela são apresentados os valores das velocidades da mudança de estado físico (as primeiras sete linhas referem-se à solidificação e a oitava linha refere-se à fusão). Vê-se que as velocidades de solidificação e fusão são

constantes, tendo como consequência uma corrente constante. Na primeira linha, por exemplo, a velocidade de solidificação do naftaleno é de 4,2 gramas a cada segundo, ou seja, a cada segundo é acrescido 4,2 gramas de massa solidificada, e a corrente elétrica produzida assume um valor constante e igual a $12,6 \times 10^{-12}$ Ampère. Na última linha a velocidade de fusão do naftaleno é de 2,3 gramas a cada segundo, ou seja, a cada segundo 2,3 gramas da massa sólida do dielétrico se funde, e a corrente elétrica produzida assume um valor constante e igual a $3,9 \times 10^{-12}$ Ampère.

A partir dos resultados, Costa Ribeiro concluiu que:

Nas mudanças de estado que se processam com velocidade constante, a intensidade da corrente termo-dielétrica é proporcional a essa velocidade.

Essa proposição constitui pois o enunciado de uma 1ª lei das que rege o fenômeno termo-dielétrico.

A essa primeira lei, Costa Ribeiro denominou de *Lei das intensidades*, apresentando-nos a equação correspondente, sendo ela:

$$i = k \frac{dm}{dt},$$

em que i representa a corrente termo-dielétrica; $\frac{dm}{dt}$ refere-se à velocidade de mudança de estado; k representa uma constante específica que possui um valor característico para cada dielétrico e denominada por Costa Ribeiro de *constante termo-dielétrica*, vista na terceira coluna da tabela 5. Segundo este

autor: “é importante observar que a lei acima enunciada refere-se a *mudanças de estado que se processam com velocidade constante*” (*idem, ibidem*).

Havia duas ocasiões em que a velocidade de mudança de estado não é constante, sendo elas no início e no final. Logo no início, num curto intervalo de tempo, enquanto cresce a velocidade de solidificação a corrente cresce também, até que a solidificação cresça com velocidade constante (a valores constantes) e a corrente assuma um valor constante. No final, reduzindo-se a velocidade de solidificação, a corrente diminui gradualmente, e quando o sistema atinge o equilíbrio, a corrente se torna nula. Os instantes iniciais e finais não constam na tabela 5 anterior e podem ser observados no gráfico da figura 25. Tais instantes não são válidos na *Lei das intensidades*.

Há um outro aspecto que foi observado por Costa Ribeiro com relação à corrente. Como já citado, logo no início, enquanto cresce a velocidade de solidificação cresce também a corrente, mas quando a velocidade de solidificação se torna constante, a corrente não assume um valor constante; imediatamente, continua crescendo e após certo tempo é que se torna constante. O mesmo acontece quando a velocidade de solidificação é diminuída e a corrente vai diminuindo. Algum tempo depois de começado a redução da velocidade de solidificação é que a corrente começa a diminuir, e quando o sistema já está em equilíbrio sólido-líquido, somente um certo tempo depois é que a corrente se anula. Assim a corrente mostra-se atrasada, ou defasada, em relação à mudança de estado físico, mostrando que o ‘fenômeno termo-dielétrico tem um caráter hereditário, ou mais precisamente que o valor instantâneo da intensidade da corrente não depende apenas do valor instantâneo da velocidade

da mudança de estado, mas também de todos os valores anteriores ao instante considerado” (*idem, ibidem*). Em outras palavras, o fato de o sistema ter atingido velocidade constante, de mudança de estado, não significa que naquele instante, a corrente seja constante já que, anteriormente, ela estava crescendo; o mesmo vale para o sistema em equilíbrio.

Costa Ribeiro apresenta ainda em seu trabalho de tese, que a carga elétrica total quando o sistema difásico passa de um estado de equilíbrio (caracterizado por um valor constante da massa da fase sólida m_1) para outro estado de equilíbrio (caracterizado por um valor constante da massa da fase sólida m_2), a carga total é expressa por:

$$Q = \int_1^2 i dt$$

A expressão acima é uma integral de área obtendo-se Q , através do gráfico, a corrente elétrica *versus* tempo.

Na tabela 6 estão os valores das cargas obtidas (coluna 2) para diferentes velocidades de solidificação do naftaleno. Na primeira coluna encontra-se os valores da variação total da massa da fase sólida, quando o sistema passa de um estado de equilíbrio para outro. Na segunda coluna estão os valores da carga elétrica.

QUADRO II

$m = m_2 - m_1$	$Q = \int i dt$	$k = \frac{Q}{m}$	Observações
g	$10^{-3} C$	$10^{-3} C g^{-1}$	
+ 2,1	+ 5,2	+ 2,5	Solidificação
+ 4,9	+ 12,8	+ 2,6	"
+ 5,2	+ 13,6	+ 2,6	"
+ 2,6	+ 6,7	+ 2,6	"
+ 3,5	+ 10,4	+ 3,0	"
+ 13,7	+ 37,3	+ 2,7	"
+ 8,2	+ 14,6	+ 1,8	Solidificação com grande espessura
- 2,0	- 4,4	+ 2,2	Fusão
- 5,2	- 10,9	+ 2,1	"
- 1,2	- 3,0	+ 2,5	"
- 2,3	- 3,9	+ 1,7	"

PROPORCIONALIDADE ENTRE A CARGA ELÉTRICA ASSOCIADA A UM DESLOCAMENTO DO EQUILÍBRIO DO SISTEMA SÓLIDO-LÍQUIDO E A MASSA QUE MUDA DE ESTADO (NAFTELENO).
(EXPERIÊNCIAS FEITAS COM O ELETRODO DE IMERSÃO).

Tabela 6

fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Costa Ribeiro apresenta então o enunciado da 2ª lei do fenômeno termo-dielétrico, batizada por ele de *Lei das cargas*:

si um sistema difásico evolui, passando de um estado de equilíbrio para outro, a carga elétrica associada à variação total da massa de uma das fases é proporcional a essa variação da massa.

Retomando a expressão anterior, a equação geral que rege a segunda lei do fenômeno termo-dielétrico é dada por

$$Q = \int_1^2 i dt = k(m_2 - m_1) = km$$

Ou

$$Q = km,$$

em que Q é a carga elétrica total, k é a constante termo-dielétrica, e m é a massa total ou a diferença entre a massa da fase sólida final e a massa da fase sólida inicial, estando nos dois casos o sistema em equilíbrio.

Para as duas leis apresentadas, foi necessário esperar um intervalo de tempo para que se tenha extinguido as correntes hereditárias, relativas ao caráter hereditário presente no fenômeno termo-dielétrico. Este procedimento foi realizado para obter os valores das duas últimas tabelas apresentadas (tabelas 5 e 6).

Sendo k uma constante característica de cada dielétrico, Costa Ribeiro recorreu à Lei das cargas para sua determinação, já que na referida lei, a carga elétrica total (Q) é proporcional à massa total.

Obteve-se o valor da massa utilizando o aparato apresentado na figura 15, fazendo o seguinte procedimento: inicialmente, com o dielétrico em estado líquido, promoveu-se a insuflação de ar até atingir um depósito sólido do dielétrico em torno do eletrodo, diminuindo-se, assim, a insuflação até obter um sistema sólido-líquido em equilíbrio, aguardando-se até que a corrente elétrica produzida se anulasse, ou seja, esperando que o caráter hereditário da corrente fosse extinto. Em seguida retirou-se o eletrodo e mediu-se a massa (pesou) do dielétrico solidificado. Com os valores da carga Q_{35} e da massa, determinava-se o valor de k pela expressão da lei das cargas. Os valores determinados para diferentes dielétricos encontram-se na tabela 7, abaixo.

QUADRO III			
DIELÉTRICOS	$m = m_2 - m_1$	$Q = \int_0^t i dt$	$k = \frac{Q}{m}$
	g	$10^{-9}C$	$10^{-9}Cg^{-1}$
Naftaleno	+14,27	+39,8	+2,8
Cêra de Ouricuri ou Licuri (Baia)	+13,8	+31,5	+2,3
Cêra de Carnaúba (variedade escura)	+14,3	-4,8	-0,3
Cêra de Carnaúba (variedade clara)	+15,3	-1,5	-0,1

CONSTANTES TERMO-DIELÉTRICAS DE DIFERENTES DIELÉTRICOS DETERMINADAS PELA MEDIDA DAS CARGAS ASSOCIADAS À SOLIDIFICAÇÃO (COM ELETRODO PLANO FIXO).

Tabela 7

fonte: tese de cátedra de Costa Ribeiro, acervo Costa Ribeiro-MAST).

Na sua pesquisa Costa Ribeiro utilizou-se de eletrodos, de diferentes formas e áreas e obteve diferentes valores da constante k para o naftaleno, mostrando que “não nos foi possível ainda estabelecer um método de maior precisão para a medida dessa constante” (idem, ibdem). Com relação à corrente termo-dielétrica afirma que “não foi observada nenhuma influência apreciável da forma e da área dos eletrodos sobre a intensidade da corrente” (idem, ibdem).

Outro aspecto que Costa Ribeiro apresenta com relação ao fenômeno termo-dielétrico é sua reversibilidade, ou seja, a carga total surgida durante a solidificação é igual à carga total surgida durante a fusão. Ele provou a reversibilidade submetendo o naftaleno à solidificação e seguidamente submeteu o naftaleno à fusão. A carga elétrica calculada, tanto no processo de solidificação quanto no processo de fusão, davam praticamente o mesmo valor. Com a parafina obteve-se o mesmo resultado.

Diante do fato experimentalmente observado que o valor instantâneo da corrente não dependia somente do valor instantâneo da velocidade de mudança de estado físico, mas também dos valores anteriores ao instante considerado, ou seja, corrente hereditária, Costa Ribeiro sugere “a possibilidade de ser aplicável à corrente termo-dielétrica uma equação análoga à que se usa para exprimir a corrente anômala na teoria dos dielétricos reais” (idem, ibdem). A corrente anômala a que se refere é a surgida nos condensadores, que como já foi apresentada era pesquisada por Gross.

A equação à qual se refere é:

$$i(t) = i_0(t) + \int_0^t \frac{du}{dt} \varphi(t - \tau) d\tau ,$$

em que i_0 representa todos os efeitos anteriores ao instante em que é observada a corrente. O termo refere-se à variação da tensão no condensador.

Para obter a equação análoga, Costa Ribeiro apresenta os elementos que se correspondem, “si no caso da corrente de absorção a causa imediata de produção da corrente é uma variação da tensão [...], no caso do fenômeno termo-dielétrico a causa imediata da corrente é uma variação da massa [...] de uma das fases, pelo deslocamento do equilíbrio do sistema sólido-líquido” (*idem, ibidem*).

E completa:

Podemos então estabelecer uma correspondência formal entre *aplicar tensão*, no caso da corrente de absorção e *fazer variar a massa* de uma das fases por uma mudança de estado, no caso do fenômeno termo-dielétrico. Cumpre não esquecer que se trata apenas de uma *correspondência formal* e não de uma *equivalência* entre essas duas operações. (*idem, ibidem*)

A equação análoga de Costa Ribeiro assume a forma:

$$i(t) = i_0(t) + \int_0^t \frac{dm}{dt} \varphi(t - \tau) d\tau ,$$

“ é claro que a adoção da equação [...] exigiria uma verificação prévia, que ainda não foi feita [...]” (*idem, ibidem*).

Sobre a verificação, acrescenta:

A verificação experimental [...] apresenta porém aqui uma dificuldade maior do que no caso das correntes de absorção, pois é mais fácil produzir variações sucessivas descontínuas de tensão aplicada a um condensador do que variações sucessivas descontínuas do estado de equilíbrio do sistema sólido-líquido, na célula termo-dielétrica. (*idem, ibidem*)

Matematicamente, pode-se utilizar uma equação e através de artifícios matemáticos chegar a um resultado pretendido, assim fez Costa Ribeiro utilizando a equação acima, e coordenando as ferramentas matemáticas chegou à expressão da lei das cargas, $Q = km$. Ele conjecturou que essa seria uma prova indireta de que a equação acima poderia prever o comportamento da corrente do efeito termo-dielétrico, mas como ele mesmo observou faltava a verificação experimental da equação.

Costa Ribeiro não possuía uma explicação plausível para o fenômeno descoberto, então apresentou algumas hipóteses, sustentadas em teorias de fenômenos que poderiam ter alguma relação com a sua descoberta, “procurando encontrar um mecanismo simples capaz de dar conta dos fatos observados”(*idem, ibidem*).

Na teoria da dupla camada, que entre os fenômenos abordados estavam a eletrização por contato (ou atrito) e o chamado fenômeno de Lenard (ou balo-elétrico) que consistia “na separação de cargas elétricas quando uma massa de água é pulverizada em pequeninas gotas (“waterfall electricity”), fenômeno este

pelo qual se tem procurado explicar a origem da eletricidade atmosférica e das enormes diferenças de potencial entre as nuvens, das quais resultam as descargas elétricas atmosféricas” (*idem, ibidem*), foram algumas das hipóteses aventadas.

Outra hipótese consistia em abordar o fenômeno termo-dielétrico do ponto de vista eletrônico, assim poderia admitir que as densidade eletrônicas normais, numa substância, são diferentes no estado sólido e líquido, em tal hipótese:

[...] Quando uma camada de substância se solidifica ela conserva, nos primeiros instantes a densidade eletrônica que possuía no estado líquido e que não é a sua densidade eletrônica *normal* no estado sólido. Em consequência produz-se um deslocamento de elétrons, num ou outro sentido, afim de restabelecer o valor normal da densidade eletrônica da camada no estado sólido. Esse deslocamento corresponderia à corrente termo-dielétrica.

Compreende-se desse modo a possibilidade de interpretar, não só a proporcionalidade entre a corrente e a velocidade da mudança de estado, como também o caráter hereditário do fenômeno, pois os deslocamentos dos eletrons através a substância não é um processo instantâneo, o que daria origem à *defasagem* observada entre $v(t)$ e $i(t)$.

De acordo com esta hipótese deve-se esperar que essa defasagem seja tanto maior quanto maior for a resistividade do material, o que sugere a realização de um estudo comparativo entre êsses dois aspectos do comportamento das substâncias utilizadas.

Uma outra consequência dessa maneira de considerar o assunto, é a probabilidade de que o fenômeno tem um caráter muito geral, ocorrendo não apenas nos dielétricos, mas também nos semi-condutores e até nos condutores, revelando-se apenas mais comodamente nos dielétricos pela facilidade de serem observadas, em tal caso, as diferenças de potencial resultantes, por ser maior a resistividade elétrica dessas substâncias.

Poder-se-ia objetar que esta hipótese admite a existência de elétrons livres no interior dos dielétricos, o que não se enquadra com a maneira usual de se considerar a condutibilidade de tais substâncias, comumente atribuída a processos iônicos. (*idem, ibidem*).

Costa Ribeiro então recorreu à mecânica quântica (teoria das bandas de energias em sólidos) para complementar a sua discussão acerca do possível tratamento eletrônico no fenômeno termo-dielétrico:

Entretanto as modernas teorias da condutibilidade dos sólidos são de caráter eletrônico, e, de acordo com o tratamento quântico, as diferenças existentes entre *isolantes, semi-condutores e condutores* prendem-se, aos números de *níveis energéticos* disponíveis nas faixas de energias permitidas para os elétrons de modo a possibilitar ou não o movimento dos elétrons na direção do campo aplicado, não existindo porém linhas divisórias nítidas entre esses tipos de comportamento (*idem ibidem*).

Outra hipótese apresentada que poderia levar a uma possível explicação do fenômeno termo-dielétrico é:

No “modelo eletrônico coletivo” de Bloch, p. ex., admite-se explicitamente que os elétrons das camadas exteriores dos átomos não estão ligados aos átomos individuais mas são livres de se mover no campo eletrostático periódico da rede cristalina.

Embora esse modelo tenha sido utilizado com melhores resultados no caso dos metais, também tem sido aplicado a isolantes.

Não há pois nenhuma incompatibilidade essencial entre a hipótese acima formulada e as idéias atuais sobre a condutibilidade dos cristais e é provável que um tratamento quântico do fenômeno termo-dielétrico, levando em conta a influência da temperatura e da excepcional perturbação que representa a destruição ou a formação da rede cristalina nas mudanças de estado, conduza a resultados satisfatórios. (*idem, ibidem*).

Costa Ribeiro conclui sobre as hipóteses:

Seja qual for o mecanismo invocado para interpretar o fenômeno (grifo nosso), e mesmo na hipótese eletrônica acima aventada, deve-se admitir que, uma vez atingido o equilíbrio do sistema difásico, e permanecendo constante a massa das duas fases, existe uma dupla camada elétrica na interface, cuja diferença de potencial, no estado de equilíbrio, impede o deslocamento das

cargas através da inter-fase, (razão pela qual é nula a corrente termo-dielétrica quando o sistema difásico está em equilíbrio) (*idem, ibdem*).

Costa Ribeiro realizou outras experiências procurando observar o fenômeno termodielétrico. Através de outra experiência, este autor observou o fenômeno termo-dielétrico na sublimação do naftaleno, fazendo a seguinte experiência:

Si cobrirmos com um vidro de relógio um “Becher” contendo *naftaleno* líquido mantido a uma temperatura ligeiramente superior à temperatura de fusão, formam-se em pouco tempo, na superfície do vidro de relógio, belos cristais de naftaleno por sublimação [...] (*idem, ibdem*).

Os cristais se formavam pelo resfriamento do vapor de naftaleno no vidro de relógio³⁶.

Pode-se observar facilmente a existência de cargas elétricas nesses cristais colocando-os sobre uma placa horizontal de metal polido. Si a placa metálica é em seguida colocada na posição vertical os cristais menores ficam aderentes, sendo fácil verificar que esta aderência não é devida às forças comuns de adesão, pois mesmo que os cristais sejam ligeiramente afastados da superfície da placa eles são novamente atraídos por ela,

36 Vidro utilizado em laboratório, de diferentes tamanhos com formato circular e côncavo que lembra o vidro de relógios.

revelando-se assim o caráter eletrostático das forças que o solicitam.

Pode-se ainda observar melhor essas cargas, colocando os cristais cuidadosamente dentro de uma pequena caixa de *Faraday*.(idem, *ibidem*).

Quando os cristais (sólidos) sublimavam, era detectada a corrente elétrica:

Si o sublimado se formar sobre um eletrodo metálico ligado a um eletrômetro de Wulf o fio do eletrômetro se deslocará lentamente indicando uma fraca corrente [...] que a que se observa numa célula termo-dielétrica pela solidificação do *naftaleno*.

Estas experiências mostram-nos, pois, que o fenômeno termo-dielétrico se produz não apenas nos processos de *fusão* e *solidificação* mas também na *sublimação*, que é outro tipo de mudança de estado, em que uma das fases é sólida (idem, *ibidem*).

Costa Ribeiro procurou ainda verificar o efeito termo-dielétrico em outra mudança de estado físico: “Tentamos também, observar uma eventual produção de cargas elétricas em outras mudanças de estado como p.ex., a vaporização de líquidos, mas as experiências até agora, realizadas nesse sentido não conduziram a resultados positivos” (idem, *ibidem*)

Outra experiência que Costa Ribeiro apresenta na tese e que não havia obtido êxito foi o que ele chamou de eletrometástase, que poderia ter sido o outro nome para o efeito termodielétrico, já referido antes, ou seja, mudança de estado produzida por ação elétrica, em outras palavras o fenômeno termodielétrico

inverso. O caráter reversível do fenômeno termodielétrico sugeria a Costa Ribeiro que:

a passagem de uma corrente elétrica através da interface sólido-líquido pudesse provocar um deslocamento do equilíbrio do sistema, determinando uma solidificação ou uma fusão.

Entretanto as experiências que procuramos realizar nesse sentido deram até agora resultados negativos.

Essas experiências consistiram em aplicar uma diferença de potencial à célula termodielétrica com eletrodo de imersão suspenso à balança e verificar se se produzia fusão ou solidificação. A insuflação do ar era previamente graduada de modo que antes da aplicação da tensão o sistema sólido-líquido era mantido em equilíbrio.

Aplicamos tensões até 2500 volts sem que se observasse nenhum deslocamento apreciável do equilíbrio.

Esse resultado negativo não é no entanto plenamente conclusivo, pois é possível que o fenômeno venha a ser observado com aplicação de tensões mais elevadas, o que ainda não foi tentado.” (*idem, ibidem*)

Como veremos, Costa Ribeiro apresentará resultados referentes à experiência citada.

No último capítulo de sua tese, Costa Ribeiro retoma a questão dos dielétricos eletrizados propondo uma explicação para tal fato. Antes, trata da massa solidificada do sistema sólido-líquido,

retomando a experimentação: “Si numa célula termo-dielétrica o eletrodo em torno do qual se realiza a solidificação é retirado do liquido, juntamente com o deposito sólido já formado, verifica-se que êsse depósito é eletrizado” (*idem,ibdem*). Para ele tal procedimento poderia fornecer um meio simples de verificar, qualitativamente, se um dielétrico apresentaria o fenômeno termo-dielétrico, sugerindo um teste:

Para isso funde-se um dielétrico e em seguida mergulha-se no dielétrico fundido uma das extremidades de um bastão de vidro na temperatura ambiente. Retirando-se rapidamente o bastão êle sairá com a extremidade revestida por uma película do dielétrico solidificado. A observação de cargas nessa película por meio de um simples eletroscópio sensível ou de um eletrômetro, constitui uma indicação da existência do fenômeno termo-dielétrico no dielétrico examinado.

Um estudo sistemático e quantitativo das cargas assim obtidas e de sua evolução no tempo não pode ainda ser realizado (*idem,ibdem*).

Após apresentar a experiência acima, propõe uma explicação para todos os corpos eletrizados em função da solidificação, observado por ele, e recorre à teoria de Gross das cargas congeladas, chamada por Costa Ribeiro de efeito Gross:

Seja qual for a maneira pela qual se realiza a solidificação, podemos admitir que, durante o resfriamento subsequente, as cargas elétricas que haviam sido produzidas na mudança de estado ficam “congeladas” no dielétrico em consequência do *efeito Gross*, dando origem a fenômenos análogos aos que se observam nos *eletretos* (*idem,ibdem*).

Costa Ribeiro apresenta ainda uma hipótese para explicar o fato de que os eletretos obtidos através de campos elétricos aplicados serem mais intensos do que os eletretos obtidos por ele:

O método usado inicialmente por *Satô* e *Eguchi* e posteriormente por *Gemant* para obtenção de *elêtretos* consiste em realizar a solidificação do dielétrico sob a ação de campos elétricos intensos (da ordem de 10000 volts/cm).

Por outro lado mostramos que densidades elétricas permanentes, embora de menor intensidade, podem ser obtidas pela solidificação na ausência de qualquer campo elétrico exterior, em consequência do fenômeno termo-dielétrico, e que a evolução dessas cargas apresenta uma grande analogia com a evolução das cargas dos *elêtretos*.

Seria pois aceitável admitir que a ação de campo elétrico exterior tivesse como consequência aumentar a intensidade do fenômeno termo-dielétrico, fazendo crescer o valor da constante termo-dielétrica e dando origem por tanto à libertação de cargas maiores do que as que foram por nós observadas. Ficaria, em tal hipótese, esclarecido, de um certo modo, o mecanismo de formação dos *elêtretos*.

A questão da *permanência* das cargas está certamente relacionada com o fenômeno do “congelamento” da eletricidade dos dielétricos, evidenciado pelo já citado trabalho de *Gross* e *Denard*.

Uma verificação de tal hipótese acima indicada poderia ser feita pela investigação experimental da influência de um campo elétrico exterior sobre o valor da constante termo-dielétrica (*idem, ibidem*).

Costa Ribeiro conclui sua tese com os agradecimentos, e nele aparece um agradecimento de uma pessoa que emprestou um dos equipamentos utilizados na experiência, mostrando que mesmo para sua pesquisa realizada na FNFi - UB, não possuía todos os recursos:

Queremos aqui consignar especiais agradecimentos ao nosso amigo B. Gross, por suas preciosas sugestões e úteis conselhos, ao nosso assistente J. Tiomno, pela lúcida discussão de vários aspectos teóricos e experimentais do assunto tratado, à nossa assistente Mme. Elisa Frota Pessoa e à Senhorita Fany Malin, pelo eficiente auxílio prestado na execução das medidas e ao Sr. H.S. Polin pelo constante interesse demonstrado e pelo amável oferecimento do compressor utilizado em nossas experiências (1945).

A tese é datada de abril de 1945, mês anterior ao encerramento das inscrições para o concurso da cadeira de Física Geral e Experimental da FNFi-UB, que Costa Ribeiro já ocupava interinamente. A abertura do concurso se deu em novembro de 1944 e conforme edital, “o atual ocupante interino da cadeira será inscrito *ex-officio* e deverá apresentar até a data do encerramento, prova de pagamento da taxa de inscrição, bem como as teses e documentos [...]”. As citadas teses se referiam aos “50 exemplares de tese original e inédita, de sua autoria, escrita sobre assunto compreendido na cadeira em concurso” que

Costa Ribeiro deveria entregar. Os exemplares da tese foram publicados pela Editora Agir. Em junho foi divulgada a comissão julgadora do concurso, composta pelos professores Dulcídio de Almeida Pereira, Francisco Magalhães Gomes, João Cordeiro da Graça Filho, Luiz Cintra do Prado e Eugenio Hime³⁷. Apesar de nomeados os componentes da comissão, o concurso só é retomado em 1946.

No segundo volume dos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, de 1945, a ABC publicou os Resumos de Comunicações que não haviam aparecido entre 1934 e 1945, período este que abrange a pesquisa desenvolvida nesta pesquisa. Além das comunicações de outros autores, no referido volume aparecem três comunicações de Costa Ribeiro de títulos: *Sobre o fenômeno termo-dielétrico (I)* apresentado na sessão de 29 de maio, *Sobre o fenômeno termo-dielétrico (II)* apresentado na sessão de 12 de junho e *Sobre o fenômeno termo-dielétrico (III)* apresentado na sessão de 26 de junho, todas as comunicações apresentadas em 1945. Nas três sessões, Costa Ribeiro apresentou os resultados gerais e relevantes presentes na sua tese de cátedra. Das três sessões serão acrescentadas algumas informações complementares que não estavam presentes em sua tese ou em sessões anteriores. Na sessão de 26 de maio:

O acadêmico J. Costa Ribeiro apresentou um trabalho *sobre correntes elétricas associadas a mudanças de estado físico*, comunicando os resultados de seus estudos em prosseguimento à nota prévia, apresentada na sessão de 14 de novembro de 1944, *sobre o fenômeno termo-dielétrico*.

37 Diário Oficial da União, 20 de junho de 1945.

Passou á descrição da aparelhagem que idealizou e construiu para o estudo quantitativo do fenômeno e determinação das respectivas leis.

Nessas experiências foi usado um eletrodo de imersão de tipo especial, suspenso a uma balança sensível [...].

Na sessão de 12 de junho Costa Ribeiro fala sobre a expressão da corrente termodielétrica que ele obteve por analogia a corrente de absorção:

[...] pode-se escrever como expressão da *corrente termo-dielétrica* uma equação formalmente análoga à equação geral da *corrente de absorção dielétrica* já conhecida, pelos importantes trabalhos de B. Gross, P.S. Rocha e Oliveira Castro, em seus estudos experimentais e teóricos sobre as anomalias dos dielétricos reais.

Ainda na mesma sessão, Costa Ribeiro fala da contribuição de Jayme Tiomno em uma das hipóteses que poderia explicar o fenômeno termodielétrico:

Uma outra maneira de abordar o mecanismo elementar do fenômeno foi sugerido por J. Tiomno e consiste em considerá-lo dum ponto de vista puramente *eletrônico*, admitindo-se que, numa mesma substância, as *densidades eletrônicas normais* sejam diferentes nos estados sólido e líquido. De acordo com esta hipótese, haveria por exemplo durante a solidificação, um deslocamento de elétrons

através da interface, a fim de restabelecer o valor normal da densidade eletrônica na camada sólida recém-formada, constituindo esse deslocamento a corrente termo-dielétrica.

Ainda em 1945, ocorreu entre 17 e 22 de setembro o Congresso de *Matemáticas, Física y Astronomía* em Buenos Aires e Rosário, organizado pela *Asociación Física Argentina*. Dentre os presentes estavam Costa Ribeiro da UB, Gleb Wataghin da USP e Guido Beck representando Córdoba, pouco tempo depois Beck se estabelecerá no Brasil. Costa Ribeiro apresentou a comunicação *Sobre el Efecto termo-dielétrico (corrientes eléctricas asociadas a cambios de estado físico)* e Wataghin apresentou a comunicação *The statistical mechanics at extremely high temperatures*.

Em março de 1946 o concurso de cátedra de Costa Ribeiro foi retomado, sendo que no dia 7 ocorreu o julgamento dos títulos³⁸. No dia seguinte foi entregue a Costa Ribeiro os pontos formulados pela comissão examinadora para a prova escrita, sendo eles: Pesquisa das relações de interdependência entre as grandezas físicas; Estudo dos movimentos vibratórios de um ponto material; Campos de força e, em particular, campos newtonianos; Escoamento dos fluidos reais; Tensão superficial e fenômenos correlatos; O segundo princípio da termodinâmica; Transmissão de calor; Mudança de estado dum corpo puro; absorção da luz pelos meios transparentes; Dispersão da luz; Dispositivos interferenciais; Indução eletro-magnética; Propriedades magnéticas das correntes; Passagem da eletricidade através dos gases; Radiações emitidas pelas substâncias

38 Diário Oficial da União, 7 de fevereiro de 1946.

radioativas. No dia 11, a comissão examinadora entregou os pontos para a prova prática, sendo eles: Balança de precisão; Densimetria; Viscosimetria; Calorimetria-transformações eletro-térmicas; Fotometria- espectrometria; Refratometria; Electrometria; Medidas de resistência, indutância e capacitância; Medidas potenciométricas; Instrumentos de medidas elétricas. Finalmente, no dia 13 foram entregues os seguintes pontos pela comissão examinadora para a realização da prova didática: Teoria das dimensões; Propagação das vibrações-conceitos e leis fundamentais; Escoamento do líquido perfeito; Vibrações forçadas; Conceitos fundamentais da teoria cinética; Primeiro princípio da termodinâmica; Luminescência; Dupla refração-fenômenos fundamentais; Caráter descontínuo das cargas elétricas; Condução da eletricidade nos metais; Campo magnético das correntes-estudo quantitativo; Passagem da eletricidade através dos gases; Radioatividade natural-fenômenos e leis fundamentais; e fenômenos termoelectronicos.

Aprovado no concurso, Costa Ribeiro foi nomeado catedrático efetivo em 3 de junho, tomando posse em 3 de julho do mesmo ano. Em outubro foi nomeado chefe do Departamento de Física.

Ainda em 1946, foram publicados quatro artigos no segundo número dos Anais da ABC, que tratavam do fenômeno termodielétrico. Cada artigo apresentava o tratamento fenomenológico e matemático procurando explicar os vários aspectos presentes no fenômeno (cargas, correntes elétricas, leis, constante termodielétrica e etc). No referido número Gross publicou o artigo intitulado *Uma nota prévia sobre o efeito termodielétrico*, Luiz Cintra do Prado, do Departamento de Física da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo publicou dois artigos: *The statistical*

character of the thermo-dielectric phenomenon e *An exponential form for the hereditary function in the thermo-dielectric phenomenon*, Paulo Saraiva de Toledo, também do Departamento de Física da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, publicou o artigo *On the law of charges in the thermo-dielectric effect*. Foi no artigo de Saraiva de Toledo (1946) que apareceu publicado pela primeira vez a denominação Efeito Costa Ribeiro³⁹, como denominavam os Acadêmicos da ABC o fenômeno termodielétrico.

Em 1947, Costa Ribeiro recebeu uma carta da Shell Development Company, da Califórnia, solicitando um exemplar de sua tese de cátedra. A peculiaridade é que o endereço do destinatário é a Escola Politécnica da USP, o que explica ele estar recebendo uma segunda correspondência sobre o mesmo pedido.

No acervo de Costa Ribeiro depositado no MAST, não foi possível levantar se Costa Ribeiro respondeu à carta da Shell, mas infere-se que sua tese não era conhecida somente no Brasil.

39 Como o artigo estava redigido em inglês, assim esta registrado: “[...]the thermo-dielectric of Costa Ribeiro effect [...]”

Figura 26: Carta da empresa Shell para o Prof. Costa Ribeiro

Fonte: acervo Costa Ribeiro-MAST

No primeiro número dos Anais da ABC de 1947, Cintra do Prado e Saraiva de Toledo publicaram o artigo em conjunto intitulado *Numerical verifications of the exponential form for the hereditary function in thermo-dielectric phenomena*.

Ainda nesse mesmo ano, no quarto número dos Anais, foram publicados os resumos de quatro comunicações apresentadas por Costa Ribeiro nos meses de maio, setembro e outubro nas sessões da ABC de 1947. Na sessão de 28 de outubro o citado autor apresentou a comunicação intitulada *Novas observações sobre o fenômeno termo-dielétrico*, em que descreveu o novo tipo de célula termodielétrica que idealizou e construiu no laboratório de Física Experimental da FNF-UB, com a qual era possível fazer medidas rápidas e precisas da constante termodielétrica (K). No novo modelo de célula era possível realizar pesquisas quantitativas do fenômeno nos dielétricos líquidos à temperaturas ordinárias, ou seja, dielétricos que se apresentavam no referido estado físico à temperatura ambiente, inicialmente. Grosso modo, estando o dielétrico em estado líquido à temperatura ordinária entre dois eletrodos, procedia-se o resfriamento de um deles pelo contato direto com um cilindro metálico previamente resfriado com neve carbonica⁴⁰. O eletrodo ao se resfriar, provocava a solidificação de parte do dielétrico líquido. Com a nova técnica, Costa Ribeiro ampliou o campo das pesquisas a um número maior de substâncias orgânicas, em especial óleos vegetais e minerais e aos produtos derivados do petróleo “permitindo eventualmente a obtenção de novos índices físicos para a caracterização de tais substâncias e para a verificação do

40 Neve carbônica é também citado com o nome de gelo seco, quimicamente é o dióxido de carbono a baixas temperaturas.

seu grau de pureza.”(1947), o grau de pureza foi algo que ele já havia apontado em sua tese para uma das possíveis aplicações da constante termodielétrica. Na sessão, Costa Ribeiro comunicou ainda que observou o fenômeno termodielétrico na solidificação da água e na fusão do gelo. Na fusão do gelo “ a observação do fenômeno é dificultada porque, embora sendo o gelo um bom dielétrico, a película d’água que se forma à superfície é altamente condutora, impedindo assim a observação e a medida das cargas libertadas na mudança de estado”(1947). Para observar o fenômeno na fusão do gelo, foi preciso resfriar o eletrodo, “ pois o eletrodo ligado ao eletrômetro sendo previamente resfriado com “neve carbônica”, fica revestido de uma camada de gelo proveniente da solidificação da água resultante da precipitação do vapor d’água da atmosfera, o que impede o contato desse eletrodo com a fase líquida da célula termodielétrica na qual é estudado o fenômeno” (1947). Sobre a observação do fenômeno termodielétrico na fusão do gelo Costa Ribeiro aponta na comunicação que “Esta observação é de grande interesse, pois torna plausível a hipótese de que as cargas elétricas freqüentemente observadas na neve e no granizo tenham sua origem, ao menos em parte, no fenômeno termo-dielétrico” (1947).

Finalizando o ano de 1947, Costa Ribeiro passou a ter direito de acumular os seus cargos de professor, um federal e outro municipal, ambos obtidos por concurso⁴¹.

Em fevereiro de 1948 Costa Ribeiro encontrava-se em Paris para apresentar nos dias 18, 25 e 27, na Sorbonne, a conferência *Un Nouveau Phénomène Physique: L’effet Thermo-Diélectrique*. A conferência foi uma realização conjunta da Universidade de

41 Diário Oficial da União, 7 de outubro de 1947.

Paris e do Institut Franco-Brésilien de Haute Culture. Das conferências surgiu o artigo *Le phénomène thermodiélectrique* escrito por Gerard Wlerick e publicado no periódico francês *La Revue Scientifique* em março daquele ano.

No terceiro número da edição de 1950 dos Anais da ABC, Costa Ribeiro publicou um longo artigo que tratava de sua descoberta, sob o título *On the thermo-dielectric effect*. O artigo é uma versão condensada de sua tese de cátedra acrescido das novas observações feitas por ele e de contribuições de autores brasileiros, sobre o tema, publicados em anos anteriores no referido periódico. Na primeira página do artigo há uma nota de rodapé. Na nota, Costa Ribeiro escreve que o artigo apresenta os tópicos essenciais de sua tese de cátedra, com data e ano, e que os primeiros resultados da observação do fenômeno foram comunicados na sessão da ABC em novembro de 1944 e que em 1945 foi publicado nos Anais da ABC os resumos das comunicações apresentadas nas sessões da ABC, no referido periódico com menção ao número e volume do periódico. Tal expediente é algo que ele já havia feito em sua tese de cátedra, constituindo na verdade nas referências de seu trabalho. A novidade é que na nota, Costa Ribeiro faz menção às suas apresentações na Argentina em 1945, com referência à comunicação publicada na Revista de *La Union Matematica Argentina* e em Paris, na Sorbonne, em 1948, também com referência à publicação da *La Revue scientifique*.

No citado artigo são apresentados todos os aspectos do fenômeno tratados por Gross, Cintra do Prado e Saraiva de Toledo apresentando as citadas referências nas notas de rodapé, com os referidos títulos, autores e os anos das publicações nos Anais da ABC. Assim, o artigo era mais completo do que a própria tese. No artigo é apresentado ainda o eletrodo em que fez menção

na comunicação publicada em 1947 nos Anais da ABC em que observou o fenômeno termodielétrico na solidificação da água, figura 27, abaixo.

Figura 27: Eletrodo utilizado para observar o efeito termodielétrico na solidificação da água

Fonte: Anais da ABC

Na figura são apresentados os dois eletrodos: o eletrodo A em formato de U, e o eletrodo B horizontal e linear. O eletrodo B é ligado diretamente ao condensador de ar, onde depois se fazia a medida da corrente elétrica produzida pelo fenômeno. Entre os eletrodos A e B colocava-se uma pequena porção de água, benzeno ou outro dielétrico líquido (L) à temperatura ordinária. O eletrodo A tem o formato de U que era para permitir que o cilindro de alumínio maciço (C) previamente resfriado por gelo seco fosse introduzido e encostado no eletrodo A fazendo

com que o mesmo se resfriasse e provocasse o congelamento de parte da água ou outro dielétrico líquido, e que fosse observado o fenômeno termo-dielétrico. É apresentado ainda no artigo o novo método que ele utilizou para calcular a constante termo-dielétrica, referida também na publicação de 1947, figura 28.

Figura 28: dispositivo utilizado para calcular a constante termodielétrica

Fonte: Anais da ABC

Na figura, uma vez estabelecido o fenômeno termodielétrico, este carregava o condensador, e estando carregado se desfazia a ligação entre este e a célula termodielétrica por meio de uma chave, e ligava-se o condensador ao galvanômetro em que se obtinha a corrente produzida pelo fenômeno, pela descarga do condensador no galvanômetro.

Em 1952, ocorreu o *Simpósio sobre novas técnicas de pesquisa em física*

O “Simpósio sobre Novas Técnicas de Pesquisa em Física” foi promovido pela Academia Brasileira de Ciências em colaboração com o “Centro de Cooperación Científica para a América Latina” da UNESCO e sob os auspícios do Conselho Nacional de Pesquisas do Brasil.

Foi o seu objetivo promover uma oportunidade para que físicos do Brasil e de vários países da América Latina entrassem em contato pessoal com alguns colegas da Europa e dos Estados Unidos da América do Norte. As reuniões científicas tiveram lugar no Rio de Janeiro e em São Paulo durante as duas semanas de 15 a 29 de julho de 1952. Foram apresentadas e discutidas as memórias enfileiradas no presente volume. A esta Academia coube a tarefa de convidar os físicos norte-americanos e europeus, organizar e supervisionar o programa geral das reuniões científicas e das visitas a laboratórios e institutos e dirigir o trabalho de impressão do presente volume. Coube ao “Centro de Cooperación Científica para a América Latina” da UNESCO, convidar os físicos latino-americanos, supervisionar o trabalho de registro das discussões e contribuir financeiramente para a realização do Simpósio. Os membros do Simpósio foram hóspedes da Universidade de São Paulo, que coordenou a parte das reuniões científicas realizadas em suas dependências naquela cidade. O Conselho Nacional de Pesquisas do Brasil concedeu uma substancial ajuda financeira, sem a qual teria sido impossível dar a essas reuniões a amplitude de que se revestiram (NEW RESEARCH TECHNIQUES IN PHYSICS, 1954).

O citado encontro contou com uma grande participação de físicos brasileiros e de outras nacionalidades, como exemplo, Wigner e Bohm. Costa Ribeiro contrubuiu para a realização do

evento, estando à frente do CNPq. Também apresentou a comunicação *Recent contributions to the study of the thermo-dielectric effect*. Ainda neste ano Willer Florêncio descobre uma nova variedade do mineral zirconita, cuja ocorrência foi observada nos municípios de Macarani e Itambé, na Bahia. Florêncio dedica a sua descoberta a Costa Ribeiro “ [...] para esta nova variedade propomos o nome de *Ribeirita* em homenagem ao físico brasileiro Prof. Joaquim da Costa Ribeiro.” (FLORÊNCIO, 1952)

Antes de avançar na década de 1950, que já foi apresentada com a citada publicação de Costa Ribeiro, é interessante lembrar a influência que teve a descoberta de Costa Ribeiro na Física brasileira.

O físico Jayme Tiomno foi assistente de Costa Ribeiro até 1946, e fez o seguinte relato:

O Wataghin, quando vinha ao Rio, sempre procurava entrar em contato com os alunos da Física e oferecia uma bolsa para São Paulo. No meu caso, foi o Mário Schoenberg que fez um curso (eu o fiz) e, depois me ofereceu bolsa para São Paulo.

Fui para São Paulo, então. Passei lá parte de 1946 e parte de 1947. Voltei em 47 mesmo, para o Rio [...].

Recebi um convite de Schoenberg para ser seu assistente, na USP, de Física Teórica. Não tive mais dúvida! Fui para São Paulo, sob a condição de que ele me apoiaria, quando eu pedisse bolsa para fazer o doutorado no exterior. Em 1948, consegui essa bolsa e fui para Princeton / (USA) (TIOMNO, 1992).

Com a ida de Tiomno para São Paulo, Costa Ribeiro passou a contar com um novo assistente, como informa Elisa Frota Pessoa:

Quando o Jayme quis ir para São Paulo (Costa Ribeiro tinha dois assistentes Jayme e eu) ele ficou indeciso mas me comprometi a dividir o trabalho do Jayme com ele. Jayme foi para São Paulo, ficou um ano, voltou e depois foi contratado por São Paulo e foi substituído pelo Armando Dias Tavares. Quando eu aceitei uma bolsa de São Paulo, o Armando Dias Tavares já era assistente dele e o Costa Ribeiro não se aborreceu por eu me afastar por um ano. Ele era compreensivo e sempre procurou nos ajudar (TIOMNO E FROTA PESSOA, 1988).

Armando Dias Tavares não só foi assistente de Costa Ribeiro como passou a se interessar pela pesquisa do efeito termodielétrico. Suas primeiras publicações, sobre o tema, datam de 1953, nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, sob os títulos *Further experiments on the thermoelectric effect (Costa Ribeiro effect)* e *On the possible explanation of the Costa Ribeiro effect*. Ainda no mesmo ano publicou o artigo *Further quantitative experiments on the Costa Ribeiro effect*.

No início de 1954, Costa Ribeiro recebeu o prêmio Einstein concedido pela ABC em reconhecimento a descoberta do efeito termodielétrico. Outros brasileiros que já haviam agraciados com o mencionado foram Adolfo Lutz, Miguel Ozorio de Almeida, Almirante Álvaro Alberto e César Lattes.

Ainda em 1954, Sérgio Mascarenhas, que também era assistente de Costa Ribeiro, “[...] como assistente do Costa Ribeiro, tinha sido nomeado e tinha sido convidado para ser professor de Física na Universidade Católica do Rio de Janeiro, no curso de Engenharia, que não tinha ainda o curso de física também lá” (apud SILVA FILHO, 2011), publicou os artigos *Molecular colision theory of the Costa Ribeiro effect* e *Observation of the Costa Ribeiro effect in the processo of sublimation of para-phenilene-diamine* nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, os resultados destes artigos foram apresentados em sessão da Academia Brasileira de Ciências no ano anterior. Estes foram alguns dos primeiros trabalhos de Sérgio Mascarenhas, que se tornou um dos mais importantes físicos na Física do Estado Sólido, atualmente, denominada Física da Matéria Condensada.

Na edição supracitada do ano de 1954, Costa Ribeiro publicou o artigo *Electro-fusion: a new phenomenon observed in the phase changes of dielectrics under the influence of an electric Field*, Costa Ribeiro apresenta esse possível novo fenômeno:

Costa Ribeiro ocupa-se atualmente com o estudo experimental da influência do campo elétrico sobre as mudanças de estado físico. Tal estudo levou-o, em 1953, à observação de um novo fenômeno para o qual propôs a denominação de *eletrofusão* e que consiste no aumento da velocidade de fusão pela influência de um campo elétrico intenso.

As experiências iniciais foram feitas com monocristais de naftaleno, observando-se com o microscópio a interface sólido-líquido. a velocidade de fusão aumenta bruscamente para valores do campo da ordem de vinte mil

volts/centímetro na interface. A aplicação de campos mais intensos determina o rápido colapso do cristal.

A medida de corrente elétrica permitiu mostrar que o fenômeno não pode ser explicado pelo calor desenvolvido por efeito *joule*, mas está intimamente relacionado com o valor do campo elétrico no interior do dielétrico. (COSTA RIBEIRO, 1994)

Ao vislumbrar a possibilidade do surgimento de um novo fenômeno, Gross publicou no mesmo número do periódico citado o artigo *Field-induced melting of dielectrics*. Sérgio Mascarenhas, Yvonne Mascarenhas e Rosa Rabello publicaram o artigo *A eletrofusão no acenafteno*, na parte de Resumos das Comunicações, nas últimas páginas dos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.

Sérgio Mascarenhas, apesar de ter publicações em que observou o fenômeno da eletrofusão passou a apresentar uma nova hipótese para o *novo fenômeno* descoberto por Costa Ribeiro. Mascarenhas conflitando a hipótese, de Costa Ribeiro e Gross, propôs que o fenômeno observado por Costa Ribeiro fosse chamado de Eletrotermocondutividade e destaca: “frisa o autor que a eletro-fusão seria uma consequência da eletrotermocondutividade e esta, por sua vez, um caso particular da condução anormal do calor devida à inomogeneidade no dielétrico provocada por causas quaisquer (campo elétrico, campo magnético, campo térmico, etc”). Tal discussão de Sérgio Mascarenhas foi publicada nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências* na sessão Resumos de Comunicações, em 1955, sob os títulos *Heat conduction in dielectrics under the influence of applied electric fields* e *Equação de condução de calor para dielétricos fluidos sob a ação de campos*

elétricos, sendo resumos de comunicações, quem apresentou as comunicações de Sérgio Mascarenhas na Academia Brasileira de Ciências foi o próprio Costa Ribeiro. Na mesma edição e sessão foram publicados *Fotocorrente anormal em cristais de naftaleno de formação recente e sua variação* e *Corrente anômala anormalmente elevada em cristais de naftaleno de formação recente* de Armando dias Tavares, também apresentado em sessão por Costa Ribeiro. No quarto número dos *Anais da Academia Brasileira de Ciências* do mesmo ano, também na sessão Resumos das Comunicações foi publicado *Condução térmica de dielétricos líquidos sob a ação de campos elétricos* de autoria de Sérgio Mascarenhas, Yvonne Mascarenhas, Rosa Rabello e M. Ferreira e *Novas experiências sobre condução térmica de dielétricos submetidos à ação de campos elétricos* de Sérgio Mascarenhas, todas as comunicações apresentadas por Costa Ribeiro.

Sobre a eletrofusão, Sergio Mascarenhas relatou:

Quando eu cheguei em São Carlos, eu continuei a trabalhar no efeito Costa Ribeiro com o naftaleno, também com a traceno, uma outra substância. Comecei a pensar no efeito inverso de eletrofusão, que ele tinha chamado de eletrofusão, e eu achava que eu devia ser muito crítico daquele efeito e deveria verificar se a própria condutividade do líquido, não seria causa de haver um aumento da velocidade de fusão, porque nós fazíamos tudo com uma técnica muito interessante que era, você medir a velocidade da interface sólido-líquido, de inclusive, com microscópio, observar a interface sólido-líquido e o movimento dela, é um negócio muito bonito

sob o ponto de vista de detalhe experimental, medidas muito finas, e aí eu fiz aquilo criticamente, o Gross tinha inclusive feito um trabalho teórico, publicado nos Anais da Academia sobre a eletrofusão, em que ele achava que realmente existia o efeito.

E o Costa Ribeiro achou que teria descoberto esse outro segundo fenômeno inverso, quando eu fui para São Carlos, eu fiz uma análise crítica disso, experimental e mostrei que na realidade o que acontecia não era um efeito que o Costa Ribeiro dizia, um efeito novo, mas completamente inesperado, que era um efeito de mudança da condutividade térmica do líquido sob efeito de um campo elétrico, quando o líquido então era submetido ao campo elétrico, não por causa da condutividade térmica, como o efeito ôhmico, digamos, não era, era mudança mesmo da condutividade térmica no líquido que dando um fluxo de calor maior, levava a fusão maior do sólido.

Aí eu descobri esse outro efeito que eu denominei Efeito Eletrotermocondutividade (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Ainda em 1955, como resultados de pesquisas sobre o efeito termodielétrico, e sendo o referido efeito muito geral, significando que ele apresentava muitas particularidades ainda não resolvidas, Armando Dias Tavares apresenta a tese *Um efeito fotoelétrico em cristais de naftaleno* para concurso de livre docência à Cadeira de Física Superior e Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Distrito Federal.

Esta Universidade do Distrito Federal foi a que deu origem a atual Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), diferente da Universidade do Distrito Federal criada por Anísio Teixeira e que juntamente com a Universidade do Rio de Janeiro deram origem, primeiramente, a Universidade do Brasil e, posteriormente, à atual Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Entre 1956 e 1958 vários outros trabalhos foram publicados no *Anais da Academia Brasileira de Ciências* sobre o efeito termodielétrico ou sobre a eletrotermocondutividade: *Thermal conduction of liquid dielectrics under the influence of electrical fields (fatty acids)* - artigo, 1956 - Sérgio Mascarenhas, Yvonne Mascarenhas, M. Ferreira de Souza e Rosa F. Rabello; *The action of homogeneous electrical fields upon the heat transmission of liquid dielectrics* - artigo, 1956 - Sérgio Mascarenhas; *The experimental analysis of electrothermal conductivity* - Resumo das Comunicações, 1957 - Sérgio Mascarenhas; *The experimental analysis of electrothermal conductivity* - Artigo, 1957 - Sérgio Mascarenhas. A partir das publicações de 1957, Sérgio Mascarenhas apresenta como instituição à qual estava vinculado profissionalmente, a Escola de Engenharia da USP de São Carlos.

Em 1958, Sérgio Mascarenhas apresentou a tese *O novo método do gérmen monocristalino e a nova análise do efeito* Costa Ribeiro para concurso à Cadeira de Física Geral e Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

Entre 1958 e 1960 outros artigos correlacionados ao efeito termodielétrico são publicados por Armando Dias Tavares, Edson Rodrigues e Sérgio Mascarenhas.

Em julho de 1960 Costa Ribeiro faleceu, deixando nove filhos.

Estávamos conversando com ele. Ele estava dizendo: “Eu tenho umas vagas, quais são os alunos que você quer que eu nomeie para assistentes?” Ele ainda estava com os nomes que indiquei no bolso, quando morreu. Não morreu na festa, nós ainda o levamos para a Casa de Saúde Santa Lúcia onde ele morreu na mesma noite (TIOMNO E FROTA PESSOA, 1988).

No ano seguinte, Armando Dias Tavares apresentou a tese de Cátedra *Contribuição ao estudo do efeito Costa Ribeiro* no concurso para professor catedrático da Cadeira de Física Geral e Experimental da Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, antes ocupada por Costa Ribeiro. No prefácio da tese, Armando Tavares apresenta um pequeno relato histórico:

Em 1951, com o advento do Conselho Nacional de Pesquisas, Costa Ribeiro reuniu um grupo de alunos e professores para a realização de pesquisas sobre o fenômeno por ele descoberto, denominado termodielétrico, que hoje tem o seu nome, efeito Costa Ribeiro. Compunham o grupo, além do autor desta tese, Edson Rodrigues, Luiz Paulo M. Maia, Pedro Cavalcante, Rosa Rabello, Sérgio Mascarenhas e Yvonne Primerano. O número de trabalhos apresentados na época à Academia Brasileira de Ciências bem mostra o fervor com que o grupo se dedicava à pesquisa. Atarefados, dando aulas, devorando livros, imaginando experiências, o

grupo ia desenvolvendo trabalho relevante. Entretanto, as dificuldades recorrentes da própria evolução da vida particular de cada um, e a inflação, não eram contrabalançadas por correspondentes acréscimos das bolsas do Conselho Nacional de Pesquisas – a situação se tornou insustentável e o grupo se dispersou. Sérgio Mascarenhas foi convidado a ocupar a cátedra de Física Geral e Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos, onde desenvolveu trabalho extraordinário; em pouco tempo tornou a Escola conhecida no mundo inteiro pelas suas pesquisas, criou novo grupo levando ex- alunos desta Faculdade para compor equipe que realiza ótimos trabalhos em estado sólido. Acaba agora de voltar da América do Norte, após uma estada de dois anos nos laboratórios da Carnegie Institute, juntamente com sua esposa Yvonne Primerano Mascarenhas, que se especializou em análise de estrutura com raios X. Nesses dois anos realizou dois trabalhos de pesquisas, sua esposa um. Edson Rodrigues arranja bolsa de estudos para a América do Norte e para lá segue, já casado. Permanece lá três anos e volta “master of science”. Vem trabalhar na Faculdade Nacional de Filosofia onde o Núcleo de Estudos e Pesquisas que se havia criado em sua ausência pode oferecer-lhe melhores condições de trabalho. Luiz Paulo Mesquita Maia se afasta, casa-se, trabalha dando aulas e mais aulas, começa a publicar livros de Física de curso secundário e... atualmente tem uma gráfica para editar apenas os seus livros que são solicitados em todo o Brasil, sendo os que

mais se vendem. Rosa Rabello segue para São Paulo onde trabalha como química, volta mais tarde para o Rio onde trabalha como professora. Pedro Cavalcante vai trabalhar com o professor Deulino Couto e posteriormente segue para São Paulo onde permanece.

Durante um ano eu mesmo trabalhei em São Carlos, mas optei pelo Rio de Janeiro, aqui ficando. Estava convencido de que seria impossível organizar grupo de pesquisas nas condições vigentes na Faculdade Nacional de Filosofia. Mudá-la era praticamente impossível. Nos outros Estados as condições iam melhorando pela política adotada pela COSUPI – A solução seria arranjar verbas extras para criar na Faculdade Nacional de Filosofia o ambiente propício à pesquisa científica, ao desenvolvimento dos estudos. Assim foi criado o Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas cuja sigla é NEPEC. Pouco a pouco fomos realizando; com a volta de Edson Rodrigues, notável impulso foi dado ao grupo que em parte se recompõe, se amplia, se desenvolve – Organiza-se o curso de Energia Nuclear, e o curso de Petrografia e Mineralogia de Minerais Radioativos, subvencionados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Quando Costa Ribeiro daqui se afastou, a 3 anos atrás, deixando o NEPEC em embrião, foi apreensivo. Quando voltou, ainda me lembro, cansado, ofegante, sofrendo do coração, não resistiu à curiosidade ardente de ver como estava o seu querido laboratório e na tarde do mesmo dia em que chegou foi visitá-lo.

Sérgio Mascarenhas e Yvonne Mascarenhas foram os responsáveis pela criação do Instituto de Física de São Carlos. Sérgio Mascarenhas notabilizou-se na Física da Matéria Condensada. Yvonne Mascarenhas notabilizou-se nas pesquisas em cristalografia.

A pesquisa que havia começado com Gross sobre dielétricos e continuada por Costa Ribeiro teve continuidade em São Carlos e é assim descrita assim pelo próprio Gross:

Ele [Costa Ribeiro] conseguiu fazer escola, contando entre seus colaboradores Armando Dias Tavares, Sérgio Mascarenhas [...]. Foram os dois primeiros que continuaram trabalhos sobre o efeito Costa Ribeiro. Uma testemunha da repercussão que estes trabalhos tiveram é o próprio Instituto de Física de São Carlos que deveu a sua formação aos esforços abnegados de Sérgio Mascarenhas. Trabalhos no Instituto de Tecnologia, levaram à formulação da teoria dos eletretos e o desenvolvimento de aplicações práticas, dos quais o mais importante certamente é o microfone de eletretos. Quando por iniciativa de Sergio Mascarenhas me transferi também para o Instituto de São Carlos, estava fechado o circuito (GROSS, 2000).

No início da década de 1970, Gross se estabeleceu em São Carlos:

Pela 1ª vez fui a São Carlos em 1956, para assistir à defesa de tese de Sérgio Mascarenhas. Voltei em 1960, por acasão de um simpósio sobre dielétricos. Finalmente em 1972, iniciei

no Instituto de Física e Química de São Carlos as atividades didáticas e científicas das quais resultou uma série de trabalhos sobre a condução elétrica em dielétricos e os efeitos que tem sobre ela a incidência de radiações ionizantes (FERREIRA, 1991)

Atualmente, há o grupo de polímeros Bernhard Gross no Instituto de Física de São Carlos.

Costa Ribeiro foi um dos membros fundadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), em 1949. Com a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) em 1951, exerceu a função de membro do conselho deliberativo e, até março de 1955 a função de Diretor Científico, quando se afastou para integrar a Comissão de Energia Atômica, sob a presidência do também conselheiro Bernadino de Matos Neto, compondo a delegação brasileira na Conferência Internacional sobre a Utilização da Energia Atômica para Fins Pacíficos, realizado em Genebra, em agosto do mesmo ano. No ano seguinte passou a ocupar a presidência da Comissão de Energia Atômica do CNPq. Ainda em novembro passou a compor a Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Costa Ribeiro representou o Brasil nas discussões sobre a utilização da energia atômica para fins pacíficos e que culminaram na criação da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) localizada em Viena, Áustria. As participações de Costa Ribeiro nas discussões foram: em junho 1955 participou dos trabalhos do Comitê Consultivo das Nações Unidas para Aplicação da Energia Atômica, realizada em Paris; em agosto do mesmo ano participou da Conferência Internacional das Nações Unidas sobre aplicações pacíficas da energia atômica, realizada em Genebra; em fevereiro de 1956 representou o Brasil nas reuniões que

debateram as emendas dos estatutos da Agência Internacional de Energia Atômica, realizado em Washington participando também do comitê consultivo da AIEA realizado também na capital dos Estados Unidos. Entre fevereiro de 1958 e novembro de 1959 foi diretor da Divisão de Intercâmbio e Treinamento de Técnicos e Cientistas da AIEA, em Viena.

À frente do CNPq, concedeu uma das primeiras bolsas de pesquisas a Yvonne Mascarenhas e Sérgio Mascarenhas.

Figura 29: Getúlio Vargas, Costa Ribeiro e o Almirante Álvaro Alberto

Fonte: acervo Costa Ribeiro - MAST

Pesquisa de Campo em Radioatividade e a Cátedra de Física Nuclear da UB

Na sessão de 27 de maio de 1947, Costa Ribeiro e Willer Florêncio apresentaram comunicação conjunta intitulada *Aplicações das medidas de teor iônico do ar à pesquisa e à prospecção de minerais radio-ativos* apresentando “os resultados das medidas do teor iônico do ar e do coeficiente de dissipação que realizaram no mês de Maio do corrente ano, no túnel que precede a estação da Moeda, na linha do Centro da Estrada de Ferro Central do Brasil” (1947), estrada de ferro em que grande parte de sua extensão margeia o rio paraopeba, localizada no estado de Minas Gerais. As medidas realizadas por Costa Ribeiro e Florêncio “[...] revelaram que os valores do teor iônico e do coeficiente de dispersão em pontos situados no interior do túnel eram cerca de três vezes maiores que os valores respectivos fora do túnel. Esse resultado indica claramente a existência de um intenso agente ionizante no interior do túnel, o que só pode ser atribuído à ocorrência de substâncias rádio-ativas” (1947). Em 23 de setembro foram apresentadas duas comunicações, sendo a primeira comunicação, *Prospecção de urânio na estação da Moeda por meio de contadores Geiger-Müller* apresentada por Costa Ribeiro, que relatou “os resultados das observações a que procedeu no mesmo local em fins de Julho e começo de Agosto do corrente ano, utilizando um contador *Geiger-Muller* [...] destinado especialmente à medida da radiação gama” (1947). O circuito elétrico utilizado no referido contador “[...] foi construído no departamento de Física da Faculdade de Filosofia da Universidade de S. Paulo, constituindo uma unidade portátil, alimentada por baterias [...]”

(1947). Sobre os procedimentos realizados nas medidas, Costa Ribeiro apresentou:

Para a realização das medidas no interior do tunel foi utilizada uma “prancha” provida de duas plataformas, uma superior, situada a cerca de 5 metros de altura acima do plano dos trilhos da via férrea e outra inferior, a cerca de 1,6 metros do referido plano. Foram feitas duas séries de observações, uma com o contador colocado na plataforma superior e outra com o contador colocado na plataforma inferior. A prancha era puxada por uma locomotiva que se movia ao longo da linha com velocidade constante, efetuando-se as medidas de 15 em 15 segundos, o que permitiu obter leituras de intensidade da radiação gama detectada em um grande número de pontos equidistantes ao longo da linha. Com estes valores foram construídas curvas da intensidade ao longo da via férrea correspondentes às posições do contador respectivamente nas plataformas superior e inferior da prancha.(1947)

A análise da curva permitiu determinar que a radiação não era proveniente de emanção, mas encontrava efetivamente na rocha, permitiu ainda determinar o ponto onde deveria ser pesquisada a ocorrência do material radioativo no interior do túnel. Na segunda comunicação do citado dia, *Ocorrência de opalita uranífera na estação de Belo Vale*, comunicação conjunta com Celso de Castro. Os autores apresentaram os resultados da análise de fragmentos de um mineral que encontraram em agosto e que lhes chamaram a atenção pela fluorescência apresentada

pela utilização de uma mineralight, tipo de lâmpada que emite radiação ultravioleta. Tal mineral era oriundo da estação de Belo Verde, localizada cerca de 16 quilômetros da estação da Moeda. A análise da amostra por Djalma Guimarães e Willer Florêncio, no Instituto de Tecnologia Industrial, do Estado de Minas Gerais, revelou que a amostra tratava-se de um mineral conhecido como opalita ou sílica criptocristalina, com baixo teor de urânio. Costa Ribeiro identificou duas variedades da opalita sendo uma branca e outra esverdeada. Ele realizou então medidas “ [...] no Laboratório de Física Experimental do Departamento de Física, da Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, pela comparação das ionizações totais produzidas por discos de áreas iguais do material em apreço e de óxido de urânio, mostraram que as duas variedades de opalita estudadas apresentam radioatividades muito fracas comparadas com a do óxido de urânio, mas fato digno de nota, a variedade esverdeada possui uma radioatividade cerca de 27 vezes maior que a variedade branca.” (1947).

Em setembro de 1948, Costa Ribeiro representou o Brasil na Reunião de Peritos Científicos da América Latina, em Montevideu, Uruguai. Ao retornar ao Brasil Costa Ribeiro enviou carta ao físico César Lattes informando sobre os andamentos da criação uma cátedra na FNF-UB para recebê-lo:

Rio de Janeiro, 12 de outubro de 1948.

Caro Lattes

Você deve ter tido notícia, por intermédio do Leite Lopes, do trabalho que temos desenvolvido aqui no Rio, para proporcionar-lhe uma oportunidade interessante de colaborar

conosco na importante tarefa de desenvolver no Brasil novos centros de investigação científica, sem prejuízo do prosseguimento das pesquisas que V. está atualmente realizando aí e que pela sua excepcional importância, não devem de modo algum ser interrompido.

O projeto de criação de uma Cadeira de Física Nuclear na Faculdade Nacional de Filosofia que apresentamos ao Conselho Departamental da Faculdade em Agosto último foi aprovada unanimemente e com entusiasmo pelo Conselho Departamental e pela Congregação tendo sido encaminhada ao Conselho Universitário pouco antes da minha partida para Montevideu e Cordoba. Durante minha ausência do Rio houve uma crise na Reitoria da Universidade do Brasil da qual resultou a substituição do Reitor isto talvez tenha sido a causa do retardamento da apresentação do assunto ao Conselho Universitário. Desde que cheguei entretanto tenho trabalhado, juntamente com o Leite, o Chagas, e outros amigos aqui no Rio, para apresentarmos a solução do caso, pois desejava muito poder enviar-lhe uma proposta com antes do fim deste ano para que V. pudesse se orientar quanto ao futuro.

Envio-lhe alguns recortes de jornais aqui do Rio referentes ao assunto. No recorte da “A noite” de 4/8/48 V. encontrará o texto do projeto e a justificativa que apresentamos. Sob a epígrafe: “César Lattes Extranumerário” o Diário de Notícias fez um comentário

inoportuno e que me obrigou a escrever ao redator do jornal uma carta esclarecedora, que o mesmo jornal teve a correção de publicar na íntegra, retirando praticamente o que havia dito antes.

Mando-lhe também os recortes de dois artigos que escrevi, para o grande público, no intuito de focalizar a importância das pesquisas que tem realizado nestes últimos três anos com tão magníficos resultados.

Espero que os homens responsáveis pelas coisas públicas no Brasil acabem se convencendo de que não nos falta o melhor material humano e intelectual para fazer progredir este grande país, o que nos falta é, sobretudo visão dos problemas a atacar com energia e coragem para resolvê-los.

Estou certo de que poderíamos criar e desenvolver no Brasil vários centros sérios de pesquisa científica (e é bom que haja mais de um...) desde que conseguíssemos um pouco de amparo material aos pesquisadores com a criação e ampliação do regimen de full-time, a criação de Fundos Nacionais de Investigação e outras medidas complementares para estimular as vocações científicas dos jovens. Quanto a estes três últimos pontos tive a oportunidade de apresentar propostas na recente reunião de peritos científicos da América Latina que se realizou por iniciativa da UNESCO em Montevideo e tive o prazer de ver estas propostas unanimemente aprovadas.

Espero poder em breve enviar-lhe notícias mais positivas sobre o assunto. Não tenho a menor dúvida de que a nossa proposta se efetivará mas não posso evidentemente antecipar-me às decisões da Universidade e do Governo, razão pela qual peço-lhe que aguarde carta minha ou do Leite como os novos desenvolvimentos da questão.

Cordiais cumprimentos à Snra Lattes e um cordial abraço do amigo e admirador.

Leite Lopes também atuou juntamente com Costa Ribeiro para a criação da citada cátedra:

Ao Costa Ribeiro sugeri que se criasse uma cadeira de Física Nuclear, que não existia, as cadeiras eram tradicionais, copiadas da Itália: Física Geral e Experimental. O professor era o Costa Ribeiro. Física Teórica e Física Superior era eu. Mecânica Racional e Mecânica Celeste, Física-matemática, era o Plínio Rocha, e é tudo.

Propus que se criasse a cadeira de Física Nuclear para o Lattes. No Departamento de Física, Costa Ribeiro era o chefe. Propusemos isso à direção da faculdade, ele foi à reitoria. Com o prestígio do Lattes, isso chegou a ser encaminhado pelo Dutra ao Congresso, que criou a cadeira. Para criar uma cadeira tinha que ser o Congresso

Nacional. Eu estava chamando o Lattes e o Lattes aceitou. O Lattes estava em Berkeley (se correspondia muito comigo) (LOPES, 1977).

1948 foi o ano que Leite Lopes prestou concurso de cátedra para a FNFi da Cadeira que já ocupava desde 1946, quando retornou de Princeton, após seu doutoramento:

[...] Costa Ribeiro me escreveu dizendo que o San tiago Dantas me oferecia a cadeira de Física Teórica que nesse período tinha sido ocupada pelo Sobrero. Com a partida de Sobrero [...], estava vaga. Havia candidatos brasileiros que não estavam em condições. Como eu tinha sido indicado assistente, ele perguntava se eu aceitaria ser nomeado, o que era um negócio extraordinário para um rapaz moço.

No Rio de Janeiro, então, eu chegava em 46 para assumir a cátedra. Seria professor catedrático interino, nomeado por decreto assinado por Getúlio. O que havia no Rio de Janeiro? Havia o Costa Ribeiro que era o professor de Física Geral e Experimental, que tinha feito pesquisas, examinado minerais radioativos brasileiros e tinha publicado nos Anais da Academia. Estava fazendo [...], experiências sobre Dielétricos. Havia Bernhard Gross, que estava no Instituto Nacional de Tecnologia. Havia um professor de Física-Matemática e Mecânica, que era o professor Plínio Rocha, uma figura muito interessante. Ele tinha estudado em Paris e tinha um grande espírito de crítico e de filósofo da ciência. Era, sobretudo, um filósofo da ciência. Não havia nada, no Rio de Janeiro, nessa época, Física Nuclear ou Física Teórica de Partículas, como não havia nada em Física

Atômica Moderna, Física Nuclear Moderna. Os trabalhos de Costa Ribeiro com Gross eram Dielétricos. São pioneiros na Física do Estado Sólido no Brasil.

O reitor da universidade, nessa época, era Pedro Calmon e a Universidade do Brasil, a Faculdade Nacional de Filosofia, não tinha nada de pesquisa, nem verba para pesquisa, nem nada. A única pessoa que tirava dinheiro, por causa do seu prestígio pessoal, era o Carlos Chagas, que fez o Instituto de Biofísica. Esse tinha dinheiro, trabalhava muito, fez um grande Instituto, mas para nós outros na Física, o Costa Ribeiro, na Matemática, o dinheiro era limitado. Isso me irritava muito, era motivo mesmo de irritação.

[...] não havia dinheiro para assistente, não havia bolsas para estudantes, não havia tempo integral para os professores que ganhavam muito pouco[...] (LOPES,1977).

Leite Lopes foi para Princeton em 1942, com o auxílio da fundação Rockefeller: “Eu tinha muito contato com a Fundação Rockefeller, através do Costa Ribeiro. Tinha um representante da Rockefeller que vinha sempre e que nos procurava (LOPES, 1977).

Pioneirismo e controvérsia

Para abordar o pioneirismo e a controvérsia existente em torno da descoberta de um novo fenômeno físico, é necessário, primeiramente, conhecer os trabalhos de Workman e Reynolds.

Em setembro de 1948, os físicos estadunidenses E.J. Workman e S.E. Reynolds da New Mexico School of Mines, localizada em Albuquerque, no estado do Novo México, Estados Unidos, publicaram o curto artigo, de uma coluna e meia de uma página, *A suggested mechanism for the generation of thunderstorm electricity*. O artigo foi publicado no periódico *Physical Review*, da American Physical Society, dos Estados Unidos.

Workman e Reynolds relataram no artigo que em outubro de 1946 fizeram experiências em laboratório sobre as propriedades elétricas da água e do gelo, com o objetivo de descobrir um processo físico que pudesse explicar o desenvolvimento de tempestades elétricas, e que fosse consistente com o que se sabia, até então, sobre a formação das referidas tempestades.

Os resultados dos testes iniciais, que foram comunicados aos financiadores das pesquisas, Sign Corps of the United States of Army, em janeiro de 1947, mostravam que uma grande diferença de potencial (voltagem) era desenvolvida entre as fases líquida e sólida quando ocorria um rápido congelamento da água. As investigações foram interrompidas e os trabalhos não foram retomados até início de 1948.

Retomadas as pesquisas, Workman e Reynolds procuraram verificar se o que observaram tinha alguma relação com o fenômeno relatado por J.E. Dinger e Ross Gunn, em 1946, que obtiveram uma diferença de potencial de 6 a 10 volts, cuja interpretação estava relacionada a diferença de potencial de contato⁴². Utilizando aparato similar ao de Dinger e Gunn, eles

42 Consideremos dois corpos constituídos de materiais diferentes. Ao serem colocados em contato, as energias dos dois corpos devem igualar-se, e tal energia é conhecida como energia de Fermi (energia do nível mais alto

obtiveram efeitos elétricos maiores, mas de interpretação diferente da do potencial de contato.

Workman e Reynolds fizeram então testes com amostras de água relativamente pura⁴³ colocadas em um pequeno prato de cobre niquelado. O disco foi aterrado e a superfície da água, em estado líquido, foi ligada a um eletrômetro por um fio de platina. O disco fora colocado sobre mercúrio líquido à temperatura de -16°C . No momento em que uma fina camada de água em contato com o disco foi solidificada, ou seja, uma fina camada de gelo separou a água em estado líquido do disco metálico, o eletrômetro acusou uma diferença de potencial de 40 volts e ocasionalmente 90 volts. Quando as amostras de água estavam contaminadas com cloreto de sódio, ou seja, estavam misturadas com cloreto de sódio, possuindo uma resistividade de um décimo da água pura, uma tensão de 25 volts foi observada. Quando a amostra possuía uma resistividade intermediária⁴⁴, pouca ou nenhuma atividade ou diferença de potencial foi observada.

ocupado por um sistema quântico a temperatura zero). Para que as energias se igualem, as cargas elétricas do corpo com maior energia de Fermi se deslocarão para o corpo com menor energia. O fluxo das cargas faz surgir na região em que os dois corpos estão em contato, um campo elétrico que ocasionará uma diferença de potencial entre os dois corpos. *Grosso modo*, essa é a diferença de potencial de contato. A diferença de potencial de contato se manifesta em vários fenômenos físicos, como por exemplo na eletrização por atrito.

43 Resistividade em torno de 10^6 ohms-cm.

44 4.10^5 a 8.10^5 ohm-cm.

Ao se medir a voltagem através do eletrômetro com um resistor⁴⁵ (shunt), Workman e Reynolds determinaram que a quantidade de carga envolvida durante o congelamento foi de 30 000 e.s.u⁴⁶ por centímetro cúbico, nos casos de baixa resistividade.

Outra experiência conduzida pelos mencionados físicos foi o choque de gotas d'água de baixa resistividade sobre o gelo, dentro de uma câmara fria. As gotas que permaneciam sobre o gelo e parcialmente congeladas apresentavam-se carregadas negativamente. Já as gotas que respingavam depois de se chocarem com o gelo, apresentavam-se carregadas positivamente. Para os autores, tal experiência indicava parecer que o processo satisfazia a exigência para a eletrificação da citada tempestade.

Workman e Reynolds finalizaram o artigo comprometendo-se com um relato mais completo no futuro, em que seriam dadas informações definitivas sobre o desenrolar do efeito apresentado, da pesquisa em desenvolvimento, e possíveis relações com as tempestades.

Em maio de 1950, no mesmo periódico, Workman e Reynolds publicaram o artigo *Electrical phenomena during the freezing of dilute aqueous solutions and their possible relationship to thunderstorm electricity*. Neste trabalho, retomam, de forma sucinta, a apresentação das observações já relatadas no artigo de 1948, e apresenta novo equipamento para observação do fenômeno e as outras experiências realizadas. Estes autores indicam, primeiramente, a realização de experiências em que gotas de água resfriadas e a baixas temperaturas caíam através do ar frio

45 Resistência de 5.10^6 ohms.

46 e.s.u é a unidade de carga no sistema CGS.

chocando-se contra uma placa metálica fria e isolada. Tal experiência já era uma pequena evolução da realizada e apresentada, em 1948, em que as gotas de água se chocavam contra gelo. O que Workman e Reynolds procuraram realizar, era uma simulação do ambiente que permitia a formação de gelo ou granizo na atmosfera. A experiência permitiu detectar e medir a carga elétrica adquirida pela placa metálica e também pelas gotas não congeladas, que respingaram após o choque.

Ao relatar que observaram diferença de potencial na experiência realizada com prato de cobre niquelado em 1948, apresentaram em seguida o aparato utilizado, posteriormente, que dava uma melhor exibição do efeito observado, ou seja, um aperfeiçoamento nos aparatos das medidas, figura 30.

Figura 30: Aparato utilizado por Workman e Reynolds

Fonte: Physical Review

Na figura, um bloco feito de cobre é resfriado pelo mercúrio mantido entre as temperaturas de -5°C e -30°C . Ligado ao bloco esta uma placa de platina onde se colocava a água ou soluções aquosas, que eram solidificadas pelo contato existente entre o bloco de cobre frio e a placa de platina. No aparato foi possível medir tensões de até 230 volts entre as fases líquida e sólida de soluções aquosas que estavam em solidificação. Para obtenção da corrente desenvolvida no experimento, utilizava-se o método eletrométrico, ou seja, entre o conjunto da figura 30 e o eletrômetro, colocava-se um resistor de valor conhecido (1.10^6 ohm a 100.10^6 ohm) e a partir da tensão indicada pelo eletrômetro, calculava-se a corrente estabelecida, que era em torno de 1 microampère (1.10^{-6} ampère). Tal corrente era calculada para uma taxa, ou velocidade, de solidificação em torno de 1 centímetro cúbico por minuto.

As observações realizadas por Workman e Reynolds nas experiências mostravam que o efeito elétrico observado era resultante da solidificação da água ou soluções aquosas. Ele começa quando o congelamento começa e para quando o congelamento parar⁴⁷. Durante a fusão não observaram o efeito⁴⁸, também não observaram o efeito em outras mudanças de estados físicos, tendo a atenção voltada então, exclusivamente, para solidificação.

Workman e Reynolds testaram o efeito em 43 soluções aquosas (misturavam à água elementos como cloreto de sódio, hidróxido de amônia, e outros, constituindo assim uma solução

47 "The observed electrical effect results from freezing. It starts when freezing starts, and stops when freezing stops".

48 "A reverse potential is not realized during melting because of prior neutralization through the semiconducting ice".

aquosa) e também em destilada. Os resultados gerais apresentaram na tabela 8, abaixo.

Substance	Maximum P.D.* corresponding normality (N)** or specific conductance (C)		Maximum charge separation and corresponding normality		Notes
NaF	+21 volts	20N $\times 10^{-6}$	530,000 e.s.u./cc	1.0×10^{-4}	
NaCl	+30	100N	92,000	1.0	
NaBr	+19	50N	88,000	1.0	
NaI	+2	10N	Negligible	All	
CaF	+34	30N	440,000	10.0	
CaCl	+14	400N	79,000	4.0	
KCl	+14	200N			
LiCl	+14	150N			
NH ₄ Cl	-105	70N	104,000	1.0	} ^a
NH ₄ OH	-232	30N	280,000	0.2	
NH ₄ NO ₃	-185	3N	83,000	0.2	
NH ₄ I	-109	6C			} ^b
NH ₄ Ac	-75	80C			
NH ₄ Br	-84	10C			
(NH ₄) ₂ CO ₃	-109	8C			
(NH ₄) ₂ SO ₄	-61	4C			
NH ₄ F	+9	1000N	82,000	10.0	
BaCl ₂	+10	8C			
CaF ₂	+13	8C	46,000	0.7	
CaCl ₂	+14	9C			
CdCl ₂	+16	9C			
HgCl ₂	Negligible	All			
MgCl ₂	+12	9C			
MnCl ₂	+15	7C			
NiCl ₂	+12	7C			
ZnCl ₂	+17	8C			
CuCl ₂	+5	20C			
AlCl ₃		8C	Negligible	All	} ^c
NaNO ₃		7C	—	—	
Na ₂ PO ₄		20C	—	—	
H ₂ O ₂		5C	—	—	
HCl		4C	—	—	
HF		2C	—	—	
CO ₂		2C	—	—	
H ₂ SO ₄		2C	—	—	
AgNO ₃	-39	2C	Negligible	All	^d
Pb(Ac) ₂	-100	3C	14,000	0.9	
NaCN	+36	6C			
Na ₂ HPO ₄	-63	2C	Negligible	All	^e
NaOH	+11	50N			
Ca(OH) ₂	+75	60N	12,500	0.6	} ^f
Ba(OH) ₂	+18	3N			
CaCO ₃	+20	50N	9000	0.8	

Tabela 8

Fonte: Physical Review

Na primeira coluna da tabela é possível identificar a substância utilizada para produzir a solução aquosa; na segunda, são apresentados os valores das tensões obtidas, e na quarta coluna a carga calculada.

Workman e Reynolds apresentam a discussão de algumas soluções, que serviram “para ilustrar a natureza do efeito e proporcionar uma base para uma tentativa de interpretação”⁴⁹.

O primeiro resultado discutido foi para a água duplamente destilada⁵⁰ (não constituindo uma solução) e mostravam que obtiveram diferenças de potencial de 10, 20 e 60 volts. Seguidamente apresentam que sendo a amônia um conhecido contaminante persistente da água, prepararam amostras de tal maneira a eliminá-la e observaram que tais amostras apresentavam poucos volts ao serem solidificadas. Ao prepararem soluções contendo hidróxido de amônia, a tensão observada durante a fusão foi de 230 volts. Quando o cloreto de sódio foi utilizado como contaminante, para constituir a solução, em água destilada ordinária assumida como tendo amônia residual, a tensão característica produzida pela amônia decrescia até anular-se para uma certa quantidade de cloreto de sódio presente. Zerada a tensão, acrescentando-se certa quantidade de cloreto de sódio, a tensão aumentava atingindo valores de 30volts. Para tal concentração de cloreto de sódio, na referida tensão, 90 000 e.s.u de cargas foram separadas para cada centímetro cúbico da

49 “A discussion of a few solutions will serve to illustrate the nature of the effect and to provide a basis for an attempt at interpretation” (WORKMAN E REYNOLDS, 1950).

50 Workman e Reynold apresentam a resistividade da água que é de $2,5 \cdot 10^6$ ohm-cm.

solução congelada. Novo acréscimo de cloreto de sódio à solução além de certo limite, fazia com que a tensão diminuísse até zerar novamente.

Nas experiências realizadas com as 43 soluções aquosas, Workman e Reynolds chamam a atenção para o comportamento dos íons de amônia e flúor. Para eles, o comportamento de tais íons poderiam ser considerados representantes de um dispositivo especial, pois em geral era o íon com grande eletro-negatividade que era incorporado à estrutura do gelo. Nesse sentido o comportamento, para eles notável, do íon de amônia era uma exceção à generalização, e isso era atribuído, pelos físicos, ao seu isomorfismo com o íon de hidrogênio. Já os íons de flúor teriam uma posição de preferência por duas razões: sua similaridade com os íons de hidroxila, na estrutura, e a alta eletronegatividade dos íons de flúor. Tais fatores causariam a seleção do ânion em lugar do cátion quando fluoreto de amônia era usado, tal ação não era observada com os oito compostos de amônia usados.

Workman e Reynolds não explicaram e nem apresentaram hipóteses sobre a natureza do fenômeno, “o fenômeno aparentemente pertence a uma classe de fenômenos que são encontrados na Física do Estado Sólido e para o qual somente interpretações especulativas existem”⁵¹.

As separações das cargas nas experiências indicavam que o número de impurezas por centímetro cúbico no gelo das

51 “the phenomenon apparently belongs to a class of phenomena which are encountered in solid state physics, and for which only speculative interpretations exist” (WORKMAN E REYNOLDS, 1950).

soluções aproximavam do número de impurezas presentes nos cristais semicondutores utilizados em retificadores⁵².

Os citados físicos americanos realizaram então experiências para verificar as propriedades retificadoras. A experiência consistia em inserir duas placas de platina (com 2,5 cm² de área) paralelas, no gelo produzido a partir de soluções. As placas eram perpendiculares à direção de resfriamento do gelo; assim, se o resfriamento se dava de baixo para cima, as placas eram colocadas perpendiculares a tal direção. Ao aplicar uma corrente alternada (AC) nos eletrodos, cuja tensão era de 14 volts e a frequência era de 18 ciclos, o gelo retificava produzindo uma tensão entre 0,2 a 0,4 volts e uma corrente contínua de 0,7 microampère. Os valores foram obtidos durante o congelamento e antes da amostra alcançar o equilíbrio térmico, ou seja, não haver mais solidificação nem resfriamento. Quando a frequência era de 60 ciclos, os valores da tensão e da corrente contínua caíam à metade dos valores anteriormente descritos. Para uma frequência de 200 ciclos, nenhuma propriedade retificadora foi observada. Se as placas fossem colocadas paralelas à direção do congelamento, nenhum efeito retificador era observado. Utilizando outro dispositivo no aparato da figura 30, obtiveram resultados semelhantes.

Workman e Reynolds retomaram o antigo aparato, constituído de um disco de cobre niquelado com diâmetro de aproximadamente 3 centímetros e uma profundidade próxima de 0,6 centímetros, onde repetiram as experiências feitas em 1948, mas com soluções aquosas e água destilada. A partir do

52 Dispositivo utilizado para transformar corrente alternada em corrente contínua.

gráfico tensão *versus* tempo obtido utilizando tal aparato para soluções aquosas e água destilada, fica marcante o caráter oscilante da tensão no decorrer do tempo, enquanto ocorre a solidificação. Enquanto ocorre a solidificação a tensão aumenta; em certos momentos começa a diminuir e volta a crescer e, finalmente, decresce até atingir o valor zero, quando cessa a solidificação. Para diferentes soluções, o comportamento era particular, podendo ter pouca ou muita oscilação durante a solidificação. Workman e Reynolds acreditavam que tais oscilações estavam relacionadas à espécie do contaminante e ao número de íons na solução na fase líquida durante o processo de solidificação.

Para Workman e Reynolds, se a variação da tensão estava relacionada com a espécie do contaminante então a hipótese era que o efeito estava relacionado com o caráter iônico. Eles apresentam o resultado de experiência que, segundo eles, deixaria “pouca dúvida quanto ao caráter iônico do efeito”⁵³. Solução contendo amostras de cloreto de sódio foram parcialmente congeladas no aparato da figura 30. A experiência foi conduzida dentro de um ambiente contendo Hélio, para evitar complicações causadas pelo dióxido de carbono. A porção não congelada da solução foi derramada num recipiente, posteriormente aguardou o derretimento da parte da solução congelada. Quando as duas porções da solução encontravam-se em temperatura ambiente, mediu-se o potencial de hidrogênio (pH) de cada porção, sendo que antes do congelamento o valor apresentado para o pH foi de 6,3; a fração congelada apresentou o

53 “the following tests leave little doubt as to the ionic character of the effect” (WORKMAN E REYNOLDS, 1950).

valor 6,2 e a porção que não foi congelada apresentou valor 7,0. Tais resultados provariam “ a visão que íons de cloro foram aprisionados seletivamente no gelo enquanto os íons de sódio descarregados na fase líquida, formando o hidróxido de sódio e deste modo decrescendo a concentração iônica de hidrogênio”⁵⁴. Workman e Reynolds apresentam cálculos indicando que essa mudança do pH representava descarga de $2,4 \cdot 10^{14}$ íons de sódio por centímetro cúbico por porção não congelada e tal descarga de ions liberariam 102.000 e.s.u de carga. Experimentalmente obtiveram 90.000 e.s.u. de carga, valores próximos aos teóricos, para a solidificação do cloreto de sódio usado.

Diante de todas as observações laboratoriais, Workman e Reynolds propuseram um modelo que poderia explicar a formação de tempestades elétricas, considerando o mecanismo de separação de cargas.

O modelo de tempestade conhecido e que tinha consenso naquele período, *grosso modo*, é que uma tempestade era o desenvolvimento vertical do ar, ou aproximadamente vertical, que está termodinamicamente instável. A profundidade da nuvem (por exemplo de 8°C a isoterma, ou temperatura constante, a -40°C a isoterma) indicam um teor de água bastante elevado. A nuvem de tempestade nesse estágio exibe um centro de carga positivo e difuso na região superior e um centro de carga negativo mais integrado, próximo à isoterma de 0°C. A descarga se dá entre esse dois centros de cargas, através de relâmpagos dentro

54 These results substantiate the view that the chlorine ions were trapped selectively in the ice while sodium discharged in the liquid phase, forming sodium hydroxide and thus decreasing the hydrogen ion concentration.” (WORKMAN E REYNOLDS, 1950).

da nuvem ou através de relâmpagos saídos do centro mais baixo, negativo, próximo à terra e em direção à terra. Os efeitos são evidenciados quando as nuvens estão altas o bastante para iniciar precipitação por congelamento e as partículas precipitadas resultantes tenham se tornado grandes e numerosas, podendo inclusive ser detectados por radar. O local onde ocorre o processo da separação das cargas ocorre entre 0°C e -10°C da isoterma. O modelo elementar de tempestades apresenta ainda a hipótese de haver uma relação entre a descarga de relâmpagos e as partículas precipitadas, medíveis, sugerindo a dependência da separação de cargas no congelamento.

Utilizando o modelo existente para a formação de tempestades, Workman e Reynolds propõem uma hipótese para a interação ocorrida entre gelo e água para a separação de cargas nas tempestades. Tal modelo supõe que um cristal de gelo formado a partir da sublimação próximo ao topo da nuvem começa a cair. O cristal encontrará gotículas de água a uma temperatura suficiente baixa para formar o que eles chamam de bolinhas de gelo (*pellet* ou *graupel*). O crescimento por esse processo, ou por sublimação, continuará, até atingir o nível em que ocorram temperaturas de -10°C ou -15°C onde um envidramento do gelo se formará sobre as bolinhas de gelo. Assim crescerá por esse processo e sua taxa de crescimento dependerá das gotículas de água em suspensão ou ascendente. Na região em que a temperatura seja de -10°C se houver condições favoráveis, as gotas de água devem se chocar com as bolinhas envidradas e uma fina camada da porção de água deve congelar. A porção remanescente de água, respingada após o choque, será portadora de carga positiva, que será transportada para a nuvem acima. Este processo porém não continuará por um longo período já que as bolinhas

alcançarão um potencial elétrico, em que a gota carregada positivamente não se separará das bolinhas. Uma característica importante nessa série de ventos é a ação das gotas carregadas negativamente, surgida a partir do contato com o granizo. A carga negativa adquirida faz com que o potencial das novas bolinhas seja aumentado. Dependendo dos contaminantes, do potencial alcançado e do tamanho das partículas envolvidas, este ciclo de eventos pode aumentar o potencial das bolinhas de granizo e, conseqüentemente, as cargas por unidade de volume da precipitação formada, produzindo a tempestade atmosférica.

Para sustentar a hipótese, Workman e Reynolds apresentam que testes realizados no laboratório com granizo, simulando as condições descritas em uma câmara fria, mostravam que as diferenças de potenciais obtidas eram consistentes com os obtidos pelo congelamento de água e soluções aquosas no pequeno prato cobre niquelado, e tal diferença de potencial poderia ser obtida entre o choque das gotas de água com as bolinhas de gelo, na tempestade.

Workman e Reynolds analisaram bolinhas de gelo de 1 mm a 2 mm coletadas dentro das tempestades ativas, em Albuquerque, Novo México. A análise da água, resultante do derretimento das bolinhas de gelo, mostrou que os principais contaminantes encontrados foram calcita e cloreto de sódio. Utilizando ainda amostras da água, produziram sua solidificação tal como apresentado nas pesquisas anteriores e verificaram que os efeitos elétricos produzidos poderiam confirmar a hipótese da separação de cargas, desde que o processo envolvesse repetidas colisões.

O artigo termina com o item que Workman e Reynolds chamam de especulação. Dentre as especulações que apresentam, uma se refere à separação de cargas na solidificação da solução; seria concebível que tal efeito poderia produzir corrente elétrica de significância geofísica nas regiões árticas. Outra especulação apresenta uma situação que poderia induzir eletrólises que poderiam ter influência na distribuição de substâncias terrestres. Para finalizar, os autores retomam o mecanismo descrito para a produção de tempestade elétrica, sugerindo ser possível controlar a descarga de relâmpagos produzidas em tais tempestades. Sendo pequena a concentração da solução para produzir os efeitos, a adição de certo elementos químicos no ambiente atmosférico, onde esteja ocorrendo a tempestade, poderia inibir ou aumentar os efeitos elétricos. A possibilidade de interferir na tempestade elétrica foi apresentada, já que os autores realizaram testes em laboratório sugerindo que 100 libras de amônia seria suficiente para parar a descarga elétrica de uma grande tempestade. Para testar a possibilidade, apresentaram que dois testes de campo foram realizados, contaminando nuvens. Relatam que os dados coletados não haviam sido analisados, mas os resultados observados os encorajavam a mais experimentações, ressaltando que a própria natureza do experimento de campo, exigia um número maior de testes para se ter resultados conclusivos.

Apresentado os trabalhos de Workman e Reynolds, abordaremos o pioneirismo e a controvérsia, questionados no Brasil.

A controvérsia sobre a prioridade do fenômeno, em que durante uma mudança de estado físico se estabelece uma tensão ou uma corrente elétrica em consequência da tensão devido a separação de cargas, surgiu com a publicação *Digest of the Literature on Dielectrics*, publicada em setembro de 1951, uma

publicação conjunta do *National Research Council* e da *National Academy of Science*.

O prefácio da publicação apresenta que o volume cobria artigos que apareceram no ano de 1950.

Na introdução, Hans Thurnaeur⁵⁵, um dos responsáveis pela publicação, apresenta que “talvez, o mais importante novo fenômeno para o qual foi chamada a atenção do público científico em 1950, é o “Workman-Reynolds-Ribeiro effect”

John D. Hoffman⁵⁶, responsável pelo capítulo 1, *General and Theoretical Research* :

Ribeiro descreve de novo em um artigo de revisão um efeito que ele chama de efeito termo-dielétrico. Quando um condensador contém ambas as fases líquida e sólida de um composto puro com a interface sólido-líquido paralelas às placas uma pequena corrente elétrica é achada ser produzida com o material que esquenta ou esfria. Observações tem sido feitas sobre várias ceras, enxofre, e naftaleno, e soluções iônicas. A origem da produção de corrente na dupla camada na interface pode ser devido a (a) de velocidades diferentes de transportadores positivos e negativos através das diferentes fases (b) absorção diferencial de íons sobre a interface (c) orientação superficial de dipolos (d) possível diferença na densidade da passagem

55 Da American Lava Corporation, chattanooga 5, Tennessee.

56 General Electric Research Laboratory, Schenectady, New York.

livre dos elétrons nas fases líquidas e sólidas. O efeito ocorre também para mudança de fase sólido – sólido. Possíveis efeitos meteorológicos são mencionados. A descoberta de um efeito elétrico acompanhando o congelamento de soluções iônicas diluídas é discutida por Workman e Reynolds. Diferenças de potenciais de 230 volts foram encontradas através da interface água-gelo. Interessante especulação sobre a causa do relâmpago é incluída. Parece que os efeitos termo-dielétrico e Workman-Reynolds são idênticos e que Ribeiro pode ter descoberto primeiro (1951)⁵⁷.

O resumo apresentado por Hoffman baseou-se na publicação de Costa Ribeiro nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências* de 1950 e de Workman e Reynolds na *Physical Review*, também de 1950.

Em sessão da Academia Brasileira de Ciências, Carlos Chagas Filho provoca a polêmica sobre a prioridade da descoberta:

No expediente usou da palavra o acadêmico Carlos Chagas apresentando uma moção no sentido de ser reivindicada para o Brasil a descoberta do fenômeno termo-dielétrico. A moção em apreço estava redigida nos seguintes termos: “Em recente volume publicado este ano nos Estados Unidos sob o título” Digest of the literature on dielectrics” (vol. XIV-1950), editado conjuntamente pelo

57 Tradução livre.

“National Research Council” e pela National Academy of Sciences” daquele país, volume esse no qual é feita uma apreciação sobre cada um dos principais trabalhos de pesquisa no campo dos dielétricos publicados em todo o mundo durante o ano de 1950, o redator geral, Hans Thurnauer declara (à pg.1): “talvez, o mais importante novo fenômeno para o qual foi chamada a atenção do público científico em 1950, é o “Workman-Reynolds-Ribeiro effect”.

No capítulo I (pg12) “General and theoretical research in dielectrics” o respectivo redator, John D. Hoffman, do “General Electric Research Laboratory” , de Schenectady , fez um resumo do trabalho publicado nos Anais da Academia Brasileira de Ciências (tomo XXII, nº3, de setembro de 1950) pelo acadêmico J. Costa Ribeiro, sobre o fenômeno termo-dielétrico e, igualmente apresenta um sumário do trabalho publicado na Physical Review (vol 78,nº3,de maio de 1950) pelos físicos norte-americanos E.J.Workman e S.E.Reynolds. Hoffman conclui que o efeito termo-dielétrico descrito por Costa Ribeiro e o efeito observado por Workman e Reynolds parecem ser o mesmo fenômeno, denominando-o de “Workman-Reynolds-Ribeiro effect” e acrescenta que Costa Ribeiro pode bem tê-lo descoberto em primeiro lugar, (“ it seems that the “thermo-dielectric” and the Workman-Reynolds effects are identical, and that Ribeiro may well have discovered it first”).

Ora, a maneira dubidativa que Hoffman se refere à prioridade brasileira da descoberta do fenômeno exige os seguintes esclarecimentos: a primeira comunicação sobre o fenômeno termo-dielétrico foi feita em nota prévia apresentada à Academia Brasileira de Ciências pelo acadêmico J. Costa Ribeiro na sessão de 14 de novembro de 1944 (ata publicada a 21 de novembro de 1944). Um resumo substancial do trabalho foi logo depois publicado nos Anais da Academia Brasileira de Ciências (vol. 17, nº2 + resumos, pgs II, III, IV, V, VI e VII a 30 de junho de 1945). A 14 de abril de 1945 foi o mesmo trabalho publicado “in extenso” pela livraria Agir, Editora, sob a forma de uma tese apresentada pelo autor à congregação da Faculdade Nacional de Filosofia, no concurso para provimento da cátedra de Física Geral e Experimental, da mesma Faculdade.

Em setembro de 1945, foi o assunto comunicado pelo autor na 6ª reunião da Associação Física Argentina, realizada em Buenos Aires, tendo sido publicado um resumo da comunicação e das discussões havidas na “Revista de La Union Matematica Argentina” (vol. XII, nº 1, pg. 29, 1946), tendo sido publicada uma nota a respeito na revista “Ciencia e investigacion”, de setembro de 1945 (pg. 420).

Nos anais da Academia Brasileira de Ciências (tomo XVIII, nº2, 30 de junho de 1946) foram publicados quatro trabalhos sobre o fenômeno termo-dielétrico : dois de autoria de L. Cintra do Prado, intitulados: “the statistical

character of the thermo-dielectric effect” (pg.145 a 148) e “na exponential form for the hereditary function in the thermo-dielectric phenomenon” (pg.149 a 160), um de autoria de P. Saraiva de Toledo, intitulado “on the law of charges in the thermo-dielectric effect” e um de autoria de B. Gross intitulado “uma nota sobre o efeito termo-dielétrico” (pg.127,128).

Os professores L.Cintra do Prado e P. Saraiva de Toledo publicaram ainda nos anais da Academia Brasileira de Ciências (tomo XIX, nº 1, março de 1947) um trabalho em colaboração intitulado “ numerical verifications of the exponential form for the hereditary function thermo-dielectric phenomena”.

Em 1948 o prof. Costa Ribeiro, a convite da Universidade de Paris, realizou na Sorbonne uma série de três conferências sobre o fenômeno termo-dielétrico, das quais foi feito um magnífico resumo publicado por G. Wlerick, na “Revue Scientifique” (vol. 86,5 nº 3292/3293, 1 e 15 de março de 1948, pg. 299).

O volume do curso do prof. Yves Rocard da “l’École Normale Supérieure” de Paris, recentemente publicado (1951) consagra um capítulo ao fenômeno termo-dielétrico (pg69).

O trabalho de Workman e Reynolds publicado na Physical Review em maio de 1950, refere que as experiências por eles realizadas tiveram início em fins de 1946.

É bem provável que os referidos autores que trabalharam com água e soluções aquosas desconhecem as experiências descritas por Costa Ribeiro e que esses permitiram demonstrar e estudar quantitativamente as cargas elétricas produzidas nas mudanças de estado físico dos dielétricos tais como o naftaleno, a parafina e a cera da carnaúba, etc, assinalando o caráter hereditário das correntes elétricas obtidas e estabelecendo as leis que regem o fenômeno e as equações que o descrevem, mas não é menos certo que a descoberta do fenômeno foi feita por Costa Ribeiro e publicada nos Anais da Academia pelo menos dois anos antes do início das experiências de Workman e Reynolds”.

O acadêmico Carlos Chagas prosseguiu dizendo que iria escrever uma carta aos autores da citada publicação do “National Research Council” e da “National Academy of Science” dos Estados Unidos, mas que achava que a Academia Brasileira de Ciências deveria tomar qualquer iniciativa no mesmo sentido (fonte: Acervo Costa Ribeiro - MAST).

Costa Ribeiro presente na sessão, manifestou-se:

Com a palavra o acadêmico J. Costa Ribeiro declarou que agradecia muito, especialmente ao professor Carlos Chagas os esclarecimentos prestados sobre o assunto e a carta que tencionava escrever aos referidos autores norte-americanos, pois julgava que a prioridade da descoberta do fenômeno

termo-dielétrico pertencia realmente aos pesquisadores brasileiros, que desde 1944 se ocupavam do assunto. Julgava entretanto por uma questão de princípios que a Academia Brasileira de Ciências como tal não deveria nunca se manifestar sobre o mérito ou a prioridade dos trabalhos científicos de seus membros ou publicados em seus Anais, e que considerava suficiente que constasse da ata, a moção esclarecedora do prof. Chagas.

Na edição de junho de 1954⁵⁸ da *Physical Review*, Gross apresentou o artigo *Theory of thermodielectric effect*, em que propõe um modelo que poderia explicar a diferença de potencial surgida durante a mudança de estado físico em dielétricos; na introdução, justifica porque utiliza o termo Efeito Termodieletrico:

Costa Ribeiro, um físico brasileiro, enquanto estudava eletreto ou o comportamento de eletreto e efeitos relacionados descobriu em 1944 que a solidificação e fusão de muitos dielétricos estão acompanhados pela separação de carga. Ele encontrou que o fenômeno é observado se a mudança de fase procede na forma ordenada, isto é, se um contorno de fase definido, ou interface, existe entre a fase sólida e líquida. Deslocamento da interface em uma direção corresponde à solidificação e deslocamento na direção oposta na fusão. Um sistema em que tal processo ocorre tem propriedades semelhantes a aquela de uma célula primária com resistência interna

58 O artigo revisado foi entregue aos editores da revista em outubro de 1953.

muito alta. Medidas da corrente foram feitas em um curto circuito e a separação de carga total. As primeiras observações concernidas com dielétricos como cera de carnaúba, naf-taleno (onde o efeito é particularmente forte) e parafina, contudo a ocorrência em gelo foi também mencionada. Costa Ribeiro também que o efeito era geral: produção de correntes e separação de cargas em dielétricos durante a mudança de fase. Mais tarde, Workman e Reynolds e Alfrey e Gill acharam que a separação ordenada de muitas soluções aquosas origina o aparecimento de consideráveis potenciais de circuito aberto (da ordem de centenas de volts), que tornam-se medíveis quando o congelamento é observado dentro de um condensador em circuito aberto. Esse autores também conseguiram interessantes valores altos para a separação de carga total em soluções aquosas e isso foi pensado ser significativo para a interpretação da eletricidade atmosférica. Por essa razão o efeito além de interesse teórico se tornará de importância prática. Recentemente Krause e Renninger acharam que cristais individuais de *pentaerythren* torna-se eletricamente carregado durante a cristalização a partir de uma solução supersaturada. Numerosos outros artigos têm sido publicados desde 1944 sobre assuntos similares parcialmente em continuação àqueles previamente mencionados, parcialmente independentemente. É também válido mencionar que tão cedo quanto 1940 algumas observações ao longo da mesma linha foram relatadas em artigos

de meteorologia. É também certo que Costa Ribeiro e Workman e Reynolds referem-se ao mesmo efeito, como na opinião do próprio autor, a evidência contida nos artigos previamente mencionados. É portanto justificado chamar todo o complexo de fenômenos com o qual estamos aqui tratando de efeito termielétrico, como foi chamado pelo seu descobridor⁵⁹.

A respeito do livro de Yves Rocard, mencionado por Carlos Chagas Filho, não foi possível obter aquele publicado no ano de 1951, mas foi possível obter uma cópia da edição publicada em 1956, e assim trata Rocard do assunto no livro *électricité*:

Os eletretos

Certos dielétricos, tais como a cera de Carnaúba do Brasil, tem a propriedade de conservar os momentos elétricos de polarização os quais são dados pela aplicação de um campo elétrico muito elevado em certas circunstâncias, por exemplo, no momento da sua solidificação após a fusão. Estes eletretos são, pois o análogo elétrico dos imãs permanentes, dos magnetos permanentes e são a base dos efeitos de histereses dielétrico.

59 Tradução livre.

O Efeito Termodielétrico

Ao estudar-se as propriedades da cera de Carnaúba, J. Costa de Ribeiro, no Rio de Janeiro, foi levado a descoberta em 1942 de um efeito absolutamente geral: *uma corrente está associada a mudança do estado físico de um dielétrico.*

Seja, por exemplo [...] um dielétrico num recipiente e, aumentando-se a velocidade de fusão, no aumento da corrente, solidificando-se o fundo do recipiente, o sentido da corrente muda. A ordem de grandeza das descargas desenvolvidas é de 10^{-12} ampères por um grama de matéria mudando-se o estado para o segundo estado, mas os corpos com moléculas não polares mostram o efeito mais intenso: para o naftaleno $3,9 \cdot 10^{-9}$ coulombs por grama, para a cera de Carnaúba $0,3 \cdot 10^{-9}$ (o sinal mais para uma corrente que vai do líquido ao sólido ante a solidificação). Este efeito que libera uma carga para 10^{11} a 10^{12} moléculas mudando-se de estado não é objeto de uma explicação definitiva ainda. Sobre uma consideração ainda que os corpos cujas moléculas possuem uma dupla ligação dá um efeito muito intenso⁶⁰.

Nos anos da década de 1950, e em especial na sua segunda metade, Costa Ribeiro estava muito envolvido com os nascentes órgãos da administração científica brasileira, desempenhou um

60 Tradução livre.

papel importante no CNPq e CNEN. Também estava envolvido com os rumos que levaram à criação da AIEA e sua consolidação, chegando, inclusive, a morar em Viena.

Em que pese a precariedade das condições de pesquisa no país na universidade localizada no antigo Distrito Federal, Costa Ribeiro conseguiu realizar um trabalho que gerou resultados significativos conforme foi apresentado neste trabalho.

Pesquisas do ECR na Universidade da Bahia

Ribeiro Filho e Matos Neto (2010) apresentam a criação do Curso de Física na Bahia. A ideia da criação do primeiro curso de Física na Bahia surgiu na década de 1940, na antiga Faculdade de Filosofia da Bahia (FFB). O primeiro vestibular foi realizado em 1952, sendo o primeiro aluno e graduado nos cursos de bacharelado e licenciatura em Física o engenheiro agrônomo Álvaro da Silva Ramos. Mais tarde, o citado físico foi nomeado professor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) que, em 1946, foi incorporada à Universidade da Bahia (UBA) junto com as outras faculdades existentes. Em 2 de julho de 1946, o reitor Edgar Rêgo Santos criou a Universidade da Bahia, e a tornou um dos mais modernos centros universitários do país, onde reuniu uma equipe importante de colaboradores, criando novas unidades de ensino, pesquisa e extensão. Segundo Ribeiro Filho (1995)

Enfim, a UBA tornou-se o centro aglutinador do movimento cultural baiano, nos anos 1960, período às vezes denominado de “Renascença baiana”, que influenciou movimentos literários e o desenvolvimento de um pólo cinematográfico na Bahia.

Até o final da década de 1950, não havia pesquisa e extensão em Física na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Jovens professores desta Faculdade preocupados em desenvolver pesquisas nas áreas de Ciências Exatas e da Natureza resolveram promover seminários em que havia discussões sobre temas modernos de Física e Matemática onde mais tarde, surgiria a ideia de criação do Instituto de Matemática e Física. Em julho de 1955, durante o 1º Congresso Nacional de Ensino de Matemática idealizado e organizado pela professora Martha Maria de Souza Dantas, a jovem professora Arlete Cerqueira Lima foi convidada pelo matemático e professor catedrático da Universidade de São Paulo, Omar Catunda, para um estágio na USP. Na volta, a jovem professora - no intuito de melhorar a qualidade do ensino de Matemática na FFCL - solicitou e conseguiu uma audiência com o reitor Edgard Santos em que expôs suas experiências e propostas como a criação de um Centro de Estudos Matemáticos da Faculdade de Filosofia. Segundo Ribeiro Filho e Matos Neto (2010):

Foi com visível desagrado que o poderoso reitor escutou, de início, as críticas e a proposta advindas da jovem e desenvolta docente e, impaciente, solicitou, solenemente, a retirada da jovem de seu gabinete. Apesar de sua notória insatisfação com o que escutou naquela audiência, o reitor Edgard Santos, com aquele espírito de inovação que sempre o caracterizou, não deixaria de reconsiderar a sua posição inicial e, ainda, naquele mesmo ano, relembando e admirando a audácia da Profa. Arlete, entraria em contato com a Profa. Martha Maria de Souza Dantas, a fim de relatar o embate havido e, também,

consultá-la, sobre a proposta deixada em seu gabinete. A resposta de Martha foi de total concordância para com o proposto pela jovem colega e ex-aluna, fazendo com que o reitor também aceitasse e autorizasse uma série de medidas que iniciaria um novo tempo no ensino de ciências da Universidade.

A professora Arlete em colaboração com o físico Ramiro de Porto Alegre Muniz, primeiro diretor e organizador da Escola de Geologia da UBA, fundaram o Instituto de Matemática e Física (IMF), que teve como primeiro diretor o Professor Doutor Rubens Gouveia Lintz e coube ao professor Ramiro o cargo de chefe do Departamento de Física. Para falar da criação do IMF e da passagem do professor Ramiro, recorreremos ao depoimento do professor Benedito Leopoldo Pepe, físico e professor do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

À frente da nova instituição estão agora Ramiro de Porto Alegre Muniz e Arlete Cerqueira Lima. Essa passagem, melhor dizendo, esse desdobramento da Faculdade de Filosofia nos diversos institutos foi feita não sem conflitos. Muita resistência, às vezes veladas, às vezes explícitas. A física para engenheiros deve ser dada por engenheiros, diziam os professores da Escola Politécnica. Não. Física até quem sabe Educação Física deve ser dada por físicos, diziam os físicos. Como dizem até hoje. Em mil novecentos e cinquenta e oito, por falta de quadros, Ramiro foi deslocado parcialmente para criar e dirigir a nova, novíssima Escola de Geologia. Uma Escola estruturada diferentemente

das outras. Inspirado em outros modelos. Professores em tempo integral, alunos bolsistas, direção com o mínimo de burocracia, professores estrangeiros dando aula até mesmo em língua estrangeira, atividade de campo. Um problemão! Para você vê, não é? E muito enciumada também. O leitor atento, e com conhecimento dessas coisas aqui na nossa terrinha, pode fazer uma ideia do tipo e do grau das resistências. Nos dois primeiros anos, a par das dificuldades de instalações as coisas iam muito bem. Alunos satisfeitos, a carreira de geólogo em plena expansão. Tudo isso assustava. O próprio Ramiro assustava com sua competência a sua energia de maratonista. As realizações, ou melhor, as reivindicações começaram a aparecer. Você sabe. Quanto mais se tem mais se quer. Às vezes não com justiça. Além do que existe uma coisa chamada ideologia. E, ideologia é ideologia e pronto (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Após 16 anos, Edgard Santos não foi reconduzido à reitoria em vista de movimentos internos que levaram Jânio Quadros a optar por Albérico Fraga - último da lista tríplice para a escolha do reitor da Universidade da Bahia (UBA) como afirma Pepe:

Paralelamente, no âmbito de uma universidade a disputa pela formação da lista tríplice para a escolha do reitor, já não foi como outrora, isto é, unanimidade absoluta ao nome de Edgard Santos. Mesmo assim, Santos encabeçou a lista. No passado, essa era a condição suficiente para a determinação da escolha. Seria pela sétima vez.

No passado, sim no passado, não, porém na cabeça do Sr. Jânio Quadros. A nova escolha recaiu no último da lista, tudo indica, não sei, talvez outras vozes possam melhor dizer, estaria a escolha em consonância com o pensamento de determinadas escolas tradicionais. Bem como em consonância com certos partidos políticos que prevaleciam na época. Esse acontecimento tornou delicada, mais do que isso, insustentável a permanência de Ramiro aqui na Bahia. Pena! Nessa época, nessa mesma época a Universidade de Brasília se apresentava como o Eldorado dos novos tempos e das novas ideias. E levou muitos professores, não só o Ramiro, mas muitos professores, Nelson Rossi, o Jair Gramacho e muitos outros daqui da Bahia para Brasília (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Depois da transferência do professor Ramiro para a Universidade de Brasília, quem o substituiu foi o físico Waldez Alves da Cunha que veio para a Bahia a convite do reitor Edgard Santos junto com outro físico, Luiz Felipe Perret Serpa. Após o fim do reitorado de Edgar Santos, o IMF passa por várias dificuldades chegando a surgir manifestações a favor do fechamento do Departamento de Física, como afirma em depoimento o professor Pepe:

Em sessenta e três houve um fato que até hoje me envergonha. Eu integrei uma comissão composta pelos professores do Departamento de Física. O Ramiro já não estava mais aqui e fomos ao reitor pedir para desativar o curso de Física do Instituto de Matemática e Física.

Desativar o Departamento de Física. Uma loucura! Mérito seja dado ao então reitor Professor Albérico Fraga. Ele nos atendeu e sabiamente nos disse: Não, voltem, esse pedido é um absurdo, os cursos vão melhorar. Na verdade não melhoraram, porém o departamento não foi desativado (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Apesar das dificuldades, da saída de alguns importantes nomes, o IMF conseguiu manter uma produção acadêmica. Em 1965, o físico baiano José Walter Bautista Vidal foi indicado como chefe do Departamento de Física do IMF. Bautista Vidal havia se pós-graduado no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e na Universidade de Stanford (EUA). Durante a sua gestão conseguiu convencer físicos de outros centros de pesquisa a virem trabalhar na Bahia, como os professores Jean-Marie Flexor, Humberto Siqueiros Rodrigues Tanure, Antônio Expedito Gomes de Azevedo e Carlos José R. Borba. Conseguiu ainda firmar um convênio com a Petrobrás e o IMF criando um curso de pós-graduação *lato sensu* em geofísica, que deu origem ao atual Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Com a implantação da Reforma Universitária de 1968, o IMF foi transformado em dois novos Institutos: o Instituto de Física e o Instituto de Matemática ambos da Universidade Federal da Bahia. O Instituto de Física teve como primeiro coordenador o professor Antônio Expedito Gomes de Azevedo. Com a criação do novo Instituto cresce e se consolida a pesquisa em Geofísica, vários docentes são motivados a cursar mestrado e doutorado em instituições no país e no exterior. Com a volta destes docentes e a chegada de jovens físicos baianos pós-graduados em

outras instituições, foi criado o Grupo de Pesquisa em Física do Estado Sólido nas seguintes áreas: Propriedades Eletrônicas em Cristais, Cristalografia Física e Propriedades Ópticas.

A iniciativa dos físicos na Universidade da Bahia em fazer pesquisa em Física Teórica e Experimental vem do início da década de 1960, quando um pequeno grupo liderado pelo professor Luiz Felipe Serpa se reuniu para pesquisar o Efeito Costa Ribeiro. Também faziam parte do grupo os professores Álvaro Ramos, Bela Serpa e Benedito Leopoldo Pepe. O professor Pepe relembra em depoimento, o interesse do grupo em estudar o Efeito Costa Ribeiro.

[...] a motivação para o estudo do Efeito Costa Ribeiro, devo dizer o seguinte: Toda a motivação tem uma componente subjetiva e um lado objetivo. A motivação se deveu em primeiro lugar ao entusiasmo do grupo devido ao fato do fenômeno ter sido descoberto por um brasileiro. O Brasil dos anos sessenta era ainda atrasado em pesquisa científica. Essa descoberta era de grande importância para nós. A Bahia mais atrasada ainda. Estou falando do começo dos anos sessenta. Importávamos palitos de Portugal. Na Bahia havia pesquisas em doenças tropicais de qualidade internacional. Eu acho que sim, acho que isso é verdade. E só. Em segundo lugar, a motivação se devia ao fato de que o estudo do Efeito Costa Ribeiro não implicava, aparentemente, em grandes e custosos equipamentos. É claro que aparelhos de medidas de precisão seriam necessários e isso demandava recurso (*apud* SILVA FILHO, 2011).

O grupo buscou apoio em outros grandes grupos de pesquisa, chegando a participar de um encontro no Rio de Janeiro, como afirma Pepe:

O encontro foi em mil novecentos e sessenta e dois, junho de mil novecentos e sessenta e dois. [...] Ao encontro compareceram representantes dos importantes grupos de pesquisa no Brasil na época. Isso quer dizer, São Paulo, Rio e Rio Grande do Sul. Minas, Bahia e parte do Nordeste estavam no mesmo patamar e fora dessa confraria privilegiada. A inclusão do nosso grupo deveu-se ao fato de Luiz Felipe Serpa ter sido aluno de Dias Tavares na Universidade do Brasil me parece que chamava Universidade do Brasil. Ter sido aluno do Dias Tavares na Universidade do Brasil abriu caminho para o grupo. E ter tido um contato eventual com Sérgio Mascarenhas meses antes do encontro. No geral, ao encontro compareceram as seguintes pessoas: Mário Schenberg representavam São Paulo, USP, Sérgio Mascarenhas falava pelo grupo da Escola Politécnica de São Carlos e Gerhard Jacob representava o Instituto de Física do Rio Grande do Sul. Ficou acordado a nossa contrapartida com São Carlos e com Dias Tavares. Justamente os grupos envolvidos com o Efeito Costa Ribeiro mais particularmente. As discussões, às vezes, até com certa agressividade versava sobre o estágio da física no Brasil, sobre os grupos de pesquisas e sobre as fontes de financiamento. Saímos esperançosos. Com o tempo esses contatos se diluíram. O encontro durou qualquer

coisa como duas horas aproximadamente. As conclusões não me pareceram muito claras. No dia seguinte visitamos o laboratório de Dias Tavares. Dessa visita, em que tratamos especificamente das questões mais detalhadas referente ao Efeito teve origem a série de publicações do nosso grupo. Foram publicações preliminares, cada uma assinada por cada membro do grupo. As coisas eram tão precárias aqui na Bahia que, devo dizer, a viagem foi custeada por nós individualmente e a hospedagem no Rio ficou por conta da família de Luiz Felipe. Luiz Felipe era carioca (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Dentre as citadas publicações, obtivemos o artigo produzido por Felipe Serpa e Pepe, intitulado *Some comments on the influnece of impurities in Costa Ribeiro effect* publicado pelo IMF da UBA.

O professor Pepe conta como funcionava o pequeno grupo de pesquisa em Efeito Costa Ribeiro.

O nosso grupo, embora pequeno, em número era bem equilibrado quanto à distribuição das tarefas. Álvaro Ramos, que além de físico era engenheiro, se ocuparia do desenho da aparelhagem experimental e da construção dos equipamentos auxiliares. Na fusão por zona o pequeno forno deveria se deslocar com velocidade constante, variável em cada ensaio, isso para nós, com as facilidades que dispúnhamos era muito difícil. Os computadores ainda não existiam. Nem os motores de passo. Bela Serpa em colaboração com São

Carlos - Yvonne Mascarenhas se ocuparia das amostras, isto é, pureza, monocristalinidade e parâmetros afins. Ao Luiz Felipe, cabia a parte teórica, isto é, as hipóteses, as resoluções das equações e etc. A mim a elaboração e desenvolvimento dos experimentos. Os seminários aconteciam duas vezes por semana. Nesses seminários discutíamos aspectos teóricos e experimentais além de leituras de textos, artigos e comunicações. A Luiz Felipe cabia também a tarefa de entendimentos e contatos para obtenção de financiamentos e outros recursos. Por falta de laboratório adequado, na época, laboratório específico no Instituto de Física, a parte experimental passou a ser implementada em um laboratório da Escola Politécnica, por gentileza dos professores Carlos Espinheira de Sá e Hamilton Nolasco. Para a construção de pequenas peças mecânicas, contávamos, com uma oficina nas instalações provisórias do Instituto de Física (*apud* SILVA FILHO, 2011).

As crises do IMF - no início da década de 1960 - atingiram o grupo e acabou desarticulando-o. Como afirma o professor Pepe:

Veja você tudo isso aconteceu entre sessenta e um e sessenta e três exatamente no período em que o nosso grupo se esforçava para se afirmar nas pesquisas sobre o Efeito Costa Ribeiro. Você agora entende o que aconteceu. O grupo se desarticulou. As verbas, até mesmo aquelas destinadas a pequenas despesas minguaram. A efervescência política

recrudesceu. O ano de sessenta e três foi de retrocesso tanto para o Instituto de Física como para a universidade em geral. Foi um ano de paralisia. Nada foi feito além das aulas. As questões políticas assumiram o primeiro plano (*apud* SILVA FILHO, 2011).

Com a implantação da Reforma Universitária de 1968, o então IMF se transforma em dois novos institutos: os atuais Instituto de Física (IFUFBA) e Instituto de Matemática (IM-UFBA). A partir da reforma que reestruturou a universidade, surgiu um movimento de renovação que motivaram vários docentes do Instituto de Física a cursar mestrado e doutorado em instituições do país e no exterior, a fim de implementarem pesquisas em Física Teórica e Experimental. Em 1974, criou-se o Grupo de Física do Estado Sólido formado por físicos baianos oriundos da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade de Campinas (Unicamp), do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e da Universidade de Brasília (UnB). Apesar de possuir um grupo de pesquisa em Física do Estado Sólido, somente cinco anos depois o Instituto de Física teve o seu primeiro programa de pós-graduação instituído, sendo ele na área do grupo supracitado.

Assim, mais de uma década separou as primeiras pesquisas em física na UBA oriundas do pequeno grupo de pesquisa em Efeito Costa Ribeiro e a retomada da pesquisa em Física do Estado Sólido no IFUFBA.