

CÉLULA ELETROLÍTICA NANOESTRUTURADA COM ELETRODO BASEADO EM BUCKYPAPERS

NANOSTRUCTURED ELECTROLYTIC CELL WITH ELECTRODE BASED ON
BUCKYPAPERS

Ciências Exatas e da Terra • 29/04/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/777388762](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/777388762)

Luis Eduardo de Sena dos Santos¹

Izaias Gonçalves Lima²

Marcos Allan Leite dos Reis³

RESUMO

O carbono é um dos elementos essenciais para a vida, o mesmo possui algumas formas alotrópicas. Neste trabalho, utilizaremos uma dessas formas que é o Nanotubo de Carbono (NTC), pois, o mesmo detém características como: transportar corrente elétrica com intensidade superior 100 vezes maior que do cobre, retardamento na corrosão nos pro-cessos eletrolíticos, dentre outros. Sendo assim, a aplicabilidade do NTC tem se tornado mais evidente na contemporaneidade através de dispositivos como: sensores, capacitores, baterias, assim por diante. Através de um polímero biodegradável conhecido como fécula que é extraído da mandioca somado a um auto poder de condutividade do Perclorato de Ion-Lítio (que formam o eletrólito. Em seguida, utilizou-se de Buckypapers (BP) baseados em filmes de NTC, como eletrodo. Desta maneira, formou-se uma pilha cujas dimensões são: 4 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro modelada a partir do programa de modelagem Cinema 4D versão R.14, onde utilizou-se a impressora 3D Anet A8 para a manufatura da estrutura da pilha, no qual o polímero ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) foi usado como invólucro da mesma.

Palavras-chave: palavras; Fécula mandioca; buckypaper; pilha.

ABSTRACT

Carbon is one of the essential elements for life, and it has some allotropic forms. In this work, we will use one of these forms that is the Carbon Nanotube (CNT), because it has characteristics such as: transport electric current with an intensity 100 times higher than copper, retardation in corrosion in electrolytic processes, among others. Thus, the applicability of the CNT has become more evident in the contemporary world through devices such as: sensors, capacitors, batteries, and so on. Through a biodegradable polymer known as starch that is extracted from cassava added to an auto

conductivity of the lithium Perchlorate (LiClO_4) that form the electrolyte. Then, it was used of Buckypapers (BP) based on CNT films, whose function is behaves like electrode. In this way, a stack was

formed whose dimensions were: 4 cm in length and 2 cm in diameter modeled from the modeling program Cinema 4D version R.14, where the 3D Anet A8 printer was used for the manufacture of the structure of the in which the ABS polymer (Acrylonitrile butadiene styrene) was used as a sheath of the same.

Keywords: cassava starch; Buckypapers; battery.

1. INTRODUÇÃO

O carbono é um dos elementos mais comuns da natureza, o mesmo possui algumas formas alotrópicas, dentre as quais: diamante, fulereno, grafite e nanotubo de carbono (NTC) [1]. No entanto, O ramo de estudos envolvendo NTC vem crescendo durante as décadas desde Iijima 1991, que foi o primeiro a sintetizar o DWCNT até os dias atuais [2], o mesmo pode assumir duas formas: Parede única ou simples (SWNT, do inglês single-wall nanotubes) que são constituídos por uma camada cilíndrica apenas de grafite e nanotubo de paredes múltiplas (MWNT do inglês multi-walls nanotubes), que por sua vez é constituído por inúmeras paredes cilíndricas de grafeno [2]. Desta forma, os NTCS possuem propriedades de grande relevância para comunidade científica, como: grande resistência mecânica, alta condutividade de portadores de carga, condução de calor maneira eficaz, dentre outros [3].

Sendo assim, cresce os ramos de aplicabilidade NTC, como exemplo: na construção civil o mesmo pode ser 100 vezes mais resistente que

o aço, pode ser utilizado em processos de conservação, possuindo maior eficiência do que as células fotovoltaicas [4], como também em baterias nanoestruturadas devido a sua alta condutividade elétrica e um período maior para oxidar [5]. Na indústria atual aumenta-se rotineiramente a utilização de filmes de cor preta, que possuem a partir 40 micrômetros de espessura, devido a sua capacidade flexível e dobrável, além de contar com propriedades intrínsecas dos NTCs, os mesmos são denominados de buckypapers [6].

Então, caracterizando uma bateria nanoestruturada são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica, liberadas a partir de um processo de oxi-redução. Partindo desse pressuposto, cresce a utilização de NTCS principalmente de paredes múltiplas-MWNT em dispositivos que tem em sua configuração matrizes poliméricas, junção de ambos torna-se o nível de percolação relativamente baixo, com aumento da resistência mecânica, aumento da condutividade, como também a melhorar das propriedades térmicas [7].

A partir dessas características mencionadas, a utilização eletrólitos sólidos vem ganhando importância para a fabricação de dispositivos como: baterias, sensores, janelas eletrocromicas, dentre outros. Os eletrólitos sólidos poliméricos são sais dissolvidos em uma matriz (no caso polimérico), por sua vez deve possuir algumas características dentre as quais: caráter amorfo, capacidade de solvatar íons, baixa temperatura de transição vítrea, estabilidade eletroquímica e possibilidade de formar filmes finos [8]. Em suma, tais processos supramencionados são intrínsecos para um bom desempenho de um dispositivo eletrocromico, onde mesmo

possua eletrólitos sólidos poliméricos e eletrodo constituído de elemento orgânico.

O desenvolvimento de baterias nanoestruturadas que despontam como dispositivos de conversão e armazenamento de energia que substituirão as baterias eletrolíticas convencionais. Entretanto, alguns desafios desta tecnologia devem ser superados, como por exemplo: modificação morfológica dos nanomateriais, formação de uma fase isolante sobre os eletrodos e diminuir a resistência elétrica. Nesse sentido, eletrodos baseados em BPs podem aumentar a estabilidade física e química dos eletrodos e evitar modificações induzidas pelo campo elétrico no ciclo de carga/descarga, enquanto que uma nova arquitetura possibilitará melhorar o contato entre eletrodo e eletrólito e facilitar a troca iônica [9].

2. BUCKYPAPERS

Desde a descoberta dos NTCs por Iijima 1991, bem como as propriedades inerentes ao mesmo, os cientistas buscam uma forma para que essas propriedades possam estar presentes na forma macroscópica, haja vista, essa é uma das principais dificuldades quando se trabalhar com NTCs [10]. Sendo assim, No ano 2000 o químico Richard Smalley ganhador do Prêmio Nobel, elaborou filmes, no qual denominou de Buckypapers (BPs). Desta maneira, para conceituarmos BPs são filmes constituídos por um arranjo macroscópico de aglomerados de NTCs ou nanocompósitos (baseados em NTCs) sobre uma superfície polimérica ou celulósica, onde esses Buckypapers se mantêm alinhados através de fortes ligações de Van der Waals existentes no mesmo. É pertinente salientar, a aplicabilidade do BPs em diversas áreas, dentre as quais: compósitos, sensores, têxtil avançados, dentre outros. A figura 1

demonstra a formação de Buckypaper a partir SWCNT em vários diâmetros.

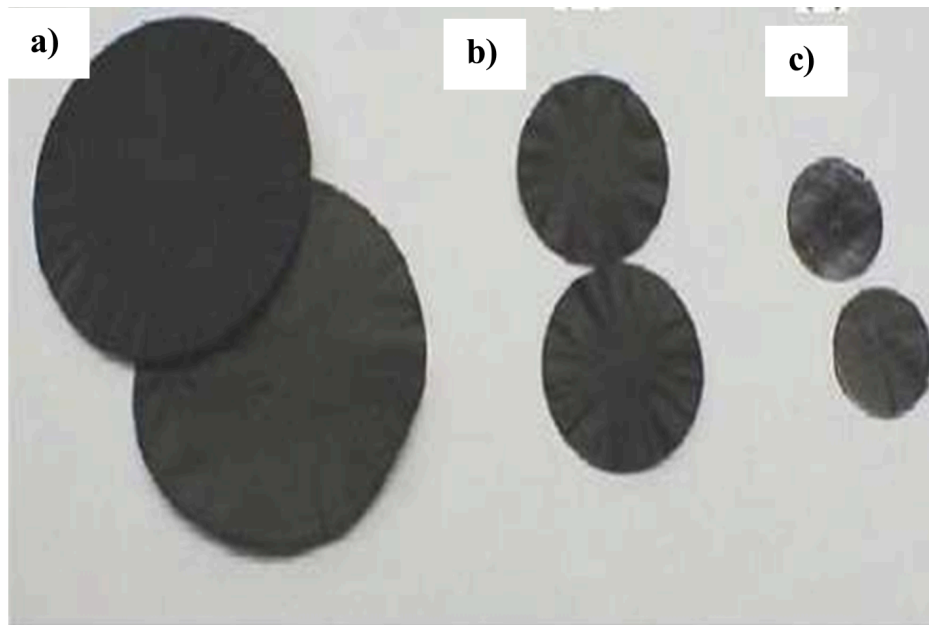


Figura 1: formação de BPs a partir de SWCNT em vários diâmetros. a) 90 mm; b) 47mm; c) 25mm.

Consequente, elencou-se os métodos de produção dos Buckypapers que são: filtração a vácuo, domino empurrado (do inglês: Domino pushing), compressão por frita (do inglês: Frit compressing) e alinhamento magnético. Porém, o método mais utilizado é o de filtração a vácuo. Sendo assim, o método de filtração a vácuo se utiliza da dispersão NTC sobre um substrato através do aparelho de filtração a vácuo, a mesma é solubilizada previamente em um banho ultrassônico, com objetivo de fazer a dispersão dos NTCs, sobre o elemento que faz o filtro, esse método permite aos usuários controlar a homogeneidade do filme, bem como controlar a espessura do filme pelo tempo de filtração [11].

2.1. Eletrólitos Sólidos Poliméricos (ESP)

Uma das principais buscas da sociedade científica atual estar relacionada à estocagem, obtenção e distribuição de energia. Desta maneira, a utilização de polímeros não se restringe apenas a

materiais isolantes como em sua descoberta no século XX, porém, com o avanço dos estudos na área percebeu-se o caráter condutor, os ESPs são provas fidedignas desta característica intrínseca dos polímeros, haja vista, sua utilização tem contemplado dispositivos como: sensores, capacitores, baterias, janela eletrocromicas, dentre outros. Vale à pena salientar, que a condutividade está geralmente relacionada a elementos líquidos, porém, tem crescido aplicabilidade neste viés em estado sólido em formas como: géis, cerâmica ou polímeros [12].

Sendo assim, para conceituarmos os ESPs, consiste em um sal iônico adicionado sobre uma superfície polimérica, formando uma solução sólida iônica condutora. No entanto, para que haja a aplicabilidade do polímero o mesmo necessitar: caráter amorfo, baixa temperatura de transição vítrea, capacidade de solvatar íons, estabilidade eletroquímica e dimensional, resistência mecânica e possibilidade de formação de filmes [13].

A busca por novos materiais é algo de grande valia para os cientistas, no entanto essas buscas devem satisfazer alguns critérios como: baixo custo, fácil localização na natureza e biodegradável. Sendo assim, fontes naturais destacam-se, entre elas estão: quitosana, celulose e fécula. Desta maneira, ressaltaremos a aplicabilidade da fécula, onde o mesmo possui uma vasta aplicabilidade tanto na esfera industrial como nutricional [14].

A fécula está distribuído amplamente entre os vegetais onde 60 por cento de cereais, 30 por cento a 50 por cento dos legumes e 40 por cento a 70 por cento das frutas, estruturalmente a fécula do amido é um homopolissacarídeo constituído por cadeias de amilose e amilopectina, onde a amilose é constituída por unidades de glicose

unidas por ligações glicosídicas, no que origina uma cadeia linear, enquanto amilopectina constituem unidade de glicose, no entanto formam uma cadeia ramificada.

Sendo assim, a fécula da mandioca tem se tornado uma substância de importância ímpar na constituição dos ESPs, pois, a sua fonte natural torna-se bastante atrativa para o ramo científico, como já foi mencionado o mesmo tem sido utilizado na constituição de eletrólitos sólidos poliméricos em três formas como: Fécula acetilado, fécula oxidado acetilado e fécula nativo, o processo relacionado aos mesmos advém: esterificação com anidrio acético ou acetato de vinila, pelo tratamento hipoclorito de sódio, posteriormente esterificado com anidrio acético, extração de uma fonte natural, respectivamente. Para a utilização nos ESPs é necessário à utilização de um plastificante, onde pode ser utilizado água, glicerol e etilenoglicol, a utilização de um plastificante gerar a formação de filmes com propriedades mecânicas satisfatórias [15].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Preparação dos Filmes da Fécula da Mandioca

Preliminarmente, com o auxílio de uma placa de Petre, realizamos a pesagem de 6 g de fécula na balança de precisão SP100, em seguida, utilizando-se de um Becker de 200 ml, onde colocamos 50 ml de álcool 99,8 por cento de pureza, por 15 minutos, junto a fécula da mandioca, para realizarmos o processo de lavagem do mesmo. Logo depois, fizemos uma secagem a vácuo por 20 minutos, subsequentemente levamos à estufa, onde a mesma estava à 100 °C, estando assim por 24 horas. Logo após, realizamos um banho termostático no amido a 100 °C na aquecedora L100 por 20 minutos,

após levamos ao ultrassom por 20 minutos, o banho termostático faz o processo de gelatinização, enquanto o processo de ultrassom tira os excessos das bolas intrínsecas da substância. Posteriormente, adicionamos 2 ml de glicerina que é um plastificante na solução e levamos à estufa em uma forma de silicone, onde a estufa se encontra a 40 °C, estando assim por 48 horas como mostra a figura 2.



Figura 2: Processo de preparação dos filmes de amido.

3.2. Modelagem da Pilha e Impressão na Impressora 3D

Para obtenção de uma pilha, Utilizou-se o programa de modelagem cinema 4D versão R14, o mesmo não possui o código fonte aberto. Desta forma, utilizamos figuras: esféricas, cilíndricas, planas, dentre outras. Também, utilizamos ferramentas de: corte, junção, segmentação, dentre outras. As peças foram denominados macho e fêmea, onde à peça fêmea possui duas partes, no qual intitulamos: encaixe superior e encaixe inferior, na figura 3 mostra-nos o desenvolvimento das peças no programa cinema 4D. Logo após, a modelagem, operamos com o Programa Cura na versão 2.4, onde o mesmo é um software de extrusão, no qual atribuímos valores para

grandezas como: altura, espessura e diâmetro. Como também, orientação dos filamentos poliméricos e tempo de impressão. Subsequentemente, a peça foi impressa na impressora 3D modelo Anet A8, onde se levou 3 horas aproximadamente para impressão da mesma, a figura 4 mostra uma das etapas da obtenção da peça na impressora 3D, assim como a figura 5 apresenta a pilha e seus componentes já impressos.



Figura 3: Preparação das peças: macho e fêmea de encaixe inferior e superior.

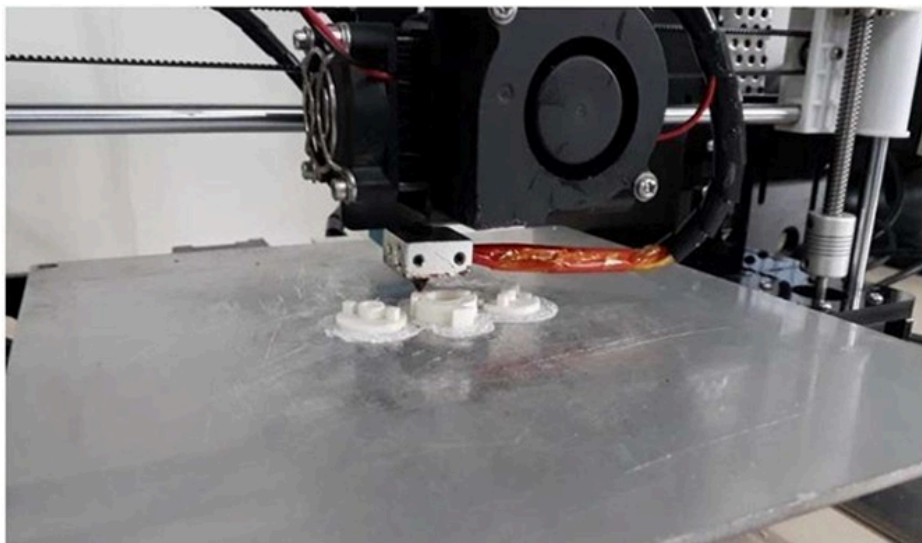


Figura 4: Processo de impressão da pilha em impressora 3D



Figura 5: Involucro da célula eletrolítica em forma final.

3.3. Produção de Buckypaper (BP)

Em um Becker de 50 ml foi depositado 30 mg de nanotubos funcionalizados com ácido carboxílico, sub-sequentemente, adicionamos 30 ml de Álcool Isopropílico, e por meio de banho ultrassônico em uma lavadora ultrassônica Schuster modelo L100 por 60 minutos, deixando uniforme e dispersar minha amostra. Em seguida, a solução foi depositada sobre papel filtro qualitativo de diâmetro (gramatura: 80 g/m²; espessura nominal: 205 μm; Porosidade: 14 μm; diâmetro: 12,5 cm) por meio da técnica de filtração a vácuo. O papel foi colocado num funil Buchner fixado a um Kitasato (500 ml) conectado à bomba de vácuo (vácuo nominal de 2x10⁻² mmHg e potência: 1/3 HP). O filme resultante foi levado à estufa a 100 °C para secagem do solvente. A figura 6 demonstra o processo de produção de buckypapers.

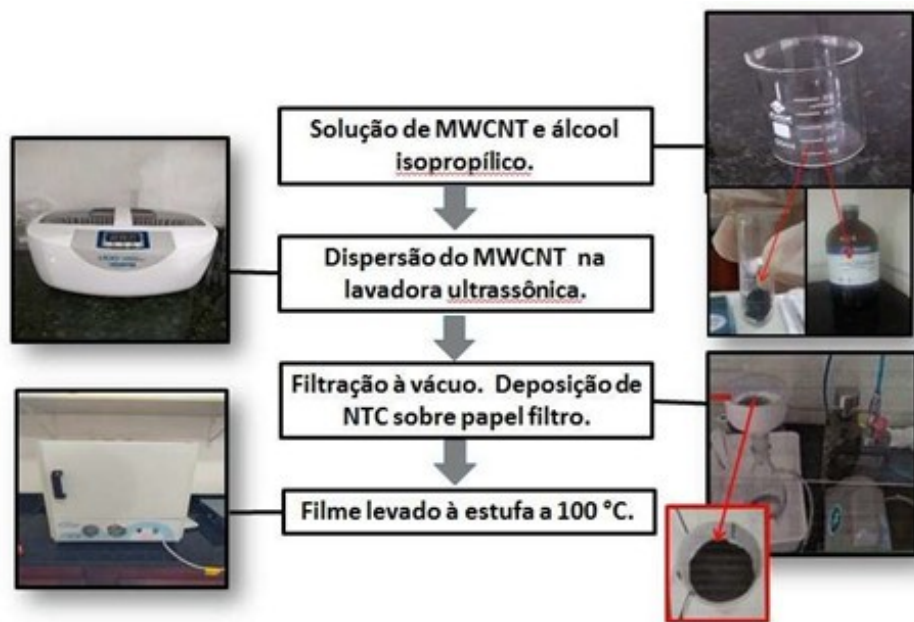


Figura 6: Produção de buckypaper.

3.4. Caracterização Elétrica

Inicialmente, utilizou-se de uma fonte de tensão, no qual foi colocada em paralelo com a nossa célula eletrolítica, onde utilizamos de um multímetro digital modelo ET-2232 e o mesmo estava conectado a um notebook para gravar as informações mensuradas, para aferir as respectivas tensões em diferenças de tempo 1s por uma hora, as tensões na fonte eram: 0,1 V; 0,2 V; 0,3 V; 0,5 V; 0,6 V; 0,7 V; 0,8 V; 1 V e 1,5 V. Em seguida colocando a fonte de tensão em série com célula fotovoltaica aferimos a corrente, usando-se da mesmas voltagens supramencionadas. Desta maneira, passando-se 1 hora aumentava-se a tensão na fonte para a próxima voltagem como descrita anteriormente, buscávamos encontrar a tensão máxima suportável na célula, bem como o tempo de descarga. A figura 7 demonstra o circuito Aberto para o cálculo da tensão, enquanto a figura 8 demonstra o circuito em série para aferição da corrente.



Figura 7: Circuito montado para aferição da tensão de circuito aberto.

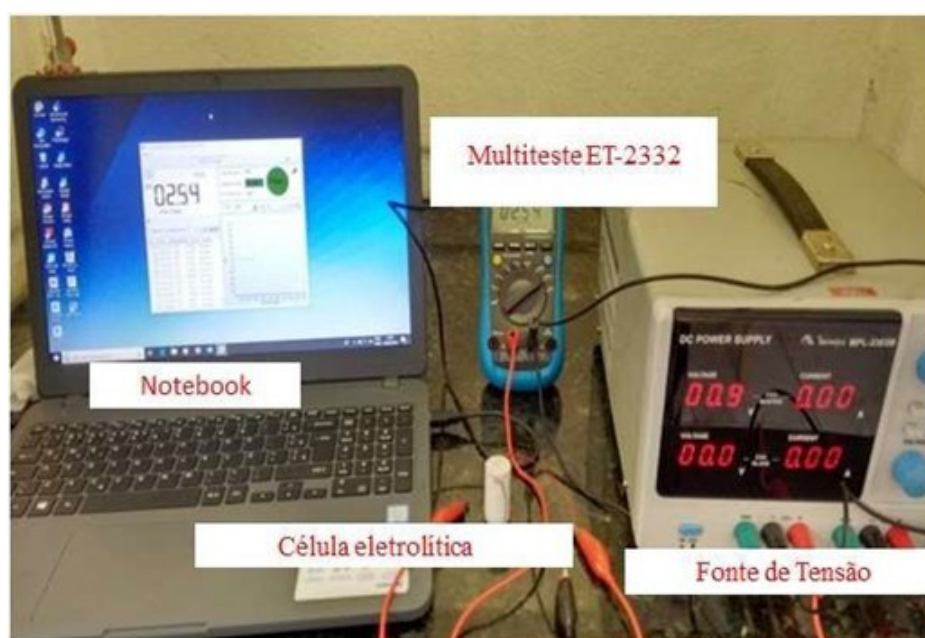


Figura 8: circuito montado para aferição da corrente de curto-circuito.

3.5. Tensão em circuito fechado

Primitivamente, utilizamos de uma fonte de tensão com uma voltagem fixa de 1,4 V, no qual foi colocada em paralelo com a célula eletroquímica e a mesma estava em paralelo com um resistor $39 \pm 0,41 \Omega$, como especificado na figura 9. Desta maneira, colocamos entre os polos da pilha para aferir a voltagem do circuito durante 53 minutos com variações 1s o multiteste ET-2332, conectados ao

notebook, haja vista, através do processo anterior, descobriu-se o tempo de carregamento da célula, após o carregamento da pilha realizamos o processo de descarga durante um período entre 6 min a 10 min. A figura 10 demonstra o circuito fechado.



Figura 9: Multitest ET 2232 com o resistor de 39 Ω .



Figura 10: Multitest ET 2232 com o resistor de 39 Ω .

4. RESULTADOS

Ao dar início ao processo de medições em circuito aberto, mediu-se a tensão residual em no dispositivo, com intuito de verificar o quanto de carga possui o mesmo apenas com os elementos de sua formação. Logo, aferiu-se o resultado de $51,7 \pm 0,41 \text{ mV}$. Sendo assim, entende-se que apesar de não haver nenhuma tensão inserida na célula a mesma já tinha uma voltagem intrínseca.

Em seguida, realizou-se 18 medições no circuito aberto, sendo que 9 eram para carga e as outras nove eram para descarga, haja vista, que a fonte de tensão foi graduada nas voltagens: 0,1 V; 0,2 V; 0,3V; 0,5 V; 0,6 V; 0,7 V; 0,8 V; 1 V e 1,5 V. Desta forma, à medida que se aumentou a voltagem se percebeu maiores variações na célula eletrolítica, isto se dá, devido à constituição dos eletrodos, pois, são formados de um mesmo material BPs baseados em MWNT, bem como a constituição do eletrólito formado a partir de um material biodegradável (Fécula da mandioca) é perclorato de lítio $LiClO_4$, ou seja, a tensão gerada entre os eletrodos dependerá da difusão iônica dentro do eletrólito apesar de no processo de carga a fonte de tensão possuir polos negativos e positivos, logo o Lítio (Li) carregado positivamente foi atraído pelo polo negativo, enquanto o CO_4 carregado negativamente vai ser atraído pelo polo positivo.

Então, essa variação de carga acontecesse devido a essa movimentação de elétrons existentes no material, bem como o armazenamento de carga característico de uma pilha. A figura 11 mostra-nos as tensões da carga aplicadas na célula eletrolítica

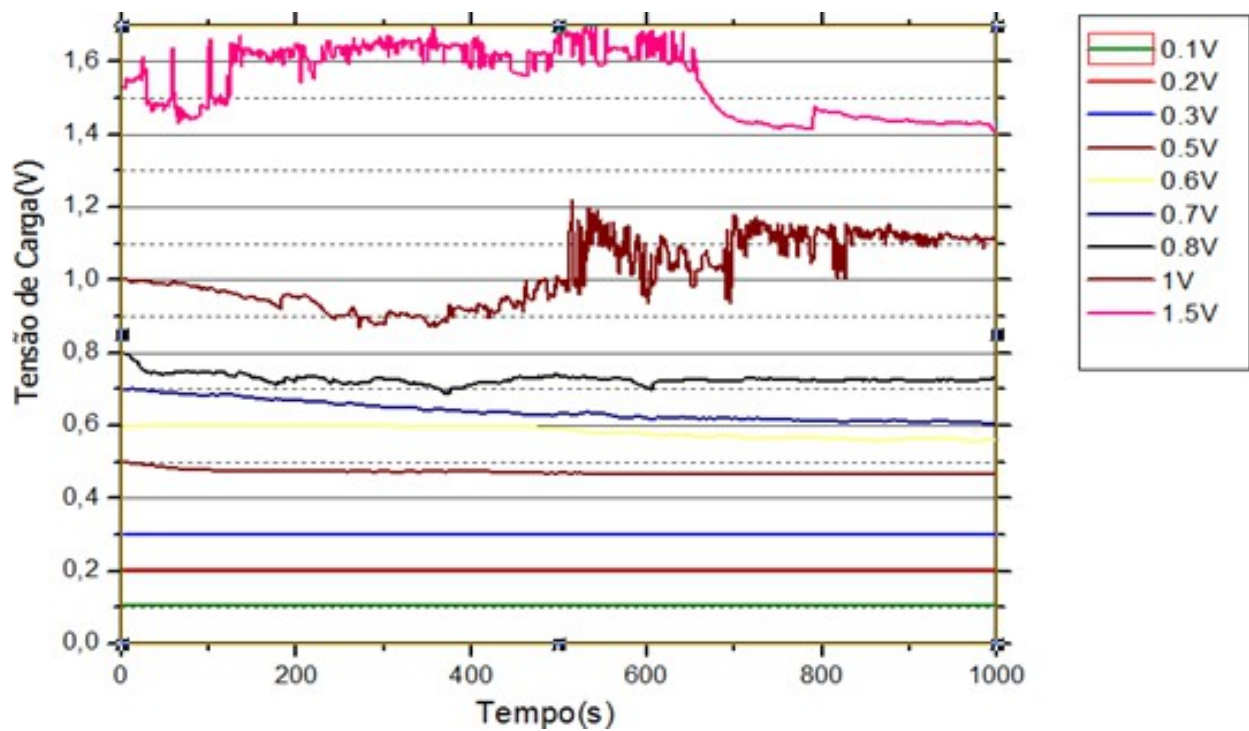


Figura 11: Tensões da carga aplicadas na célula eletrolítica.

Em seguida, realizou-se 9 aferições no processo de descarga nas respectivas tensões supramencionadas, com intuito de conhecer o máximo de tensão suportável internamente dentro da célula eletrolítica. Desta forma, com a construção do gráfico, percebemos através das suas curvas características que o dispositivo comporta-se como célula eletrolítica (pilha), bem como quando a fonte de tensão foi graduada em 0,5 V obteve a melhor tensão em circuito aberto de $0,35 \pm 0,003V$. A figura 12 demonstra a construção do gráfico para 9 voltagens diferentes, bem como o comportamento de bateria através de suas curvas características

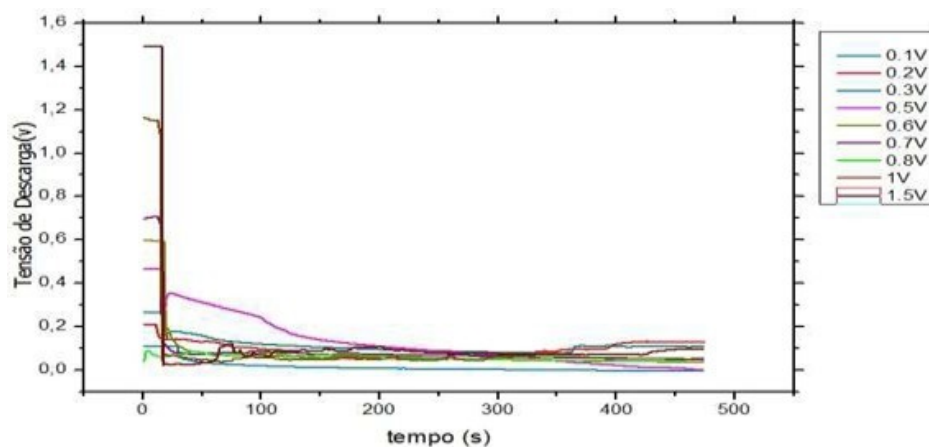


Figura 12: Tensões de descarga aplicadas na célula eletrolítica.

Subsequentemente, construiu-se um gráfico com as quatro melhores tensões em circuito aberto para analisarmos as suas melhores tensões, como é mostrada na figura 13.

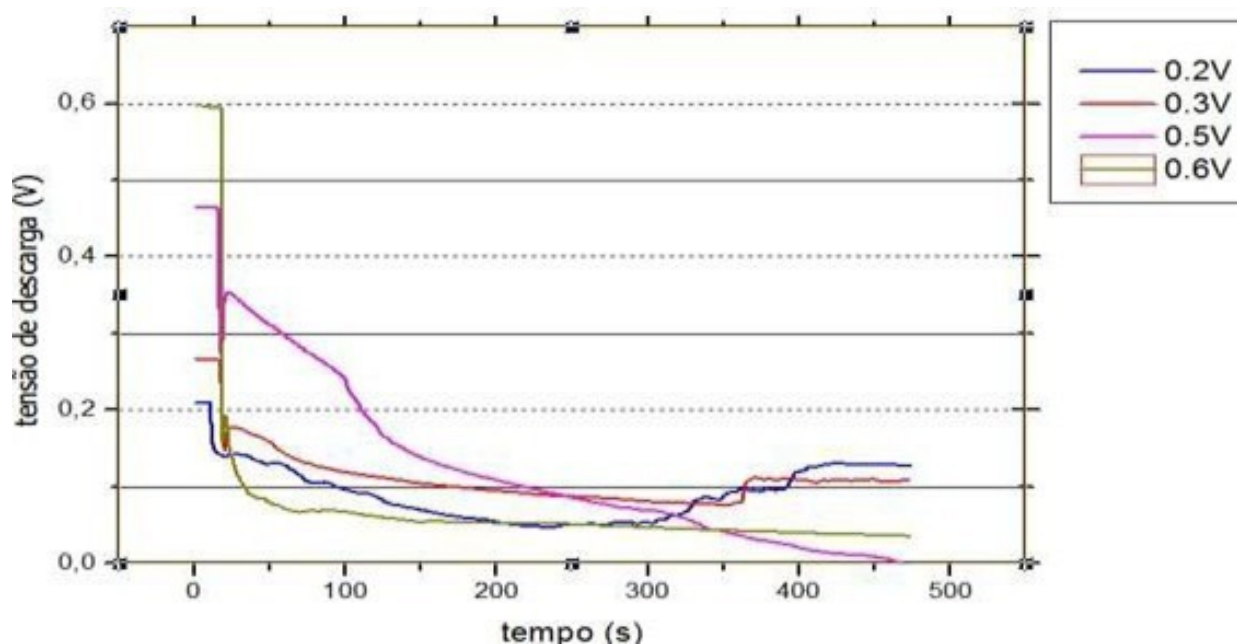


Figura 13: Gráfico tensão X tempo com as melhores tensões em circuito aberto.

Logo depois, foi construído o gráfico de melhor tensão de circuito aberto, no qual a fonte estava graduada em 0,5 V, como mencionado anteriormente e comparamos com a curva característica de uma bateria convencional, como mostra a figura 14. Então, percebeu-se através das curvas características de nosso dispositivo o comportamento de uma bateria. Logo após, na figura 15 é demonstrado o gráfico Tensão X tempo, onde dar-se o início da tensão da fonte até o transiente de tensão, que é um surto de energia ocorrido em um breve intervalo de tempo, onde se percebeu a tensão em circuito aberto (V_{oc}) ficar constante por um breve período e decair sequencialmente

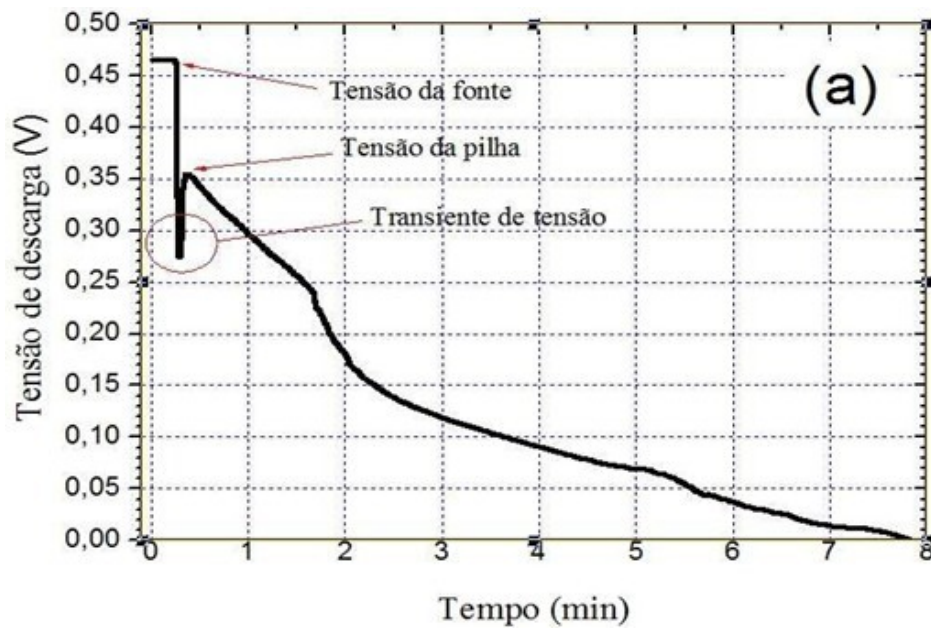


Figura 14: Gráfico tensão x tempo descarga.

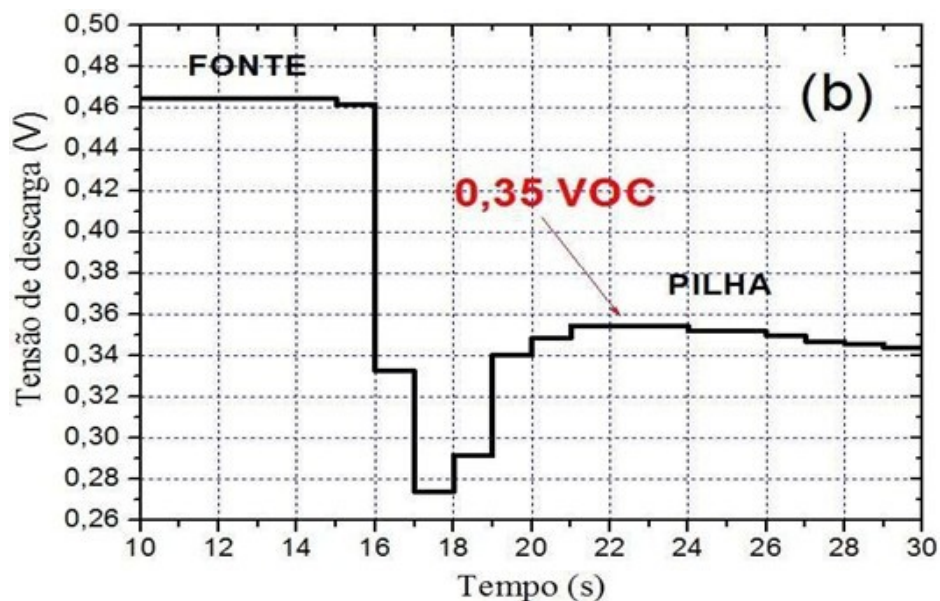


Figura 15: Gráfico tensão x tempo da tensão da fonte ao transiente de tensão.

Em seguida, colocou-se a célula eletrolítica em série com a fonte é o multímetro ET- 2232, para que pudéssemos encontrar a corrente de curto circuito ou corrente máxima da pilha (I_{CC}), através da construção gráfica, podemos obter $0,11 \pm 0,0014$ mV, como também o tempo para descarregar da célula eletrolítica que é aproximadamente 6 min, como mostra a figura 16.

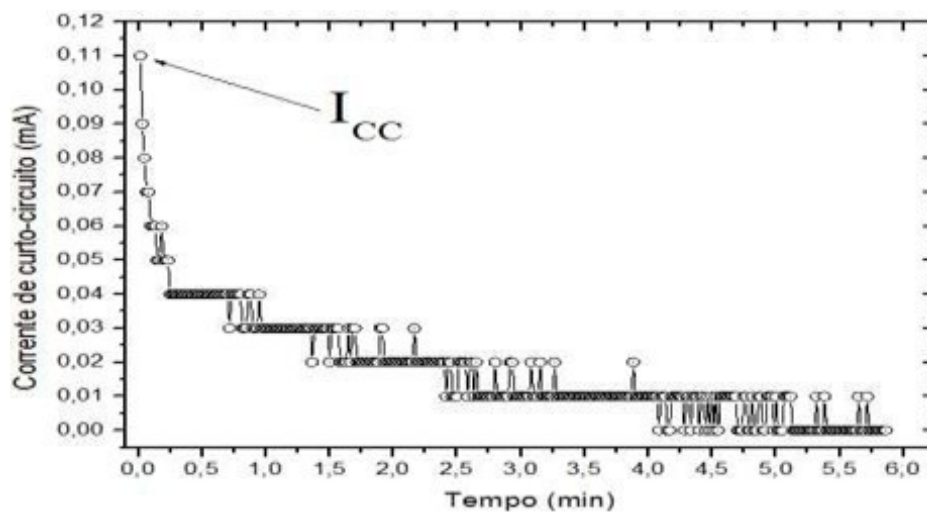


Figura 16: Circuito Aberto corrente X tempo, corrente de curto circuito e tempo de descarga.

Conseqüentemente, através da tensão de carga em circuito aberto de 0,35V, bem como a corrente de curto circuito 0,11 mA e utilizando-se da 1ª Lei de Ohm pode-se encontrar a resistência interna de nosso dispositivo.

Inicialmente, montamos um circuito fechado colocando a célula eletrolítica em paralelo com a fonte, com isso, realizamos um ciclo de carga e descarga no capacitor, aproveitando-se das informações já conhecidas como o tempo de carga 53 minutos, como também o tempo para descarregar 6 minutos aproximadamente e através do gráfico construindo, percebeu-se que o dispositivo supramencionado consegue carregar-se, como também descarregar-se. A figura 17 demonstrar o gráfico carga e descarga em circuito fechado tempo (min) X tensão (V), enquanto a figura 18 traz o gráfico carga e descarga em circuito fechado tensão versus tempo (V x t).

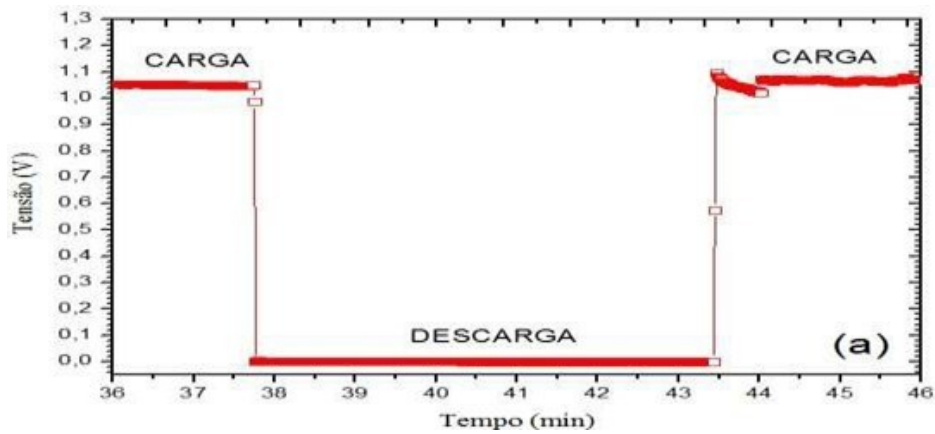


Figura 17: Circuito fechado carga e descarga tempo (min) X tensão (V).

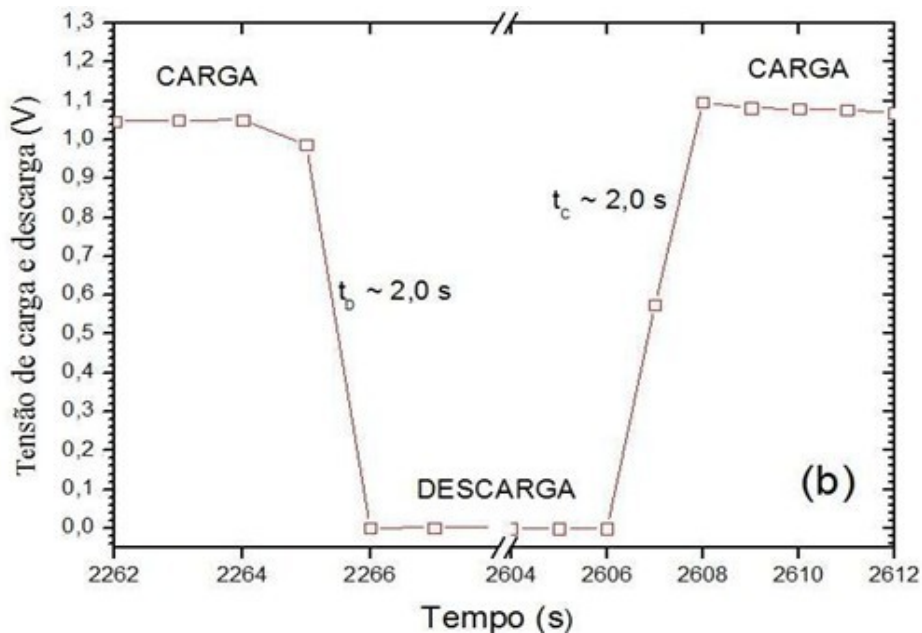


Figura 18: circuito fechado carga e descarga tensão (V) X tempo (s).

Analisando o circuito fechado, somaram-se as resistências interna do dispositivo, bem como do resistor de 39Ω , no qual chegamos ao seguinte resultado de $3,2 \times 10^3 \pm 0,415 \Omega$, um valor 100000 aproximadamente maior em relação às células eletrolíticas convencionais.

Em seguida, ao analisarmos o gráfico 18, percebeuse um comportamento similar entre os fluxos de carga e descarga, bem como a simetria no tempo de descarga em relação ao tempo de restituição de carga, isto pode ser explicado devido à movimentação de elétrons existentes no dispositivo, pois, os mesmos não têm polos

fixos, sendo definidos os polos a partir do momento da carga, acontecendo dessa maneira um fluxo constante de elétrons.

Através do programa de simulação livewire e das equações de associações de geradores e a primeira lei de Ohm, conseguimos montar um sistema de células eletrolíticas, sendo que estavam duas sessões de 35 pilhas de 0,35 V, 0,11 mA e 3,18 K Ω em série conectadas entre si em paralelo, como representado pela figura 19. Com isso, aferimos a resistência equivalente (R_{eq}) nesse circuito chegou-se ao valor de 55,65 K Ω , encontramos a corrente total do circuito (I_t) de 0,22 mA e a tensão gerada por esse circuito

12.24 V. A figura 20 mostra a associação de pilhas eletrolíticas formando uma bateria cuja especificação elétrica é mostrada na figura 19

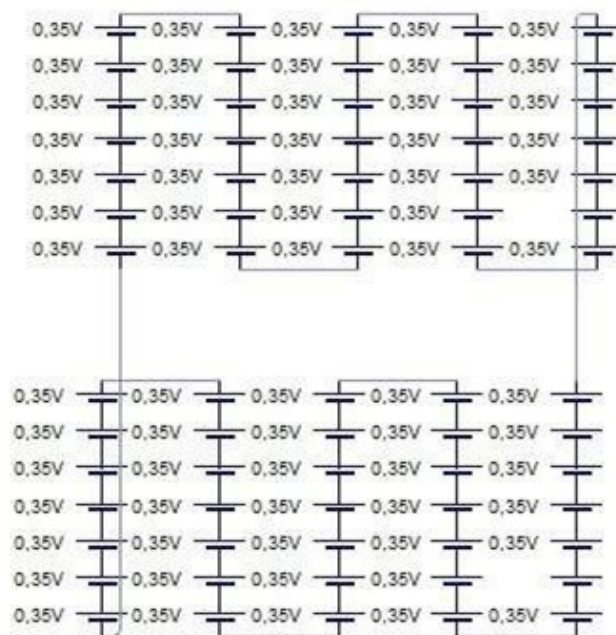


Figura 19: Circuito com células eletrolíticas com 0,35 V com duas sessões de 48 em série ambas conectadas em paralelo.

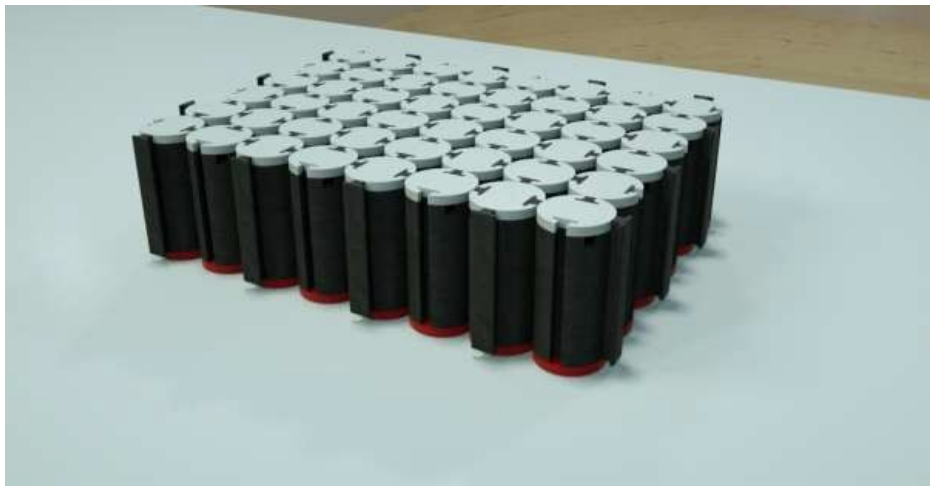


Figura 20: junção de 35 pilhas com suporte em "T", formando uma bateria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante disso, trabalhou-se o processo de modelação das peças de nossas pilhas, através do programa cinema 4D versão R.14, como também, a sua respectiva impressão através do programa de extrusão cura na versão 2.4. Subsequentemente, iniciamos o processo experimental de formação de nossos respectivos eletrodos, onde alguns métodos dentre os quais: solubilização em fase sólida, solubilização em fase líquida, produção de buckypapers (BP), foram utilizados e aferidos as suas respectivas resistências. Em seguida, realizamos o processo de formação do eletrólito como: preparação da fécula, como também o processo de solução com o perclorato de lítio, subsequentemente inseriu-se dentro da pilha, logo após, começamos os processos de medidas através do multiteste ET-2232, como também a construção dos gráficos e obtenção de resultados. Desta forma, conseguimos obtenção de resultados satisfatórios como: comportamento de bateria de nossa célula através de suas curvas características, a mesma consegue carregar-se e descarregar-se, possuindo uma voltagem 0,35 V e uma corrente 0,11 mA. No entanto, temos alguns objetivos futuros diminuir a resistência, pois, encontra-se muita alta em relação a uma convencional e melhorar o processo de ligação entre as células eletrolíticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jorge Fonseca Trindade. “Nanotubos de carbono: Propriedades e funcionalização”. Em: (2011). issn: 1646-8848. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10314/3379>.
2. Marcel Silva Marchesin e José Maurício Rosolen. “Desenvolvimento de eletrodos baseados em na-notubos de carbono suportado em feltro de carbono para aplicação em capacitores eletroquímicos”. Em: (2009). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001787400>.
3. Yuri de Oliveira Lima, Jamerson Alves da Silva e Givanildo Santos da Silva. “Potencial dos na-notubos de carbono no setor da construção civil”. Em: *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS* 1 (2017), pp. 211–211. issn: 2316-3135. Disponível em: <https://periodicos.grupotiradentes.com/cdgexatas/article/view/4402>.
4. Viviane Eloise Tavares. “Aplicação da nanotecnologia na construção civil: uma visão geral de suas aplicações, os nanotubos de carbono e as novas tecnologias em estudo”. Em: (2014). Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/BUOS-9NRG4F>.
5. Dalva Alves de Lima Almeida. “Estudo de compósitos de nanotubos de carbono, fibras de carbono e polianilina como eletrodos em dispositivos de conversão e armazenamento de energia”. Em: (2013). Disponível em: <https://scholar.google.com/>.

6. Glenda Ribeiro de Barros Silveira Lacerda et al. “Estudo eletroquímico de filmes finos de híbridos de polímeros conjugados e nanotubos de carbono para aplicação em dispositivos de armazenamento de energia”. Em: (2020). Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/33977>.
7. Joao Paulo Campos Trigueiro. “Desenvolvimento de supercapacitores de alto desempenho baseados em eletrodos nanoestruturados e eletrólitos de líquidos iônicos”. Em: (2014). Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/SFSA-9TVPU3>.
8. Ellen Raphael. “Eletrólitos sólidos poliméricos a base de amidos de mandioca: nativo, acetilado e oxidado-acetilado”. Tese de dout. Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <https://scholar.google.com/>.
9. Além-Mar Bernardes Gonçalves. “Síntese de nanofios de Óxido de Cobre (CuO) e fabricação de nanodispositivos”. Em: (2008). Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/IACO-7LPS8Y>.
10. Sheng Wang. “Characterization and analysis of electrical conductivity properties of nanotube com-posites”. Em: (2005). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-02874-3_4. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-02874-3_4.
11. Kallista Sears et al. “Focused ion beam milling of carbon nanotube Yarns and Bucky-papers: corre-lating their internal structure with their macro-properties”. Em: *Fib nanostructures*. Springer, 2013, pp. 63–93. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-02874-3_4. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-02874-3_4.

12. Cristiane Casagrande Denardin e Leila Picolli da Silva. “Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas”. Em: *Ciência Rural* 39 (2009), pp. 945–954. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FSP37sVnbZjVK9zLLSSsX5h?format=html&lang=pt>.
13. Glauco MMM Lustosa, Isabela A de Souza e Talita Mazon. “SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS BASEADOS EM ESTRUTURAS DE CARBONO COM METAIS PARA APLICAÇÃO EM CAPACITORES”. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Glauco+MMM+Lustosa%2C+Isabela+A+de+Souza+e+Talita+Mazon.+%E2%80%9C%28SÍNTESE+E+CARACTERIZA%C3%87%C3%83O+DE+NOVOS+MATERIAIS+BASEADOS+EM+ESTRUTURAS+DE+CARBONO+COM+METAIS+PARA+APLICA%C3%87%C3%83O+EM+CAPACITORES%E2%80%9D.+Em%3A+\(\).&btnG](https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Glauco+MMM+Lustosa%2C+Isabela+A+de+Souza+e+Talita+Mazon.+%E2%80%9C%28SÍNTESE+E+CARACTERIZA%C3%87%C3%83O+DE+NOVOS+MATERIAIS+BASEADOS+EM+ESTRUTURAS+DE+CARBONO+COM+METAIS+PARA+APLICA%C3%87%C3%83O+EM+CAPACITORES%E2%80%9D.+Em%3A+().&btnG).
14. Gustavo A Rivas et al. “Carbon nanotubes for electrochemical biosensing”. Em: *Talanta* 74.3 (2007), pp. 291–307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.10.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914007006832>.
15. Melissa Walter, Leila Picolli da Silva e Tatiana Emanuelli. “Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação”. Em: *Ciência rural* 35 (2005), pp. 974–980. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000400041>. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/K5bRNBgDq76JZNK4zLjpJjr/?format=html&lang=pt>.

¹ UFPA, Belém, PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-1151-8251>

² UFPA, Belém, PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6096-8660>

³ UFPA, Belém, PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2226-2653>