



Doctoral Thesis

**Coupling organic and inorganic methods to study growth and diagenesis of modern microbial carbonates, Rio de Janeiro State, Brazil
Implications for interpreting ancient microbialite facies development**

Author(s):

Bahniuk Rumbelsperger Anelize Manuela

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009785302> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 20984

**Coupling Organic and Inorganic Methods to Study Growth
and Diagenesis of Modern Microbial Carbonates, Rio de
Janeiro State, Brazil: Implications for Interpreting Ancient
Microbialite Facies Development**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH
for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
ANELIZE MANUELA BAHNIUK RUMBELSPERGER
Graduated in Geology, University of Paraná (Brazil)
Born on 4th March, 1982
Brazilian

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerald Haug, examiner
Dr. Crisogono Vasconcelos, co-examiner
Prof. Dr. Timothy Ian Eglinton, co-examiner
Dr. Sylvia Anjos, co-examiner
Prof. Dr. John Eiler, co-examiner

2013

Résumé

Les dépôts organosédimentaires actuels sont des analogues uniques des microbialites préservées dans l'enregistrement géologique permettant de soulever des questions fondamentales à l'interface entre la biologie et la géologie. Le rôle que jouent les écosystèmes actuels dans la formation des roches connaît un intérêt grandissant notamment d'un point de vue économique. Les études biogéochimiques et sédimentologiques portant sur les microbialites actuelles sont d'une importance capitale pour l'interprétation des métabolismes anciens et des conditions environnementales passées lors du dépôt de ces microbialites aujourd'hui fossilisées.

Cette étude se focalise sur des microbialites actuelles et fossiles provenant de lagons hypersalins (Lagoa Salgada et Brejo do Espinho, Brésil) et de roches créacées (Formation Codó Formation, NE Brésil, Aptien Supérieur) respectivement. Différentes approches microscopiques and géochimiques ont été utilisées afin de mieux comprendre les processus de formation des microbialites. Cette approche pluridisciplinaire a permis de mettre en évidence les variations de paramètres environnementaux associées aux processus de diagenèse précoce responsables de la formation de ces carbonates microbiens.

Des analyses radiocarbone (^{14}C) sur composés spécifiques (acides gras) le long d'un transect verticale dans un stromatolite dolomitique actuel (provenant du Lagoa Salgada) ont été réalisées afin de déterminer la vitesse de croissance de ce stromatolite, soit 1 cm pour 100 ans. Etant donné que la lithification des stromatolites a lieu en surface, ce taux de croissance peut être considéré pour les stromatolites anciens préservés dans l'enregistrement fossile. De plus, il est possible de définir de possible variations dans la composition de la matière organique qui pourraient être liées aux processus métaboliques. La formation de structures laminées comprend une multitude de microorganismes dont les molécules réfractaires comme les lipides résistent à la dégradation et se préservent préférentiellement dans les lamines organiques des stromatolites. L'utilisation de la géochimie organique (biomarqueurs) et inorganique (isotopes clumped) couplée aux études minéralogiques et pétrographiques indique que cette structure laminée n'est pas homogène et reflète de ce fait, des changements environnementaux.

La Formation Codó comprend une série stratigraphique idéale de 20m d'épaisseur comprenant des microbialites carbonatées très bien préservées dans un contexte de lac fermé d'âge Aptien supérieur lors de la séparation entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Une caractérisation détaillée des facies met en évidence plusieurs structures organosédimentaires, fortement dépendantes des conditions de dépôt à savoir un environnement peu profond, de faible énergie hypersalin, avec des infiltrations épisodiques d'eaux météoriques et/ou capillaires. Les données macro- et microscopiques ont permis de caractériser quatre facies de microbialites qui se manifestent par des textures détaillées et une préservation exceptionnelle de fossiles microbiens. Ces facies, appelées stromatolites, lamines, carbonate massifs et sphérulites, peuvent être liés à des changements de profondeur d'eau dans le lac comme le montrent les cycles $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Ceux-ci ont également été observés dans les unités évaporitiques sus-jacentes de la

Formation Codó. Les mesures des isotopes clumped réalisées sur les fabriques sédimentaires judicieusement sélectionnées indiquent des paléo-températures avoisinant les 37.5°C. Les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ du carbonate total (-6.8 à -1.5 ‰ VPDB) impliquent une précipitation à partir de l'eau du lac comprenant vraisemblablement une variabilité des eaux météoriques, à partir de valeurs $\delta^{18}\text{O}$ calculées entre -1.6 et 1.8 ‰ VSMOW. Cependant, les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ values du carbonate total (-15.5 à -7.2 ‰ VPDB) indiquent une contribution significative du carbone obtenu à partir de la respiration aérobie ou anaérobie respiration de la matière organique, suggérant ainsi une précipitation dans un système aquatique semi-clos ou endoréique. Ainsi, ces données nous ont permis de proposer un modèle de reconstruction paléoenvironnementale sur l'évolution de la Formation Codó : dépôt dans un lac endoréique avec des épisodes d'augmentations et de baisses du niveau du lac qui ont permis de développement de facies spécifiques de microbialites. Cette étude confirme les travaux précédents à savoir que la Formation Codó a été déposée en conditions humides et relativement chaudes (climat aride) avec un fort taux d'évaporation.

La comparaison entre les stromatolites fossiles et les analogues microbiens actuels (stromatolites du Lagoa Salgada) ont permis de mieux comprendre comment les conditions environnementales sont enregistrées dans les différentes lamines. Ainsi, ces résultats montrent que les variations physico-chimiques s'expriment au sein du même facies. De plus, il est possible d'estimer la vitesse de croissance des stromatolites de la Formation Codó en se basant sur les résultats obtenus sur ceux du Lagoa Salgada. La durée de formation des stromatolites en forme de club de la Formation Codó est ainsi évaluée à 1500 ans.

Ces études géomicrobiologiques sont d'une importance clé lorsqu'on s'attache à comprendre les processus de formation des microbialites actuelles et montrent de nouvelles perspectives afin de mieux contraindre les conditions environnementales ainsi que les processus diagénétiques impliqués lors de la formation de microbialites fossiles.

Abstract

Sedimentologists and microbiologists have studied ancient microbialites to better interpret the evolution of early life and associated paleoenvironments. The recent discovery of oil reservoir rocks comprising microbialites has renewed the interest in understanding the mechanism of formation of these organo-sedimentary structures. Sedimentological and biogeochemical studies of modern microbialites are of key importance for interpreting past metabolisms and paleoenvironments of their ancient counterparts.

This research focused on microbialite deposits, which are currently forming in modern hypersaline environments (Lagoa Salgada and Brejo do Espinho, Brazil) and also preserved in the geologic record (Upper Aptian Codó Formation, Northeast Brazil). Different microscopic and geochemical approaches, including classical and new methods, were applied both modern and ancient samples to understand microbialite formation processes. The combination of these methods provides new insights into defining the paleoenvironmental conditions and early diagenetic processes that might have occurred during microbial carbonate formation.

Radiocarbon (^{14}C) measurements on specific biomarkers through a vertical profile of modern dolomite stromatolites from Lagoa Salgada were carried out in order to determine their growth rate, estimated to be 1 cm per 100 year. Because the lithification of stromatolites occurs at the surface, this growth rate may be applicable to ancient stromatolites found in the geological record. Moreover, it has been possible to link variations in organic matter compositions to specific metabolic processes. The presence of biomarkers or organic molecules as intracrystalline organic matter within the stromatolite laminae indicates that the formation of laminated structures involves diverse communities of microorganisms. The combination of inorganic and organic geochemistry, together with mineralogical and petrographic studies, reveals that the laminated structure is not homogenous but reflects environmental changes.

The Codó Formation contains a unique stratigraphic sequence of up to 20-m-thick, well-preserved carbonate microbialites deposited in an Upper Aptian closed lacustrine basin during the initial break up and separation of South America from Africa. Detailed characterization of the microbialite facies yields diverse organo-sedimentary structures, which can be systematically related to specific depositional states associated with hydrologic changes in a shallow, low energy, subaqueous, hypersaline environment, sometimes exposed to meteoric and/or capillary conditions. Based on macroscopic and microscopic analyses, four microbialite facies, which contain detailed textures and exceptional microbial fossil content, were defined. These microbialite facies, designated as stromatolite, laminae, massive and spherulite, can be related to changes in paleo-depth of the lacustrine environment as reflected by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cycles, which have also been observed in the directly overlying evaporite units of the Codó Formation. Clumped isotope measurements of selected fabrics yield precipitation paleo-temperatures with an average value of 35°C. Calculations using the measured paleo-temperatures and the $\delta^{18}\text{O}$ values of the bulk carbonate (-6.8 to -1.5 ‰ VPDB) indicate precipitation in isotopic equilibrium

with paleo-waters having $\delta^{18}\text{O}$ values between -1.6 and 1.8 ‰ VSMOW, possibly reflecting precipitation from variably modified meteoric waters. The negative $\delta^{13}\text{C}$ values of the bulk microbialite carbonate (-15.5 to -7.2 ‰ VPDB) indicate a significant input of carbon derived from aerobic or anaerobic respiration of organic matter, suggesting precipitation in a semi-enclosed or isolated water body. These data in total allow us to interpret the evolution of the Codó Formation as occurring in a closed lacustrine basin with alternating episodes of contracting and expanding lake levels, which led to the development of specific microbialite facies under varying conditions. This study confirms previous studies that the Codó Formation was deposited under warm and arid paleoclimate conditions with high rates of evaporation.

The comparison of the Codó microbialite with recent microbial analogues, i.e., Lagoa Salgada stromatolites, permitted an evaluation of how environmental conditions can be recorded in the different laminae. These results imply that variations of the physico-chemical conditions in the environment are recorded in the microbialite as a framework change within the same facies. Additionally, it is possible to estimate the growth rate of Codó Formation stromatolite microbialites based on the Lagoa Salgada modern counterpart. For example, the estimated formation time for a 15-cm-thick club-shaped stromatolite in the Codó Formation is approximately 1500 years, based on the Lagoa Salgada stromatolite growth rate.

In summary, the geomicrobiological studies presented in this thesis provide information of primary importance to understand modern microbialite formation processes. These results, integrated with data derived from the study of ancient microbialite sequences, demonstrate that new insights can be achieved to better interpret paleoenvironmental conditions and early diagenetic processes involved in ancient microbialite formation.