

Estudo da Influência da Compactação nas Propriedades Texturais e Eletromagnéticas de Cerâmicas Zircônia-Titânia na Banda Ku

Thalita Sani-Taiariol, Gisele Amaral-Labat, Camila Mendes, Inês Pinheiro e Maurício Baldan
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo - Este estudo avaliou a influência do método de compactação na microestrutura e no comportamento eletromagnético de cerâmicas à base de ZrO_2-TiO_2 , sinterizadas a $1100\text{ }^\circ\text{C}$ por 4 horas. Ambas as amostras foram conformadas por prensagem uniaxial, sendo que apenas a S-300 também foi prensada isostaticamente. A análise por B.E.T. revelou áreas superficiais muito baixas, sendo possível apenas determinar os diâmetros médios de poros: 4,40 nm (S-0) e 3,31 nm (S-300). A difração de raios X confirmou a formação da fase $ZrTiO_4$ em ambas as composições. A caracterização eletromagnética, realizada na banda Ku (12,4–18 GHz) por meio de analisador de redes vetoriais (VNA), mostrou que a amostra S-300 funciona como absorvedor de $\frac{1}{4}$ de onda quando associada a um condutor perfeito (PEC), apresentando picos de atenuação em 13,15; 15,17; 16,01; 17,20 e 17,60 GHz. Em contrapartida, a amostra S-0 demonstrou transparência eletromagnética em 17,65 GHz, com boa uniformidade superficial e interna, evidenciada pela sobreposição dos parâmetros S_{11}/S_{22} e S_{21}/S_{12} , respectivamente. Os resultados demonstram que o tipo de compactação exerce influência significativa sobre a estrutura final e a resposta eletromagnética, permitindo ajustar o desempenho do material conforme a aplicação pretendida.

I. INTRODUÇÃO

No cenário atual de desenvolvimento tecnológico, os materiais cerâmicos avançados desempenham um papel fundamental em aplicações que exigem controle preciso de interações eletromagnéticas. As cerâmicas à base de zircônia-titânia (ZrO_2-TiO_2) têm atraído crescente interesse científico e industrial devido às suas propriedades dielétricas ajustáveis, estabilidade térmica e resistência mecânica, características essenciais para componentes em sistemas de comunicação, radares e dispositivos de defesa que operam em altas frequências [1,2,3]. A banda Ku (12,4 -18 GHz), em particular, representa uma faixa do espectro eletromagnético estratégica para aplicações em telecomunicações via satélite, sistemas de navegação e tecnologias militares [4]. Neste contexto, este trabalho investigou a influência da compactação nas propriedades texturais eletromagnéticas na banda Ku de cerâmicas zircônia-titânia (ZrO_2-TiO_2) sinterizadas a $1100\text{ }^\circ\text{C}$ por 4 horas.

II. MATERIAIS E METODOLOGIA

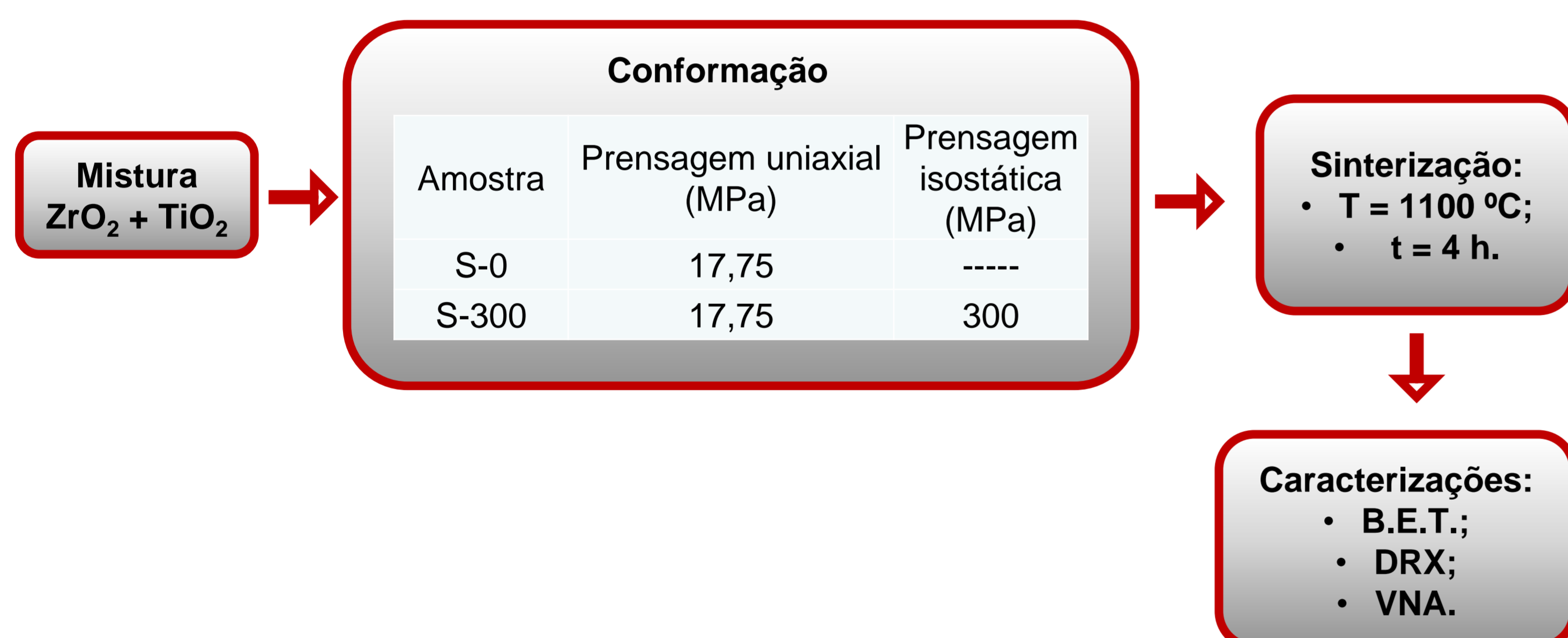


Fig. 1. Fluxograma do processo de confecção das amostras e das caracterizações.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de B.E.T. mostraram que ambas as amostras apresentaram baixa área superficial, tendo sido possível calcular apenas o diâmetro de poros. A tabela I apresenta os resultados obtidos de área superficial e diâmetro de poros.

Tab. 1. Resultados da caracterização por B.E.T..

AMOSTRA	S_{BET} (m^2/g)	d (nm)
S-0	3,63	4,40
S-300	3,03	3,31

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, as micrografias e o difratograma das amostras.

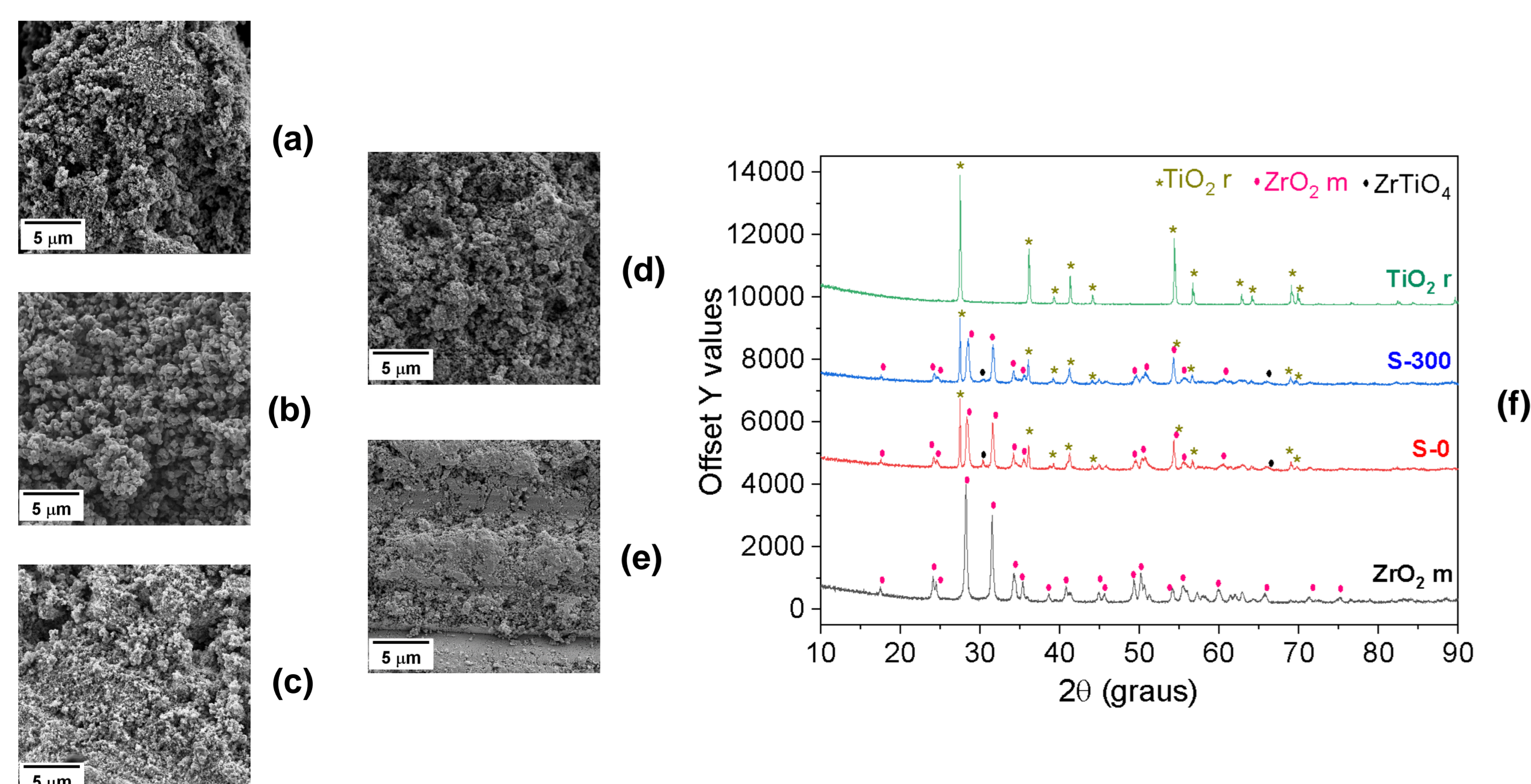


Fig. 2. Micrografias dos pós de zircônia (a), titânia (b), mistura (c), e das amostras S-0 (d) e S-300 (e). Difratogramas dos pós e das amostras S-0 e S-300 (f).

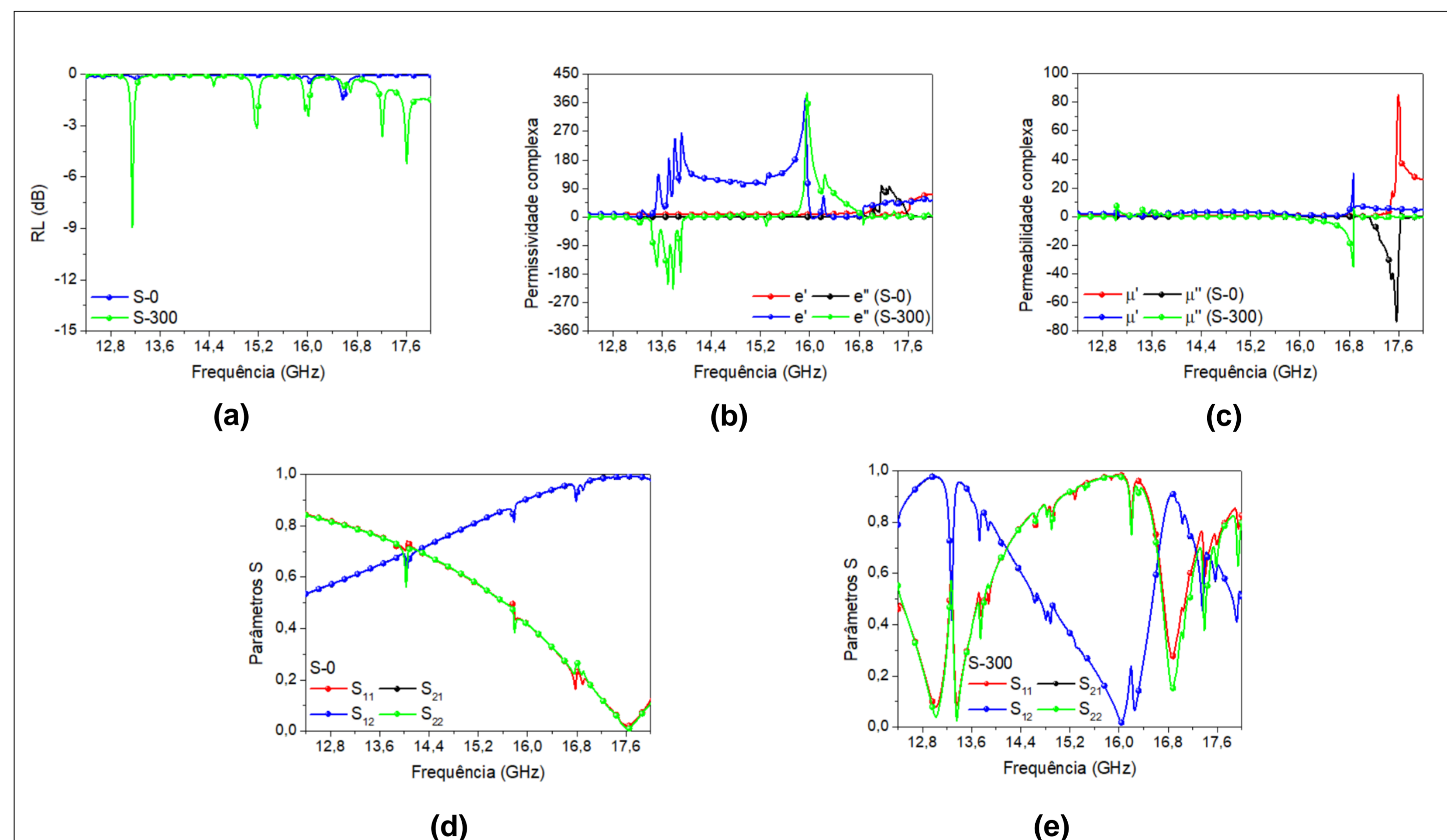


Fig. 3. RL, permissividade complexa e permeabilidade complexa das amostras S-0 e S-300 (a, b e c, respectivamente); parâmetros S das amostras S-0 (d) e S-300 (e).

Os resultados obtidos por meio do VNA apontam que a amostra S-300 pode ser utilizada como absorvedor de $\frac{1}{4}$ de onda, quando associada a um PEC, nas faixas de frequência em que ocorrem os picos de atenuação (13,15; 15,17; 16,01; 17,20 e 17,60 GHz). Já, a amostra S-0 apresenta transparência eletromagnética em 17,65 GHz. Ainda com relação à amostra S-0, a sobreposição dos parâmetros S_{11} com S_{22} indica uniformidade superficial, enquanto a sobreposição dos parâmetros S_{21} e S_{12} mostra homogeneidade no interior da amostra. No caso da amostra S-300, estudos adicionais estão sendo conduzidos para ajudar a entender a interação da onda eletromagnética com sua estrutura, porém também é notada uniformidade e homogeneidade superficial e interna. Para ambas as amostras, pequenos desvios nas linhas dos quatro parâmetros podem ser indicativos da presença de defeitos, seja na superfície ou internamente.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a compactação adicional proporcionou uma redução na área superficial da amostra S-300 de 16,53% em relação à S-0. Os difratogramas mostraram a presença de um pequeno pico relacionado com a formação da fase $ZrTiO_4$ para ambas as amostras sinterizadas, o que não ocorreu para o pó resultante da mistura dos precursores. Isto indica que a formação desta fase se deu durante o processo de sinterização das amostras, e não durante o procedimento adotado para a homogeneização dos pós, uma vez que este pico somente aparece nos difratogramas das amostras S-0 e S-300. Resultados da caracterização mostram um potencial da amostra S-300 para atuação como absorvedor de $\frac{1}{4}$ de onda quando associada a um PEC, enquanto que a amostra S-0 apresentou comportamento de transparência eletromagnética em 17,65 GHz. Para ambas as amostras, a sobreposição dos parâmetros S_{11} e S_{22} indica uniformidade superficial, enquanto a sobreposição dos parâmetros S_{21} e S_{12} mostra que há uniformidade no interior das amostras. Embora tenha havido transparência eletromagnética para a amostra S-0, estudos ainda estão sendo conduzidos no sentido de reduzir a hidrofobicidade característica deste tipo de cerâmica, bem como melhorar a resistência mecânica desta amostra para que seja possível empregá-la como radome.

REFERÊNCIAS

- D.D. Athayde, et al, Microstructure evolution during the sintering of freeze-cast alumina, *Mat. Res.*, vol. 27, p. e20230380, Nov. 2023.
- Y. Garanin, et al, Study of morphology, phase composition, optical properties, and thermal stability of hydrothermal zirconium dioxide synthesized at low temperatures, *Sci. Rep.*, vol. 14, p. 29398, Nov. 2024.
- Y.E. Tasisa, et al, Enhanced photocatalytic and electrochemical properties of green synthesized strontium doped titanium dioxide nanoparticles for dye removal and supercapacitor applications, *Sci. Rep.*, vol.15, p. 10452, Mar. 2025.
- C. Barde, et al, A compact wideband metamaterial absorber for Ku band applications, *J. Mater. Sci.*, vol. 31, p. 16898 – 16906, Aug. 2020.