

# Perfil tensões residuais em um aço 304L exposto a radiação natural da areia monazítica

Silva, C. P. S.<sup>1</sup>, Passamai, J. L. Jr.<sup>1</sup>, Orlando, M. T. D.<sup>1</sup>

(1) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

\* e-mail: mtdorlando@gmail.com

**Resumo:** Investigou-se neste trabalho o efeito da radiação gama oriunda da radiação natural da areia monazítica sobre a tensão residual presente em uma chapa de aço 304L. Para essa investigação foi utilizada a técnica de difração de raios X (DRX). Considerando que a alta absorção do feixe de difratado torna o valor avaliado da tensão residual representativo apenas de uma pequena parte do volume, realizou-se corrosão controlada para levantar um perfil de tensões em função da profundidade de duas chapas de 3mm, sendo uma irradiada e outra não irradiada. Os resultados indicaram que não foi detectada diferenças no perfil de tensão residual entre as placas.

**Abstract:** This work investigated the effect of gamma radiation from the natural radiation of monazite sand on the residual stress present in a 304L steel plate. The X-ray diffraction (XRD) technique was used for this investigation. Considering that the high absorption of the diffracted beam makes the assessed value of residual stress representative of only a small part of the volume, controlled corrosion was carried out to obtain a stress profile as a function of depth for two 3mm plates, one irradiated and the other non-irradiated. The results indicated that no differences were detected in the residual stress profile between the plates.

*Keywords:* Monazite Sand, DRX, Residual Stress.

## 1. Introdução

As praias com areias monazíticas apresentam picos de radiação natural elevado, até 60  $\mu\text{Sv.h}^{-1}$  [1]. Por se tratar de um sistema dinâmico aberto, o conhecimento da radiação ao longo da praia é fundamental para simular os efeitos da radiação natural em sistemas biológicos. Para isso, amostras de areia de uma praia rica em monazita localizada no litoral sudeste do Brasil foram coletadas, ao longo de um ano, nos pontos com maior nível de radiação natural, ao longo da praia, no dia da observação. Orlando *et al.* [2] caracterizaram essas areias utilizando fluorescência de raios X, difração de raios X e suscetibilidade magnética. A radiação natural presente na areia monazítica mostra uma correlação positiva entre com o composto Cheralita que apresenta o elemento radiativo tório (Th) [2,3].

Este estudo investigou a interação entre a radiação gama oriunda dessa areia e as possíveis alterações na tensão residual presente em chapas de aço inoxidável 304L. A

ideia de utilizar a chapa de aço inoxidável advém do fato de se procurar evitar efeitos de corrosão sobre a amostra.

## 2. Metodologia

Praias como Areia Preta e Meaípe apresentam taxas de radiação gama da ordem de 2  $\mu\text{Sv h}^{-1}$  até 60  $\mu\text{Sv h}^{-1}$ . Um Simulador Físico de Radiação Natural (NRPS), semelhante ao descrito por Coutinho *et al.* (2020) e Orlando *et al* (2021), foi construído para reproduzir o efeito médio da radiação areia monazítica obtidas na praia de Meaípe. A massa de areia monazítica utilizada para a confecção do NRPS foi de 10,00 kg e o nível médio de radiação gama registrado 1 cm abaixo da superfície da areia foi de  $23 \pm 1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ . A areia, lavada com hipoclorito de sódio, foi seca num dessecador durante 96 h e depois colocada num recipiente retangular

**VI Workshop sobre areias monazíticas**  
**Praia de Meaípe – Guarapari – ES - Brasil**  
**02 a 08 de setembro de 2023**

com dimensões de 290 x 220 x 260 mm<sup>3</sup>. Uma placa com dimensões de 30 x 30 mm e espessura de 3.045 mm foi embebida na areia por um ano (dose acumulada de aprox. 200 mGy). Uma segunda placa com dimensões idênticas foi mantida em um dessecador pelo mesmo período.

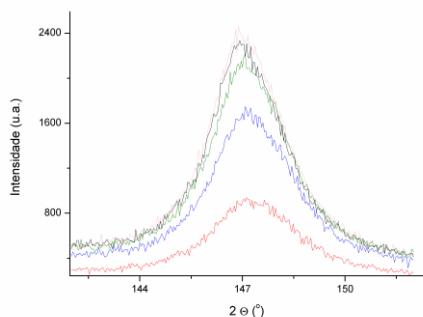
O perfil de tensão foi avaliado até uma profundidade de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . Para realizar a medida cada amostra foi submetida a etapas de polimento eletrolítico utilizando uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 25% e uma tensão de 2,5 Volts entre o cátodo e o anodo em intervalos de tempo de 15 minutos para cada corrosão.

Para avaliar a tensão residual acompanhou-se o comportamento do plano 420 com radiação CuK $\alpha$  ( $\lambda = 0,15419 \text{ nm}$ ) em difratômetro de geometria Bragg-Brentano. Acompanhou-se o comportamento do pico 420 da fase austenítica, conforme a norma SAE HS-784 [3], utilizando o intervalo angular de 142-152°, modo *step scan* com tempo de 20s, fenda de divergência de 0,05 mm, fenda de divergência horizontal de 10 mm, fenda de espalhamento de ½°, fenda receptora 0,3 mm, passos angulares de 0,04 e ângulo fixos  $\psi$  de 0°, 15°, 30°, 45° e 60°.

### 3. Discussão dos resultados

Na figura 1 encontra-se um exemplo representativo das medidas de tensão residual da amostra não irradiada com espessura 3.045 mm.

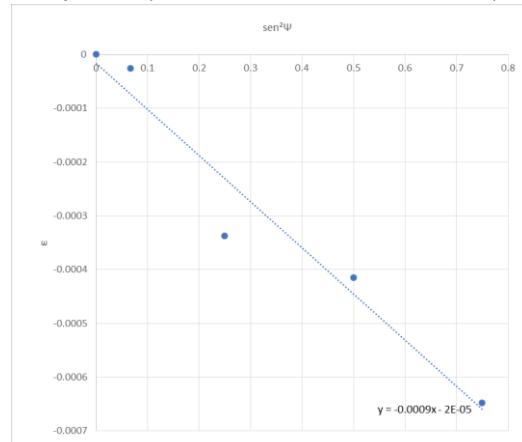
**Figura 1** – Gráfico representativo das medidas de tensão residual. Inclinação amostra: preto 0°, Laranja 15°, verde 30°, azul 45° e vermelho 60°.



Fonte: o próprio autor.

Na figura 2 encontra-se um ajuste típico no qual podemos tomar o valor de “m”, ou seja, a derivada da curva  $\varepsilon \propto \sin^2\psi$ .

**Figura 2** – Ajuste de “m” com base no deslocamento relativo da distância interplanar ( $d_{420}=0.08045 \text{ nm}$  – s/ tensão).



Fonte: o próprio autor

Tomando os valores de  $E = 200 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0,3$  e utilizando o valor de “m” na expressão

$$\sigma = m \cdot E / (1 + \nu) \quad (1)$$

obtém-se o valor da tensão residual presente em cada amostra.

O valor da tensão medida ( $\sigma$ ) deve ser corrigida, tendo em vista a profundidade de penetração da radiação utilizada (CuK $\alpha$ ), conforme descreve a equação abaixo:

$$\sigma_{\text{cor}} = \sigma - (4\sigma_0 z / h) \quad (2)$$

onde  $z$  é a profundidade,  $h$  a espessura inicial da lâmina,  $\sigma_0$  a tensão medida na superfície inicial sem a corrosão e  $\sigma$  é a tensão medida em cada espessura específica.

A correção descrita na equação (2) reflete o fato de que uma medida de raios X tem uma profundidade média de 7  $\mu\text{m}$  considerando a radiação de cobre. Por tanto a medida reflete uma média da tensão nessa região.

Com base nessa correção e nas medidas construiu-se a tabela 1 abaixo:

## 5. Agradecimentos

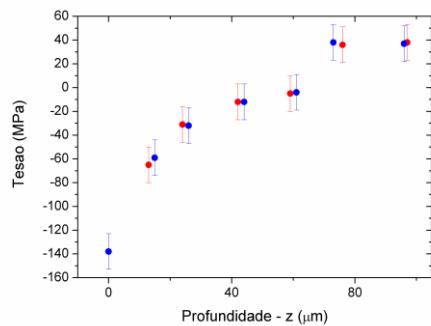
**Tabela 1** – resultado compilado das medidas das amostras irradiada e não irradiada.

Profundidade (μm)	Tensão amostra não irradiada (MPa)	Profundidade (μm)	Tensão amostra irradiada (MPa)
0	-138 ± 8	0	138 ± 8
15	-59 ± 5	13	-68 ± 5
26	-37 ± 5	24	-35 ± 5
44	-20 ± 5	42	-12 ± 5
61	-4 ± 5	59	-5 ± 5
73	38 ± 5	70	36 ± 5
96	37 ± 5	97	38 ± 5

Fonte: o próprio autor

Com base nas medidas de tensão residual efetuadas e corrigidas pela equação (2) montamos o gráfico comparativo entre a chapa de aço 304L irradiada com uma dose integrada 200 mGy de radiação gama oriunda da areia monazítica e uma amostra da mesma chapa não irradiada. A figura 3 demonstra essa comparação.

Figura 3 – Azul não irradiada e vermelha irradiada com 200 mGy



Fonte: o próprio autor

## 4. Conclusão

Com base no resultado obtido verificamos que a dose acumulada de 200 mGy oriunda da areia monazítica não alterou o perfil de tensão residual presente na chapa de aço 304L de 3.045 mm de espessura.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo EDITAL FAPES Nº 04/2023 - ORGANIZAÇÃO DE EVENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS - 2ª Chamada, Termo de Outorga 463/2023, Edital Fapes nº 15/2022 - Fixação e Aperfeiçoamento de Doutores no Espírito Santo - PROFIX 2022 Termo de Outorga 678/2022, Edital Fapes nº 04/2022 - PROGRAMA DE APOIO AOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO CAPIXABAS EMERGENTES – PROAPEM, e pelo apoio financeiro. Registre-se também o agradecimento ao UFES apoio institucional.

## 6. Referências

[1] Orlando, M T D, et al. Correlation between Breast Cancer and Radiation Level of Guarapari City – ES, Blucher Proceedings ISSN: 2358-2359V 01, (2014) n 02

DOI:10.5151/phyproecfa-020.

[2] Orlando, Marcos Tadeu D'Azeredo; Galvão, Elson Silva ; Passamai, José Luís Jr ; Zordan, Alan Bragança ; Orlando, Cintia Gárido Pinheiro; Oliveira, Jairo Pinto ; Gouvea, Sonia Alves ; Ribeiro, Flavia Noronha Dutra ; Dos Santos Alves, Tatiane Paz Dominguez ; Soares, Jacyra. *Physicochemical characterization of monazite sand and its associated bacterial species from the beaches of southeastern Brazil*. Environmental Science and Pollution Research, v. 38, p. 1-16, 2021.

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16523-5>

[3] João Victor da Silva Coutinho , Priscila Santos Ferreira , Jacyra Soares , José Luis Passamai Jr , Marcos Tadeu D'Azeredo Orlando & Sonia Alves Gouvea, INTERNATIONAL JOURNAL OF RADIATION BIOLOGY, 2020, VOL. 96, NO. 11, 1473–1485 <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1812760>

[4] Milagre, M. X., Machado, C. S. C., Orlando, M. T. D, VI Encontro Científico de Física Aplicada, Vitória, ES - Brasil, setembro 2015, vol. 2 num. 1, ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/phypro-vi-efa-032