



## CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELETROMECCÂNICAS DE UM SENSOR DE DEFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO GRAU DE HIDRATAÇÃO

André L. NOVAES<sup>1</sup>; Vanessa C. F. FAGUNDES<sup>2</sup>; Laos A. HIRANO<sup>3</sup>; Carlos H. SCURACCHIO<sup>4</sup>

### RESUMO

O IMPC é um material que quando dobrado tem a capacidade de gerar pequenos sinais elétricos. Este trabalho se concentrou na caracterização das respostas eletromecânicas do IPMC-Nafion® em função do seu grau de hidratação. Foi desenvolvido um sistema de controle de umidade para condicionar o ambiente de teste. A amostra foi submetida a deformações com amplitudes de 90° e foi condicionada em atmosferas com umidade relativa de 20% a 90%. A resposta gerada pelo material apresentou um comportamento dependente da umidade. O sinal elétrico foi descrito de acordo com a influência do grau de hidratação da amostra.

**Palavras-chave:** IPMC, Grau de hidratação, sistema de controle de umidade

### 1. INTRODUÇÃO

Os sensores de deformação são aqueles que possuem a capacidade de alteração de sua resistência externa através da mudança de tensão a ele aplicado. Esta variação, se dá pela contração ou tensionamento da área utilizada (DETSI; ONCK; DE HOSSON, 2013). Devido à sua espessura, normalmente na faixa de 0.22 mm a 0.80 mm, o sensor é capaz de se deformar e gerar um sinal elétrico (MATOS et al., 2012). Dentre os sensores de deformação, destaca-se o compósito de polímero iônico e metal, ou IPMC do inglês *Ionomeric Polymer-Metal Composites*. Embora os IPMC's sejam amplamente estudados como atuadores robóticos, estes podem ser aplicados como sensor de deformação. Quando uma amostra de IPMC hidratada é dobrada, ela é capaz de gerar um sinal elétrico com intensidade e tempos de resposta expressivos. Esse material possui elevada sensibilidade à deformação, alta flexibilidade, baixa densidade mássica e biocompatibilidade (BAHRAMZADEH; SHAHINPOOR, 2014). Este trabalho concentrou-se em quantificar a influência do grau de hidratação no comportamento eletromecânico destes materiais.

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando uma membrana de IPMC é dobrada, as espécies iônicas e moléculas de água são redistribuídas dentro da fase polimérica gerando um gradiente de cargas entre as faces, produzindo

<sup>1</sup> IFSULDEMINAS – andre.novaes@ifsuldeminas.edu.br

<sup>2</sup> IFSULDEMINAS – vanessa.furtado.fagundes@gmail.com

<sup>3</sup> UNIFAL – laos.hirano@unifal-mg.edu.br

<sup>4</sup> UFSCAR – carlos.scu@ufscar.br



uma diferença de potencial elétrico. As principais referências (BONOMO et al., 2006; NEMAT-NASSER; LI, 2000) explicam que esta resposta elétrica depende da amplitude e da taxa de deformação. No entanto, foi observado experimentalmente que esta resposta elétrica apresenta uma expressiva dependência do grau de hidratação da fase polimérica. As principais referências adotadas neste trabalho discutem que o aumento do grau de hidratação do Nafion® promove um aumento da mobilidade das espécies iônicas móveis (LEI; LIM; TAN, 2015; ZHU et al., 2016). Portanto, o grau de hidratação da fase polimérica, descreve um papel importante nos mecanismos responsáveis pela resposta eletromecânica do IPMC. A quantidade de água presente na fase polimérica varia com tempo e com a umidade relativa (U.R.) do ambiente, alterando suas propriedades mecânicas e elétricas (LEI; LI; TAN, 2014).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

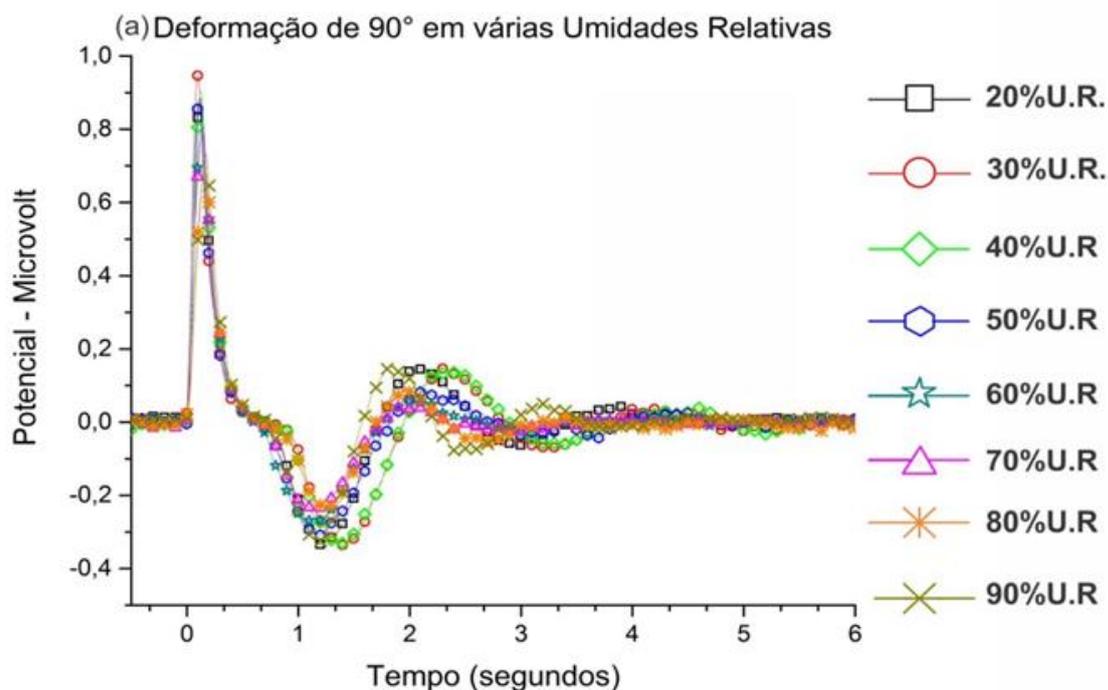
Ainda são desconhecidos ou muito limitados procedimentos experimentais que permitam o estudo direto dos fenômenos eletromecânicos responsáveis pela geração de sinais elétricos a partir da deformação das amostras. Neste projeto foram investigadas as respostas elétricas de IPMC's condicionados com diferentes graus de hidratação e submetidos a diferentes estímulos. Para controlar as condições de umidade de cada teste foi desenvolvido um sistema de controle de umidade. Este dispositivo é composto por um controlador, um sensor de umidade, um módulo *bluetooth* e bombas de acionamentos. Os experimentos foram iniciados com o condicionamento da amostra na U.R. desejada por um período mínimo de 5 horas para garantir o equilíbrio osmótico entre a atmosfera de UR controlado e a fase polimérica do IPMC. Após o condicionamento da amostra, ela foi deformada nas diversas amplitudes utilizando-se o motor de passo, e o sinal eletromecânico gerado pelo material foi monitorado e coletado através de um osciloscópio digital Tektronix® THS 3014.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A influência do grau de hidratação da amostra, sobre a resposta eletromecânica foram investigadas. A Figura 1 apresenta respostas eletromecânicas do IPMC-Nafion condicionado em diferentes umidades.



Figura 1 – Típica resposta eletromecânica de um IPMC



Fonte: Do autor

Durante o intervalo de -0,5 e 0 segundos, em que o atuador permaneceu imóvel, verificou-se que não houve a produção de sinais elétricos significativos provindos da amostra. Após o acionamento do atuador, foi observado tipicamente em todas as amostras um aumento abrupto da tensão elétrica até atingir o primeiro pico. A Figura 1 demonstra que as intensidades dos primeiros picos das amostras mais hidratadas foram nitidamente menores. E por outro lado a intensidade deste pico foi maior para amostras mais secas. Em resumo, o sinal elétrico produzido apresentou um comportamento tipicamente de segunda ordem sub-amortecido com tempos característicos diferentes para cada condição testada. O fato dos maiores picos terem sido observados em menores umidades, pode ser explicado pelo fenômeno da difusão veicular. As condições testadas conseguiram evidenciar que a clivagem contribui menos para a geração de eletricidade do que o transporte de íons (OCHI et al., 2009). Essa constatação evidencia que o mecanismo de difusão veicular (EIKERLING; KORNYSHEV; STIMMING, 1997) favorece as propriedades sensoriais do IPMC.

## 5. CONCLUSÕES

A resposta eletromecânica do IPMC-Nafion® é fortemente dependente do grau de hidratação. Diferente do que é apresentado em modelos eletromecânicos na literatura verificou-se que amostras



# 9ª Jornada Científica e Tecnológica do IFSULDEMINAS

## 6º Simpósio da Pós-Graduação

ISSN 2319-0124

mais hidratadas apresentaram respostas elétricas de menores intensidades. Este fato deve-se que as técnicas utilizadas pelas referências não investigaram o comportamento elétrico relacionado com o transporte de cargas e moléculas solvatadas. Portanto, possivelmente, em baixas UR os mecanismos de condução iônica estão influenciando a resposta eletromecânica. Para trabalhos futuros propõe-se que seja investigado quais mecanismos podem interferir na condução do material.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Núcleo Institucional de Pesquisa e Extensão de Poços de Caldas pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal de Alfenas pelo apoio técnico

### REFERÊNCIAS

BAHRAMZADEH, Y.; SHAHINPOOR, M. A Review of Ionic Polymeric Soft Actuators and Sensors. **Soft Robotics**, 2014.

BONOMO, C. et al. A Circuit to Model the Electrical Behavior of an Ionic Polymer-Metal Composite. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, 2006.

DETSI, E.; ONCK, P. R.; DE HOSSON, J. T. M. Electrochromic artificial muscles based on nanoporous metal-polymer composites. **Applied Physics Letters**, 2013.

EIKERLING, M.; KORNYSHEV, A. A.; STIMMING, U. Electrophysical Properties of Polymer Electrolyte Membranes: A Random Network Model. **Journal of Physical Chemistry B**, 1997.

LEI, H.; LI, W.; TAN, X. Encapsulation of ionic polymer-metal composite (IPMC) sensors with thick parylene: Fabrication process and characterization results. **Sensors and Actuators, A: Physical**, 2014.

LEI, H.; LIM, C.; TAN, X. Humidity-dependence of IPMC sensing dynamics: characterization and modeling from a physical perspective. **Meccanica**, 2015.

MATOS, B. R. *et al.* Nafion<sup>®</sup>-Relaxation Dependence on Temperature and Relative Humidity Studied by Dielectric Spectroscopy. **Journal of the Electrochemical Society**, 2012.

NEMAT-NASSER, S.; LI, J. Y. Electromechanical response of ionic polymer-metal composites. **Journal of Applied Physics**, 2000.

OCHI, S. et al. Investigation of proton diffusion in Nafion<sup>®</sup>117 membrane by electrical conductivity and NMR. **Solid State Ionics**, 2009.

ZHU, Z. et al. Influence of Ambient Humidity on the Voltage Response of Ionic Polymer-Metal Composite Sensor. **The Journal of Physical Chemistry B**, 2016.