



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



ESTUDO DO MONITORAMENTO DE UMIDADE DE SOLOS UTILIZANDO SENSORES DE CERÂMICA POROSA

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Bruna Fernanda Ap. S. Lima (UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: brufeasili@gmail.com

Maria do Carmo de Andrade Nono (LAS/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: maria@las.inpe.br

Rodrigo de Matos Oliveira (LAS/CTE/INPE Co-orientador)
E-mail: rodmatos@lasinpe.br

Michele Cristiane Pereira (CTE/LAS/INPE, Co-orientador)
E-mail: mi.cristiane.p@hotmail.com

Julho de 2016

Agradecimentos

Agradeço também ao CNPq e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Inovação pelo suporte e pela oportunidade de realizar esta Iniciação Científica.

À Dra. Maria do Carmo de Andrade Nono, Dr. Rodrigo de Matos Oliveira e Michele Cristiane Pereira pelas orientações, oportunidade de aprendizado e pela confiança para dar continuidade a este trabalho.

Agradeço a Deus e a minha família, sem os que exerceram uma grande influência nas minhas conquistas profissionais.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver novos elementos sensores de umidade de cerâmicas porosas para a medição da capacidade de absorção/dessorção de umidade em solos, em condições climáticas típicas do Brasil. Os elementos sensores serão compostos por cerâmicas à base de zircônia (ZrO_2) e de óxido de estanho (SnO_2), com quantidades pré-estabelecidas de óxido de nióbio (Nb_2O_5), esperando como resultado que os sítios ativos, responsáveis pela sensibilidade do sensor, e a condutividade da nuvem eletrônica sejam melhorados. Os pós foram compactados por prensagem uniaxial com 50 MPa e sinterizados em 1000 °C por 2 horas. As cerâmicas sinterizadas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV) e difratometria de raios X (DRX), com o intuito de se observar a microestrutura e as fases cristalinas obtidas após os processos de conformação e sinterização. Os resultados mostraram que as cerâmicas porosas sinterizadas de zircônia (ZrO_2) e de estanho (SnO_2) apresentaram características semelhantes nas suas microestruturas. Assim, as áreas superficiais disponíveis para a absorção/dessorção de umidade (moléculas de água) semelhantes permitirão o estudo comparativo proposto.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	10
5. CONCLUSÕES	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

Os deslizamentos, movimentos de massa com determinadas características, ocorrem devido a vários fatores: endógenos, geomorfológicos e exógenos. O Brasil, além de possuir muitos relevos acidentados, características geomorfológicas que contribuem para a ocorrência desse fenômeno, possui também a ocupação de encostas pela população menos favorecida sem qualquer metodologia técnica, o que acentua os fatores exógenos e aumenta a probabilidade de deslizamentos. Somado a esses fatores, o risco de deslizamento aumenta em épocas de chuvas, causando mortes e prejuízos econômicos [1].

Com o intuito de prevenir os deslizamentos e os danos causados por eles o desenvolvimento de análises, não só qualitativas das áreas de risco, mas também quantitativas faz se necessário, sendo o uso de sensores que possam medir a quantidade de água no solo combinado com um estudo deste uma alternativa viável[2].

Entretanto há certas características que um bom sensor de umidade deve possuir para aplicações práticas como: boa sensibilidade em ampla faixa de umidade e temperatura, rápida velocidade de resposta, boa reprodutibilidade, pequena histerese, baixo custo e fácil manutenção, resistência a contaminantes, resposta linear, fabricação fácil e ter uma vida útil longa, fazendo com que a escolha do material ideal para essa aplicação seja um desafio[3].

Nos últimos anos, vários materiais como polímeros orgânicos, eletrólitos, compósitos e cerâmicos vêm sendo utilizados como sensores de umidade, por apresentarem algumas características das características desejadas, elevada estabilidade química, vasta gama de temperaturas operacionais e resposta rápida às alterações de umidade, fazendo com esses materiais tenham uma performance superior aos outros[3].

Dentre os materiais cerâmicos utilizados para elementos sensores de umidade, destacam-se os óxidos metálicos como ZrO_2 , TiO_2 , ZnO , Nb_2O_5 , SnO_2 , os quais vêm sendo alvo de pesquisas com o intuito de melhorar suas propriedades para aplicação como sensores de umidade [3, 4].

Nesse sentido, integrantes do Grupo de Pesquisas em Micro e Nanotecnologias Espaciais e Ambientais (TECAMB), que integra o Laboratório Associado de Sensores e

Materiais (LAS), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), vêm se dedicando ao aprimoramento de elementos sensores de umidade cerâmicos. Com esse trabalho, portanto, busca-se dar continuidade no desenvolvimento e no aprimoramento dos sensores de cerâmicas porosas à base de ZrO_2 e SnO_2 , já que estes vêm se mostrando eficazes na medição (detecção) do conteúdo de água em solos.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver novos elementos sensores de umidade de cerâmicas porosas para a medição da capacidade de absorção/dessorção de umidade em solos, em condições climáticas existentes no Brasil. Para isto, pretende-se otimizar os dispositivos sensores de umidade de solo de cerâmicas porosas à base de zircônia (ZrO_2), quantidades controladas de óxido de estanho (SnO_2) e de óxido de nióbio (Nb_2O_5). A adição desses óxidos tem como objetivos otimizar os sítios ativos da cerâmica sensora responsáveis pela sensibilidade do sensor (com estanhia) e a condutividade eletrônica (com nióbia). Estes dispositivos sensores de cerâmicas porosas poderão ser futuramente utilizados no monitoramento de áreas com riscos de deslizamentos de terra, nos períodos chuvosos.

3. FUNDAMENTAÇÃO

3.1. SENSORES CAPACITIVOS

Os sensores são dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente e que são capazes de converter uma grandeza física que precisa ser mensurada em outro sinal que possa ser transmitido e lido por um sistema de controle e assim permita a análise de uma determinada condição do ambiente, como a umidade[5-7].

Existem diferentes tipos de sensores, sendo que eles podem ser classificados de acordo com a variação da propriedade elétrica, como resistência, tensão, capacitância, dentre outras, através da qual se obtém as respostas das alterações da propriedade a ser medida [6,8].

Os sensores capacitivos, que têm seu princípio de funcionamento baseado na capacitância elétrica, vêm sendo amplamente utilizado em pesquisas relacionadas ao monitoramento do teor de água no solo, devido a sua grande capacidade de avaliar o

conteúdo de água absoluta existente no solo em qualquer profundidade e com um nível de precisão relativamente alto [8].

Um capacitor é um componente de um circuito elétrico que pode armazenar energia em resposta a um campo elétrico. Seu formato mais simples consiste em duas placas paralelas de um material condutor, que funcionarão como eletrodos, e um material dielétrico entre essas placas, assim quando uma voltagem é aplicada a capacitância desse componente pode ser expressa pela equação 2.1 [9,10].

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2.1)$$

Onde:

ϵ_0 – permissividade do vácuo;

ϵ_r – permissividade relativa do material utilizado como dielétrico;

A – área do eletrodo e

d – distância entre os eletrodos.

Pela equação 1 observa-se que o sensor capacitivo pode monitorar o teor de água do solo com base na variação da emissividade do material dielétrico. Isso pode ser conseguido por meio da utilização de um material dielétrico poroso, que absorve, por difusão, uma determinada quantidade de água, proporcional à umidade presente no meio em que está inserido, sendo que quando este está mais seco, o meio dielétrico também perde água, sendo esta variação do conteúdo de água a responsável pela alteração nos valores de emissividade do meio [8,10].

3.2. MATERIAIS CERÂMICOS

Os materiais cerâmicos são compostos formados entre elementos metálicos e não metálicos, nos quais as ligações interatômicas são totalmente iônicas ou são predominantemente iônicas, mas com alguma natureza covalente. Eles são frequentemente óxidos, nitretos e carbetos [11].

As cerâmicas são isolantes elétricos e térmicos, mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos do que os metais e polímeros, além de serem duras e inertes quimicamente na maioria dos ambientes analisados [11,12].

Além disso, o processamento dos materiais cerâmicos é relativamente simples, consistindo de um pó ou uma mistura pós como matérias primas, conformação e sinterização, atingindo uma microestrutura constituída por grãos e contornos de grãos, podendo apresentar porosidade e conseqüentemente uma grande área de superficial [13].

Essas características contribuem para que os materiais cerâmicos possam ser utilizados como sensores de umidade, principalmente os óxidos de metais, que têm apresentados mais vantagens em relação aos outros. Atualmente os sensores mais utilizados são os de polímeros e materiais cerâmicos [14].

3.3. MECANISMOS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA NEM ELEMENTOS SENSORES

A seleção do material apropriado para ser utilizado como elemento sensor de umidade é difícil, já que os materiais empregados, quando em contato com a umidade, alteram fatores físicos e químicos de sua composição ou do meio. Sendo assim a escolha do material para esta aplicação deve ser baseada nas seguintes características: sensibilidade em uma ampla faixa de umidade e temperatura e estabilidade nos ciclos térmicos e de tempo e quanto à exposição em ambientes agressivos e a produtos químicos específicos [15].

As cerâmicas, em particular os óxidos metálicos, têm mostrado vantagens para aplicação como sensores devido a sua resistência mecânica, resistência quanto ao ataque químico e estabilidade física e química em ambientes hostis devido, principalmente, à estabilidade de suas fortes ligações químicas [16].

As propriedades elétricas desses óxidos metálicos são alteradas quando há a adsorção de água em sua superfície, que por dissociação formam dois íons de hidroxila (OH⁻) para cada molécula de água, fazendo com que eles possam ser utilizados como sensores de umidade.

A primeira camada de água é adsorvida quimicamente e uma vez formada ela não é mais afetada pela humidade. Ela se forma a partir das hidroxilas adsorvidas pelos

cátions metálicos na superfície dos grãos que reagem com o oxigênio de uma superfície adjacente para formar um segundo grupo de hidroxila. [15].

Posteriormente, as outras camadas de moléculas de água são adsorvidas fisicamente pela camada de hidroxila, sendo que ocorrem mais camadas quando ocorre um aumento na pressão de vapor da água [15].

3.4. CICLO HIDROLÓGICO E A PRESENÇA DE ÁGUA NO SOLO

O ciclo hidrológico (Figura 3.1) é o fenômeno de circulação fechada da água, nos seus diferentes estados físicos, entre a superfície terrestre e a atmosfera. Este movimento ocorre devido ao Sol, que fornece energia térmica para que ocorra a evaporação da água, e à gravidade, que faz com que ocorra a precipitação da água condensada [17].

Na superfície terrestre a água pode escoar superficialmente através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos ou se infiltrar nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas, porém uma parte da água precipitada pode ser retida pela vegetação. Posteriormente, a água estará sujeita a evaporação direta para a atmosfera ou pode ser absorvida pela vegetação, que transpira e devolve a água à atmosfera, sendo este processo chamado evapotranspiração [17].

3.5. DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS

Os movimentos de massa, entre eles os deslizamentos, estão associados a fatores como estrutura geológica, características dos materiais envolvidos, morfologia do terreno e formas de uso da terra com determinadas características, ou seja, esses fenômenos ocorrem devido a uma combinação de fatores, nos quais se inclui a dinâmica hidrológica do solo [19,20].

A ocorrência de chuvas intensas ou moderadas, mas prolongadas, aumentam o grau de saturação do solo, afetando sua consistência e interferindo na sua plasticidade e fluidez e conseqüentemente contribuindo com processo de deslizamento de encostas [19].

Os movimentos de massa relacionados às encostas podem ser classificados em: rastejo, escorregamento ou deslizamento, corridas de massa, as quedas, sendo que cada tipo de movimento apresenta determinadas características [1].

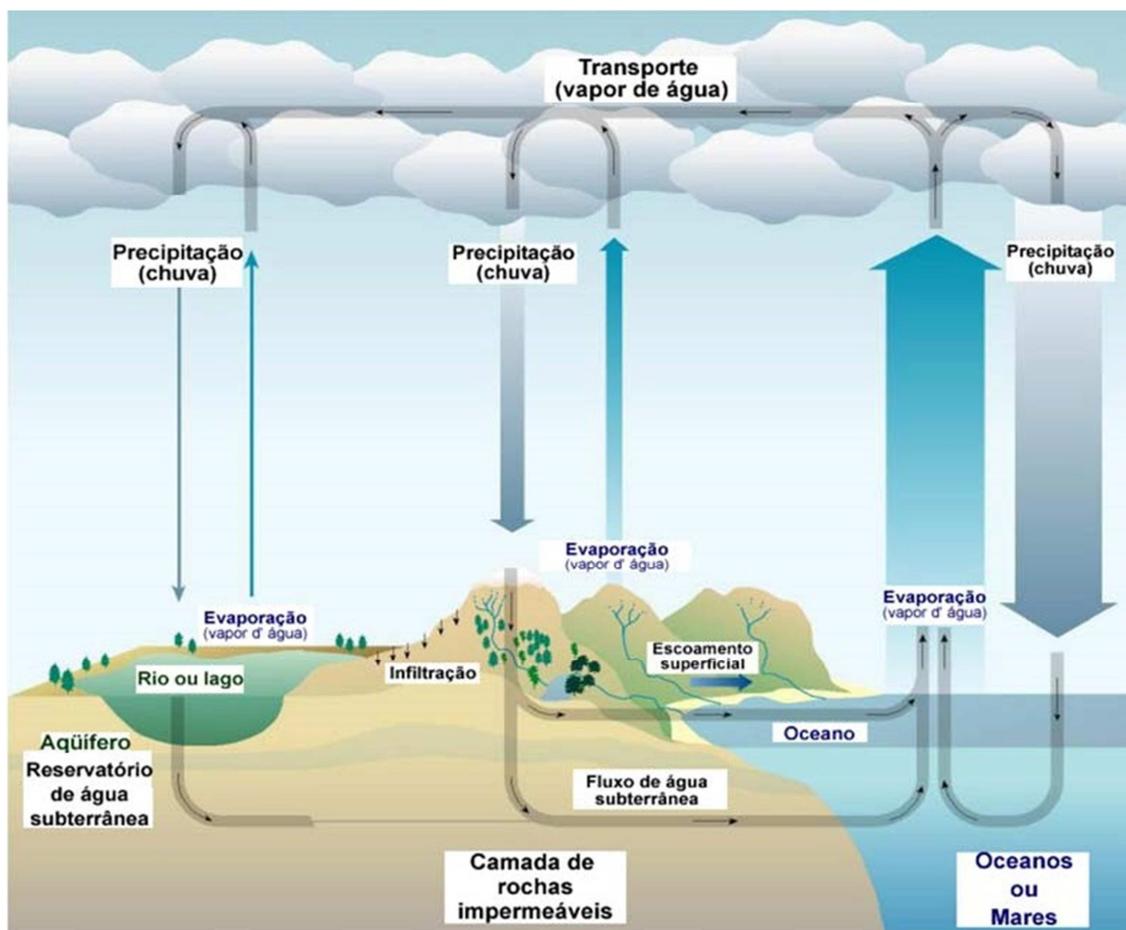


Figura 3.1. Ciclo hidrológico.

Fonte: [18]

A Tabela 3.1 mostra a classificação proposta por Augusto Filho (1992) dos principais movimentos de massa presentes na dinâmica ambiental brasileira [21].

Tabela 3.1. Principais movimentos de encostas na dinâmica na dinâmica ambiental brasileira.

Fonte: [21].

Tipo de movimento	Características do movimento, material e geometria
Rastejos (<i>creep</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • Geometria indefinida
Escorregamentos (<i>slides</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material. • Geometria e materiais variáveis • Planares – solos pouco espessos, solo e rochas com um plano de fraqueza • Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas • Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (<i>falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. • Rolamento de matacão • Tombamento
Corridas (<i>flows</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 3.1 mostra o fluxograma geral do procedimento experimental adotado neste trabalho.

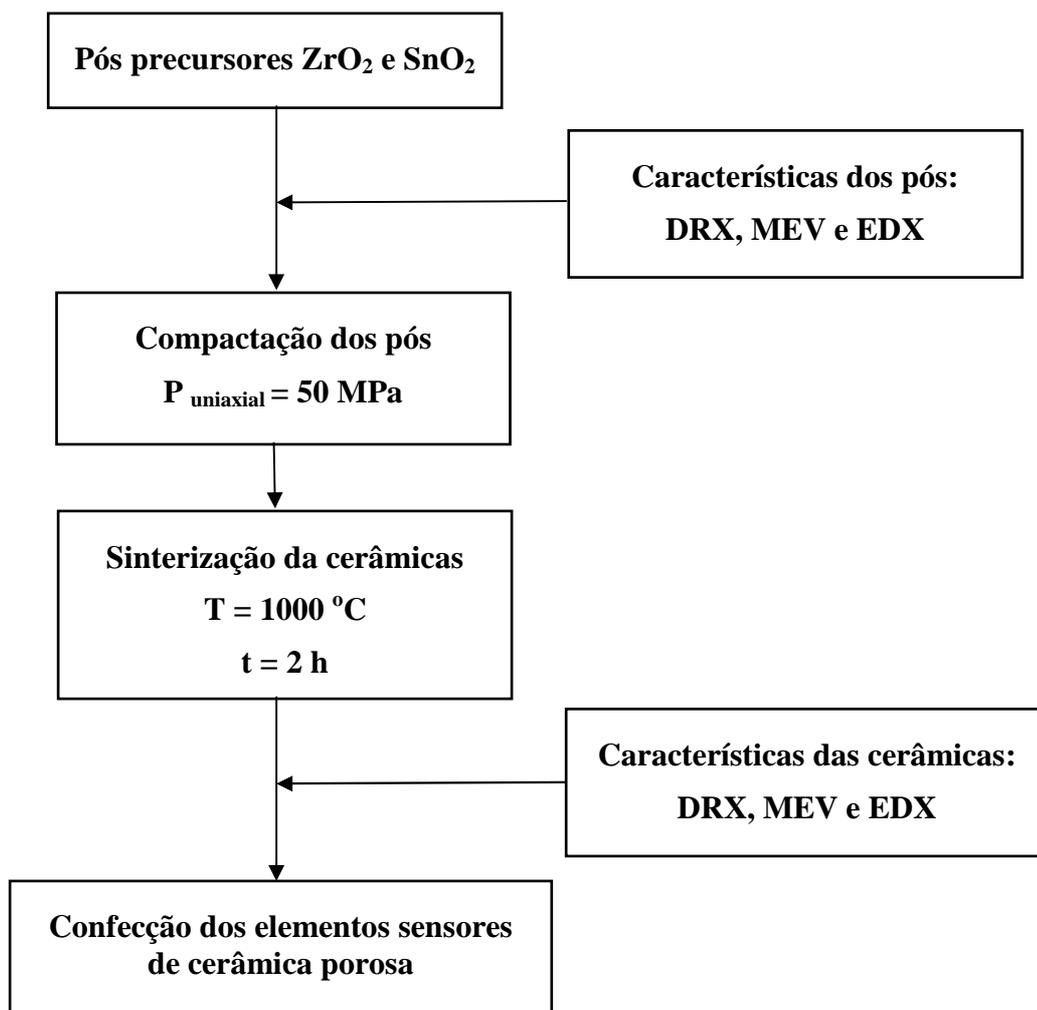


Figura 3.1. Procedimento experimental utilizado na confecção e caracterização das cerâmicas porosas sinterizadas, para a confecção dos elementos sensores cerâmicos.

Os pós precursores de zircônia (ZrO_2), de estanhia (SnO_2) e de nióbia (Nb_2O_5) foram compactados por prensagem uniaxial ($P_{uniaxial} = 50$ MPa), em um molde

cilíndrico, sendo que as dimensões dos compactados (a verde) foram de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 3 mm de altura,

Em seguida, as amostras foram sinterizadas sob as seguintes condições: i) aquecimento com taxa de 10 °C/min com um patamar de 200 °C por meia hora, ii) aquecimento com taxa de 10 °C/min até atingir 1000 °C com patamar de 2 horas e iii) taxa de resfriamento de 10 °C/min até aproximadamente 25 °C.

Cada uma das cerâmicas sinterizadas foi metalizada em formato de capacitor típico (Fig. 3.2). O elemento sensor foi confeccionado depositando um filme de cola de prata, nas duas superfícies planas da cerâmica (o dielétrico de cerâmica porosa), que simulará as placas paralelas, de forma a fim torná-la um sensor capacitivo de umidade, como mostra a Figura 3.3.



Figura 2.2. Desenho esquemático de um elemento sensor do tipo capacitivo.

Fonte: Adaptada de [6],

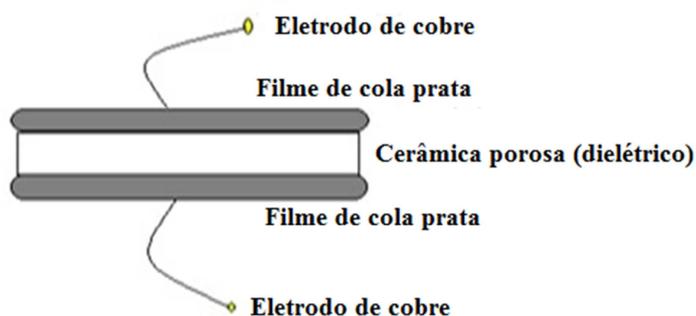


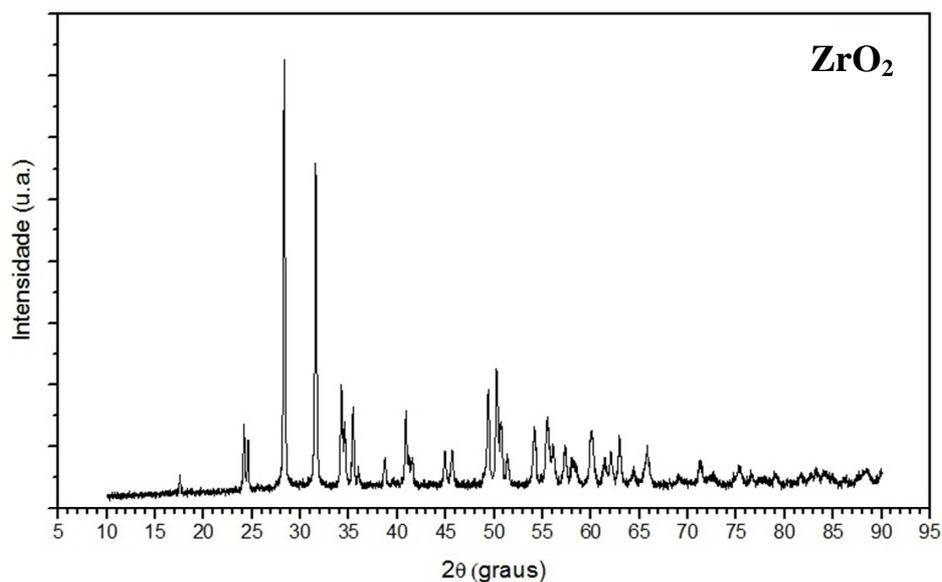
Figura 3.3. Desenho esquemático do elemento sensor do tipo capacitivo, utilizado neste trabalho, cujo dielétrico é uma cerâmica porosa.

Fonte: Adaptado de [6].

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As cerâmicas de zircônia (ZrO_2), de estanhia (SnO_2) e de nióbia (Nb_2O_5), sinterizadas em $1000\text{ }^\circ\text{C}$, foram caracterizadas pelas técnicas de difratometria de raios X (DRX) e de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de alta resolução e espectrometria de espalhamento de raios X (EDX).

Os difratogramas de raios X foram realizadas para a identificação das fases cristalinas presentes nas cerâmicas porosas sinterizadas com sendo de ZrO_2 e SnO_2 , respectivamente. A Figura 4.1 mostra os difratogramas de raios X das cerâmicas de zircônia e da estanhia. As identificações foram realizadas por comparações com os padrões de DRX das fichas JPDF números 01-83-0943, para zircônia e 00-041-1445 para estanhia.



a)

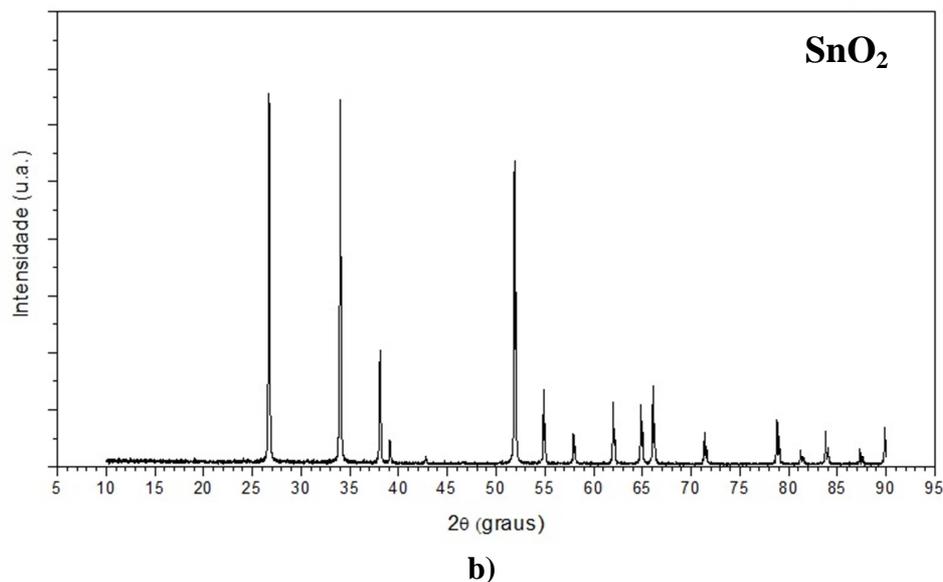


Figura 4.1 - Difrátogramas de raios X das cerâmicas sinterizadas em 1000 °C por 2 horas, de: a) ZrO_2 e b) SnO_2 .

A Figura 4.2 mostra a imagem obtida por MEV de alta resolução da superfície como lateral da cerâmica porosa de ZrO_2 . Nesta imagem, pode ser observado uma de poros heterogênea de quantidade, de tamanho e forma de poros.

A imagem obtida por MEV de alta resolução da superfície de fratura da cerâmica porosa de ZrO_2 (Fig. 4.3) mostra uma distribuição menos heterogênea de quantidade, de tamanho e forma de poros. Esta microestrutura é resultante do cisalhamento das partículas do pó com as paredes da matriz, durante a etapa de compactação. Estes defeitos não foram eliminados durante a etapa da sinterização.

As imagens obtidas por MEV de alta resolução, apresentadas nas Figuras 4.4 e 4.5, mostram que a cerâmica de SnO_2 possui características muito semelhantes às cerâmicas de ZrO_2 quanto as suas microestruturas, quando observadas por MEV.

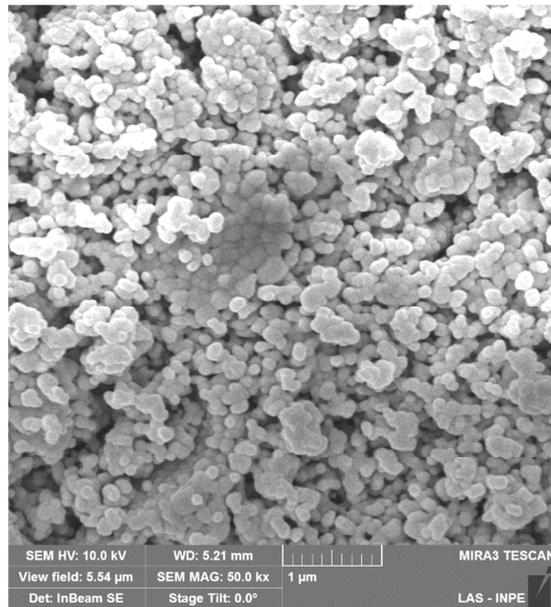


Figura 4.2 - Imagem obtida por MEV da superfície como sinterizada da cerâmica porosa de zircônia sinterizada em 1000 °C por 2 horas.

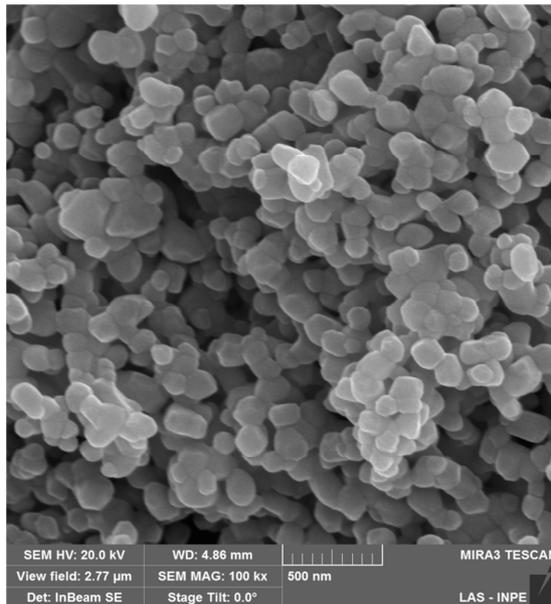


Figura 4.3 - Imagem obtida por MEV da superfície de fratura da cerâmica porosa de zircônia sinterizada em 1000 °C por 2 horas.

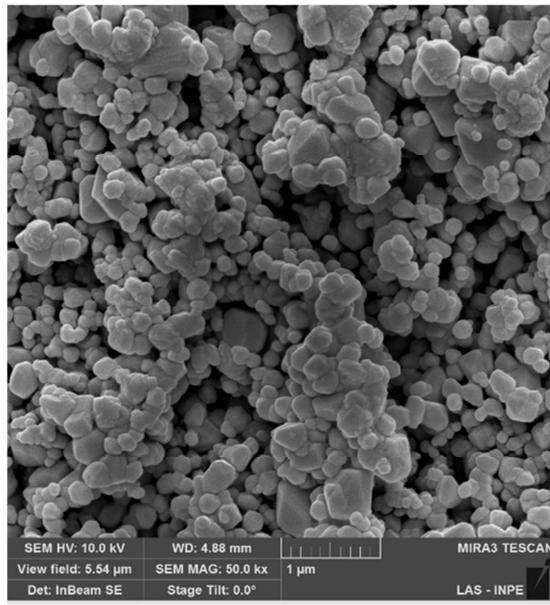


Figura 4.4. Imagens obtidas por MEV da cerâmica de SnO₂ sinterizada em 1000 °C por 2 horas: a) superfície como sinterizada e b) superfície de fratura.

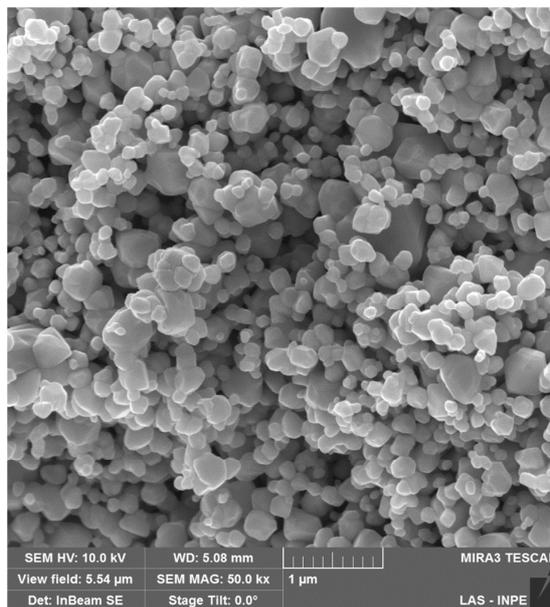


Figura 4.5. Imagens obtidas por MEV da cerâmica de SnO₂ sinterizada em 1000 °C por 2 horas: a) superfície como sinterizada e b) superfície de fratura.

A microestrutura da cerâmica de nióbia sinterizada apresentou características de tamanhos e formas de grão, que resultaram em uma microestrutura formada

dominantemente por macroporos. No entanto, a cerâmica é composta por grãos com porosidades diferentes, tornando a microestrutura heterogênea.

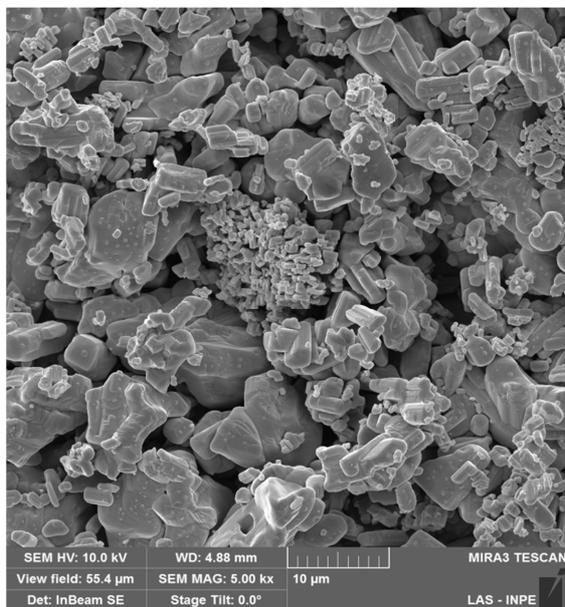


Figura 4.6. Imagens obtidas por MEV da cerâmica de Nb₂O₅ sinterizada em 1000 °C por 2 horas: a) superfície como sinterizada e b) superfície de fratura.

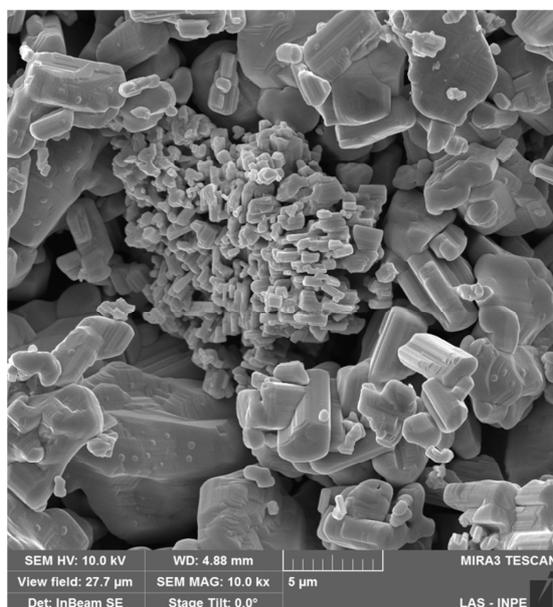


Figura 4.7. Imagens obtidas por MEV da cerâmica de Nb₂O₅ sinterizada em 1000 °C por 2 horas: a) superfície como sinterizada e b) superfície de fratura.

5. CONCLUSÕES

As avaliações feitas utilizando imagens obtidas por MEV de alta resolução das cerâmicas porosas de ZrO_2 e SnO_2 indicaram que ambas as microestruturas são semelhantes na distribuição da quantidade, de tamanho e forma de poros e também de grãos. Estas características permitirão a fabricação de cerâmicas bastante homogêneas química e fisicamente, independente da quantidade de cada óxido componente.

No entanto, a grande diferença das características físicas das cerâmicas de Nb_2O_5 indicam que o pó deste óxido deverá ser previamente moído para minimizar a heterogeneidade na cerâmica sinterizada final.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DE MORISSON VALERIANO, Márcio. Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião-SP Rodolfo Georjute Lotte Cláudia Maria de Almeida.
- [2] OLIVEIRA, R. M. **Desenvolvimento de elementos sensores de cerâmica porosa de ZrO_2 - TiO_2 para aplicação no monitoramento do conteúdo de água em solos.** Tese de doutorado, INPE – São José dos Campos,2010.
- [3] BLANK, T. A.; EKSPERIANDOVA, L. P.; BELIKOV, K. N. Recent trends of ceramic humidity sensors development: A review. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 228, p. 416-442, 2016.
- [4] PARTHIBAVARMAN, M.; HARIHARAN, V.; SEKAR, C. High-sensitivity humidity sensor based on SnO_2 nanoparticles synthesized by microwave irradiation method. **Materials Science and Engineering: C**, v. 31, n. 5, p. 840-844, 2011.
- [5] WENDLING, M. Sensores, Universidade Estadual Paulista – Guaratinguetá, 2012.

- [6] PATSKO, L. F. Tutorial – Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. **Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica e Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos**, v. 200, 2006.
- [7] FUENTES, R. C. Apostila de Automação Industrial, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria - SANTA MARIA – RS, 2005.
- [8] CRUZ, T. ML et al. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. Engenharia Agrícola, 2010.
- [9] PIRES, M. C. **Estudo de cerâmicas porosas de titânia e zircônia mono e multicamadas para aplicação como sensores de umidade do ar**. Dissertação de Mestrado, INPE – São José dos Campos, 2010.
- [10] BORIM, A. C. A; PINTO, C. A. R. Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 51-60, 2015.
- [11] CALISTER, Jr. W. D. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 5ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. (LTC), 2002. 589p. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. (Materials Science and Engineering: Na introduction. Copyright© 2000, John Wiley & Sons, Inc.)
- [12] MINEIRO, S. L.; NONO, M. C. A.; KURANAGA, C.; SILVA, M. D. Humidity sensitive characteristics of ZnO-TiO₂-Ta₂O₅ ceramic. Materials Science Forum, Suíça, v. 498, p. 293-298, 2005
- [13] MANZANI, D. **Preparação por rota química de filmes finos e pós nanoparticulados de Ta₂O₅ para aplicação como sensor de umidade**. Dissertação de Mestrado, INPE – São José dos Campos, 2007.
- [14] TRAVERSA, E. Ceramic sensors for humidity detection: The state-of-the-art and future developments. Sensors and Actuators B, v.23, p.135-156, 1995.
- [15] KULWICKI, B. M. Humidity sensors. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 74, 697-708p., 1991.

- [16] NITTA, T. Development and application of ceramic humidity sensors. In: SEIYAMA, T. (ed.), **Chemical sensor technology**, v.1, Kodansha, Tokyo/Elsevier, Amsterdam, p. 57-78, 1988.
- [17] BATISTA DA SILVA, L. D; CARVALHO, Daniel Fonseca de. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, 2006. (Apostila)
- [18] Site: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Ciclo-Hidrologico-1376.html>. Visualizado em 4 de junho de 2016.
- [19] DIAS, Fernando Peres; DE PAULA HERRMANN, Maria Lúcia. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis–SC. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, 2006.
- [20] FERNANDES, Nelson Ferreira et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, 2010.
- [21] DE CAMPOS, Tácio Mauro Pereira. **Desenvolvimento de um modelo matemático transiente para previsão de escorregamentos planares em encostas**. 2012. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- [22] KURANAGA, C. **Pesquisa e desenvolvimento de cerâmicas para aplicação como sensores de umidade ambiente**. 1999. 15p. Relatório de bolsa DTI/CNPq. (Supervisores: Maria do Carmo de A. Nono e Marcos Dias da Silva).
- [23] KURANAGA, C. **Pesquisa e desenvolvimento de cerâmicas para aplicação como sensores de umidade ambiente**. 2001. 15p. Relatório de bolsa DTI/CNPq. (Supervisores: Maria do Carmo de A. Nono e Marcos Dias da Silva).
- [24] KURANAGA, C.; NONO, M. A.; SILVA, M. D.; MINEIRO, S. L. Influence of microstructure on humidity sensing properties of ZrO₂-TiO₂ ceramics. In: CONGRESSO DE MICROSCOPIA E MICROANÁLISE NO MERCOSUL (MICROMAT), 2002, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 2002.