



# Desenvolvimento de membranas cerâmicas para detecção de dióxido de carbono

*Midilane S. Medina, E. N. S. Muccillo, R. Muccillo*

**Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - CCTM  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN  
S. Paulo, SP**



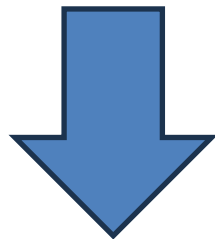
**69° Congresso Brasileiro de Cerâmica**  
15 a 18 de junho de 2025 | Natal - RN

# INTRODUÇÃO

## Sensor de CO<sub>2</sub> - Motivação

**“Ambient carbon dioxide concentration correlates with SARS-CoV-2 aerostability and infection risk”,  
Nature Comm. 15 (2024) 3487.**

A. Haddrell, H. Oswin, M. Otero-Fernandez, J.F. Robinson,  
T. Cogan, R. Alexander, J.F.S. Mann, D. Hill, A. Finn, A.D. Davidson, J.P. Reid.

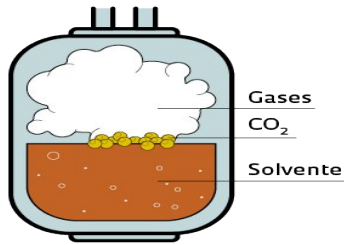


**- Membranas cerâmicas: matriz porosa condutora de íons O<sup>2-</sup> + poros preenchidos com condutor de íons CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>**

**→ SENSOR DE CO<sub>2</sub> ??**

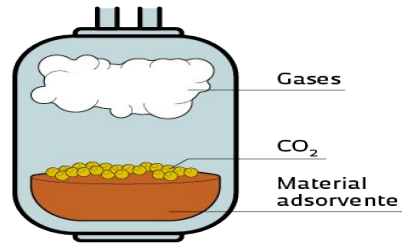
# OS SISTEMAS DE SEPARAÇÃO

Conheça as principais técnicas para remoção do carbono de correntes gasosas e atmosfera



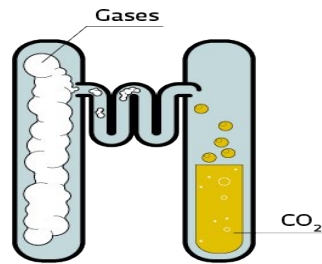
## ABSORÇÃO QUÍMICA

Solvente líquido interage com o CO<sub>2</sub> presente em uma nuvem de gases sob condições de alta pressão e baixa temperatura. Regenerador remove o solvente, restando o CO<sub>2</sub>



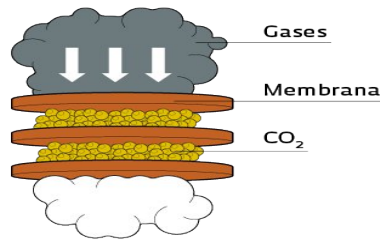
## ADSORÇÃO

Em um reator com temperatura e pressão ajustadas, material adsorvente sólido (óxidos de cálcio, carvão ativado, zeólitas) promove adesão das moléculas de CO<sub>2</sub> em suas superfícies



## DESTILAÇÃO CRIOGÊNICA

CO<sub>2</sub> é separado em colunas de destilação, após a condensação da mistura gasosa que ocorre quando o processo atinge temperaturas criogênicas, inferiores a -150 graus Celsius



## MEMBRANAS

O fluxo de corrente de gases passa por um conjunto de membranas multicamadas que farão a separação do CO<sub>2</sub>. Membranas de cerâmica, polímero e metal são as mais comuns



Figure 14. Carbon Engineering plant in Texas. Reproduced under a Creative Commons license

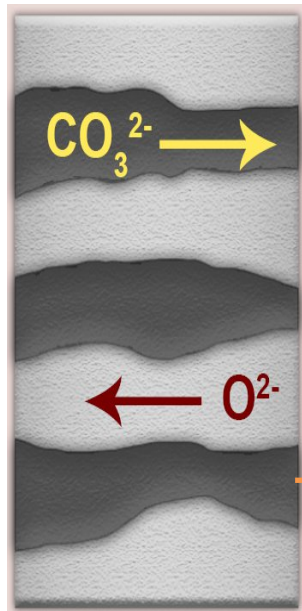


Figure 15. The Climeworks plant in Switzerland. Reproduced with permission granted by Climeworks AG [131].

**Analysis of Technologies for Carbon Dioxide Capture from the Air.**  
**G. Leonzio, P.S. Fennell, N. Shah,**  
**Appl. Sci. 2022, 12, 8321**

## Membrana cerâmica compósita para separação de CO<sub>2</sub>

Membrana

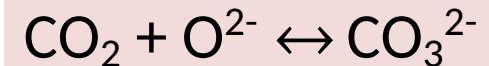


Matriz  
cerâmica  
sólida  
porosa

Infiltração  
com  
carbonatos  
na fusão

### Mecanismo de separação:

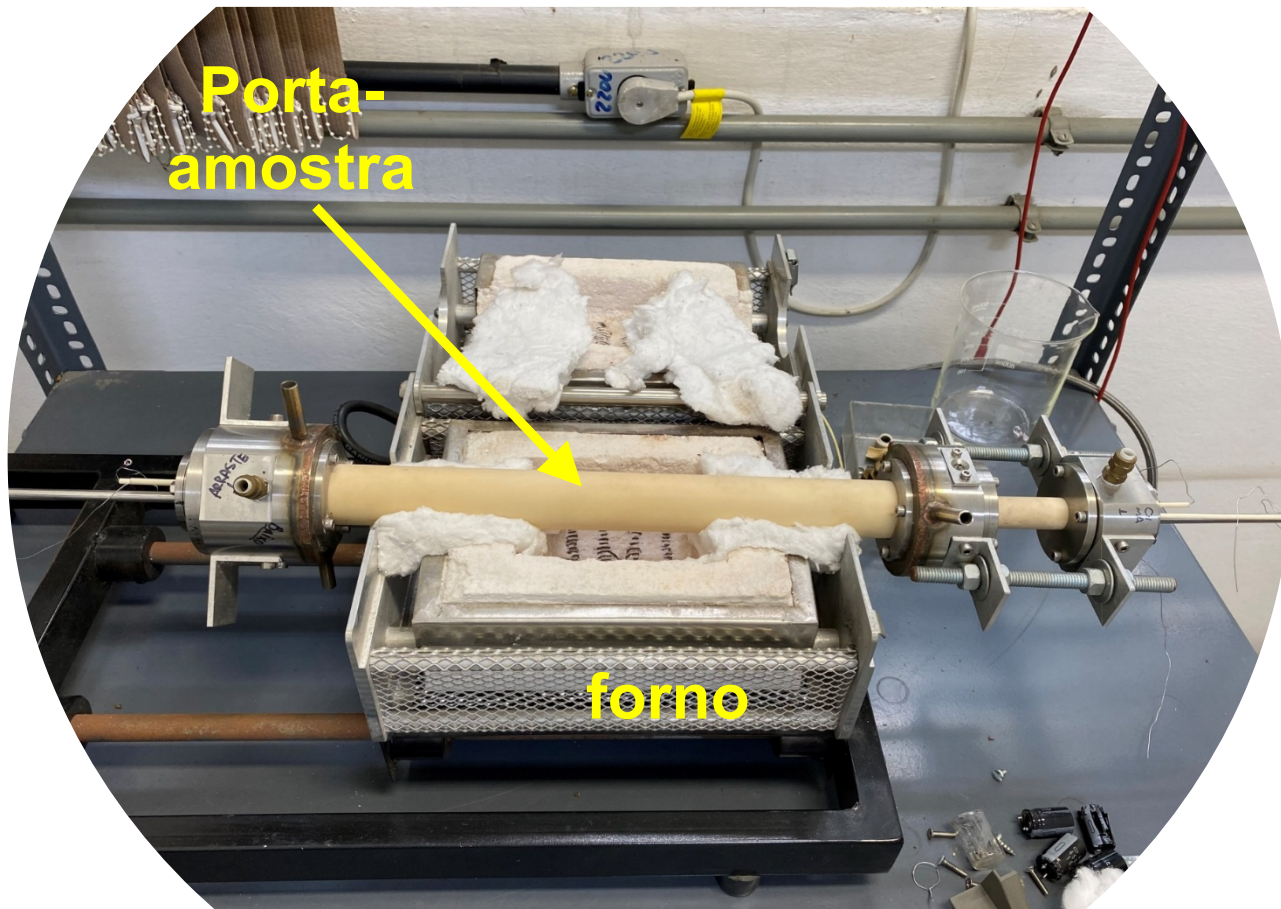
Reação de superfície entre CO<sub>2</sub> (*entrada*) com íons O<sup>2-</sup> da matriz para formar CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, que percolam através da fase carbonato fundido para o lado oposto da membrana (*saída*).



Matriz cerâmica  
porosa  
infiltrada com  
carbonatos  
fundidos

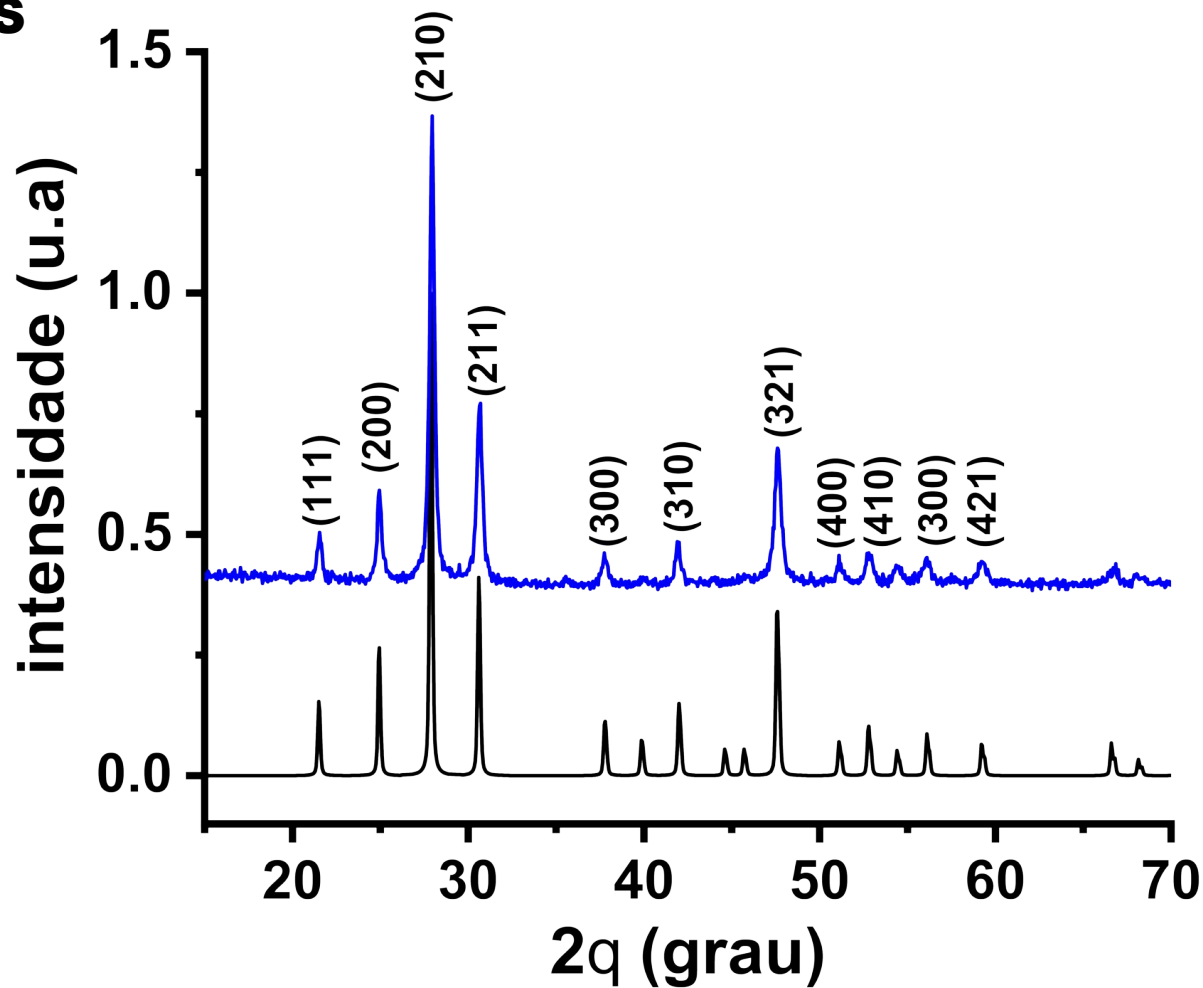


# EXPERIMENTAL



Câmara de três atmosferas para testes de detecção de CO<sub>2</sub>

# RESULTADOS

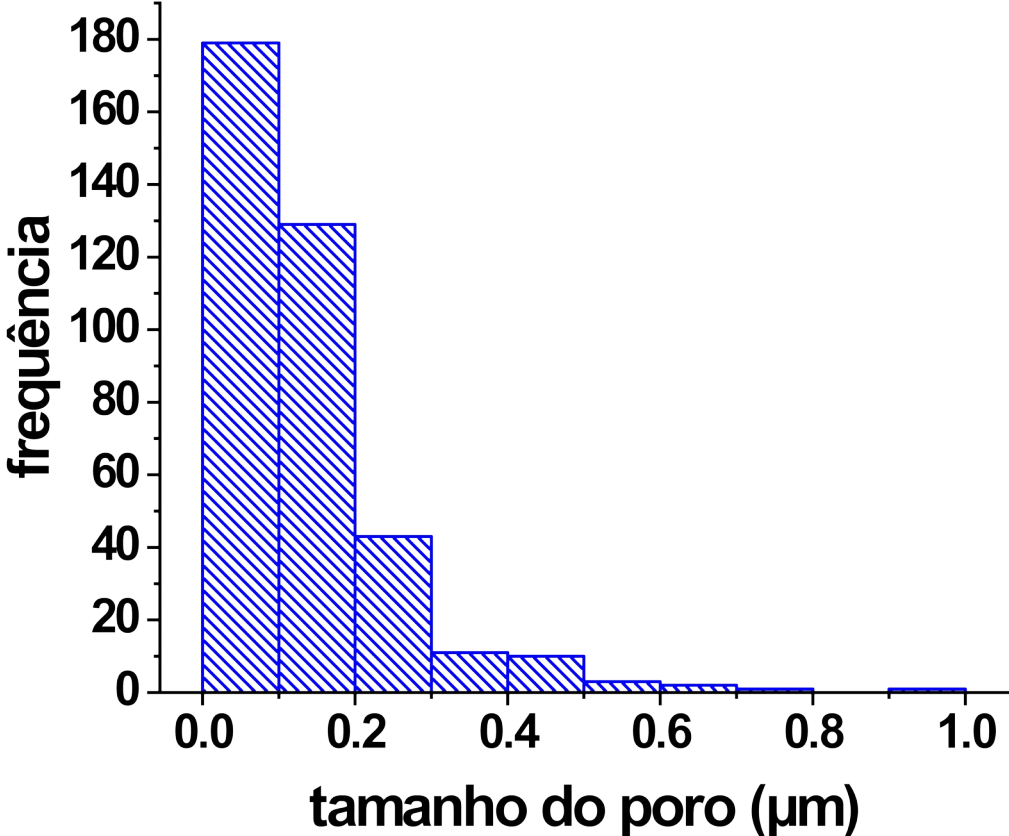
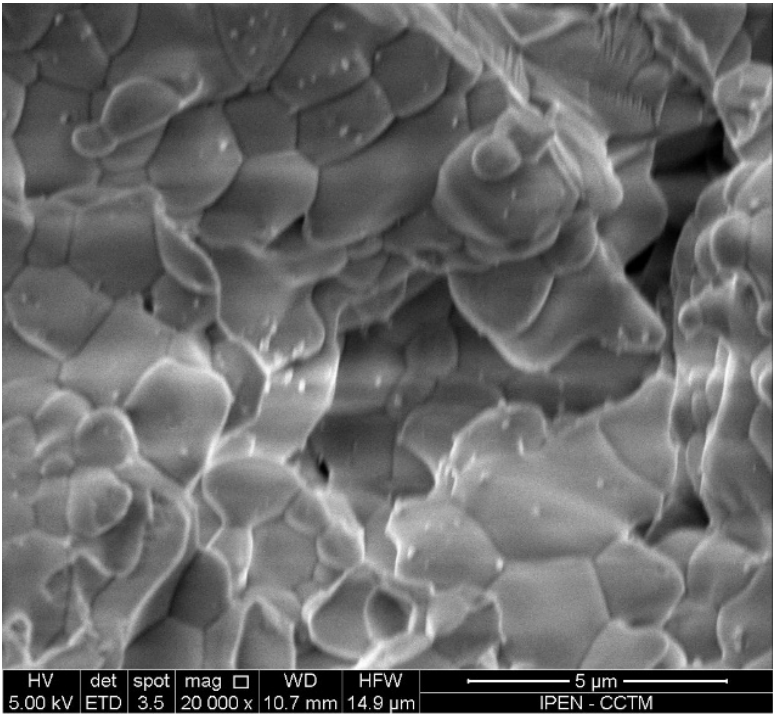


**Difratogramas de raios X de W-LAMOX.**

**Acima: pó sintetizado pelo método do precursor polimérico e calcinado a 550 °C/4 h.**

**Abaixo: arquivo ICSD 172611.**

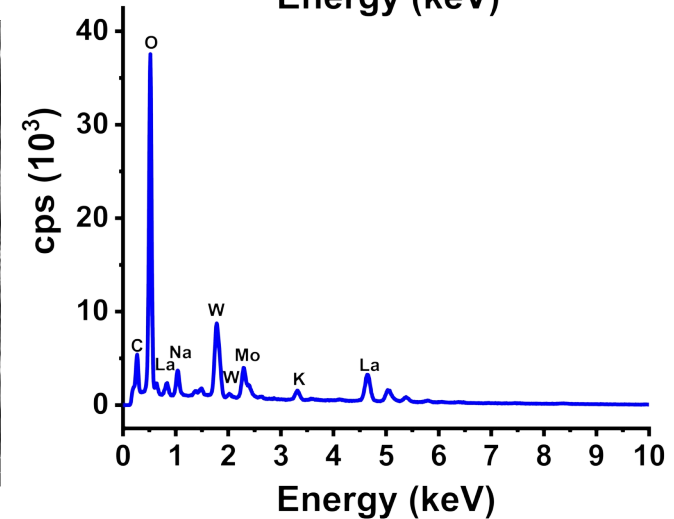
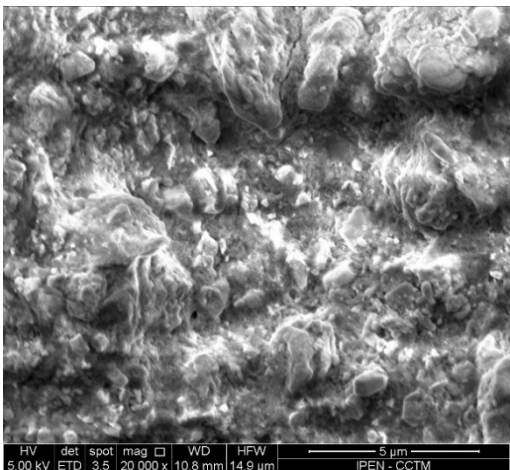
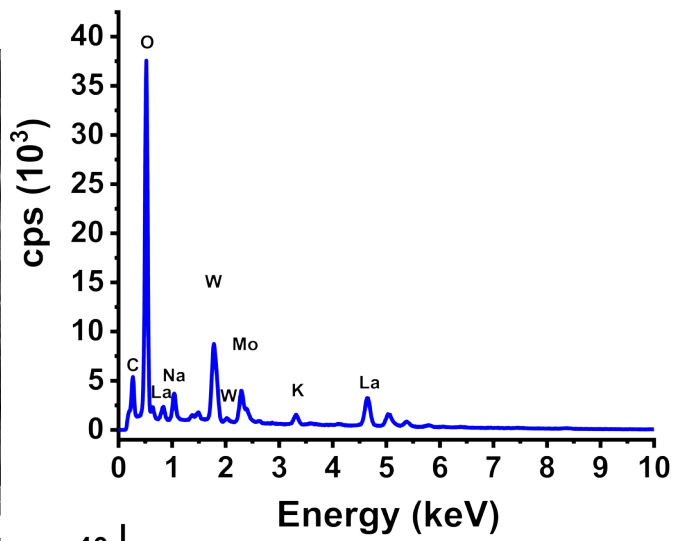
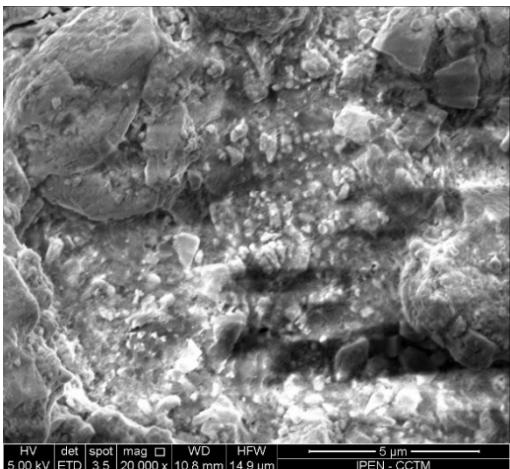
# RESULTADOS



**Esquerda:** imagem de microscopia eletrônica de varredura da superfície de compacto cerâmico W-LAMOX.

**Direita:** distribuição de tamanho de poros usando programa ImageJ (NIH).

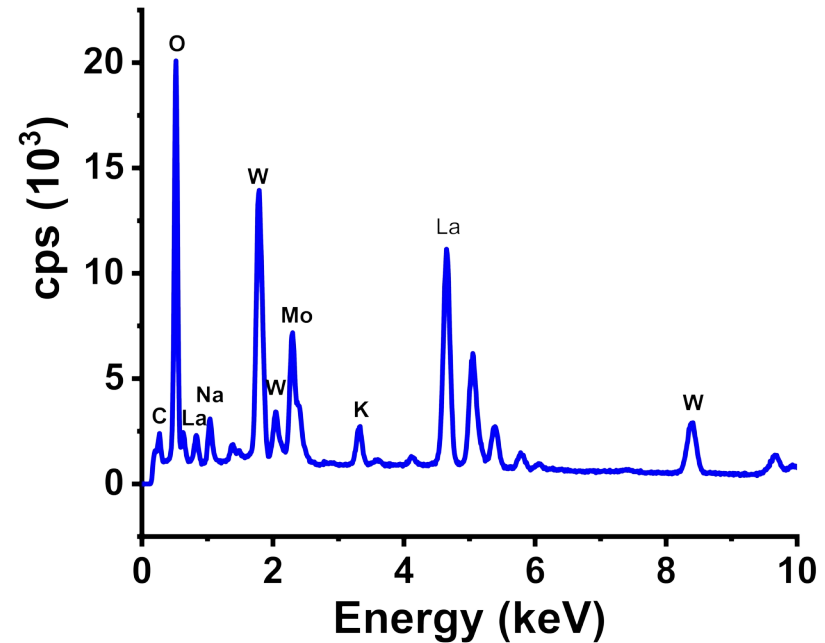
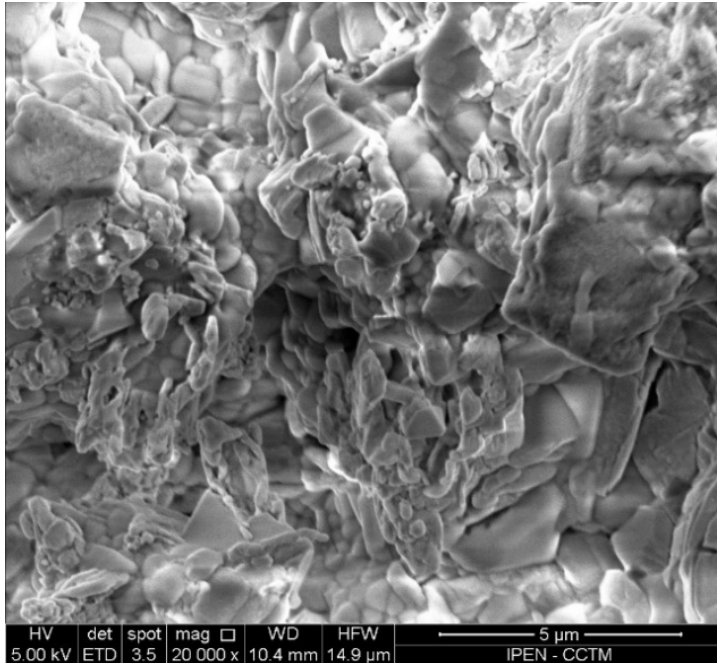
# RESULTADOS



**Esquerda:** imagens de microscopia eletrônica de varredura das duas superfícies paralelas de membranas de W-LAMOX/LNKC.

**Direita:** gráficos EDX correspondentes.

# RESULTADOS



**Esquerda**: imagens de microscopia eletrônica de varredura da membrana cerâmica W-LAMOX/LNKC.

**Direita**: análise EDX após manter em 480 °C durante ~ 1300<sup>o</sup>h.

# RESULTADOS

**Força eletromotriz de W-LAMOX (preparado por compactação e sinterização) em função do tempo de exposição a CO<sub>2</sub>.**

**Esquerda**: espessura ~ 2,0 cm.

**Direita**: espessura ~ 1,0 cm.

# RESULTADOS

**Força eletromotriz de W-LAMOX (preparado por colagem de fita) em função do tempo de exposição a CO<sub>2</sub>.**

**Esquerda: W-LAMOX/LNKC**

**Direita: GDC/LNKC**

# RESULTADOS

**Força eletromotriz de gadolinia-doped ceria (preparado por colagem de fita) em função do tempo de exposição a misturas CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> em câmara de 3 atmosferas.**

# Conclusões

- Molibdato de lantânio dopado com tungstênio (W-LAMOX) foi sintetizado pelo método da polimerização complexa.
- Cerâmicas porosas de W-LAMOX e de 20GDC foram obtidas por mistura e remoção térmica de composição eutética de carbonatos de lítio, sódio e potássio (LNKC).
- Foram preparadas membranas cerâmicas mistas de W-LAMOX e de 20GDC impregnadas com LNKC para a permeação/detecção de CO<sub>2</sub>.
- Foram feitos testes de detecção de dióxido de carbono na temperatura de fusão dos carbonatos.
- Membranas cerâmicas de W-LAMOX/LNKC e de 20GDC são propostas para uso em dispositivos para a detecção de CO<sub>2</sub>.

# agradecimentos

**CDMF - Centro de Desenvolvimento de Materiais Funcionais**

**FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de S. Paulo**

**CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**

**CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear**

**IPEN - Projeto Intercentros**

**CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**

**Prof. Elson Longo (CDMF), Dra. Sabrina G.M. Carvalho (UFABC).**

