

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: brufesili@gmail.com

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

Rodrigo de Matos Oliveira (CTE/LAS/INPE, Coorientador)
E-mail: rodmatos@las.inpe.br

Julho de 2015

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus e a minha família, sem os quais eu não estaria onde estou hoje.

À Dra. Maria do Carmo de Andrade Nono e ao Dr. Rodrigo de Matos Oliveira pela orientação, oportunidade de aprendizado e pela confiança para dar continuidade a este projeto.

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

RESUMO

Este projeto tem como objetivo investigar a dinâmica da água em amostras de solo em diferentes condições climáticas através da utilização dos sensores cerâmicos desenvolvidos no Laboratório de Micro e Nanotecnologia Espaciais e Ambientais – TECAMB, que integra o Laboratório Associado de Sensores e Materiais – LAS, do INPE, esperando como resultado uma correlação entre as medições de conteúdo de água em condições controladas em laboratório e em condições ambientais reais. O monitoramento da umidade de solo, empregando os sensores cerâmicos desenvolvidos pelo Grupo TECAMB/LAS – INPE, foi realizado em laboratório, com amostras deformadas de solo, através de medições elétricas de capacitância em função de adições controladas de água nas amostras. As curvas de capacitância foram obtidas a partir da amostra seca de solo até a condição de saturação, em diferentes intervalos de tempo, para que se pudesse prever o volume e a velocidade de infiltração, verificando a capacidade dos sensores cerâmicos de umidade em detectar tais variações do meio. A detecção de tais variações se baseia na diferença entre as constantes dielétricas da cerâmica utilizada como sensor e da água. Atualmente, o projeto se dedica ao monitoramento da umidade de amostras de solo não deformadas, utilizando os mesmos parâmetros e análises, das curvas de capacitância em função de adições controladas de água, feitas para as amostras deformadas de solo e em encontrar uma correlação entre as medições de conteúdo de água em condições controladas em laboratório e em condições ambientais reais, para que possa ser feita uma futura calibração dos sensores.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciclo hidrológico.....	4
Figura 3.1. Procedimento experimental utilizado na confecção dos elementos sensores cerâmicos.....	8
Figura 3.2. Desenho esquemático do elemento sensor cerâmico.....	9
Figura 1.1. Difratoformas de raios X das pastilhas cerâmicas sinterizadas nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200 °C, por 2 horas.....	10
Figura 4.2. Imagens obtidas por MEV das superfícies de fratura das cerâmicas sinterizadas nas temperaturas de: a) 1000, b) 1100 e c) 1200 °C.....	12
Figura 4.3. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1000 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.....	14
Figura 4.4. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1100 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.....	14
Figura 4.5. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1200 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.....	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 Materiais Cerâmicos	2
2.2 Mecanismos de adsorção de água nos elementos sensores	2
2.3 Ciclo hidrológico e a presença de água no solo	3
2.4 Deslizamentos de encostas	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1 Elemento sensor cerâmico utilizado no experimento	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
5. CONCLUSÕES	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

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 essas ocorrências 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 uma alternativa. Entretanto no Brasil há uma deficiência de sensores desse tipo baseados na “Regra dos 4s”, que é utilizada para qualificar sensores através dos seguintes parâmetros: (i) velocidade de resposta (*Speed*), (ii) estabilidade física e química (*Stability*), (iii) seletividade ao estímulo proposto (*Selectivity*) e (iv) capacidade sensitiva (*Sensibility*) [2].

Os equipamentos mais refinados, que se baseiam na “Regra dos 4s”, são geralmente importados dos EUA, Europa e Japão e, além de serem mais caro, possuem uma calibração feita em condições de solo e de clima diferentes das que são encontradas no Brasil. Assim o desenvolvimento de sensores no Brasil que sejam mais versáteis, confiáveis e, de preferência, de baixo custo é importante [2].

Visando esses requisitos, 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 que possam mensurar a quantidade de água no solo, sendo os sensores de cerâmicas porosas de ZrO_2 e TiO_2 um destes.

Com esse trabalho, portanto, busca-se dar continuidade no desenvolvimento e no aprimoramento dos sensores de cerâmicas porosas à base de ZrO_2 e TiO_2 , já que estes vem se mostrando eficazes na medição (detecção) do conteúdo de água em solos.

1.1. Objetivo

Investigar a dinâmica da água em uma amostra de solo selecionada utilizando sensores capacitivos de cerâmicas porosas a base ZrO_2 e TiO_2 . Com esse estudo, busca-se, futuramente, empregar esses dispositivos cerâmicos no monitoramento de áreas com riscos de deslizamentos de terra, nos períodos de chuva.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. 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 [3].

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 [3].

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 [4].

2.2. Mecanismos de adsorção de água nos 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 [5].

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 [6].

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 [5].

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 [5].

2.3. Ciclo hidrológico e a presença de água no solo

O ciclo hidrológico (Figura 2.1) 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 [7].

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 [7].



Figura 2.2. Ciclo hidrológico. Fonte: [8].

2.4. 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 [9,10].

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 consequentemente contribuindo com processo de deslizamento de encostas [9].

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 apresentam determinadas características [1].

A tabela a seguir (Tabela 2.1) mostra a classificação proposta por Augusto Filho (1992) dos principais movimentos de massa presentes na dinâmica ambiental brasileira [11].

Tabela 2.1. Principais movimentos de encostas na dinâmica na dinâmica ambiental brasileira. Fonte: [11].

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

Elementos sensores capacitivos, confeccionados a partir de cerâmicas porosas, foram utilizados para o estudo do monitoramento do conteúdo de água em uma amostra selecionada de solo e as caracterizações elétricas foram realizadas através de medições de capacitância em função de valores crescentes de água na amostra deformada de solo, até a sua saturação.

As medições de capacitância foram obtidas através de uma ponte RLC, acoplada em uma câmara climática, nas frequências de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz, e a condição climática foi controlada, com a umidade relativa de 25 %. Os materiais utilizados no estudo do monitoramento de umidade de solos empregando sensores de cerâmica porosa, através de medições de sua condutividade elétrica, são mostrados a seguir.

- Elemento sensor de cerâmica porosa confeccionado a partir do processamento cerâmico tradicional, utilizando pós precursores de ZrO_2 e de TiO_2 , em formato de pastilhas, que foram sinterizados nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200 °C.

- Ponte RLC da marca PHILIPS - FLUKE/PM 6304, responsável pela excitação e aquisição de sinais elétricos;

- Câmara climática da marca WEISS TECHNIK, modelo WKL 100/40;

- Amostra deformada de solo, coletada próximo ao Laboratório TECAMB do LAS-INPE, em uma área de 1 m². Essa amostra de solo, com estrutura não preservada, foi coletada e acondicionada em béqueres, durante todo o procedimento experimental.

3.1. Elemento sensor cerâmico utilizado no experimento

As amostras de cerâmicas porosas utilizadas como sensores foram confeccionadas a partir das seguintes etapas: mistura mecânica a úmido e secagem dos pós; prensagem uniaxial da mistura dos pós e sinterização em diferentes temperaturas, conforme mostrado na Figura 3.1.

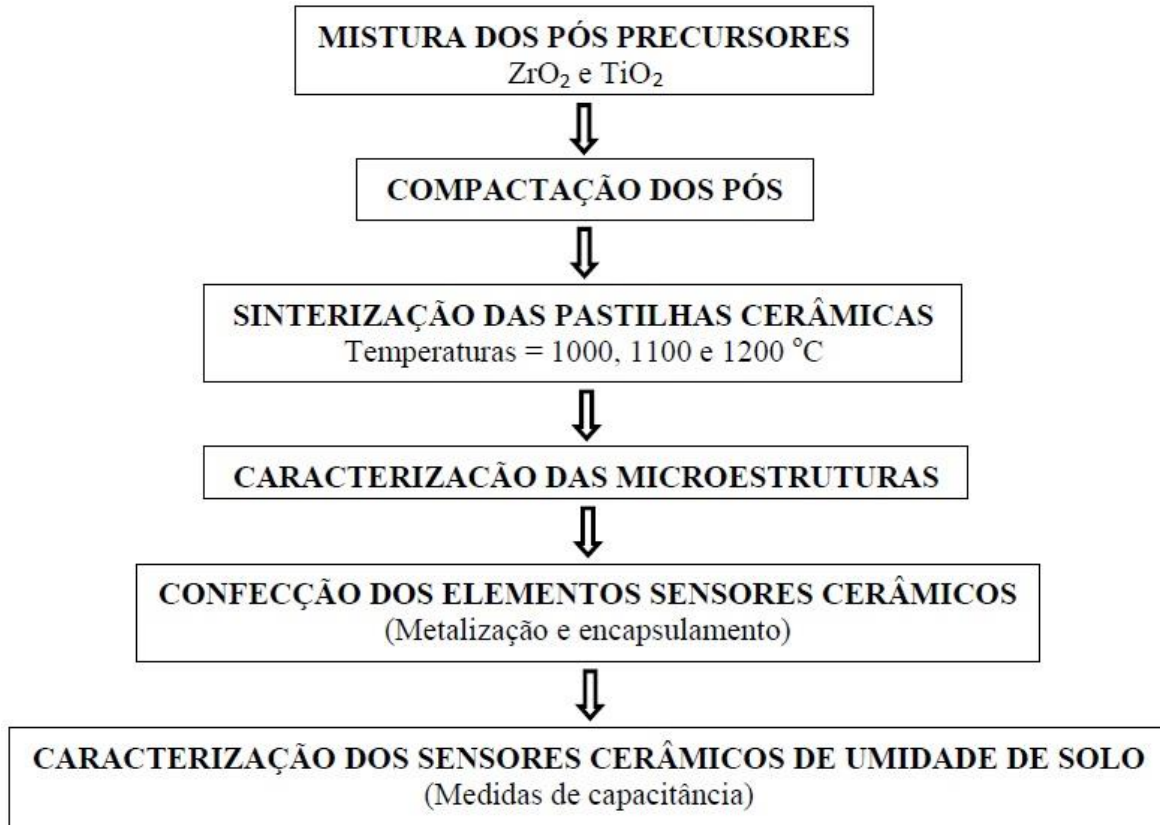


Figura 3.1. Procedimento experimental utilizado na confecção dos elementos sensores cerâmicos. Fonte: [12]

Em seguida, as pastilhas cerâmicas foram metalizadas em formato de *sandwich*, a fim de gerar o efeito capacitivo nas mesmas e, por fim, foram adequadamente encapsuladas, cuja finalidade foi manter a integridade física e química do material e evitar interferências conforme é observada na Figura 3.2.

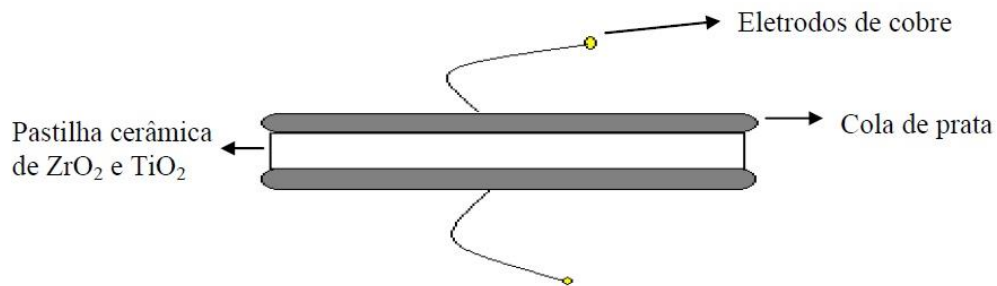


Figura 3.2. Desenho esquemático do elemento sensor cerâmico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As pastilhas cerâmicas de zircônia (ZrO_2) e de titânia (TiO_2), sinterizadas nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200 °C, foram caracterizadas pelas técnicas de difratometria de raios X (DRX) e de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Conforme mostrados nos difratogramas de raios X (Figura 4.1), em todas as cerâmicas estudadas não foram identificadas a presença de qualquer composto químico formado a partir da ZrO_2 e da TiO_2 .

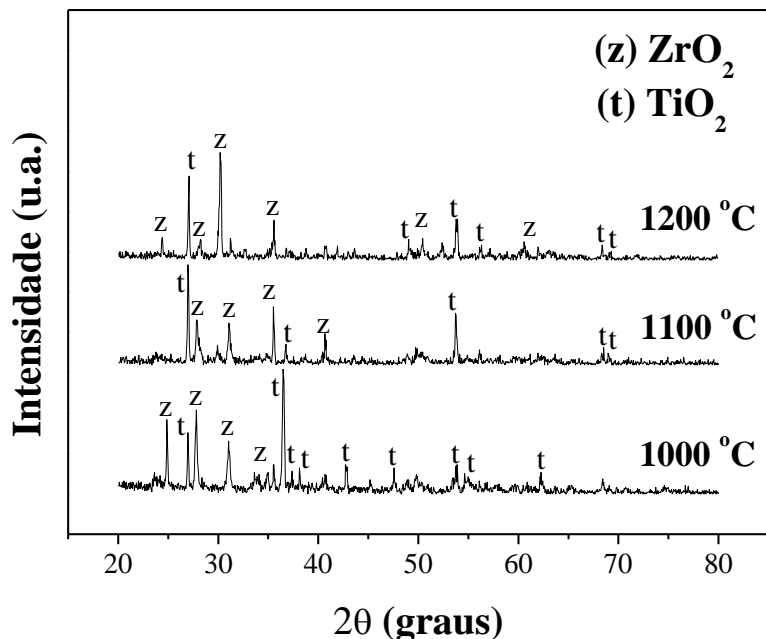


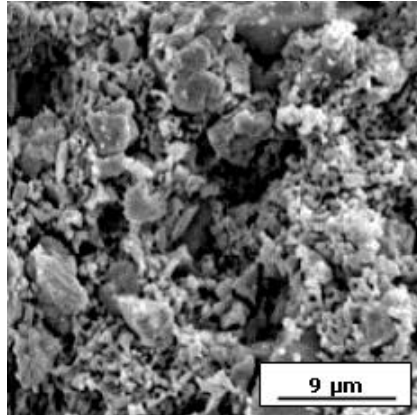
Figura 4.1. Difratomogramas de raios X das pastilhas cerâmicas sinterizadas nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200 °C, por 2 horas.

De acordo com os trabalhos anteriores elaborados pelos pesquisadores do Grupo TECAMB, do INPE-LAS, na faixa de temperatura utilizada neste trabalho ocorre a formação de solução sólida do tipo ZrO_2 - TiO_2 [1-3]. Esta solução sólida favorece a adsorção química das moléculas de água nas superfícies dos poros das cerâmicas sinterizadas [16-18].

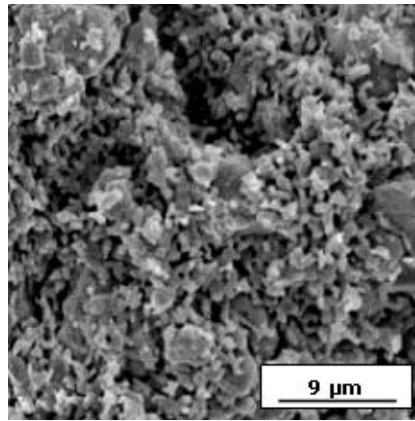
A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi empregada a fim de observar a morfologia da microestrutura das cerâmicas sinterizadas aplicadas como sensores de umidade do solo. A microestrutura, juntamente com a composição química, exercem uma grande influência nas propriedades sensoras dessas cerâmicas.

Nas imagens obtidas por MEV, mostradas nas Figuras 4.2a, 4.2b e 4.2c, com o aumento da temperatura de sinterização, uma maior densificação das pastilhas cerâmicas é observada, conforme relata a literatura técnica consultada. Portanto, na cerâmica sinterizada na temperatura de 1000 °C (Figura 4.2a), identifica-se uma microestrutura porosa, com

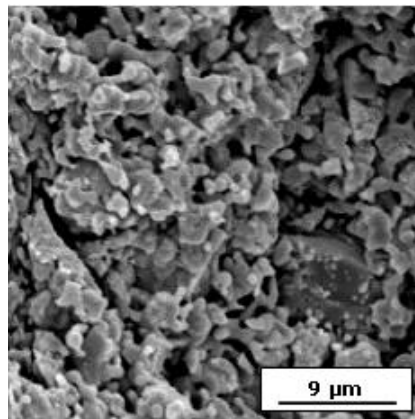
poros de vários tamanhos e formas. Na Figura 4.2b, cuja imagem se refere a cerâmica sinterizada em 1100 °C, observa-se que o sistema atingiu a etapa seguinte de sinterização, onde se nota a formação de regiões de pescoço entre algumas partículas. Já na Figura 4.2c, a cerâmica sinterizada em 1200 °C apresenta uma microestrutura mais consolidada, com tamanhos menores de poros, porém ainda existentes.



a)



b)



c)

Figura 4.2. Imagens obtidas por MEV das superfícies de fratura das cerâmicas sinterizadas nas temperaturas de: a) 1000, b) 1100 e c) 1200 °C.

Nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5, os dispositivos sensores de conteúdo de água no solo, confeccionados com cerâmicas porosas sinterizadas nas temperaturas de 1000, 1100 e 1200 °C, foram caracterizados eletricamente, através do comportamento da variação de capacitância em função de valores crescentes de água no solo, até a saturação, em temperatura ambiente (25 °C) e nas frequências de 100 Hz, 1 e 10 kHz. Para isso, os sensores cerâmicos foram imersos em amostras de solo deformadas, a fim de prever o comportamento da água em uma determinada condição climática.

Em todas as figuras analisadas (Figuras 4.3, 4.4 e 4.5), observam-se uma tendência ao comportamento linear, pois os valores de capacitância aumentaram com o aumento do conteúdo de água na amostra de solo. No entanto, verificou-se que os valores da variação de capacitância foram menores com o aumento da frequência para um mesmo nível de umidade, conforme observado na literatura [19, 20]. Porém, para os elementos sensores sinterizados na temperatura de 1000 °C (Figura 4.3), as curvas realizadas nas frequências de 100 Hz e de 1 kHz praticamente coincidiram. Agora, para os elementos sensores sinterizados nas temperaturas de 1100 e 1200 °C (Figuras 4.4 e 4.5, respectivamente), os resultados apresentados para as frequências analisadas apresentaram comportamentos distintos. Os valores de capacitância para os sensores sinterizados em 1100 °C, ao longo de toda a faixa de umidade de solo medida, tornaram-se mais estáveis com a diminuição da frequência. Esse resultado já era esperado, pois em frequências altas há menos tempo de relaxação dos dipolos (principalmente das moléculas de água), antes da aplicação do próximo pulso potencial [21]. Enquanto que os valores de capacitância para os sensores sinterizados em 1200 °C apresentaram comportamento instável somente no início das medições, tornando-se estável a partir de 40 % do conteúdo de água no solo.

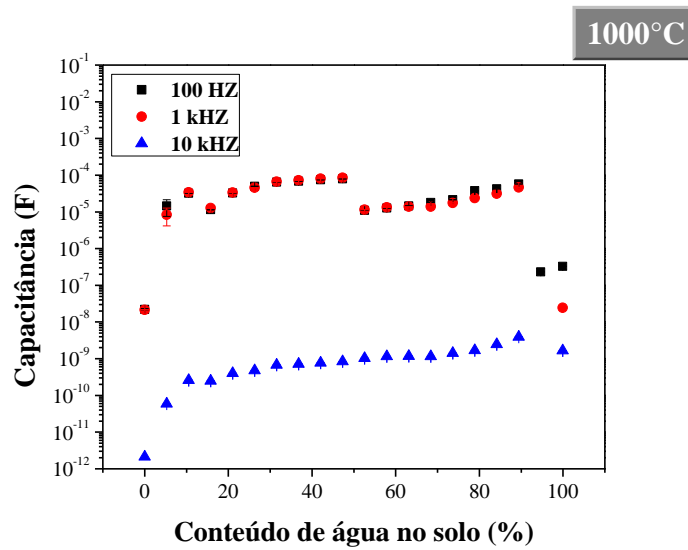


Figura 4.3. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1000 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.

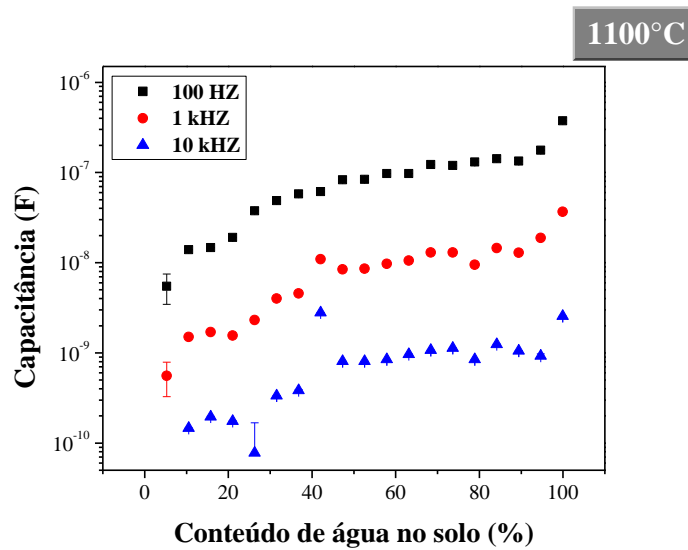


Figura 4.4. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1100 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.

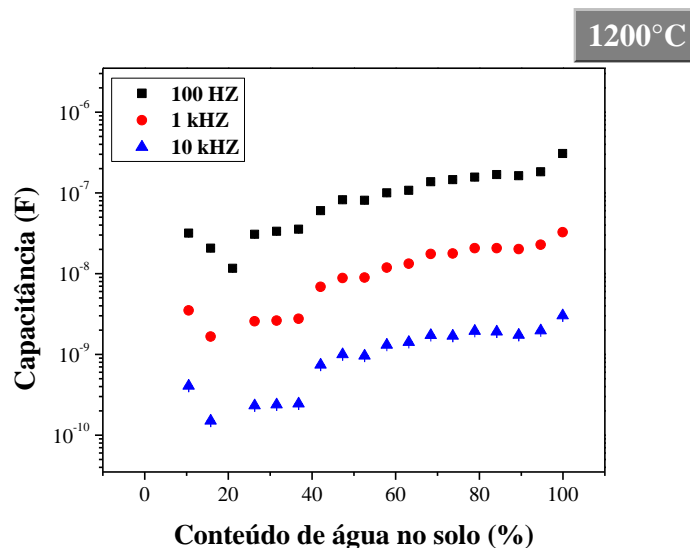


Figura 4.5. Comportamento do dispositivo sensor cerâmico sinterizado na temperatura de 1200 °C em função do conteúdo de água em amostras deformadas de solo, nas seguintes frequências 100 Hz; 1 kHz e 10 kHz.

5. CONCLUSÕES

Os elementos sensores de cerâmicas porosas de ZrO_2-TiO_2 apresentaram um comportamento tendendo a linearidade para todas as temperaturas de sinterização estudadas, na temperatura ambiente de 25 °C. De modo geral, os elementos sensores apresentaram os melhores resultados em conteúdos altos de água no solo (acima de 40 %) e em baixas frequências. A formação da solução sólida de ZrO_2-TiO_2 e as obtenções das microestruturas porosas, para as temperaturas de sinterização de 1000, 1100 e 1200 °C, indicaram que a escolha do material sensor e o processamento cerâmico utilizado se mostrou prático e eficaz. Esse processamento apresenta potencial para a produção em larga escala, desde que se determine e controle os parâmetros, incluindo a distribuição de tamanhos de partículas dos pós precursores.

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] 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.)
- [4] 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.
- [5] KULWICKI, B. M. Humidity sensors. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 74, 697-708p., 1991.
- [6] 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.
- [7] BATISTA DA SILVA, L. D; CARVALHO, Daniel Fonseca de. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, 2006. (Apostila)
- [8] Site: <http://www.vanialima.blog.br/2012/10/ciclo-da-agua.html>. Visualizado em 3 de julho de 2015.
- [9] 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.
- [10] 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.

- [11] DE CAMPOS, Tácio Mauro Pereira. **Desenvolvimento de um modelo matemático transiente para previsão de escorregamentos planares em encostas**. 2012. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- [12] DE SOUZA OLIVEIRA, Gustavo; DE ANDRADE NONO, Maria do Carmo; DE MATOS OLIVEIRA, Rodrigo. ESTUDO DO MONITORAMENTO DE UMIDADE DE SOLOS UTILIZANDO SENSORES DE CERÂMICA POROSA. 2013.
- [13] 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).
- [14] 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).
- [15] 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.
- [16] DAMYANOVA, S.; GRANGE, P.; DELMONT, B. Surface characterization of zirconia-coated alumina and silica carriers. *J. Catalysis*, v. 168, 421-430p., 1997.
- [17] GASPAR A. B.; DIEGUES, L. C. Distribution of chromium species in catalyst supported on ZrO₂/Al₂O₃ and performance in dehydrogenation. *J. Catalysis*, v. 220, 309-316p., 2003.
- [18] YU, J.; ZHAO, X.; HAO, Q. Z.; WANG, G. Preparation and characterization of superhydrophilic porous TiO₂ coating films. *Mater. Chem. Phys.*, v. 68, 253-259p., 2001.
- [19] WANG, J.; WANG, X.-H.; WANG, W.D. Study on dielectric properties of humidity sensing nanometer materials. *Sensors and Actuators B*, v.108, p. 445-449, Jan. 2005.
- [20] REZENDE, S. M. *Materiais e dispositivos eletrônicos*. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2004.

[21] MANZANI, D. Síntese e preparação de pó e filme fino de Ta₂O₅nanocristalino e sua aplicação como sensor de umidade. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2007. Orientadores: Sonia Maria Zanetti e Maria do Carmo de Andrade Nono.