



## Cianobactérias: dos Primórdios da Vida à Formação de um Substrato Atual, o Minério de Ferro

Bruno Vigário Moreira de CASTRO<sup>1</sup>; Euler Alves NOVAIS<sup>1</sup>; Leonardo Vigário Moreira de CASTRO<sup>1</sup>; Leticia dos Santos BARBOSA<sup>2</sup>; Marcelo Sousa Bastos de MORAES<sup>1</sup>; Robert Saymon Alves VIEIRA<sup>1</sup>; Victor de Aquino OLIVEIRA<sup>1</sup>; Márcia Rodrigues MARQUES<sup>2</sup>; Bruno Machado KRAEMER<sup>3</sup>

**Resumo:** A ação das cianobactérias no regime gerador de estromatólitos, bem como os processos químicos surgidos a partir de tais, estão relacionados a um substrato importante para a sociedade moderna, o minério de ferro. As contextualizações do ambiente primitivo onde se formaram os estromatólitos e os fenômenos químicos fazem a ponte com os tempos modernos, no qual o mercado de minério de ferro se aquece cada vez mais para atender diferentes demandas em países como Brasil, Austrália e China. Tais contextualizações se embasam em vasta pesquisa bibliográfica e é acrescida de entrevistas com profissionais das áreas de geologia e paleontologia. Os temas abordados são enriquecidos com a interdisciplinaridade, incluindo conceitos interdisciplinares. A produção do trabalho gerou um produto desenvolvido em paralelo, o site geologia gênese. Por fim, a análise leva aos fortes indícios da ligação entre o objeto de estudo com o minério de ferro, um substrato relevante para o século XXI.

**Palavras-chave:** Origem da vida, estromatólitos, cianobactérias, oxidação, minério de ferro, Óxido de ferro, ambiente primitivo.

**Abstract:** *The action of cyanobacteria on the appearance of stromatolites, as well as the chemical processes arising from such related to an important substrate for modern society, the iron ore. The contextualization of the primitive environment where stromatolites were formed and chemical phenomena that bridge the gap with modern times, in which the iron ore market heats up more and more to meet different demands in countries like Brazil, Australia and China. Such contextualization were grounded in extensive literature search and were increased in a series of interviews with professionals in the fields of geology and paleontology. The topics covered are enriched with interdisciplinary concepts including not only paleontology but chemistry, statistics and linear algebra and analytic geometry. Other disciplines contribute not only with the article itself, but also with the main product*

<sup>1</sup> Centro Universitário de Belo Horizonte

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Autor para correspondência: Robert Saymon Alves Vieira

Centro Universitário de Belo Horizonte- UNIBH - Rua Elza da Silva Melo, Nº 209 – Betim/MG. CEP: 32657-204. Email: saymon.robert@gmail.com

Recebido durante o XXVI SGNE 2015 / Aceito em 06 de junho de 2016.

*developed in parallel, the site geology genesis. Finally, the analysis leads to strong evidence of the link between the object of study with iron ore, an important substrate for the twentieth century.*

**Key words:** *Origin of life, stromatolites, cyanobacteria, iron ore, iron oxide, primitive environment.*

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo dos estromatólitos vem se tornando objeto de grande interesse para a geologia exploratória de hidrocarbonetos e de água. A caracterização de estromatólitos gera subsídios para a correlação de parâmetros paleoecológicos e paleoambientais com propriedades sedimentológicas, e a distribuição destas propriedades, sendo importante para auxiliar a caracterização das heterogeneidades e a qualidade de potenciais rochas-reservatório (HOFMANN, 1969; WALTER, 1976; BURNE & MOORE, 1987).

Estes fósseis são utilizados como marcadores evolutivos, na identificação de tempos e lugares de antigas atividades bióticas, determinação de antigas linhas de costa e interpretações paleogeográficas e paleoambientais. Determinam paleocorrentes e paleolatitudes, topo e base de sequências dobradas, fototropismo, e já foram utilizados em correlações bioestratigráficas (HOFMANN, 1973).

No Brasil, os sítios paleontológicos com ocorrências estromatolíticas já registrados, concentram-se em duas regiões: Na região nordeste, mais precisamente no Supergrupo São Francisco, de idade Neoproterozoica (650-850 Ma.) e na região sudeste, um número maior de ocorrências, distribuindo-se entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, com diferentes tipos de formações estromatolíticas.

Neste estudo, foram identificados os corpos dolomíticos e estromatolíticos da jazida do Cumbi (município de Ouro Preto-MG), que são extraídos pela Mineração Minas Pérola para aplicação como rocha ornamental. A Fazenda do Cumbi, que se encontra na formação Fecho do Funil (Cambriano médio-superior), distando aproximadamente 80Km da cidade de Belo Horizonte, tem o registro de construções biohermas proterozoicas com importância paleontológica, visto apresentarem o registro fóssil mais antigo de atividades biológicas no planeta (SIMMONS, 1958).

Esta análise preliminar sugere que os estromatólitos do Cumbi (Cachoeira do Campo/MG) constituem um exemplo de patrimônio paleontológico com valores que legitimam plenamente sua importância como sítio paleontológico geológico do Geoparque Quadrilátero Ferrífero.

Este trabalho, portanto, tem como meta avaliar o valor científico, pedagógico e educacional associado à ocorrência deste registro paleontológico na compreensão das mudanças da atmosfera terrestre primitiva, bem como também sua interferência na dinâmica diagenética formativa dos depósitos ferríferos no pré-cambriano.

No Brasil, um território privilegiado para uma ação baseada na proteção integrada do patrimônio, com a criação de um geoparque é o Quadrilátero Ferrífero, localizado em Minas Gerais. Esse, por sua vez, apresenta aproximadamente

7.000 km<sup>2</sup> e fica na porção centro-sudeste do estado, sendo internacionalmente reconhecido como um importante terreno pré-cambriano com significativos recursos minerais, em especial ouro e ferro. Seu contexto geológico é caracterizado por três grandes conjuntos de rochas principais: complexos metamórficos de rochas cristalinas arqueanas que recebem

denominações locais<sup>1</sup>; sequência do tipo greenstone belt arqueana representada pelo Supergrupo Rio das Velhas; sequências metassedimentares paleo e mesoproterozoicas representadas pelo Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi. (RUCHKYS, 2009; SCHOBENHAUS, 2005; RENGER, 1995) (Figura 1).

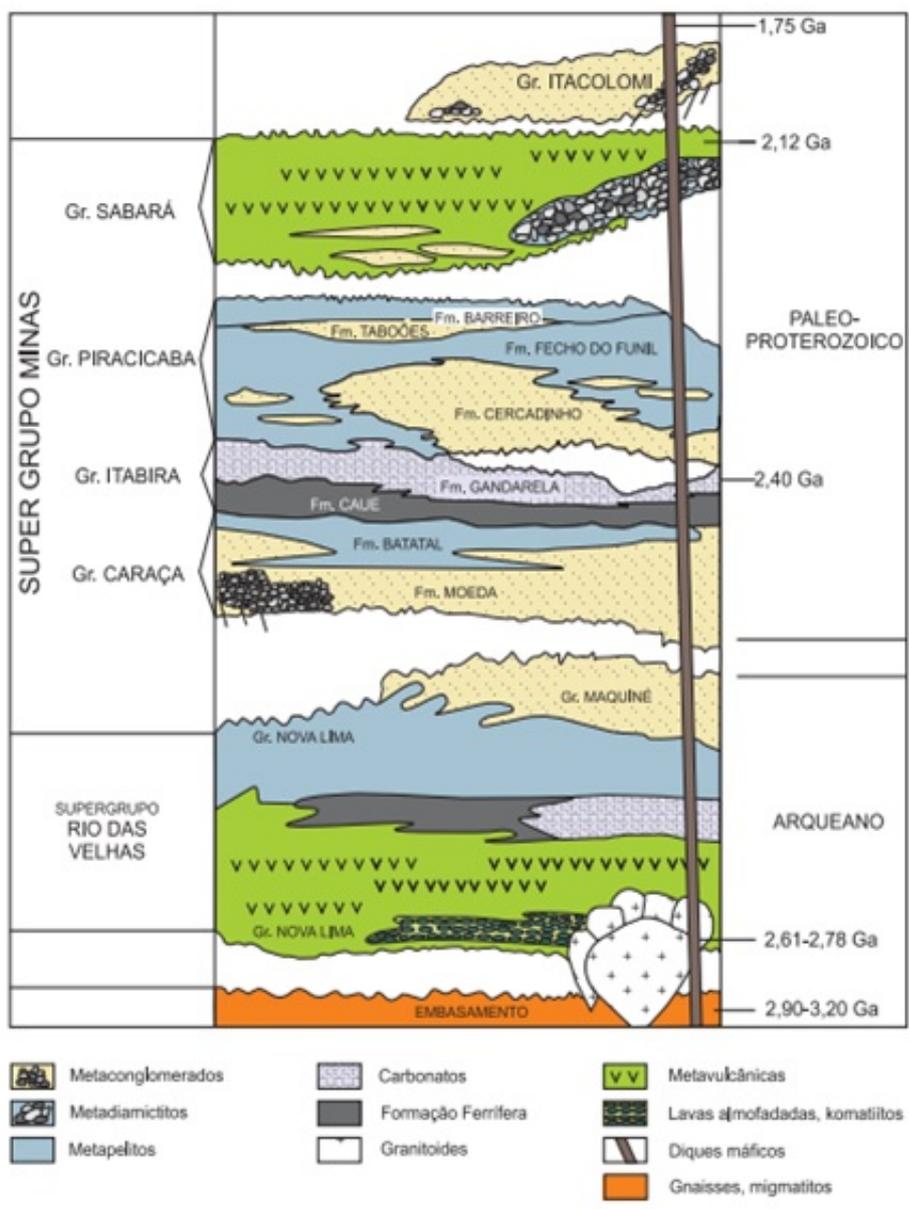


Figura 1 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero Fonte: Alkmim & Marshak, (1998).

<sup>1</sup> Complexo Bonfim, Complexo Belo Horizonte

Pertinente ao acervo paleontológico, no Quadrilátero Ferrífero, os fósseis mais antigos têm idade entre 2.1 e 2.4 Ga. e são encontrados nas rochas da Formação Gandarela e da Formação Fecho do Funil (BABINSKI *et al.*, 1995; BEKKER *et al.*, 2003).

Na Formação Gandarela predomina a ocorrência de oncólitos e localmente, podem ser observados estromatólitos colunares preservados. Na Formação Fecho do Funil ocorrem estromatólitos colunares, observados em mármores da Pedreira do Cumbi em Cachoeira do Campo.

Todas essas ocorrências foram estudadas por Babinski *et al.* (1995), Bekker *et al.* (2003) do ponto de vista cronoestratigráfico e geocronológico, e por Ruchkys (2007), do ponto de vista patrimonial. Morato *et al.* (2006) descreveram estruturas sedimentares possivelmente biogênicas em rochas ricas em ferro do paleoproterozoico da Formação Cercadinho.

A Formação Fecho do Funil diz respeito a segunda mais velha formação do Grupo Piracicaba do Supergrupo Minas, ocorrendo as lentes de dolomitos inseridos na unidade. Nessa pedreira, são assinaladas estruturas de estromatólitos colunares ocorrendo nos dolomitos Fecho do Funil, aflorantes nas pedreiras de Cumbi e Lapa, a 10 km ao sul de Cachoeira do Campo (DORR II, 1969).

Tal evidência icnofossilífera assume muitas formas, e sua interpretação deve ter um caráter interdisciplinar. Sua compreensão não é satisfatória quando restrita a discussões da morfologia fóssil desses organismos apenas. Microfósseis e estruturas sedimentares produzidas por esteiras bentônicas estromatolíticas são as principais fontes na compreensão da diagênese dos depósitos ferríferos primitivos.

*Revista de Geologia* 29 (1), 2016.

O escopo deste estudo se constituído, portanto, numa tentativa de organizar fatos e evidências científicas a fim de determinar a importância das primeiras formas de vida a se estabelecerem sob a superfície do planeta, e de que modo, as mesmas podem estar associadas às modificações ocorridas no Cambriano (570 Ma.), alterando drasticamente as condições ambientais e propiciando um salto evolutivo, como aumento da diversidade biológica, sua radiação e diversificação ao longo das eras geológicas.

Pretende-se, portanto, compreender o ambiente de formação dos estromatólitos através das cianobactérias, e como estas podem ter refletido na sintetização de um elemento imprescindível à vida do homem moderno, o óxido de ferro. Para tal compreensão, faz-se necessário o entendimento sobre a origem das formações estromatolíticas no tempo geológico, seus processos químicos, e sua correlação com a concentração de óxido de ferro no oceano primitivo: precipitação, sedimentação e litificação futura. Além da sua importância para o registro da evolução orgânica dos seres vivos.

Os registros fósseis se apresentam como "ferramentas" através das quais são estabelecidos contextos físicos, químicos e ambientais para as formas de vida "gravadas" indiretamente ou fisicamente preservadas total ou parcialmente. A partir desses registros, a evolução da vida pode ser traçada por meio do estudo dos fósseis. Seus registros mais antigos são icnofósseis denominados estromatólitos que remetem a 3.5 Ga., encontrados em Apex, na Austrália. (SCHOPF, 2002; SCHOPF, 1995, SCHOPF, 1993; ALLWOOD, 2006).

Seu estudo também remete e caracteriza antigas linhas de costa, sendo

utilizados para interpretações paleogeográficas e paleoambientais, possibilitando ainda, a identificação de diversas mineralizações, como as de fosfato, e mesmo hidrocarbonetos (CAVALIER-SMITH *et al.*, 2006; SCHOPF, 2011).

Além de propiciar os condicionantes fundamentais para vida, as cianobactérias, ao sintetizarem o oxigênio e emití-lo à atmosfera primitiva, propiciaram o início de um processo físico-químico bastante complexo, responsável pela formação de um substrato metalogênico que, bilhões de anos depois tornar-se-ia fundamental para existência humana, devido sua importância econômica e serventia como matéria prima para produção de infinitos produtos usufruídos atualmente. Este composto químico foi o óxido de ferro, hoje tratado como minério.

### 1.1 Formações Ferríferas Bandadas

Os processos mineralizadores variaram nos últimos 3,0 Ga., condicionados pelas mudanças ocorridas na crosta terrestre e na superfície da litosfera. As grandes variações nos processos resultaram em várias mudanças nos tipos de depósitos gerados ao longo do tempo. Algumas épocas geológicas se caracterizaram por ambientes geológicos especialmente favoráveis ao desenvolvimento de um ou alguns processos geológicos específicos, capazes de gerar tipos específicos de depósitos minerais. Desse modo formaram-se agrupamentos de depósitos, concentrados em um ou alguns períodos relativamente restritos da história da litosfera.

Alguns tipos de depósitos, cuja gênese é influenciada por fenômenos globais, concentram-se, em todo o globo, em períodos geológicos restritos, como

exemplificam as formações ferríferas bandadas gigantes do tipo Superior, cujas idades na maior parte das vezes variam entre 2.0 e 1.8 Ga. Nesse caso, a explicação reside no fato de que nesse período ocorreu uma mudança global na composição da atmosfera, devida a um aumento importante na razão  $O_2/CO_2$  (BEKKER *et al.*, 2003).

Em outros casos, os depósitos formam-se como consequências de eventos tectônicos regionais como uma subducção, e concentram-se em uma dada região em uma determinada época ou período geológico. Em todos os casos, o conhecimento da distribuição dos depósitos minerais no tempo geológico é importante como guia de prospecção. Quando restritos a uma determinada época, os depósitos concentram-se também em uma unidade geológica e, como consequência, sua ocorrência se restringe aonde essa unidade aflorar. Isto torna o conhecimento da distribuição dos depósitos minerais no tempo geológico uma informação necessária à prospecção mineral (BIONDI, 1999).

A formação ferrífera bandada é uma rocha sedimentar química de grande importância econômica. Ela consiste em camadas finas alternadas de xisto e minerais de ferro, principalmente os óxidos de ferro hematita e magnetita. As formações de ferro em camadas estão presentes em todos os continentes e são responsáveis pela maior parte deste minério extraído no mundo atual. Vastas formações em camadas estão presentes na região do Lago Superior dos Estados Unidos e Canadá e no Talvegue do Labrador, no leste do Canadá. O Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, é um dos grandes produtores de minério de ferro do mundo (WICANDER e MONROE, 2011) (Figura 2).

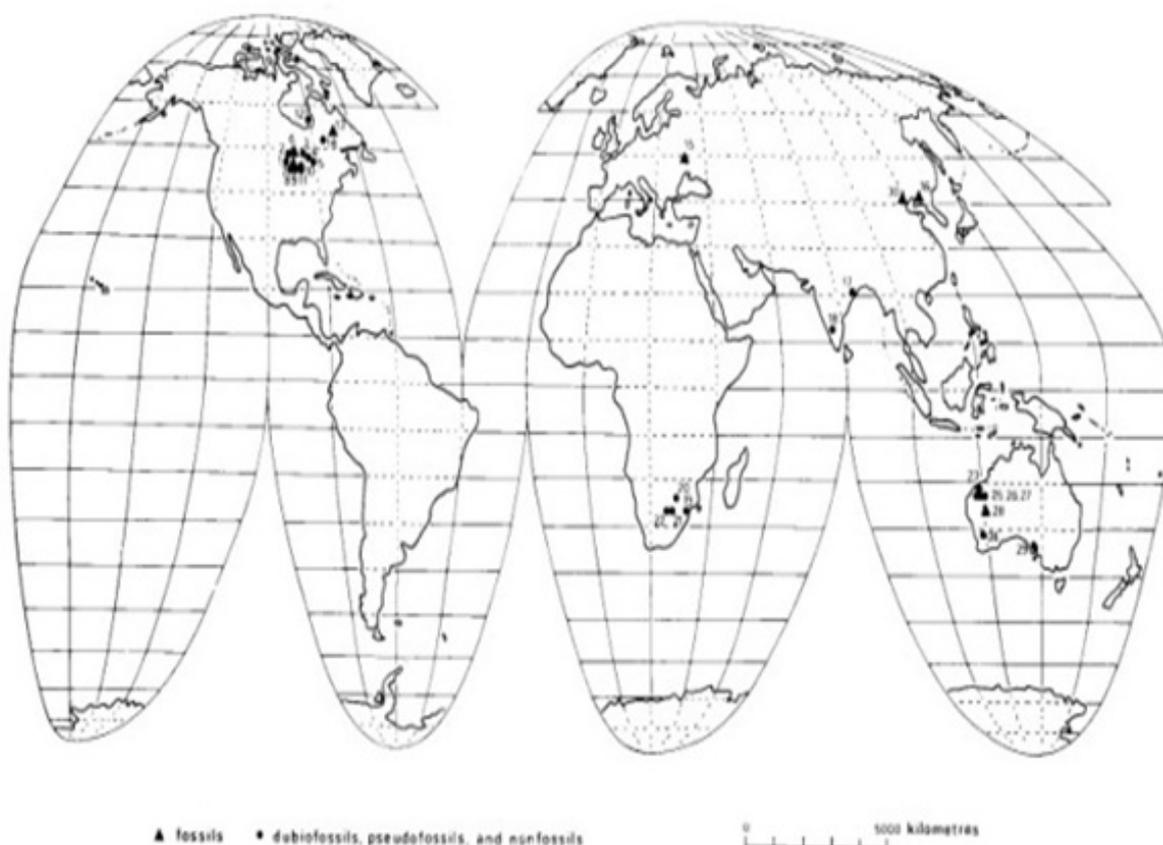


Figura 2 – Mapa ilustrativo dos principais registros fósseis associados a Formações Bandadas de Ferro Pré-Cambrianas. Fonte: Wicander et al., (2011).

A origem das formações ferríferas bandadas não é ainda completamente compreendida e nenhuma está em formação atualmente. Um total de 92% de todas as formações ferríferas estava depositado em mares durante os bilhões de anos do proterozoico, entre 2,5 e 2,0 Ga. O ferro é um elemento altamente reativo que, na presença de oxigênio, combina para formar óxidos semelhantes à ferrugem, que não são prontamente solúveis em água. Durante o início da história da Terra, no entanto, pouco oxigênio estava presente na atmosfera e, portanto, pouco foi dissolvido na água do mar. Ferro solúvel reduzido ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e sílica, porém, estavam presentes na água do mar (HOFMAN, 1976).

O oxigênio liberado em quantidades crescentes, com a expansão dos bancos de estromatólitos, favoreceu

a oxidação do ferro e de outros minerais, a pirita e a uraninita, principalmente. Somente após a oxidação completa desses minerais que estavam em contato com as águas ricas em oxigênio dissolvido, como se verifica pelo registro de extensos e espessos depósitos sedimentares de ferro nas formações ditas itabiríticas ou bandadas de ferro (hematite) e cherts, alternadamente. A curva de acumulação do oxigênio livre durante a história geológica do planeta pode ser evidenciada sincronicamente ao aparecimento da clorofila, decorrendo no aparecimento e desenvolvimento das plantas traqueófitas durante o Carbonífero, quando formaram extensas florestas, das quais atualmente se extraem quantidades fabulosas de carvão de pedra, a hulha e antracito (PLANAVSKY, 2009).

Inicialmente pôde ser sintetizado nos mares rasos, onde se encontravam as cianobactérias e uma alta concentração de ferro (Fe) solúvel no meio aquático marinho. Após o início dos processos fotossintetizantes, este elemento passou a reagir quimicamente com o oxigênio gerado pelas cianobactérias, possibilitando dessa forma a oxidação do ferro e a produção do óxido de ferro que precipitou-se no fundo dos mares primitivos, originando a base de formação de muitos minerais metálicos (MASSAMBANI & AMBRIZZI, 2005).

As formações ferríferas bandadas do pré-cambriano, também chamadas de BIF (*banded iron formation*), marcadas pelo seu aspecto de cor avermelhada, são rochas proterozoicas com idades entre 2.7 a 1.8 Ma. Segundo Fortin & Langley (2005) são rochas de origem sedimentar formadas pela precipitação de compostos químicos em plataformas continentais (região de crosta continental dos oceanos) com individualização de camadas. Uma cinzenta de natureza silicosa, e a outra vermelha, nas quais minerais de ferro abundam, podendo ter espessuras que variam entre poucos milímetros e alguns metros. São os principais depósitos de ferro presentes na superfície terrestre.

Estas formações ferríferas ocorreram em momentos específicos da história do planeta devido às condições únicas que nunca irão se repetir. Sua formação se deu a partir da precipitação do ferro nos oceanos, onde bactérias fotossintetizantes produziram oxigênio pela primeira vez. Este processo cíclico resultou nas bandas alternadas de óxido de ferro e a teoria mais aceita para estas estruturas de camadas de ferro oxidadas é que foram derivadas da ação biológica de cianobactérias.

Há vestígios de vida bacteriana anterior às primeiras BIF'S, sendo razoável admitir que o início de sua formação possa coincidir com o surgimento da fotossíntese ou crescimento acentuado de seres fotossintéticos como as cianobactérias. Este aumento fotossintético levou ao aumento do oxigênio no meio marinho, iniciando uma reação com o ferro dissolvido na água fazendo com que se precipitasse em forma oxidada, originando as camadas ferrosas. As camadas silicosas depositadas são indicativas de menor atividade vulcânica, quando a oferta de ferro era em menor escala (SALGADO & CRUZ, 2008).

Remontar a trajetória da humanidade, que decorreria até o desenvolvimento de uma indústria lítica primitiva é perscrutar o modo como o Homem utilizou-se dos recursos disponíveis em seu ambiente (COTARDIERE, 2010). A relação da história da humanidade com o ferro é tão intrínseca que a arqueologia evidenciou tal período como *Idade do Ferro* (CHARDIN, 1955). Martin (2008) considera o século XIX a *Civilização do Ferro* e afirma que o advento de novas tecnologias associadas a produção do Ferro permitiu que países ricos em minas de carvão, como a Alemanha e a Inglaterra, dispusessem de uma série de vantagens em relação aos seus vizinhos, como as máquinas a vapor por exemplo (MENDES, 2000).

O Ferro é hoje o metal mais utilizado, cerceando uma parcela de 95% em peso da produção mundial de metais. Devido ao seu custo benefício e também a variabilidade de aplicações se torna indispensável a inúmeros setores da indústria, sendo empregado especialmente em automóveis, barcos e componentes estruturais de edificações. A mineração ferrífera é para o Brasil

de suma importância para a economia nacional. Só em 2007 o valor de sua produção atingiu a marca de 9,8 bilhões de dólares americanos, sendo os estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul contemplados como pilares da produção nacional pelos próximos 20 anos (QUARESMA, 2009).

O Brasil é hoje o segundo maior produtor de Minério de Ferro, a produção estimada para o ano de 2010 foi de 370 milhões de toneladas, o que equivaleria a 16% do total mundial. Em 2009, após o UNCTAD, Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento, o Brasil já tinha alcançado o posto de segundo maior produtor de Minério de Ferro com 310 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Austrália, que produziu naquele ano 394 milhões de toneladas. Naquele mesmo ano, a Índia totalizou uma produção de 257 milhões de toneladas, enquanto a China, que já havia sido a maior produtora, bateu a marca de 234 milhões de toneladas (IBRAM, 2010).

As reservas medidas e indicadas de Minério de Ferro no Brasil alcançam a marca de 29 bilhões de toneladas, o que coloca o país em posição de destaque no cenário internacional. Se considerados os teores de ferro contidos no minério o destaque é ainda maior devido ao alto teor encontrado na Hematita (60% de Ferro) predominante no Pará e no Itabirito (50% de Ferro) que predomina no estado de Minas Gerais. No ano de 2011 a China voltou ao posto de maior produtora de minério de ferro seguida por Austrália e Brasil, confirmando a tendência de mudança de um cenário que perdurou dos anos 70 até os anos 2000, no qual os países europeus eram os grandes produtores e depois passam a serem os principais compradores de centros mais diversificados (IBRAM, 2010).

As reservas brasileiras de minério de Ferro ocupavam o quinto lugar mundial das reservas básica (medidas e indicadas) internacionais, em dados levantados em 2009 representando quase 8% da mesma e sendo superada apenas por Ucrânia, Rússia, China e Austrália. Quaresma (2009) cita que a mineração de ferro é de suma importância para a economia mineral brasileira. Só em 2007 o valor da produção atingiu R\$ 19,2 bilhões.

A atividade contribui com US\$ 10,5 bilhões para a pauta das exportações do País, sendo quase 85% das exportações dos bens minerais primários e cerca de 6,5% das exportações totais. Na arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), contribui com 57% da arrecadação total num valor próximo de R\$ 312,0 milhões (US\$ 161,0 milhões). A indústria de mineração do ferro absorve 13% do pessoal ocupado diretamente na indústria extrativa mineral, com um contingente de 13.000 pessoas, e detém 296 concessões de lavra das 6.017 existentes no País (QUARESMA, 2009, p. 04).

As reservas lavráveis no país, indicam os estados do Mato Grosso do Sul (710 milhões de toneladas), o Pará (1,2 bilhões de toneladas) e Minas Gerais (9,5 Bilhões de toneladas). Tendo estes estados a responsabilidade de suportar a previsão de produção nacional até o ano de 2030 aproximadamente.

No entanto, estas reservas confrontadas com a produção de 2005 destes Estados mostram um horizonte de exaustão de 32 anos em Minas Gerais, 142 anos no Mato Grosso do Sul e 15 anos para o Pará. Estes dados demonstram necessidades de serem transformadas as reservas inferidas e novos recursos em reservas lavráveis,

para atender confortavelmente os mercados interno e externo. (QUARESMA, 2009, p. 03).

## 1.2 Estromatólitos

Os estromatólitos foram os primeiros ecossistemas microbianos da Terra, contendo na sua superfície camadas de cianobactérias (GUERRERO, 1998). Foram registrados do Arqueano ao paleo e Mesoproterozoico, quando ocorre maior abundância e diversidade (WALTER *et al.*, 1992). As formas mais antigas arqueanas foram descobertas no grupo Warrawoona (Austrália), com 3.45 Ga. (HOFMANN *et al.*, 1999 & BRASIER, 2002).

No Neoproterozoico houve uma queda em sua abundância e diversidade relacionada à conjunção de diversos fatores, como o aparecimento dos metazoários, a abundância das algas eucarióticas em relação às cianobactérias e fatores ambientais, como mudanças climáticas (MCALLISTER, 1969).

Os estromatólitos ocorrem em quase todas as unidades carbonáticas proterozoicas, mas também foram registrados em fosforitos, formações bandadas de ferro e raramente em arenitos. Ambientes aquáticos rasos com alta salinidade, temperatura, alcalinidade e dentro do nível fótico são condições adequadas para o desenvolvimento de estruturas biohermais, produto do ciclo vital das cianobactérias e decorrente liberação de oxigênio (TICE e LOWE, 2004; WALTER *et al.*, 1992).

Por definição, estromatólitos são estruturas biossedimentares macroscópicas, finamente laminadas produzidas por atividade metabólica de conglomerados de comunidades de cianobactérias bentônicas e processos físico-químicos ambientais relacionados à sedimentação e erosão (SCHOPF, 1995 & HOFFMANN, 1976).

Sua gênese está diretamente associada a camadas pré-cambrianas da crosta terrestre que, através do soerguimento de trechos das mesmas dão início ao processo de formação dos estromatólitos (SAGAN & MARGULIS, 2002) (Figura 3). Tais camadas são de significativa importância científica e econômica por apresentar uma grande diversidade mineral com valor de mercado agregado, e por serem registros de tempos primitivos da história geológica (MARGULIS e SAGAN, 2002).

Os estromatólitos assumem hoje a função de fósseis vivos\*, podendo ser encontrados ainda vivos, em diversas regiões do globo, a exemplo do que ocorre em Shark Bay, Pink, ou Spencer Lake (Austrália); Bahamas, Golfo Pérsico e Solar Lake (Israel); Salt Lake, Green Lake, Yellowstone National Park e Flórida (USA), Ilha de Hainan (China) e Golfo do México, entre outros. No Brasil, temos registros fósseis e também viventes (RUCHKYS, 2007).

Na Austrália, em Shark Bay, foi possível estimar o crescimento colunar de estromatólitos atuais resultando em uma relação de crescimento 0,5mm/ano (Figura 4), onde 1 metro de altura corresponde a uma idade de 2000 anos, projetando crescimento de um metro em 2000 anos de atividade nas condições atuais (MORRISON, 2002 *apud* BARRETO, 2008).

---

\* Linhagens biológicas que estão registradas na história geológica do planeta a bilhões e milhões de anos e ainda persistem até os tempos atuais.

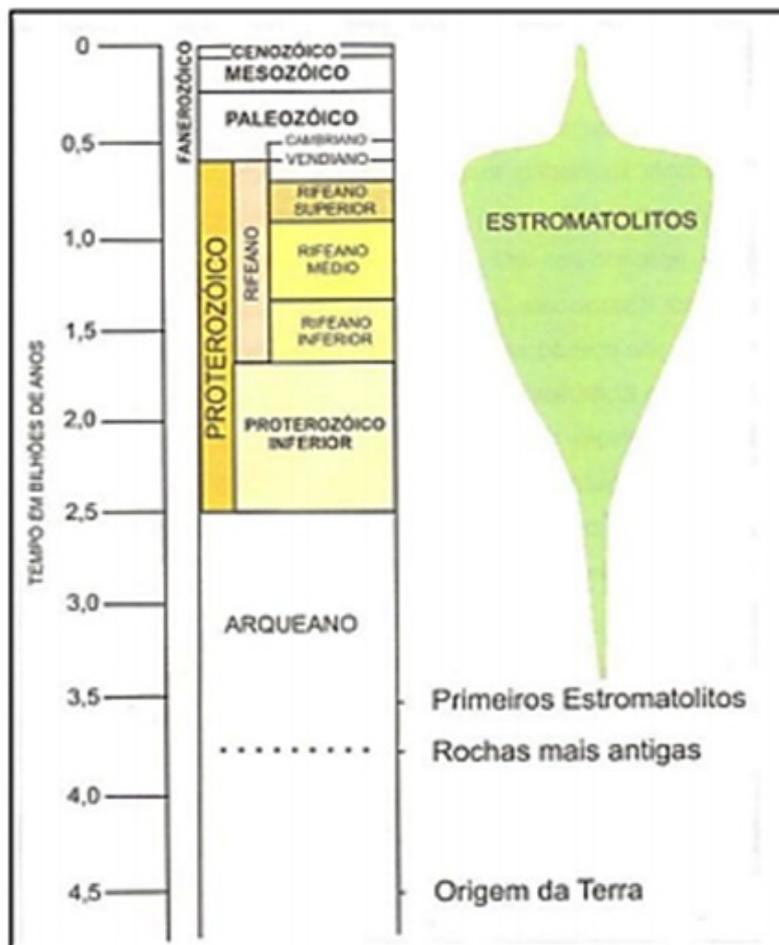


Figura 3 - Estromatólitos no decorrer do tempo geológico. Fonte: Adaptado de Awramik (1984).

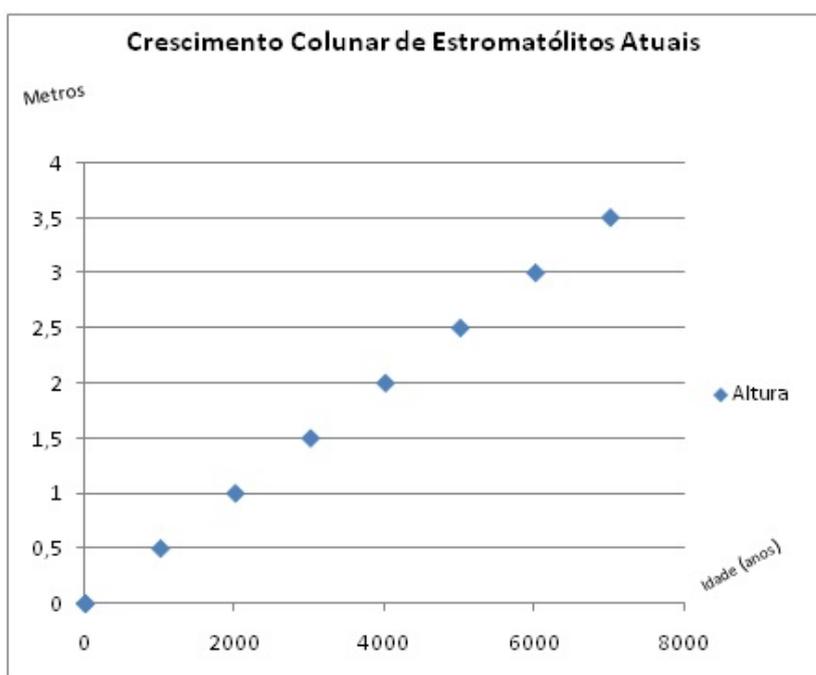


Figura 4 – Relação de crescimento de estromatólitos atuais. Fonte: adaptado de MORRISON (2002 apud BARRETO, 2008).

### 1.3 Registros Brasileiros

Os estromatólitos brasileiros são conhecidos em diversas unidades carbonáticas (FAIRCHILD, 1977, 1982; MARINI & BÓRIO, 1971; GUIMARÃES *et al.*, 2002; JUSCHAKS, 2006; BAHNIUK, 2007), principalmente de idade proterozoica. Entretanto, estudos mais aprofundados que levam em consideração aspectos morfológicos macros, meso e microestruturais, ainda são escassos.

Em Cachoeira do Campo (Minas Gerais) são registrados os estromatólitos brasileiros mais antigos. De origem paleoproterozoica estão inseridos no Supergrupo Minas, na Formação Fecho do Funil, com idade entre 2,1-2,4 Ga. (PIRES & TIBAES, 2010; DARDENNE & CAMPOS NETO, 1976; SOUZA & MÜLLER, 1984).

A região sudeste apresenta o maior número de ocorrências registradas de estromatólitos no Brasil. No Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente no litoral do município de Campos, encontram-se as únicas ocorrências de estromatólitos carbonáticos colunares domais, estratiformes, trombólitos e oncólitos da idade holocênica do Brasil (10 Ma. - atual), em pleno período de formação. Os tipos de estromatólitos recentes estão presentes em Lagoa Salgada, localizada entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra (DARDENNE *et al.*, 1972).

O estado de São Paulo agrupa o maior número de registros de campos de estromatólitos no Brasil. Nos municípios paulistas de Nova Campina e Itapeva são registrados os primeiros estromatólitos descritos na América do Sul, datados também do proterozoico, pertencentes ao Grupo Itaiacoca, que se estendem até o estado do Pará, onde ainda são pouco estudados. Ainda em São Paulo, o município de Santa Rosa do Viterbo

abriga um registro ímpar de vida no mar Permiano (290-250 Ma.), onde as condições paleoambientais permitiram a formação de estruturas dômicas que podem alcançar mais de 3 m. de altura (DARDENNE *et al.*, 1972).

No estado de Minas Gerais está registrada uma ocorrência de estromatólitos fósseis no município de Lagamar, do médio e neoproterozoico (1.6-0.57 Ga.), constituindo-se em afloramentos dolo míticos de estromatólitos colunares com laminações convexas e cônicas intercalados, dolo mitos oncólitos e dolomitos laminados pertencentes ao Grupo Vazante (DARDENNE *et al.*, 1972).

A região nordeste do Brasil tem registrados dois tipos de campos de estromatólitos mesoproterozoicos, cada um com suas especificidades. O primeiro tipo registra-se na Fazenda Cristal (1.6 a 1.0 Ga.) e o segundo na Fazenda Arrecife (0.57 a 0.1 Ga.), ambos na Bahia (DARDENNE *et al.*, 1972).

### 1.4 Descrição e Classificação de Estromatólitos

A morfologia dos estromatólitos está condicionada a fatores ambientais e biológicos. O processo de formação dos estromatólitos se inicia quando uma comunidade microbiana de cianobactérias secretam mucos polissacarídeos que envolvem e protegem suas estruturas celulares, mantendo a população unida e aderida ao substrato.

A acumulação de sedimentos depositados obriga a comunidade a criar uma esteira sobrejacente, evitando seu soterramento, e favorecendo a formação de biofilmes carbonáticos que vão se sucedendo por empilhamento de esteiras microbianas e sua subsequente litificação, comumente resultando na formação de estromatólitos (SALLUN FILHO e FAIRCHILD, 2004).

A seguir, serão descritos os morfotipos vivos cuja tipologia permite

correlações com os estromatólitos fósseis proterozoicos brasileiros (Figura 5).

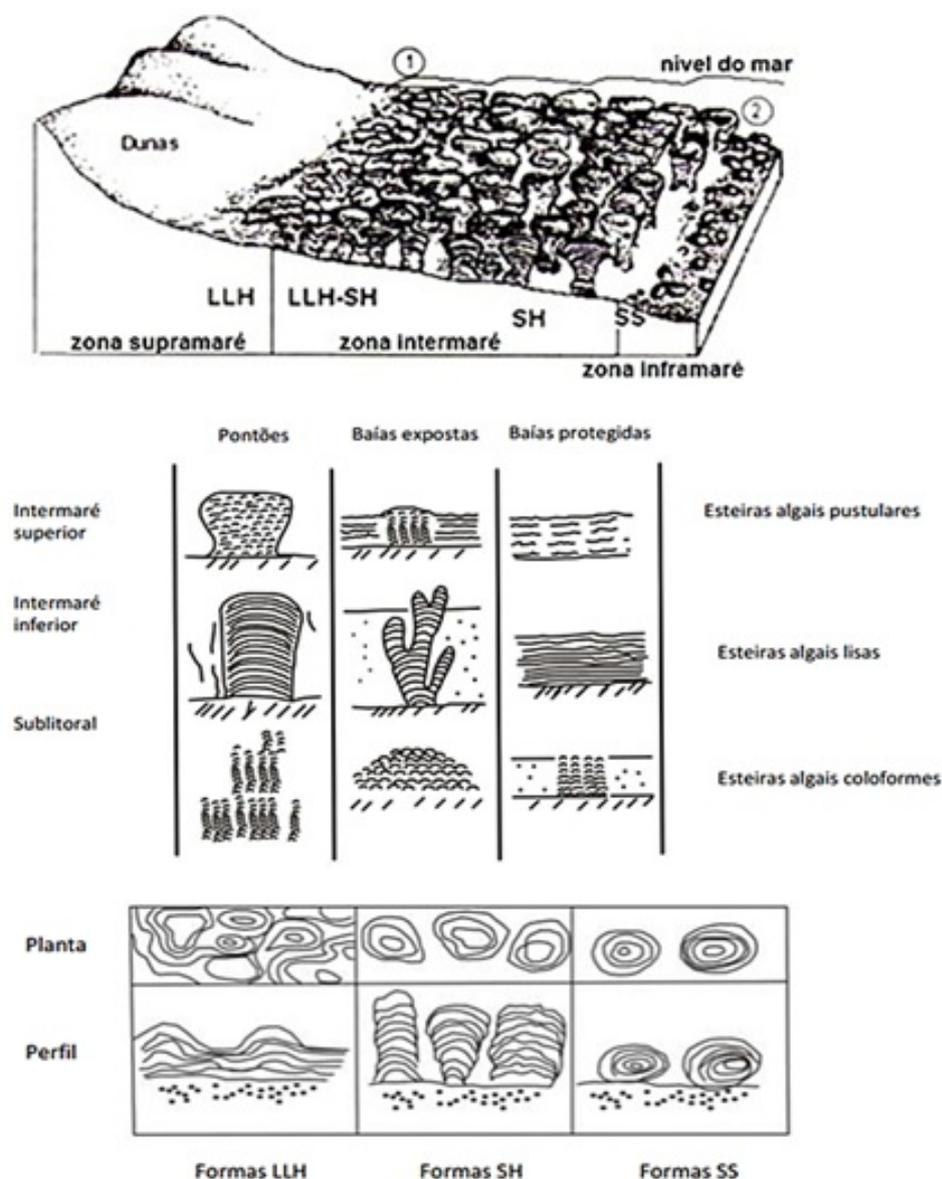


Figura 5 – Classificação dos estromatólitos segundo Logan et al. (1964).

#### *Esteiras Microbianas Gelatinosas Escuras*

Compostas de uma sucessão de lâminas escuras (ricas em matéria orgânica) e cinzas, claras, carbonáticas, estratiformes e crenuladas, finamente laminadas, ocasionalmente cobertas, contendo microgastrópodes, ostracóides e palinóforos (Lagoa Salgada, RJ).

#### *Estromatólitos estratiformes*

Apresentam-se em forma de biostromas, que possuem intercalações de estromatólitos domais e oncólitos, calcarenitos bioclásticos intraclásticos com estratificações cruzadas, além de siltitos e argilitos avermelhados (Fazenda Cristal, BA).

### *Estromatólitos colunares*

São cilíndricos a subcilíndricos, retos, ramificados ou não, bifurcados, podendo ser coalescente no topo, variando em tamanho de até 10 cm em altura e 03 cm de diâmetro. Suas lâminas internas são lisas, pouco convexas. Podem ainda, ocorrer estromatólitos colunares de grande dimensão, onde a altura das colunas, em média, é de 80 cm, podendo chegar até 01 m, enquanto a largura pode atingir 15 cm. Portanto na base da relação altura/largura, os estromatólitos são considerados finos e em função de suas altitudes (relação de eixo de coluna em relação ao substrato) são eretos (Fazenda Cristal e Fazenda Arrecife, BA; Lagoa Salgada, RJ). Tais estromatólitos são do tipo SH da classificação de Logan *et al.* (1964).

### *Estromatólitos não colunares*

Apresentam-se intercalados com os estromatólitos estratiformes e colunares, podendo ser encontradas algumas formas de estromatólitos cumulativas, nodulares, domais e colunares estratiformes de pequeno porte, com laminações interna irregulares e crenuladas (Fazenda Cristal, BA).

### *Oncólitos*

Concreções esféricas, ovais e assimétricas, com laminações milimétricas compostas de lâminas escuras (ricas em matéria orgânica) e claras (pobres em matéria orgânica), apresentando-se em tamanhos variados, entre 0,7mm e 60,0mm. (Fazenda Arrecife, BA; Lagoa Salgada, RJ). Esses oncólitos podem ser agrupados como estromatólitos Tipo SS de Logan *et al.* (1964).

### *Trombólitos*

Também são registrados, cujas estruturas microbianas, em suas feições

externas são semelhantes aos estromatólitos colunares e colunares-estratiformes, formando pequenas biohermas dômicas (Lagoa Pernambuco e Lagoa Salgada, RJ).

## **2. METODOLOGIA**

Para o estudo, adotou-se um guia para descrever os estromatólitos, adaptado de diversos autores (HOFMANN, 1969; WALTER, 1972; GREY, 1989), além da realização de trabalho de campo visando a descrição da macroestrutura e mesoestrutura dos estromatólitos registrados na pedreira do Cumbi, em Cachoeira do Campo, Minas Gerais.

Através da bibliografia adotada pode-se enfatizar observações objetivas em três escalas:

- 1) Modo de ocorrência: estromatólitos como corpo geológico e sua geometria (lentes, camadas, indivíduos dispersos, etc.);
- 2) Macroestrutura: geometria dos estromatólitos individuais;
- 3) Mesoestrutura: principalmente as feições mais evidentes da laminação;

## **3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO À PEDREIRA DO CUMBI**

A área de estudo Cachoeira do Campo é um distrito da cidade de Ouro Preto-MG e se encontra a 69 km de Belo Horizonte. O acesso a partir da capital é através da BR-040 (sentido RJ) até o trevo para Ouro Preto, onde se segue pela rodovia BR-356. As cidades de Itabirito e Ouro Preto distam aproximadamente 19 km de Cachoeira do Campo (Figura 6).

Para chegar à pedreira estudada, pertencente à Mineração Minas Pérola, com uma distância aproxima a 12 km de Cachoeira do Campo, deve-se usar uma estrada secundária não pavimentada. No

sentido Belo Horizonte-Ouro Preto, o início desta estrada se situa à direita, antes da ponte sobre o Córrego Maracujá. Outro ponto de referência é o Colégio Dom Bosco, que em 1779 abrigava

o antigo Quartel dos Dragões. O caminho até a pedra é sinalizado por placas indicando a direção “Guarneri”, que é o nome da família detentora dos direitos minerários da área.

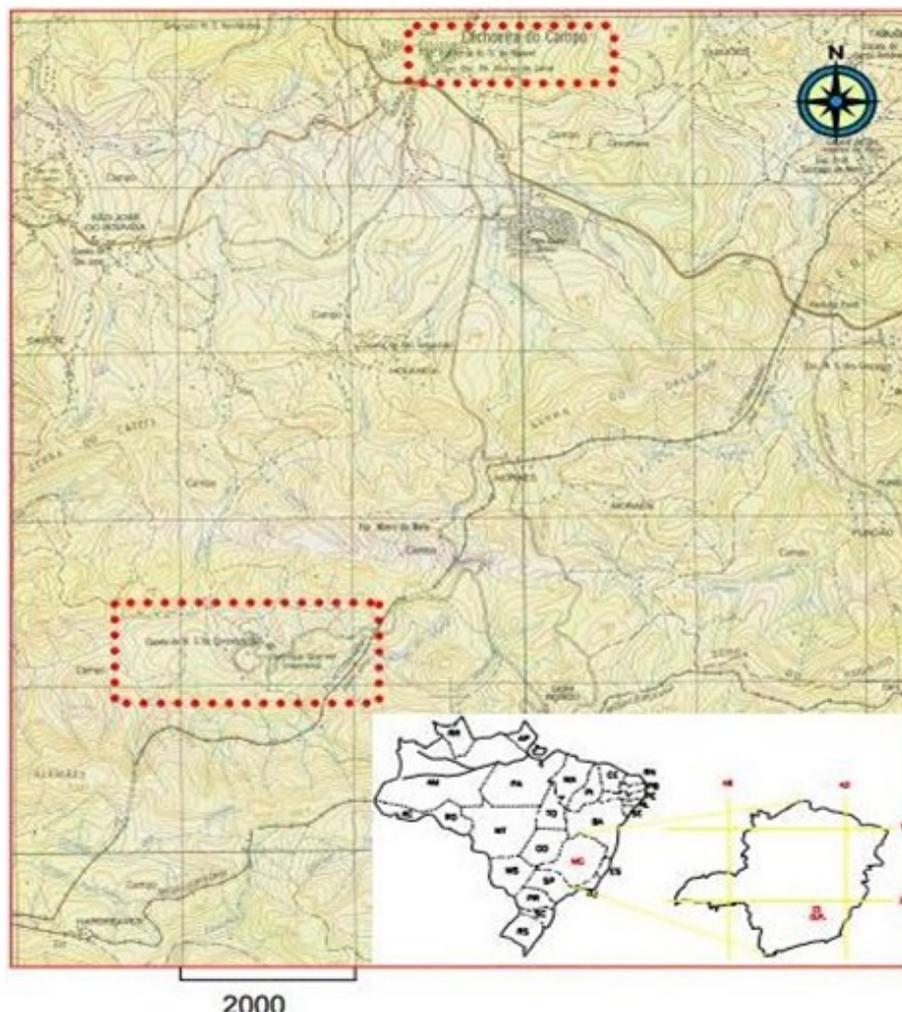


Figura 6 - Mapa de localização e acesso do distrito de Cachoeira do Campo e da pedra do Cumbi. Base topográfica: Folha Ouro Preto - IBGE; escala original 1: 50.000 (SF-23-XA-III-4); 1977.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estromatólitos registrados na Formação Grupo Fecho do Funil constituem um importante acervo de estruturas biogênicas com predominância de estromatólitos colunares neoproterozoicos. Uma das principais características dos estromatólitos do Grupo Fecho do Funil é a coexistência de *Conophyton* e *Jacutophyton* na mesma camada de calcário dolomítico, formando uma associação específica. Esta

associação *Conophyton-Jacutophyton* tem como principal característica ambiental a falta de fornecimento sedimentar externo, ou seja, não há intercalações pelíticas entre eles, sendo que todo o espaço intercolunar é representado por micrita, preenchendo os espaços vazios (BERTRAND-SARFATI e MOUSSINE-POUCHKINE, 1985).

A ausência de feições de dissecação ou brechas, junto com o

constante fornecimento de lama carbonática, indica sua posição de submaré rasa, dentro de um sistema costeiro protegido de ondas, mas dominado pelo avanço de marés. Dentro das lentes dolomíticas ocorrem truncamentos sub-horizontalizados nas colunas estromatolíticas, indicando sua exposição em vários episódios sem deposição de camada pelítica entre eles.

O evento responsável por estas feições implica num importante aumento temporário na energia do ambiente. No topo das lentes ocorre um evento mais significativo, associado a uma mudança no nível do oceano ou a uma variação climática, seguido de mudança no tipo de sedimento depositado, passando de

carbonatos para pelitos e arenitos.

As colunas estromatolíticas mostram uma típica cor rosa que se sobressai sobre o fundo cinza azulado dos dolomitos encaixantes. Essas colunas, que podem atingir uma altura superior a dois metros, se dispõem verticalmente ou ligeiramente inclinadas em relação ao acamadamento.

Suas colunas são irregularmente subcilíndricas com contrações e expansões abruptas que conferem uma morfologia de bulbo ou de tubérculo para as construções estromatolíticas. A ramificação das colunas é ativa ou passiva com dois ou mais ramos se desenvolvendo para cada divisão (Figura 7).



Figura 7 – Detalhe dos estromatólitos registrados na Pedreira do Cumbi, em Cachoeira do Campo-MG.

Os estromatólitos colunares, paleoambientalmente, principalmente do tipo *Conophyton*, indicam que são comuns em ambientes marinhos, plataformais ou de planície de maré, em pontões e baías expostas na porção intermaré inferior (SRIVASTAVA, 2004). A altura das colunas indica a disputa pela zona fótica, formadas em ambiente de baixa energia, abaixo da ação de ondas e marés (KNOLL, 1985).

Tais situações ambientais podem ser encontradas dentro do ambiente costeiro dominado por marés com águas pouco profundas (submaré rasa). Os canais da intermaré inibem o crescimento das ligações laterais entre as estruturas, formando as lentes isoladas. A ação do ciclo de marés, onde o recuo da maré baixa corre a somatório de fluxos oscilatórios provocados pela maré e por fluxos unidirecionais provenientes do continente, provocam o isolamento dos pacotes estromatolíticos.

## 5. CONCLUSÃO

Os estromatólitos colunares da região da Pedreira do Cumbia apresentam condições excepcionais de preservação no sítio denominado Sumidouro do Córrego Carrapato, o qual merece ser protegido em função de sua importância do ponto de vista estratigráfico, paleontológico e paleo-ambiental. A identificação de *Conophyton* pode permitir no futuro o estabelecimento de correlações intrabaciais e talvez de correlações intercontinentais. Esses estromatólitos colunares desenvolveram-se em ambiente marinho infra litorâneo, caracterizado por condições de águas rasas.

Os pacotes isolados de dolomitos estromatolíticos, lateralmente contíguos a camadas de metapelitos laminados indicam que, originalmente, estes

sedimentos desenvolveram-se numa plataforma carbonática caracterizada por um complexo sistema de planície de maré. As lentes arenosas na base do pacote pelítico, foram formadas por influência de correntes de fundo na zona intermaré inferior, possivelmente por canais descendentes de maré, separando lagunas dentro da plataforma carbonática. Na submaré rasa, fora da ação das correntes de maré e abaixo da lâmina d'água, instalaram-se colônias de estromatólitos colunares caracterizados pela associação dos morfotipos *Conophyton* *Jacutophyton*.

O registro de estromatólitos em Cachoeira do Campo contribui para fortalecer a relação entre origem da vida e da oxidação do ferro dissolvido nos mares proterozoicos. Assim, conclui-se que os processos de metabolismo das cianobactérias, que deram origem aos estromatólitos, contribuíram não só para a formação de um ambiente propício ao surgimento da vida e à evolução dos seres como os conhecemos hoje, mas também esteve intrinsecamente associado a intervenções químicas de suma importância para a criação e manutenção de uma série de estruturas geológicas que viriam a se tornar fundamentais para a humanidade. Os estromatólitos podem não ser o elo perdido da origem do ferro, mas sua presença fornece indícios de uma conexão feita através da oxidação do Ferro, dada a oxigenação do ambiente. Esta iniciada em grandes proporções pelos processos químicos das cianobactérias fotossintetizantes que liberavam grande quantidade de oxigênio para o ambiente, contribuindo ricamente com o já citado processo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Geólogo e professor Marcos Antônio Leite do Nascimento da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo apoio e carinho na publicação do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 90, p. 29-58, 1998.
- ALLWOOD, A.C. Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia. *Nature*, v. 441, n. 714, 2006.
- AMBRIZZI, T.; MASSAMBANI, O. O Clima da Terra: Processos, Mudanças e Impactos. Instituto de Ciências Atmosféricas da USP. 2007.
- AWRAMIK, S.M. Ancient stromatolites and microbial mats. In: Y. Cohen; R. Castanho & H.O. Halvorson (eds.) *Microbial Mats: stromatolites*, 1ª ed., Alan R. Liss, New York, p. 1-22. 1984.
- BABINSKI, M. et al. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research*, n.72, p.235-245, 1995.
- BAHNIUK, A. M. Controles geológicos da carstificação em metadolomitos da Formação Capiru - Neoproterozoico, região metropolitana de Curitiba, Paraná. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Paraná, p. 138. 2007.
- BARRETO, R. C. A. B. 2008. Estromatólitos. Disponível em: <http://paleontologiauesbjq.blogspot.com.br/2008/12/estromatolitos.html>. Acesso em: 31 de outubro de 2014.
- BEKKER, A. Chemostratigraphy of carbonates from the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero (Iron Quadrangle), Brazil: stratigraphic record of early Proterozoic atmospheric, biogeochemical and climatic change. *American Journal of Science*, n.303, p.865-904, 2003.
- BERTRAND-SARFATI, J.; MOUSSINE-POUCHINE, A. Evolution and environmental conditions of Conophyton-Jacophyton association. In: *Atar Dolomite (Upper Proterozoic, Mauritania)*. *Precambrian Research*, n. 29, p.207-234, 1985.
- BIONDI, J.C. Distribuição no Tempo Geológico dos principais depósitos minerais brasileiros: cadastro dos modelos genéticos e idades dos depósitos. Departamento de Geologia, UFPR. *Revista Brasileira de Geociências*. V. 29, n.4, p. 505-516, 1999.
- BRASIER, M.D. Questioning the evidence for Earth's oldest fossils. *Nature*, n.416, p. 76. 2002.
- BURNE, R.V.; MOORE, L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic communities. *Palaios*, v. 2, p. 241-254. 1987.
- CARVALHO, M.S.S. & CRUZ, N.M.C. Evolução da Vida (cap. 2). In: SILVA, C. R. *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro* (ed.). Rio de Janeiro: CPRM. p. 21-32, 2008.
- CAVALIER-SMITH, T. et al. Introduction: How and when did microbes change the world? *Philosophy Research Society London*, n. 361, n. 845, 2006.
- CHARDIN, T. O Fenômeno Humano. Editora Cultrix: São Paulo. p. 395. 1955.
- COTARDIÈRE, P. História das Ciências: da antiguidade aos nossos dias. Duarte, P. E. (trad.) *Ciências da Terra* v.2, 239p., 2010.
- DARDENNE, M.A.; CAMPOS NETO, M.C. Geologia da região de Lagamar, Minas Gerais. Congresso Brasileiro Geologia, 29, Ouro Preto, SBG, Resumos, p.17, 1976.
- DARDENNE, M.A.; CAMPOS NETO, M.C. Estromatólitos colunares na Série Minas (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, v.5, p. 99-105. 1976.

- DARDENNE, M.A.; MELO, S.M.G.; MOERI, E. Conophyton: um fóssil index do Precambriano no Grupo Bambuí. *Ciência e Cultura*, v. 24, n.2. p. 199-203. 1972.
- DORR, J.V.N. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil: Professional Report. Regional geology of the quadrilatero ferrifero, Minas gerais, Brazil. Geological Survey Professional. Washington DC: v. 641A, pg. 52-53, 1969.
- FORTIN, D.; LANGLEY, S. (2005). Formation and occurrence of biogenic iron-rich minerals *Earth-Science Reviews*, 72 (1-2), 1-19 DOI: 0.1016/j.earscirev.2005.03.002
- GREY, K. Handbook for study of stromatolite and associated structures. In: Kennard, J. M. & BURNE, R. V. (eds.). *Stromatolite Newsletter*, n. 14, p. 82-140, 1989.
- GUERRERO, R. Crucial crises in biology: life in the deep biosphere. *International Microbiology*, v.1, p. 285-294. 1998.
- GUIMARÃES, S.B.; REIS NETO, J.M.; SIQUEIRA, R.B. Caracterização dos estromatólitos da Formação Capiuru (Proterozoico) nas regiões de Morro Azul e Morro Grande, leste do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, v. 51, p. 77-88, 2002.
- HOFMAN, H. Precambrian microflora, Belcher Islands, Canada: Significance and systematics: *Journal of Paleontology*, v.50, p. 1040-1073, 1976.
- HOFMANN, H.J. Attributes of stromatolites. *Geological Survey Canadian Paper*. p.69-39, 1969.
- HOFMANN, H.J. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: WALTER, M. R. (ed.) *Developments in sedimentology*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, p. 261-271. 1976.
- HOFMANN, H.J. Stromatolites: characteristics and utility. *Earth Science Reviews*, v.9, p. 339.1973.
- HOFMANN, H. J.; GREY, K.; HICKMAN, A. H.; THORPE, R.I. Origin of 3,45 Ga coniformstromatolites in Warrawoona Group, Western Australia. *Geological Society of America Bulletin*, v. 111, n. 8, p. 1256-1262. 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. 2010. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001157.pdf>> Acesso em 21 de setembro de 2014.
- JUSHACKS, L. Fácies, estruturas biogênicas e modelos deposicionais dos Metadolomitos da Formação Capiuru – Grupo Açungui, Neoproterozoico do Paraná. *Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná*, p. 100. 2006.
- KNOLL, A.H. The distribution and evolution of microbial life in the late Proterozoic Era. *Annual Review of Microbiology*, n.39, p. 319-417. 1985.
- LOGAN, B.W.; REZAK, R.; GINSBURG, R.N. Classification and environmental significance of algal stromatolites. *Journal of Geology*, n. 72. p. 68-83. 1964.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. *Acquiring Genomes: A theory of the Origin of Species*. New York: Basic Books. p. 256. 2002.
- MARINI, O.J. & BÓRIO, N.J. Estromatólitos em dolomitos do Grupo Açungui. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 43, n.1, p. 161-175. 1971.
- MARTIN, G. *Pré-História do Nordeste do Brasil*. 5ª ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 434. 2008.
- MASSAMBANI, O. & AMBRIZZI, T. O clima da Terra: Processos, mudanças e impactos. *Notas de aula. Instituto de Ciências Atmosféricas da USP - IAG-USP*. 2005
- MCALESTER, A.L. *História geológica da vida*. São Paulo: Edgard Blücher, 1969,164p.
- MENDES, J.A. O Ferro na História: Das Artes Mecânicas às Belas-Artes. *Gestão e Desenvolvimento*, n.09. p. 301-318. 2000.
- MORATO, L.; MANDUCA, L.G.; CARVALHO, I.S.; ROSIÈRE, C.A.; COSTA, R.D. No lugar errado, na hora errada: icnofósseis de

- metazoários no paleoproterozoico de Minas Gerais? *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, n.9, p. 355-364, 2006.
- PIRES, G.L.P.; TIBÃES, A.L. Estudo Paleontológico dos calcários estromatolíticos do Grupo Macaúbas na Serra do Espinhaço Meridional (MG). Trabalho de conclusão de curso. UFVJM, Diamantina, p. 52. 2010.
- PLANAUSKY, N.; ROUXEL, O.; BEKKER, A.; SHAPIRO, R.; FRALICK, P.; KNUDSEN, A. 2009, Iron-oxidizing microbial ecosystems thrived in late Paleoproterozoic redox-stratified oceans: *Earth and Planetary Science Letters*, v.286, p. 230-242. 2009.
- QUARESMA, L. F. 2009. Relatório Técnico 18 – Perfil da Mineração de Ferro. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P09\\_RT18\\_Perfil\\_da\\_Mineração\\_de\\_Ferro.pdf/e9ef3b57-cdbd-4166-b39d-f0f26f28e3ca](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P09_RT18_Perfil_da_Mineração_de_Ferro.pdf/e9ef3b57-cdbd-4166-b39d-f0f26f28e3ca) Acessado em 14 de setembro de 2014.
- RENGER, F.R.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução Sedimentar do Supergrupo Minas: 500 MA. de Registro Geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *GEONOMOS*, v.2, n.01, p. 1-11. 1995.
- RUCHKYS, U.A. Geoparques e a Musealização do Território: um estudo sobre o Quadrilátero Ferrífero. *Revista do Instituto de Geociências/USP*, v. 5, p.35-46, 2009.
- RUCHKYS, U.A. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. 2007. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 209f. 2007.
- SALLUN FILHO, W. & FAIRCHILD, T. R. Estromatólitos do Grupo Itaiacoca ao sul de Itapeva, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* v.7, n.3, p. 359-370, 2004.
- SCHOBENHAUS, C. Projeto Geoparques da CPRM. 2005. Disponível em: [http://www.unb.br/ig/sigep/destaques/PROJETO\\_GEOPARQUES.pdf](http://www.unb.br/ig/sigep/destaques/PROJETO_GEOPARQUES.pdf)> Acesso em 30 de outubro de 2015.
- SCHOPF, J. W. Ritmo e modo da evolução microbiana pré-cambriana. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 9, n. 23, 1995.
- SCHOPF, W.J. Microfossils of the early Archean apex chert: New evidence of the antiquity of life, *Science*, v. 260, n. 640, 1993. The paleo biological record of photosynthesis. *Photosynthesis, Research*, v.107, n.1, p. 87-101, 2011.
- SCHOPF, J. W. Laser-Raman imagery of Earth's earliest fossils. *Nature*, v.416, n. 73, 2002.
- SCHOPF, J. W. Fossil evidence of Archaean life. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n. 361, p. 869–885, 2006.
- SIMMONS, G.C. The Fecho do Funil. B. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v. 7, n.2, p. 65-6, 1958.
- SOUZA, P.C. & MÜLLER, G. Primeiras estruturas algais comprovadas na Formação Gandarela, Quadrilátero Ferrífero. *Revista da Escola de Minas*, v. 37, n. 2, p. 13-21. 1984.
- SRIVASTAVA, N.K. Estromatólitos. In: Carvalho, I.S., *Paleontologia*, 2 v. Interciência, Rio de Janeiro, p. 119-136. 2004.
- TICE, M.M.; LOWE, D.R. Photosynthetic microbial mats in the 3,416 Myr-old ocean. *Nature*, n.431, p. 549. 2004.
- WALTER, M.R. *Stromatolites*. Elsevier Science Publisher Company, Amsterdam, 790 p., 1976.
- WALTER, M.R. *Stromatolites and the biostratigraphy of the Australian Precambrian and Cambrian*. Palaeontological Association of London, Special Papers in Palaeontology, n. 11, 190 p. 1972.
- WALTER, M.R.; GROTZINGER, J.P.; SCHOPF, J.W. Proterozoic stromatolites. In: Schopf, J.W. & Klein, C. *The Proterozoic Biosphere – A multidisciplinary study*, Cambridge University Press, p. 253-260.

WICANDER, R.; MONROE, J.S.; PETERS, E.K.  
Fundamentos de Geologia. São Paulo:  
Cengage Learning, 2011.508p.