



## Estudo da influência do torque de fechamento em célula eletroquímica de dois eletrodos

RODRIGUES, A. C.<sup>1a</sup>, SANTOS, J. M. T.<sup>1b</sup>, MUNHOZ, M. G. C.<sup>1c</sup>, MARCUZZO, J. S.<sup>1d</sup>, BALDAN, M. R.<sup>1e</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>a</sup>Aluno de Doutorado do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

<sup>b</sup>Aluno de Iniciação Científica do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

<sup>c</sup>Aluno de Mestrado do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores – CMS.

<sup>d</sup>Coorientador, Laboratório Associado de Materiais e Sensores – CMS.

<sup>e</sup>Orientador, Laboratório Associado de Materiais e Sensores – CMS.

alinerodrigues\_1@msn.com

---

**Resumo.** A constante evolução das tecnologias requer o uso inteligente da energia disponível, o que implica em dispositivos de armazenamento de energia mais eficientes. Nas últimas décadas, supercapacitores têm recebido grande atenção científica e tecnológica devido às suas importantes qualidades entre o alto ciclo de vida, alta densidade de potência e variedade de aplicações. Análises eletroquímicas são uma maneira muito importante de avaliar o desempenho do supercapacitor, e conseqüentemente, a sua montagem (dois ou três eletrodos) faz diferença nesta análise. A força aplicada na montagem da célula eletroquímica simétrica de dois eletrodos influencia os resultados da capacitância. Esta influência foi analisada usando dois feltros simétricos de carbono ativado como eletrodos, em um meio de 2M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A célula eletroquímica foi equipada com torquímetro e a força de fechamento foi variada para analisar seu efeito na medição. O comportamento do eletrodo de feltro foi caracterizado eletroquimicamente por curvas galvanostáticas de carga/descarga, voltametria cíclica e espectroscopia de impedância eletroquímica.

---

**Palavras-chave:** Torque; Feltro de fibra de carbono ativada; Supercapacitor.

### 1. Introdução

A conscientização pela forma como são usados os recursos naturais tem crescido nos últimos anos e portanto, a utilização de novas fontes de energia, bem como formas mais eficientes de armazenamento vem sendo amplamente estudadas (Frackowiak, Abbas, and Béguin 2013). Supercapacitores são um dos dispositivos mais estudados na atualidade para armazenamento de energia. Em sua grande maioria, utilizam dois eletrodos simétricos, normalmente de carbono poroso, um papel separador de íons e um eletrólito aquoso (mais fácil de ser neutralizado) (González et al. 2016). Tal dispositivo possui uma ampla aplicação, podendo ser utilizados acoplados em dispositivos geradores de energia (Yalcinoz and Alam



2008). Os estudos em supercapacitores concentram esforços no desenvolvimento de novos materiais que sejam capazes de ter uma alta densidade de energia, próxima ou superior à das baterias, e que mantenham uma alta densidade de potência. Por se tratar de um dispositivo eletroquímico se faz necessário o uso de um acessório que permita analisar o material escolhido como o dispositivo em operação. Para isso, se utilizam as células eletroquímicas de dois eletrodos, que permitem analisar o material quanto dispositivo de armazenamento de energia (Zhong et al. 2015). No entanto, existem diversas formas de se montar tal dispositivo e portanto, algumas questões devem ser levadas em conta. Este trabalho tem por objetivo analisar a influência sobre a força que se é empregada no fechamento da célula de dois eletrodos, utilizada para testar os eletrodos dos supercapacitores. A força de fechamento da célula de dois eletrodos pode influenciar de forma significativa a compreensão dos resultados obtidos.

## 2. Metodologia

Foram utilizadas amostras de 8 mm de diâmetro de feltros de fibra de carbono ativada, que foram secas em estufa à 100 °C, por duas horas, a fim de retirar a umidade adsorvida. Após esta etapa, as amostras foram pesadas e imersas no eletrólito por 24 horas (2 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Para a análise eletroquímica foi utilizada uma célula eletroquímica simétrica de dois eletrodos, ilustrada na Figura 1.

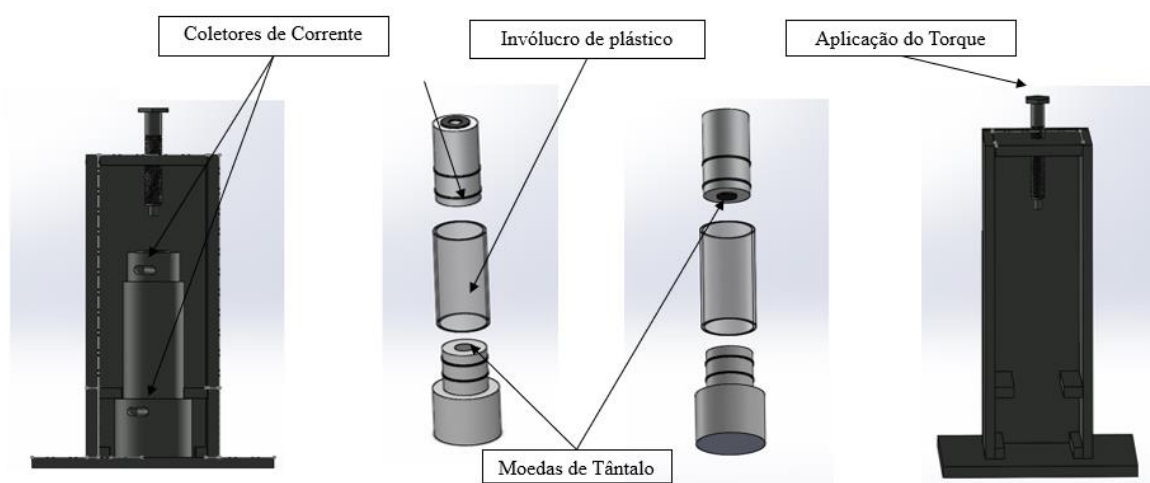


Figura 1. Esquema de montagem da célula de dois eletrodos.

Após a montagem do experimento, com o auxílio de um torquímetro, foi realizado o fechamento da célula com torque de 10 N.cm, 20 N.cm e 30 N.cm, em cada uma das medidas eletroquímicas. As análises eletroquímicas realizadas foram voltametria cíclica de 0,0-1,0 V (variando a velocidade de varredura de 2mV s<sup>-1</sup>-50 mV s<sup>-1</sup>), curvas galvanostáticas de carga/descarga de 0,0-1,0 V (variando a corrente de 1mA-50 mA) e espectroscopia de impedância eletroquímica.

## 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os gráficos de voltametria cíclica das amostras com aperto de 10 N.cm (Figura 2a), 20 N.cm (Figura 2b) e 30 N.cm (Figura 2c). Nota-se que a amostra com aperto



de 10 N.cm possui uma área de densidade de corrente menor que os dois outros apertos. A área de densidade de corrente no voltamograma cíclico está diretamente relacionada com a capacitância específica do material (Rodrigues et al. 2018). Portanto, conforme o torque de fechamento aumenta, há uma melhora nos contatos elétricos dos dois eletrodos, melhorando consequentemente a resposta capacitiva.

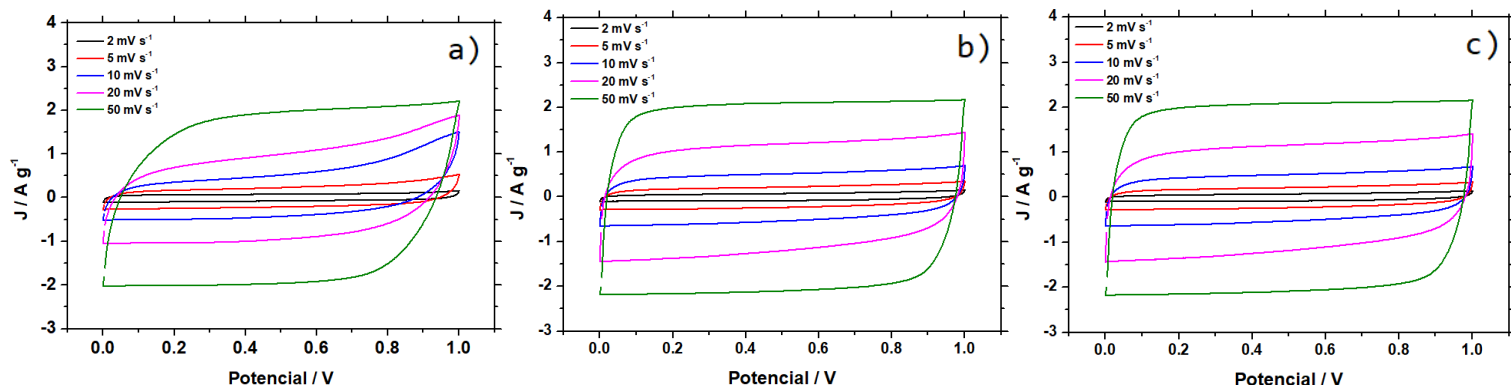


Figura 2. Voltametria cíclica das amostras com aperto de a) 10 N.cm, b) 20 N.cm e c) 30 N.cm.

A resposta capacitiva dos dispositivos é dada pela capacitância específica, calculada pela Eq. 1. A Figura 3a apresenta os valores de capacitância específica, calculados das amostras com diferentes apertos, pela densidade de corrente aplicada nas curvas de carga/descarga. Novamente é possível identificar que a amostra com menor torque de fechamento possui os menores valores de capacitância específica. A forma como é montada a célula influencia na resposta capacitiva do dispositivo (Zhong et al. 2015).

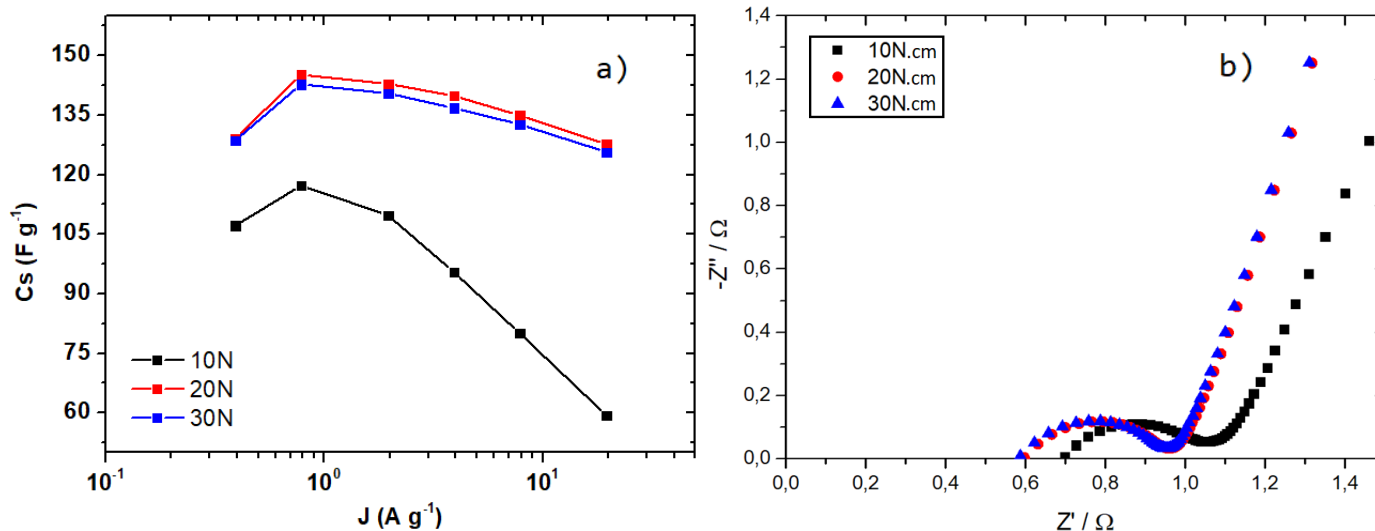


Figura 3. a) capacitância específica vs. densidade de corrente e b) gráfico de Nyquist das amostras com a aperto de 10 N.cm, 20 N.cm e 30 N.cm.

$$C_s = 2 \cdot \frac{I \cdot t_d}{m \cdot \Delta V} \quad \text{Eq. 1}$$



Outro parâmetro importante para avaliar o desempenho do dispositivo de armazenamento de energia são as resistências elétricas. A espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) ou diagrama de Nyquist, apresentado na Figura 3b, mede as resistências do dispositivo. O EIE característico de materiais de carbono é dado por um semi-círculo nas altas frequências seguido de uma reta na vertical em menores frequências. Do zero até o ponto em que o gráfico cruza o eixo X é a resistência da solução ( $R_s$ ) e o diâmetro do semi-círculo está relacionado com a resistência a transferência de carga (Rodrigues et al. 2018). Dito isso, é possível identificar que as amostras com maiores torques de fechamento possuem menores resistências associadas, o que pode estar relacionado com os maiores valores de capacitância específica.

#### 4. Conclusão

Foram realizadas caracterizações eletroquímicas em célula eletroquímica de dois eletrodos, com diferentes torques de fechamento afim de analisar sua influência na capacitância específica do dispositivo montado. Com base nos resultados apresentados é possível afirmar que o torque de fechamento, bem como a montagem da célula/dispositivo, influencia no seu resultado final de desempenho. Com este trabalho, foi possível identificar que os torques de fechamento de 20 e 30 N.cm apresentaram resultados de capacitância específica próximos entre si e melhores que o de 10 N.cm. Isso se deve ao melhor contato elétrico entre os eletrodos de carbono. No entanto, é necessário mais estudos para se afirmar qual o valor de torque de fechamento ideal e se o resultado se repetirá com outros tipos de materiais.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem ao INPE pela infraestrutura laboratorial e a CAPES pelo financiamento.

#### Referências

- Frackowiak, Elzbieta, Qamar Abbas, and François Béguin. 2013. "Carbon/Carbon Supercapacitors." *Journal of Energy Chemistry* 22(2):226–40.
- González, Ander, Eider Goikolea, Jon Andoni Barrena, and Roman Mysyk. 2016. "Review on Supercapacitors: Technologies and Materials." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58:1189–1206.
- Rodrigues, Aline Castilho, Elen Leal da Silva, Sandro Fonseca Quirino, Andrés Cuña, Jossano Saldanha Marcuzzo, Jorge Tadao Matsushima, Emerson Sarmento Gonçalves, and Maurício Ribeiro Baldan. 2018. "Ag@Activated Carbon Felt Composite as Electrode for Supercapacitors and a Study of Three Different Aqueous Electrolytes." *Materials Research* 22(1):1–6.
- Yalcinoz, T. and M. S. Alam. 2008. "Improved Dynamic Performance of Hybrid PEM Fuel Cells and Ultracapacitors for Portable Applications." *International Journal of Hydrogen Energy* 33(7):1932–40.
- Zhong, Cheng, Yida Deng, Wenbin Hu, Jinli Qiao, Lei Zhang, and Jiujun Zhang. 2015. "A Review of Electrolyte Materials and Compositions for Electrochemical Supercapacitors." *Chemical Society Reviews* 44(21):7484–7539.