

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**BACHARELADO EM FÍSICA**

**DANIEL BRITO DE ARAÚJO**

**PROF. ORIENTADOR: Dr. ANTÔNIO GOMES S. FILHO**

**INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO A RAIOS-X NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
'BUCKYPAPER'**

**FORTALEZA**

**2016**

DANIEL BRITO DE ARAÚJO

INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO A RAIOS-X NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
'BUCKYPAPER'

Monografia

Universidade Federal do Ceará

Departamento de Física

Orientador: Prof. Dr. Antônio Gomes S. Filho

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca do Curso de Física

- 
- A688i      Araújo, Daniel Brito de  
              Influência da exposição a raios-X na condutividade elétrica do ‘Buckypaper’ / Daniel Brito de Araújo. – 2016.  
              23 f. : il.
- Monografia (Graduação em Física) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Física, Curso de Bacharelado em Física, Fortaleza, 2016.  
              Orientação: Prof. Dr. Antônio Gomes de Souza Filho.  
              Inclui bibliografia.
1. Nanotubos de carbono. 2. Radiação (raios-X). 3. Condutividade elétrica. I. Souza Filho, Antônio Gomes de. II. Título.

DANIEL BRITO DE ARAÚJO

INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO A RAIOS-X NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
'BUCKYPAPER'

Monografia

Universidade Federal do Ceará

Departamento de Física

Orientador: Prof. Dr. Antônio Gomes S. Filho

Data de Aprovação: 4 de fevereiro de 2016

Componentes da Banca:

---

Prof. Dr. Antônio Gomes S. Filho - UFC

---

Prof. Dr. Eduardo Bedê Barros - UFC

---

Prof. Dr. Alexandre Rocha Paschoal – UFC

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado ao CNPq, Universidade Federal do Ceará e University of Surrey por tornarem este trabalho possível. Agradeço a todos os professores que já me ensinaram, à família pelo apoio e estímulo à busca de conhecimento e a todos os amigos pelas motivações diárias. Sinceramente,

Daniel Brito de Araujo

## RESUMO

Este trabalho introduz o material Buckypaper, apresenta métodos de confecção para tal material e verifica a influência da exposição à radiação no parâmetro condutividade elétrica do material. Constrói-se tal material partindo de Nanotubos de Carbono (CNT) adquiridos no mercado, dispersando-o em alguma solução através de agitação por sonicadores e filtrando-o em um filtro de areia (com o auxílio de uma bomba de vácuo) por uma membrana porosa também encontrada no mercado. Amostras de Buckypaper retangulares tiveram suas medidas métricas tiradas e aplicou-se diferentes potenciais em ambas as extremidades de cada amostra, registrando a diferença de potencial e a corrente. Com estes dados foi verificada a condutividade das amostras (da ordem de dez à quinta potência siemens por metro) que as classifica como condutoras. As amostras foram então expostas a raios-X (utilizando-se tubos de raios-X), cada uma com uma intensidade de radiação distinta (entre dois e cento e dez grays). A condutividade de cada amostra irradiada foi novamente medida e comparada com a condutividade anterior à exposição. Verificou-se que a condutividade de todas as amostras testadas se reduziu (entre trinta e setenta por cento da original) sem relação evidente com a intensidade de radiação utilizada. Conclui-se que o raios-X danificam o Buckypaper em relação a sua condutividade elétrica e que estes danos devem alcançar um limite.

**Palavras-chave:** Buckypaper. Nanotubos de Carbono. Condutividade elétrica. Radiação. Raios-X.

## ABSTRACT

This work introduces the Buckypaper material, it presents confection methods for such material and verifies the influence of radiation exposure in the parameter of electrical conductivity of the material. Buckypaper is built from Carbon Nanotubes (CNT) (acquired in the market) dispersing it in some solution through agitation from sonicators, and filtering it through a sand filter (with the help of a vacuum pump) with a porous membrane (also acquired in the market). Rectangular shaped Buckypaper samples had their metric measures taken and different potentials were applied in both extremities of each sample, registering the potential difference and current. With this data the conductivity of the samples was verified (with the order of magnitude of the fifth power of ten siemens per metre) classifying them as conductors. The samples were then exposed to X-rays (using X-ray tubes), each with a distinct radiation intensity (between two and a hundred and ten grays). Each sample's conductivity was once again measured and compared with the results before the exposure. It was verified that every sample's conductivity was reduced (by a factor between thirty and seventy per cent of the original) without evident relation between the intensity of radiation used. It is concluded that X-rays damage Buckypaper in relation to its electrical conductivity and that the damages should reach a limit.

**Key words:** Buckypaper. Carbon Nanotubes. Electrical conductivity. Radiation. X-rays.

## SUMÁRIO

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | –INTRODUÇÃO                               | 06 |
| 1.1 | –Preparo do buckypaper                    | 07 |
| 1.2 | –Condutividade elétrica buckypaper        | 08 |
| 1.3 | –Radiação                                 | 08 |
| 1.4 | –Radiação e condutividade                 | 08 |
| 2   | –OBJETIVOS                                | 09 |
| 3   | –METODOLOGIA                              | 09 |
| 3.1 | –Preparação do bukypaper                  | 10 |
| 3.2 | –Medida da condutividade                  | 13 |
| 3.3 | –Exposição à radiação                     | 14 |
| 3.4 | – Medida da condutividade após irradiação | 15 |
| 4   | –RESULTADOS                               | 15 |
| 5   | –DISCUSSÃO                                | 20 |
| 6   | –CONCLUSÃO                                | 21 |
| 7   | –BIBLIOGRAFIA                             | 21 |

## 1 - INTRODUÇÃO

Nanotubos de Carbono (CNT)<sup>(1)(2)</sup> são estruturas nanoscópicas compostas basicamente por átomos de Carbono. CNT se assemelha a uma folha de grafeno<sup>(1)</sup> dobrada em forma de tubo - para o caso de nanotubos de camada única (SWCNT) - ou várias folhas de grafeno dobradas em forma de tubo para o caso de nanotubos de várias camadas (MWCNT). Nanotubos de carbono são foco de várias pesquisas que visam não só caracterizar a estrutura<sup>(3)</sup> como buscam aplicações para o material<sup>(4)</sup>.

Buckypaper<sup>(5)</sup> é uma estrutura macroscópica composta por nanotubos de carbono . A motivação para a produção de tal material é a tentativa de reprodução das propriedades microscópicas do CNT em escala macroscópica. Depois de extensa pesquisa sobre CNT o mundo científico já conhece as propriedades vantajosas (alta condutividade elétrica e térmica, alta resistência mecânica, etc.) do material microscópico, porém para o utilizarmos em tecnologias populares é necessário reproduzir tais propriedades macroscopicamente. Buckypaper é uma (dentre alguns exemplos<sup>(6)</sup>) das tentativas desta reprodução.

O buckypaper se assemelha a um papel na maneira de que o nanotubos se organizam nele de maneira semelhante à das fibras em uma folha de papel.

Imagem 1<sup>(a)</sup> - imagem microscópica de papel comum, mostrando como as fibras se organizam na composição do material:

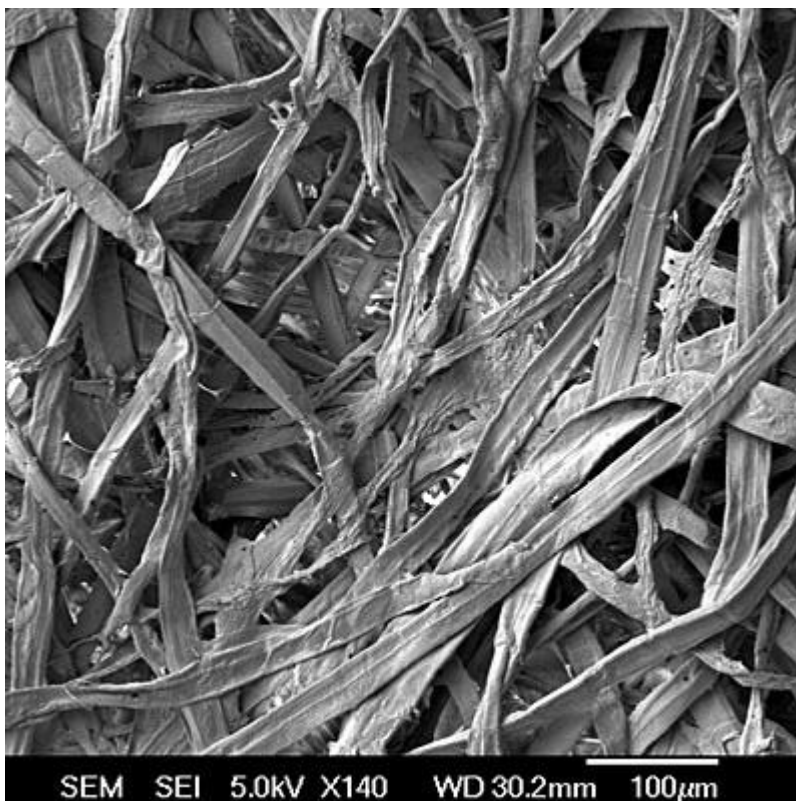
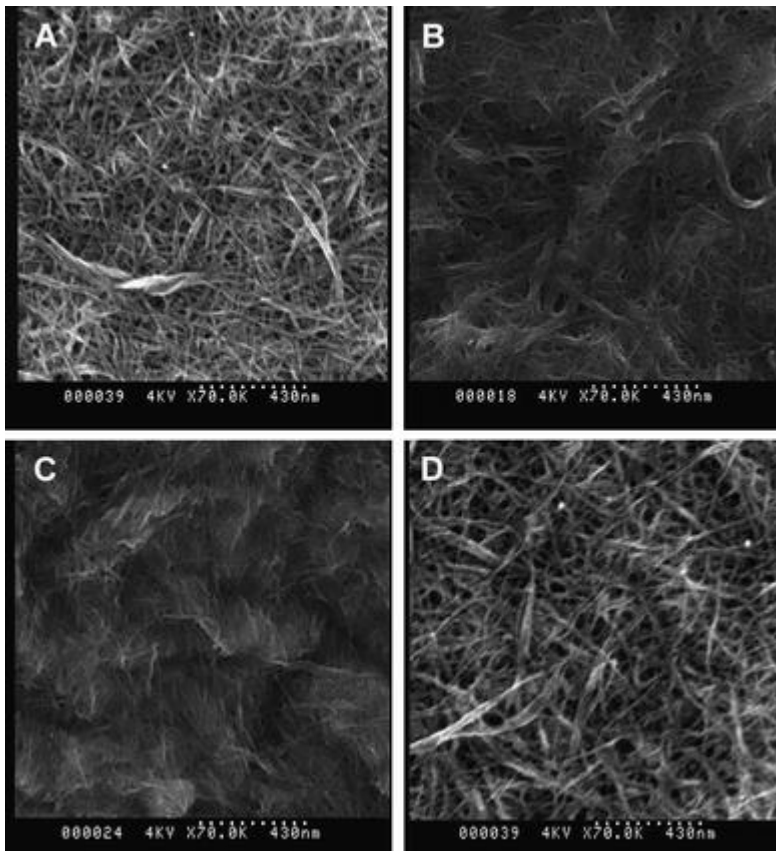




Imagem 2<sup>(b)</sup> - microscopia de buckypaper, mostrando (em quatro exemplos) como os CNT se organizam (semelhantes às fibras no papel) na composição do material macroscópico:



### 1.1 – PREPARO DO BUCKYPAPER

Para preparar o buckypaper a partir de nanotubos de carbono (em pó, como encontrado no mercado) é necessário dissolvê-lo, criando uma dispersão na qual os nanotubos estão soltos uns dos outros. Esta dispersão deve ser feita em algum solvente (como o Triton X-100, ou SDS, como será visto mais à frente)<sup>(7)(8)</sup>. Porém para soltar os nanotubos que já estão em contato com outros (como grãos) é necessário dar energia mecânica ao sistema. Como a energia fornecida através de uma agitação com uma espátula, por exemplo, não consegue soltar os “grãos” formados por nanotubos, usamos energia sonora. A energia sonora pode ser fornecida continuamente pelo intervalo de tempo que for necessário através de um sonicador (de ponta ou de banho)

Com a dispersão pronta os nanotubos se encontram soltos. Para os organizar como fibras em um papel é necessário filtrá-los. O processo de filtração deve ser feito sem agitações e sem desníveis para que o “papel” gerado seja o mais regular possível. Também deve-se chamar atenção para os filtros usados, que devem ter porosidade menor que um nanotubo de carbono (alguns décimos de micrômetros) e devem ser feitos de materiais que não afetem a estrutura dos nanotubos de carbono e que não sejam danificados pelos solventes

que devem os atravessar. Felizmente esses filtros são encontrados no mercado com todas as especificações necessárias.

## 1.2 – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO BUCKYPAPER

Ao passar uma corrente elétrica por uma amostra de buckypaper devemos visualizar os seguintes aspectos com clareza: a corrente passará pelos nanotubos individualmente e estes apresentarão condutividade elétrica de acordo com sua qualidade; a corrente deverá passar de um nanotubo para o próximo superando a barreira potencial que varia com a qualidade do contato entre os nanotubos.

Portanto a condutividade do material trabalhado depende da qualidade dos nanotubos usados e de como conseguimos ligar os nanotubos entre si. Como sabemos pela literatura<sup>(2)</sup> a condutividade dos nanotubos individualmente é grande, portanto o principal fator para a reduzida condutividade do material macroscópico deve ser a conexão entre os nanotubos.

## 1.3 – RADIAÇÃO

Há radiação em todo o ambiente terrestre, principalmente gerada no Sol. Porém fora da atmosfera terrestre a radiação é de ainda maior intensidade e variedade, posto que há um filtro a menos. O espectro solar<sup>(9)(10)</sup> vai do infravermelho (54000 Å, ~ 0,2 eV) ao ultravioleta (670 Å, ~ 18,5 eV), mas o Sol também libera partículas com altas energias (prótons, elétrons, partículas alfa e beta) e outros tipos de radiações energéticas (Raios-X<sup>(11)</sup> e gama). Durante explosões solares há liberação de radiação de praticamente todo o espectro eletromagnético, além de radiação corpuscular, em intensidades altíssimas.

Todo tipo de radiação emitida pelo Sol nos é de interesse, posto que visamos aplicação do material (buckypaper) em ambiente sem proteção desta radiação (fora da atmosfera terrestre). Contudo, por restrição de aplicação, focamos nos Raios-X (que já é sabido interagir com nanotubos de carbono<sup>(12)(13)</sup>).

Raios-X é a denominação de ondas eletromagnéticas na faixa de 10 pm a 100 pm, ~10 KeV a ~100 KeV (Raios-X duros) e de 100 pm a 10 nm, ~10 KeV a ~1 KeV (Raios-X moles). Esse tipo de radiação é emitido em grande intensidade pelo Sol, porém é quase completamente barrado pela atmosfera terrestre. Estas ondas eletromagnéticas são conhecidas por penetrar materiais (devido ao pequeno comprimento de onda) e famosas por interagir com estes liberando elétrons (efeito fotoelétrico<sup>(14)</sup>).

## 1.4 – RADIAÇÃO E CONDUTIVIDADE

A primeira expectativa quanto à influência da exposição do buckypaper à radiação – no quesito condutividade – foi de que a energia fornecida pela radiação seria capaz de gerar

alguma conexão entre os nanotubos nos pontos de contato aumentando a condutividade do material como um todo. A energia dos Raios-X deveria ser capaz de extrair elétrons dos átomos de carbono, facilitando conexões entre carbonos próximos que não estavam conectados. Porém a energia também poderia ser capaz de criar defeitos e até romper os nanotubos, o que poderia reduzir a condutividade do buckypaper de maneira drástica.

## 2 – OBJETIVOS

A motivação deste trabalho é vislumbrar a possibilidade de aplicação do buckypaper em tecnologias espaciais, como satélites. A aplicação seria interessante posto que nanoestruturas a base de carbono tem propriedades muito úteis (como alta condutividade elétrica e alto módulo de Young por exemplo<sup>(1)</sup>) e são extremamente leves (o que significa barato de lançar em órbita). O trabalho decidiu se focar na condutividade do buckypaper, e apenas tentou simular o ambiente espacial no que se trata de radiação.

Traçamos como objetivo geral deste trabalho:

- Observar e documentar as características do buckypaper assim como seus comportamentos.

São objetivos específicos:

- Dominar técnicas de preparo de buckypaper;
- Observar a influência de exposição a grande quantidade de radiação na condutividade do buckypaper;
- Demonstrar a compreensão e capacidade do aluno de realizar o método científico.

## 3 - METODOLOGIA

O trabalho apresentado foi efetuado no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) como parte do grupo de Materiais Nanoestruturados tendo como coordenador o Prof. Dr. Antônio Gomes S. Filho e no Departamento de Física da University of Surrey (UoS) como parte do grupo The Nanostructured Materials Group coordenado pelo Prof. Dr. Alan B. Dalton. Este trabalho também se utilizou do laboratório de radiação do Centre For Nuclear And Radiation Physics situado na University of Surrey com a colaboração do Prof. Phd. David Bradley.

Com o objetivo central do trabalho sendo verificar a variação da condutividade do buckypaper ao expô-lo a altas doses de radiação organizamos o trabalho em etapas.

- a) A aprendizagem e execução de técnicas de preparo de buckypaper. As técnicas estudadas foram de dispersão dos nanotubos em soluções, seguida por filtragem a vacuo.
- b) Com as amostras de buckypaper prontas medimos suas respectivas condutividades.
- c) Expomos as amostras a diferentes doses de radiação, utilizamos altas doses de Raios-X para este procedimento.
- d) Medimos a condutividade das amostras após a exposição à radiação.
- e) Com todos os dados em mãos, comparamos as condutividades das mesmas amostras antes e após a exposição à radiação e traçamos as conclusões

### **3.1 - Preparação de buckypaper a partir de MWCNTs ( Nanotubo de Carbono de Várias Camadas– Multi-Walled Carbon Nanotubes – no inglês) dispersos em solução.**

#### **3.1.1 Preparo da solução de MWCNT.**

Em solução de surfactante SDS (Sulfato Dodecyl de Sódio):

Para prepararmos a solução de SDS em água destilada verificamos a concentração, CMC (do inglês Critical Micelle Concentration), a ser usada. Misturamos 2,49g de SDS em 97,51g de água usando a barra magnética por aproximadamente 2 min, para que a solução se tornasse homogênea.

Em um novo becker colocamos 50 mg de MWCNT em pó e adicionamos a solução.

Para dispersar os MWCNTs selamos o becker com filme de laboratório. Furamos o filme para que a ponta do sonicador ultrasônico de ponta pudesse entrar em contato com a solução.

Pusemos o becker em um recipiente maior com água e gelo, de modo que a altura da água superasse a da solução. Posicionamos o sonicador de modo a sua ponta estar completamente submersa na solução, mas sem tocar o vidro do becker.

Ligamos o sonicador e gradualmente subimos sua potência para 20W. Sonicamos a solução por 23 min.

A princípio a concentração era de 50mg de CNT (para que o buckypaper fosse grosso o suficiente para ser manuseado facilmente) em 10mL de solução (2,49g de SDS + 97,51g de água destilada + 0,050g de MWCNT<sup>2</sup>).

Adicionamos mais 0.50g de SDS e sonicamos mais uma vez por aproximadamente 5 min. No total: 2,99g de SDS; 97,51g (mL) de água destilada; e 0,050g de MWCNT.

#### Em solução de clorofórmio:

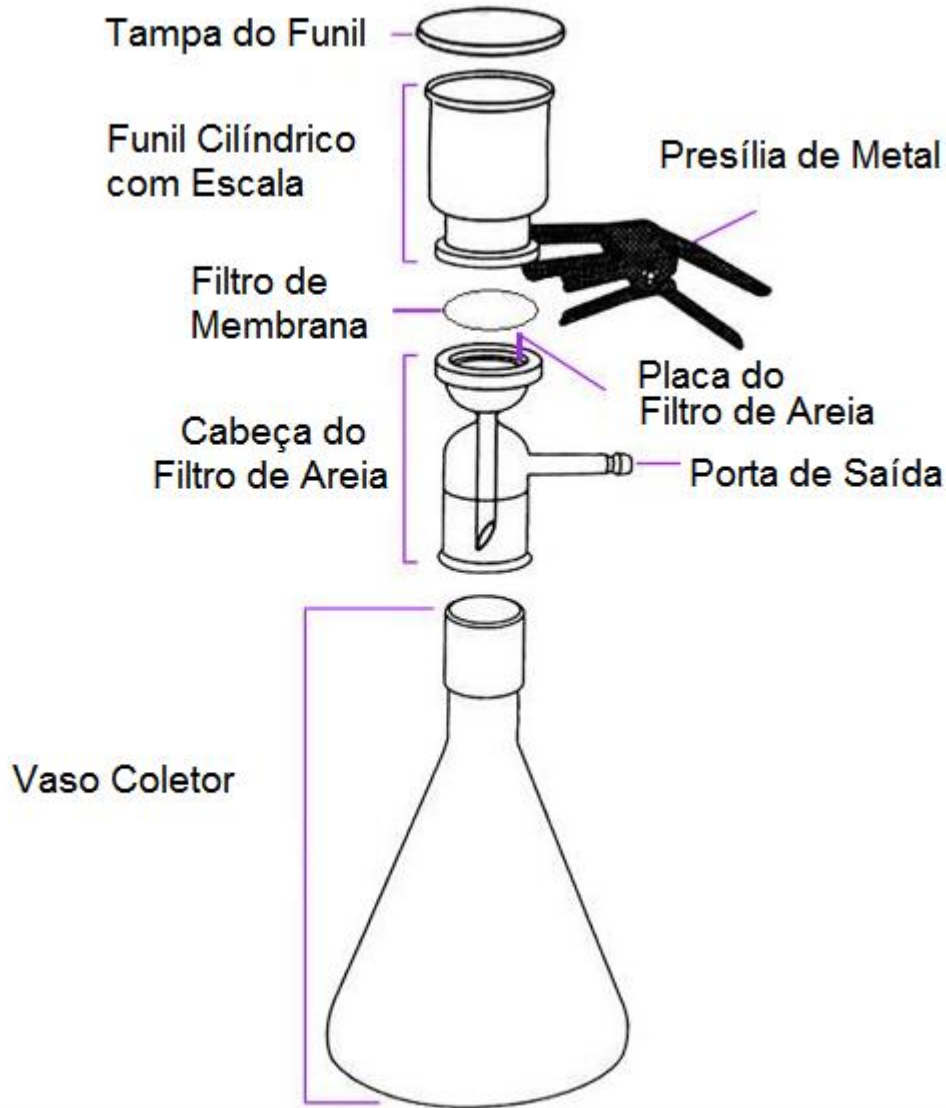
Apesar de termos estudado como fazer a solução de MWCNT em Clorofórmio, não conseguimos fazer um buckypaper com qualidade mínima para ser útil no trabalho. Como para cada tentativa de gerar essa solução gastaria 1L ou mais de clorofórmio decidimos buscar outras maneiras de fabricar o buckypaper após a primeira falha ao tentarmos gerar uma solução de 0,050g de CNT em 1L de Clorofórmio.

#### Em solução de metanol:

Nesta solução misturamos 0,052g de MWCNT a aproximadamente 50mL de metanol. Selamos o becker com a solução, o colocamos em um sonicador de banho parcialmente imerso em água com gelo. Sonicamos a solução por aproximadamente 20min.

### 3.1.2 Preparo do buckypaper a partir das soluções feitas

Imagem 3<sup>(c)</sup> – Esquema de filtragem de soluções de nanotubos de carbono para a fabricação de buckypaper mostrando a aparelhagem utilizada.



O filtro a vácuo foi armado como a imagem 3 sugere, o mais horizontal possível. A placa de areia foi limpa usando o solvente ou água destilada. O filtro de membrana foi posicionado cuidadosamente de maneira a não ficar ar entre ele e a placa de areia. Filtramos água pura e solvente usando o papel para tentar limpar qualquer possível substância.

Usando uma pipeta de dispersão adicionamos a solução ao funil cilíndrico de modo a escorrer pelas paredes (para evitar o ocorrência de bolhas). Após o posicionamento da solução ligamos o motor de vácuo. Algumas vezes filtramos a solução uma segunda vez. Após a filtragem filtramos mais um pouco de solvente e água pura.

Cada solução precisou de procedimentos exclusivos:

#### Solução com SDS

Utilizamos o filtro MILIPORE TYPE GSWP 0.22 micrômetros, e após a primeira filtragem (~2h) filtramos mais 50mL de água.

### Solução com Clorofórmio

Como a solução não era estável e rapidamente se tornava heterogênea a solução de 1L foi misturada e alíquotas de 100mL foram coletadas, sonicadas a ~10W por ~10min. A alíquota foi então filtrada (filtro: MILIPORE TYPE FGLP 0.2 micrômetros Teflon). Outras alíquotas foram tiradas e o procedimento repetido. Após quatro alíquotas diminuimos o tamanho das alíquotas para maior garantia de que a solução filtrada era homogênea. Tanto a instabilidade da solução e a demora na filtragem dificultaram muito todo o procedimento e foram (muito provavelmente) os fatores chave na falha da fabricação de buckypaper através de soluções em Clorofórmio.

O procedimento durou aproximadamente três horas e o buckypaper obtido não tinha qualidade mínima para ser usado no trabalho.

### Solução com Metanol

O filtro utilizado foi MILIPORE TYPE LS 50 micrômetros. Após a solução ser filtrada, filtramos mais 100mL de Metanol. A solução foi filtrada mais quatro vezes. Então posicionamos mais um papel em cima do outro (uma forma de sanduíche com o buckypaper em criação). O funil foi reposicionado (em cima do segundo papel) e o motor de vácuo foi ligado, mais uma vez, por 2h15min.

O primeiro buckypaper obtido a partir da solução com Metanol não foi bom, mas repetindo o procedimento com mais cuidado – certificando-se sempre da homogeneidade da solução e sonicando mais a mesma, caso necessário – obtivemos boas amostras de buckypaper.

## **3.2 – Medida da condutividade do buckypaper**

Cortamos (com tesouras limpas) as amostras de buckypaper (circulares) em várias amostras retangulares. Medimos com um paquímetro eletrônico as dimensões de cada amostra (30 mm por 2 mm aproximadamente e grossura da ordem de 0,1 mm em cada amostra).

Para medirmos a condutividade utilizamos o equipamento KERTHLEY 2400 conectado a um computador com as configurações de teste de dois pontos. Não fizemos o contato das pontas direto com o buckypaper, utilizamos esmalte prata condutor nas extremidades dos retângulos de buckypaper (o comprimento medido das amostras retangulares indica a mínima distância entre o esmalte de cada extremidade da amostra).

Cada uma das duas pontas utilizadas do KERTHLEY foi posta em contato com o esmalte (sem atravessá-lo) em cada extremidade da amostra. Rodamos o software LabTracer 2.0 com o devido hardware selecionado. Utilizamos a configuração padrão (232V; 150mA; 20W) do programa apenas com a amplitude da voltagem alterada para de -1V a +1V . Obtivemos os dados de corrente contra voltagem em centenas de pontos.

O gráfico corrente-voltagem foi traçado mostrando um comportamento de resistor ôhmico. Obtivemos a resistência de cada amostra e utilizamos a Equação 1:

$$R = \frac{l}{\sigma S} \quad (1)$$

R = resistência; l = comprimento;  $\sigma$  = condutividade elétrica; S = area (largura X grossura) para obtermos a condutividade.

### **3.3 – Exposição à radiação**

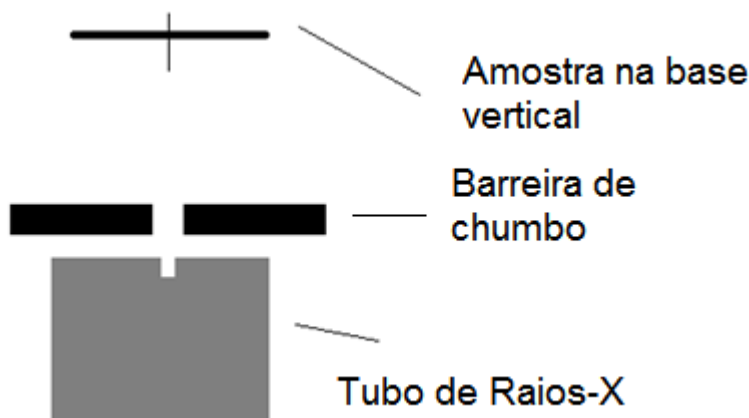
Em uma primeira abordagem tentamos expor as amostras à uma fonte de radiação gama, Estrôncio – 90 (Sr-90). Porém a aparelhagem não permitia uma exposição homogênea para amostras do tamanho usado (apenas para amostras menores) e também não era precisa quanto dosagem de radiação (devido à diminuição da quantidade de radiação com o passar de meias-vidas da fonte).

A estratégia de exposição à radiação tornou-se, então, expor a Raios-X, já que a universidade (University of Surrey – Guildford, Surrey, Reino Unido) possuía equipamento gerador de tal radiação. A maior facilidade de trabalhar com Raios-X é que são gerados em tubos de Raios-X que podem ser ligados e desligados à vontade do pesquisador, evitando contato com fontes de radiação (posto que os tubos são ligados com o pesquisador em uma outra sala separada por paredes de chumbo).

Em nossa montagem (como o esquema sugere) colocamos uma barreira de chumbo na frente do tubo de Raios-X, deixando apenas uma abertura alinhada com a saída da radiação. Fizemos isso apenas para concentrar a radiação na amostra, posta poucas dezenas de centímetros após a barreira de chumbo. Nossas amostras (em tiras) foram pregadas com fitas adesivas à uma base vertical. A fita adesiva foi posta de maneira a ser mínima a área de contato com a amostra (pregada sobre a área já coberta com o esmalte de prata usado no procedimento anterior), e um papel plástico apropriado impediu o contato da amostra com a base vertical (metálica).

Imagem 4<sup>(d)</sup> – organização da estrutura para expor as amostras à radiação de Raios-X:





Outra facilidade dos tubos de Raios-X é a possibilidade de controlar precisamente a dosagem à qual expomos as amostras. Para medir a dosagem fornecida pela aparelhagem colocamos um sensor de radiação na posição onde a amostra estaria. Ligamos o tubo de Raios-X expondo o sensor por determinado tempo. Medimos a dosagem em Gy/min. Repetimos as medidas algumas vezes para aumentar a precisão.

Usamos radiação de 160Kev a ~15.2 Gy/min.

Para variar a dose de radiação à qual cada amostra foi exposta apenas variamos o tempo de exposição com a mesma montagem da aparelhagem.

### **3.4 – Medida da condutividade após exposição à radiação**

Este procedimento é igual ao procedimento **(3.2)**, com a única diferença de que as amostras já foram radiadas. Para evitar qualquer influência da tinta de prata (também exposta à radiação) nas medidas as pontas das amostras foram cortadas, as amostras foram novamente pintadas e as medidas novamente tiradas.

No total dezoito (18) amostras passaram por todos os procedimentos.

## **4 - RESULTADOS**

Apesar de termos feito mais amostras, algumas (aproximadamente dez amostras) foram danificadas e inutilizadas no começo do projeto, pois tínhamos (inicialmente) a intenção de analisar algumas propriedades mecânicas das mesmas. A aparelhagem que usamos para medir propriedades mecânicas destas amostras danificou as mesmas impossibilitando que estas amostras continuassem sendo usadas nos próximos passos (de irradiação e nova tomada de medidas). Portanto abandonamos a idéia de incluir a análise das medidas mecânicas assim como abandonamos as medidas tomadas destas primeiras amostras.

Os resultados aqui presentes são de duas amostras, uma feita utilizando o SDS como solvente – identificada como SDS 2 – e a outra amostra feita utilizando Metanol como

solvente – identificada como MET 1. Cada uma dessas amostras foi cortada em fitas que foram identificadas com letras (de A a L no caso da SDS 2, e de A a F para MET 1).

As tabelas 4.1 e 4.1 abaixo apresentam a condutividade de cada tira de amostra antes e depois da exposição à radiação, assim como a quantidade de radiação à qual a amostra foi exposta.

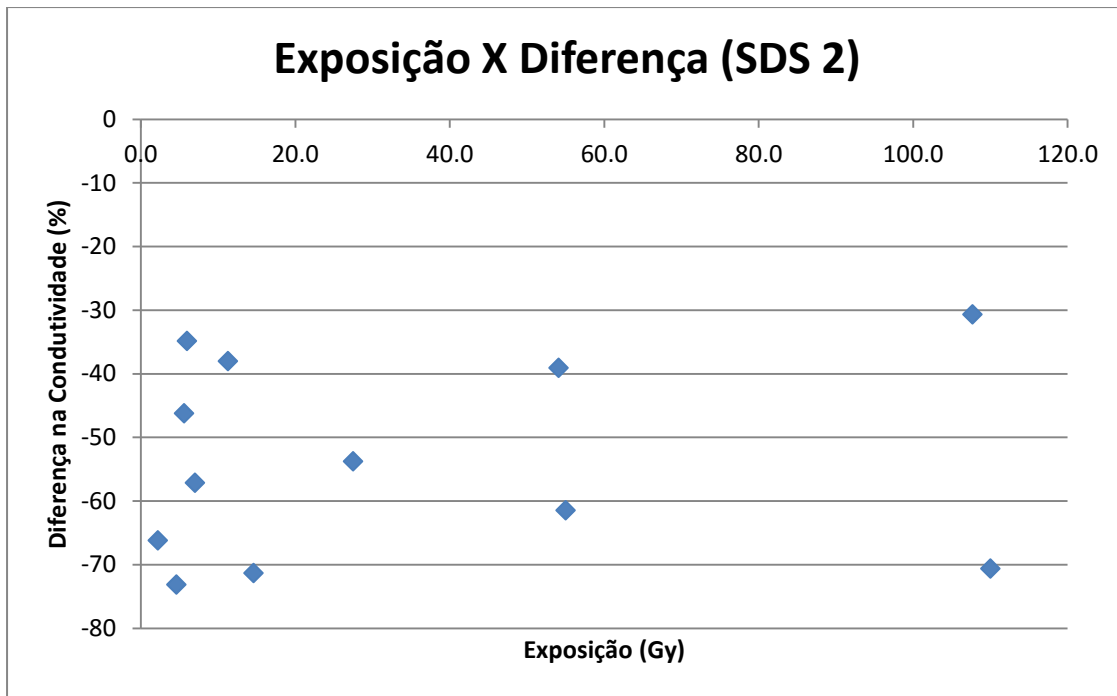
**TABELA 4.1 – Condutividade do MET 1**

| AMOSTRA  | Condutividade (S/m) |           | Exposição Radioativa Aproximada (Gy) | Diferença (%) |
|----------|---------------------|-----------|--------------------------------------|---------------|
|          | Não-irradiada       | Irradiada |                                      |               |
| <b>A</b> | 4.29E+05            | 2.47E+05  | 5.2                                  | -42           |
| <b>B</b> | 3.80E+05            | 2.60E+05  | 5.2                                  | -32           |
| <b>C</b> | 5.15E+05            | 2.64E+05  | 14.5                                 | -49           |
| <b>D</b> | 5.75E+05            | 3.37E+05  | 14.5                                 | -41           |
| <b>E</b> | 5.74E+05            | 3.66E+05  | 48.2                                 | -36           |
| <b>F</b> | 2.94E+05            | 1.78E+05  | 48.2                                 | -39           |

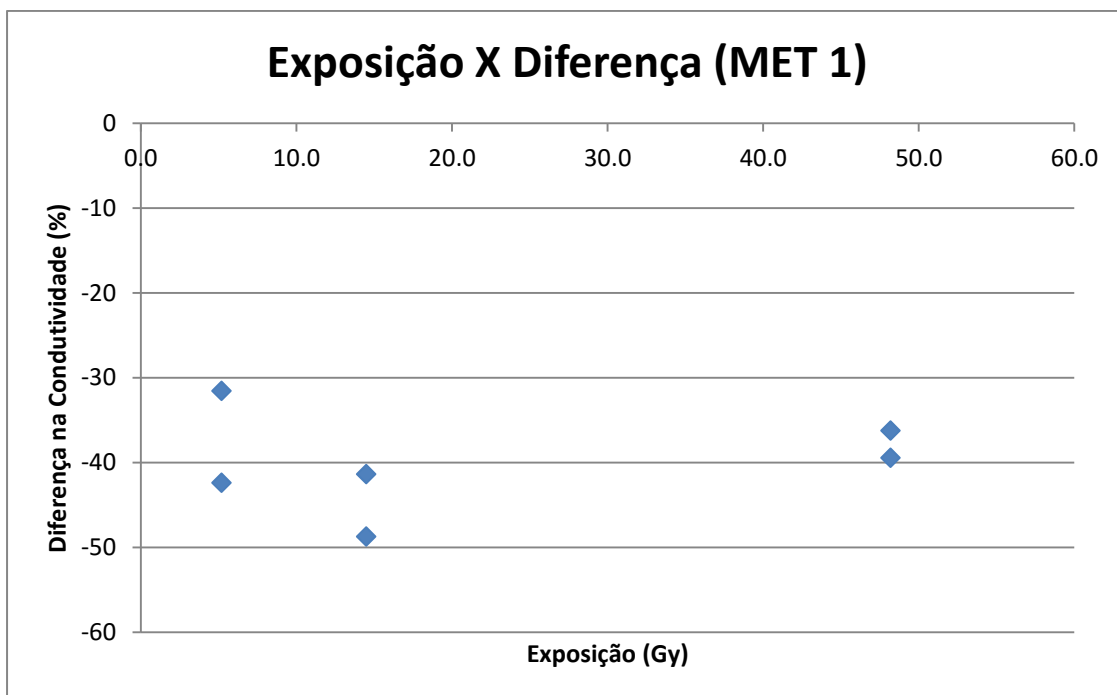
**TABELA 4.2 – Condutividade do SDS 2**

| AMOSTRA  | Condutividade (S/m) |           | Exposição Radioativa Aproximada (Gy) | Diferença (%) |
|----------|---------------------|-----------|--------------------------------------|---------------|
|          | Não-irradiada       | Irradiada |                                      |               |
| <b>A</b> | 1.08E+06            | 3.65E+05  | 2.2                                  | -66           |
| <b>B</b> | 3.19E+05            | 8.56E+04  | 4.6                                  | -73           |
| <b>C</b> | 3.22E+05            | 1.38E+05  | 7.0                                  | -57           |
| <b>D</b> | 3.49E+05            | 1.00E+05  | 14.6                                 | -71           |
| <b>E</b> | 2.83E+05            | 1.09E+05  | 55.0                                 | -61           |
| <b>F</b> | 8.48E+05            | 2.49E+05  | 110.0                                | -71           |
| <b>G</b> | 3.57E+05            | 1.92E+05  | 5.6                                  | -46           |
| <b>H</b> | 7.40E+05            | 4.82E+05  | 6.0                                  | -35           |
| <b>I</b> | 4.10E+05            | 2.54E+05  | 11.3                                 | -38           |
| <b>J</b> | 1.03E+06            | 4.76E+05  | 27.5                                 | -54           |
| <b>K</b> | 1.17E+06            | 7.13E+05  | 54.1                                 | -39           |
| <b>L</b> | 2.12E+06            | 1.47E+06  | 107.7                                | -31           |

**GRÁFICO 4.1 – Exposição à radiação *versus* diferença na condutividade elétrica (SDS 2)**



**GRÁFICO 4.2** – Exposição à radiação *versus* diferença na condutividade elétrica (MET 1)



**GRÁFICO 4.3** – Condutividade elétrica original *versus* diferença na condutividade elétrica (SDS 2)

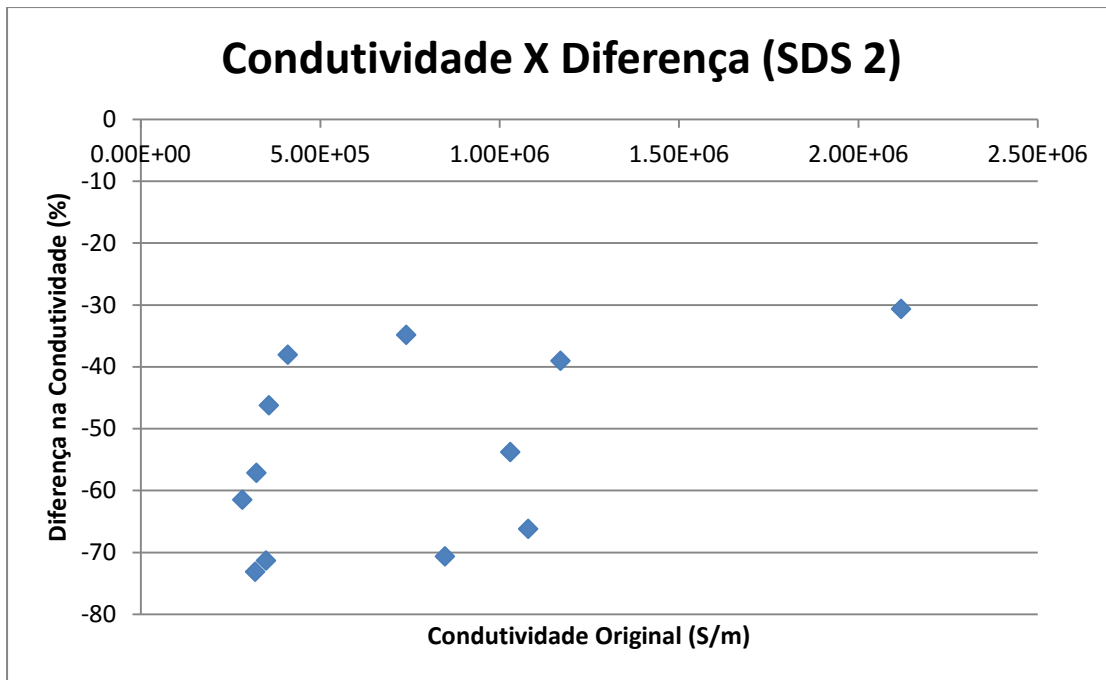
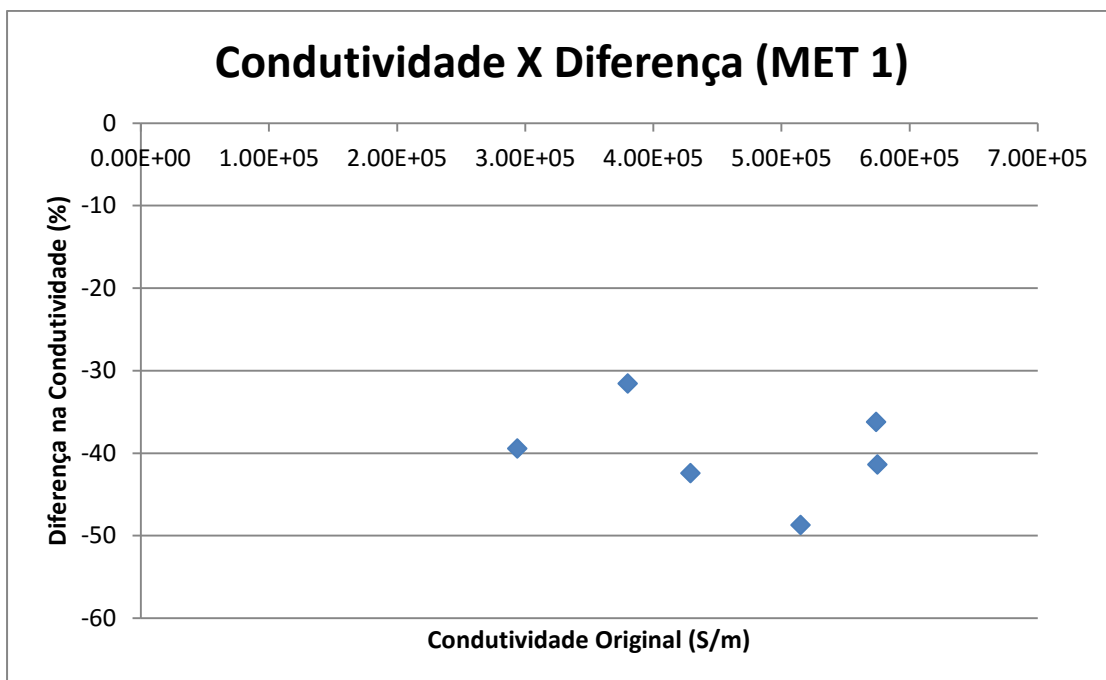
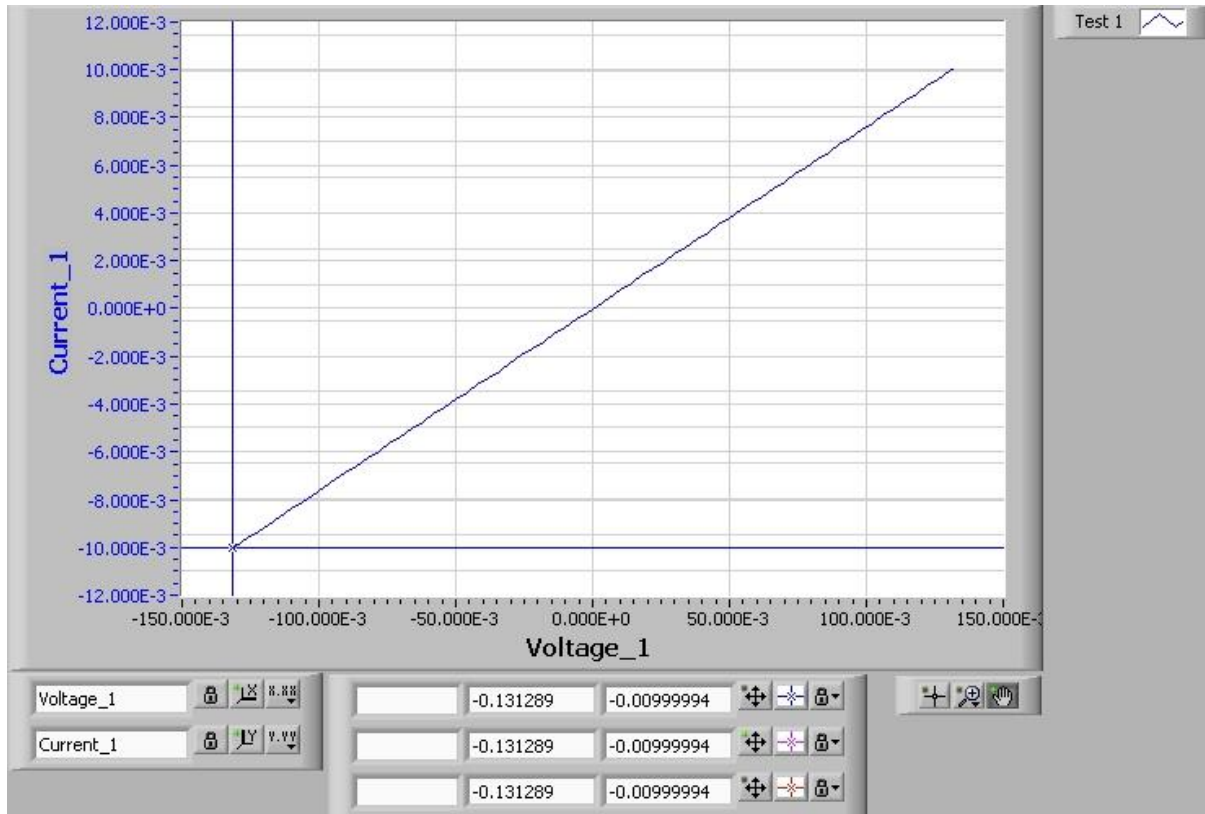


GRÁFICO 4.4 – Condutividade elétrica original *versus* diferença na condutividade elétrica (MET 1)



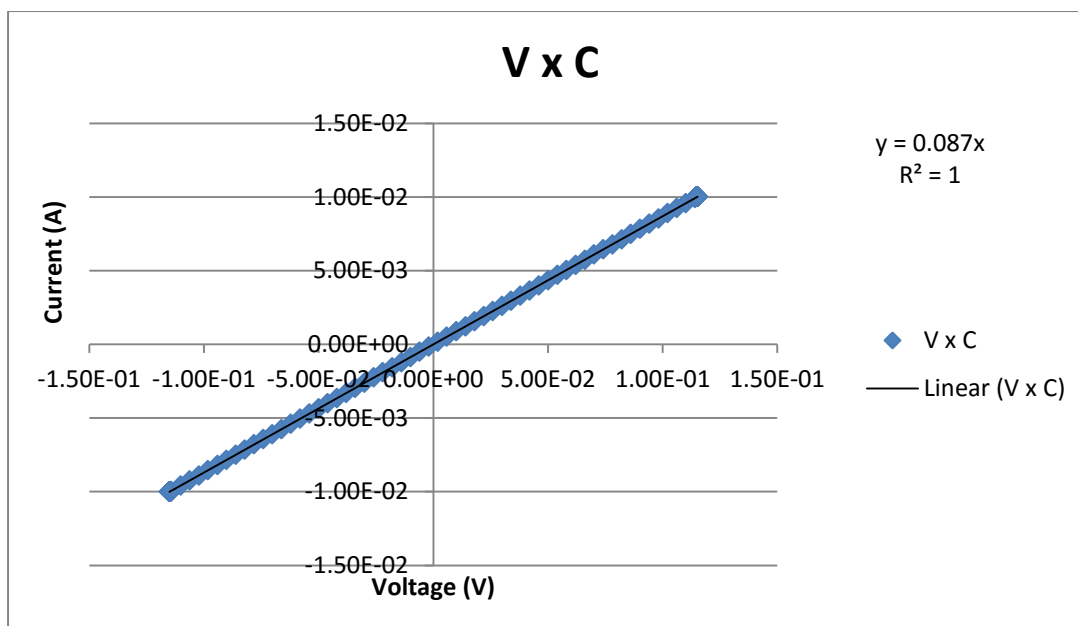
Os gráficos gerados pelo LabTracer 2.0 e o aparelho KERTHLEY 2400 – como sugere o item 3.2 da metodologia – foram todos parecidos com o aqui apresentado (tira A da amostra MET 1 antes de ser exposto à radiação).

Figura 4.1 – Corrente por voltagem de MET 1- A (gerado com LabTracer 2.0)



Este mesmo gráfico foi plotado em um editor de tabelas gerando:

Figura 4.2 – corrente por voltagem de MET 1 – A (gerado com Excell)



A inclinação do gráfico (0,087) é o valor da resistência da amostra (MET 1- A, não irradiada). Com suas medidas tomadas utilizando um paquímetro digital:

Tabela 4.3 – medidas da amostra MET 1- A, não irradiada

| MET 1-A | (m)     |
|---------|---------|
| Comp.   | 0.01127 |
| Larg.   | 0.00302 |
| Gross.  | 0.0001  |

A condutividade foi então calculada – como já mencionamos.

$$\sigma_{\text{MET 1-A}} = 4,29 * 10^5 \text{ S/m} \quad (\text{no exemplo exposto})$$

## 5 - DISCUSSÃO

Inicialmente tentamos fazer a medição da condutividade das amostras (item b da metodologia) usando as pontas do KERTHLEY 2400 diretamente em contato com o buckypaper. Porém o resultado do gráfico corrente por tensão se mostrou não-ôhmico. Isso indica um mau contato elétrico entre a ponta do aparelho e a amostra. Felizmente este problema foi facilmente resolvido ao utilizarmos o esmalte condutor de prata.

Os resultados exibidos nas tabelas 4.1 e 4.2 nos mostraram que em todos os casos a condutividade foi reduzida, o que nos permite afirmar com segurança que a exposição à radiação do tipo utilizada (Raios-X de 160 keV, e exposição maior que 2 Gy) prejudica a qualidade elétrica das amostras.

Nós variamos a quantidade de radiação à qual as amostras foram expostas, porém não é possível verificar nenhuma relação entre esta quantidade e a redução da condutividade da amostra (diferença em potencial exibida nas tabelas 4.1 e 4.2). Uma possível explicação seria que mesmo variando a quantidade de radiação, todas as variações que usamos foram de grande magnitude, sendo capaz de danificar as amostras a um ponto limite. Porém uma explicação para a existência de tal ponto limite não foi encontrada.

Podemos imaginar o buckypaper como um emaranhado de nanotubos de carbono. Então há pelo menos dois fatores decisivos ligados à condutividade macroscópica do material: a qualidade (condutividade) dos nanotubos que o compõem; e a qualidade da conexão entre os nanotubos.

Se pensarmos na radiação como uma fonte de energia para os átomos presentes nos nanotubos podemos visualizar a possibilidade dessa variação energética gerar uma variação estrutural e até melhorar (ou gerar) conexões entre nanotubos consecutivos. Desta maneira a exposição do material à radiação teria a capacidade de melhorar a conexão entre os nanotubos.

Mesmo com a possibilidade de a radiação ser benéfica à condutividade do material também devemos pensar na possibilidade da energia fornecida pela radiação ser suficiente para gerar defeitos nos nanotubos e até os partir. Desta maneira a exposição do material à radiação teria a capacidade de piorar a condutividade do material como um todo.

## 6 – CONCLUSÃO

Com este trabalho fomos capazes de produzir buckypaper partindo de nanotubos de carbono obtidos no mercado (em forma de pó), como explica detalhadamente a parte (a) da metodologia.

Chegamos à conclusão de que a exposição do buckypaper a Raios-X diminui a condutividade elétrica do material. Isto se deve ao fato da radiação ser capaz de danificar e até partir os nanotubos (de alta condutividade elétrica) que compõem a estrutura macroscópica. Isto se observa independente das expectativas de que a energia fornecida pelos fótons fosse capaz de melhorar a conexão entre dois nanotubos consecutivos na rede do buckypaper.

Vale chamar atenção ao evento observado de que a intensidade total da radiação não influencia (visivelmente) na perda de condutividade elétrica. Este evento sugere um ponto limite de dano causado ao buckypaper pelos Raios-X. Uma explicação para tal evento não foi encontrada.

## 7 - BIBLIOGRAFIA

- (1) ZHU, Y. et al. *Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications*. *Advanced Materials*, 22, p. 3906-3924, 2010.

- (2) SAITO, R.; DRESSELHAUS, G. et al. *Physical Properties of Carbon Nanotubes*. World Scientific, 1998.
- (3) DRESSELHAUS, M. S.; DRESSELHAUS, G.; SOUZA FILHO, A. G. et al. *Raman spectroscopy on isolated single wall carbon nanotubes*. CARBON, 40 (12), p. 2043 – 2061, 2002.
- (4) HEISTER, E.; JUREWICZ, I.; DALTON, A. B. et al. *Are carbon nanotubes a natural solution? Applications in biology and medicine*. ACS Applied Materials & Interfaces, 5 (6), 2013.
- (5) ENDO, M.; DRESSELHAUS, M. S. et al. *Nanotechnology: 'Buckypaper' from coaxial nanotubes*. Nature, 433 (476). 2005
- (6) MUNOZ, E.; DALTON, A. B. et al. *Highly conducting carbon nanotube/polyethyleneimine composite fibers*. Advanced Materials, v. 17, n. 8, p. 1064-1067, 2005
- (7) RASTOGI, R. et al. *Comparative study of carbon nanotube dispersion using surfactants*. Journal of Colloid and Interface Science, 328, p. 421-428, 2008.
- (8) ZHANG, J.; GAO, L. *Dispersion of multiwall carbon nanotubes by sodium dodecyl sulphate for preparation of modified electrodes toward detecting hydrogen peroxide*. Materials Letters, 61, p. 3571-3574, 2007.
- (9) Base de données Solaire Sol, BASS2000. *High resolution solar spectrum*. Disponível em [http://bass2000.obspm.fr/solar\\_spect.php?WL=670&DW=1000&sel\\_resol=1&Find.x=19&Find.y=5&Find=Find](http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php?WL=670&DW=1000&sel_resol=1&Find.x=19&Find.y=5&Find=Find)> Acesso em junho de 2015.
- (10) NASA's Space Radiation Analysis Group, Johnson Space Center. *What is Space Radiation*. Disponível em <http://srag-nt.jsc.nasa.gov/spaceradiation/what/what.cfm>> Acesso em Junho de 2015.
- (11) E Física, Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada. *Moderna: Raios-X*. Disponível em <http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>> Acesso em Junho de 2015.
- (12) CRESS, C. D. et al. *Radiation Effects in Single-Walled Carbon Nanotube Thin-Film-Transistors*. IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 57, n. 6, dez. 2010
- (13) AYALA, P.; SHIOZAWA, H. et al. *An X-ray absorption approach to mixed and metallicity-sorted single-walled carbon nanotubes*. J Mater Sci, 45, p. 5318-5322, 2010.
- (14) EINSTEIN, A. *On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light*. Annalen der Physik, 322 (6), p. 132-148. 1905

#### Imagens não originais:

- (a) Imagem disponível em <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/eds-wds-ebstd-sem-micro-xrf-and-sem-micro-ct/micro-ct-for-sem/applications/paper.html>> Acesso em Junho de 2015.



- (b) Imagem disponível em <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2009/JM/B914824H> Acesso em junho de 2015.
- (c) Imagem traduzida a partir da original disponível em [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/723/121/502/502121723\\_454.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/723/121/502/502121723_454.jpg) Acesso em junho de 2015.]
- (d) Fonte da imagem: esta pesquisa.