UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

LARA MALDANIS CERQUEIRA PERES

3D X-ray imaging of Precambrian microfossils: evaluating biogenicity
at the nanoscale with ptychographic X-ray computed tomography

São Carlos

2019

LARA MALDANIS CERQUEIRA PERES

3D X-ray imaging of Precambrian microfossils: evaluating biogenicity at the nanoscale with ptychographic x-ray computed tomography

Thesis presented to the Graduate Program in Physics at the Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo to obtain the degree of Doctor of Science.

Concentration area: Applied Physics
Option: Biomolecular Physics

Advisor: Dr. Douglas Galante

Original Version

São Carlos

2019

I AUTHORIZE THE REPRODUCTION AND DISSEMINATION OF TOTAL OR PARTIAL COPIES OF THIS DISSERTATION OR THESIS, BY CONVENTIONAL OR ELECTRONIC MEDIA FOR STUDY OR RESEARCH PURPOSE, SINCE IT IS REFERENCED.

ABSTRACT

PERES, L. M. C. **3D X-ray imaging of Precambrian microfossils:** evaluating biogenicity at the nanoscale with ptychographic X-Ray computed tomography. 2019. 164 p. Thesis (Doctor in Science) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Precambrian microfossils are structures difficult to be investigated by means of conventional imaging approaches due to their small size, geochemical composition and relative scarcity that limits the use of destructive methods. One recurrent problem in the study of these earliest life forms relies on attesting their biogenicity given that structures formed abiotically can strongly resemble fossilized cells of simple morphology. The search of novel analytical methods for contributing to the evaluation of these ancient structures is of great importance for the development of the field of Precambrian paleobiology. In this work, the coherent X-ray imaging approach of ptychographic X-ray computed tomography is explored for assessing *bona fide* microfossils from the Gunflint and Draken Formations, and early Archean controversial structures described as fossil bacteria from the Hoogenoeg and Kromberg Formations of the Barberton Greenstone Belt. The microfossils were imaged non-destructively in 3D with nanometric resolution and quantitative electron density contrast, which allowed the estimation of mass density of the materials. The tomographic images provided information on both the morphology and geochemical composition of the specimens at the nanoscale within a microscale context. From the morphological data, it was possible to distinguish the 3D distribution of kerogenous material, which revealed a novel preservation pattern and traces of taphonomical alterations for filaments of Gunflint Formation, and ultrastructural details preserved in cell walls of specimen from Draken Formation. The mass density quantification provided supporting evidences, such as the discrimination of kerogen maturation states and identification of minerals, providing also a picture of the taphonomical history of the specimens. Based in the biogenicity criteria investigated at the nanoscale, we could not attest the biogenicity of the structures described in the Barberton Greenstone Belt, but we offered new possible interpretations of biological and biotic origins for the formation of these structures. The results represent significant advances for the comprehension of fossilized microorganisms and add important

contribution for the assessment of biogenicity through a robust combination of morphological and geochemical 3D information from the nano to the micron-scale.

Keywords: Biogenicity. Precambrian microfossils. Ptychographic X-ray computed tomography. Paleobiology.

RESUMO

PERES, L. M. C. **Imageamento por raios-X em 3D de microfósseis Pré-Cambrianos:** avaliando a biogenicidade na nanoescala com Tomografia Pticrográfica de Raios-X. 2019. 164 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Microfósseis Pré-Cambrianos são estruturas difíceis de serem investigadas por técnicas de imagem convencionais devido ao seu pequeno tamanho, composição geoquímica e por serem relativamente raros no registro geológico, o que limita o uso de técnicas destrutivas. Um problema recorrente no estudo dessas primeiras formas de vida é em se atestar sua biogenicidade uma vez que estruturas formadas abioticamente podem difíceis de serem distinguidas de células fossilizadas de simples morfologia. A busca de novos métodos analíticos para contribuir na avaliação dessas estruturas é de grande importância para o desenvolvimento da área de paleobiologia Pré-Cambriana. Neste trabalho, a técnica de imagem de raios X coerente de Tomografia Pticrográfica de Raios X foi explorada para investigar microfósseis das Formações Gunflint e Draken, e estruturas controversas descritas como bactérias fósseis das Formações Hoogenoeg e Kromberg de Barberton Greenstone Belt. Os microfósseis foram imageados em 3D com resolução micrométrica e contraste quantitativo por densidade eletrônica, o que possibilitou a quantificação da densidade das estruturas. As imagens tomográficas forneceram informação sobre a morfologia e composição geoquímica dos espécimes em nano-escala e dentro de um contexto de micro-escala. Os dados morfológicos permitiram distinguir a distribuição 3D de querogênio, os quais revelaram um novo padrão de preservação e traços de alterações tafonômicas para espécimes da Formação Gunflint, e detalhes de organização ultra-estrutural preservados em paredes celulares de espécime da Formação Draken. A quantificação de densidade forneceu evidências complementares, como a discriminação do estado de maturação do querogênio e identificação de minerais, fornecendo também uma visão da história tafonômica dos espécimes. Baseados nos critérios de biogenicidade em nanoescala, não foi possível atestar a biogenicidade das estruturas de Barberton Greenstone Belt, mas novas possíveis interpretações de origem biológica e abiótica para essas estruturas foram levantadas. Os resultados obtidos fornecem avanços significativos na compreensão de micro-organismos fósseis e adiciona

uma importante contribuição para a investigação da biogenicidade através de uma robusta combinação de informação morfológica e geoquímica em 3D.

Palavras-chave: Biogenicidade. Microfósseis pré-cambrianos. Tomografia pticográfica de Raios X. Paleobiologia.