
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

RENATO SPILLER PACHECO

**RECONSTITUIÇÃO DE PALEOAMBIENTES
COM MICROBIALITOS DO BRASIL**



Rio Claro
2017

RENATO SPILLER PACHECO

RECONSTITUIÇÃO DE PALEOAMBIENTES
COM MICROBIALITOS DO BRASIL

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosemarie Rohn Davies

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio Claro, para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Rio Claro
2017

560 Pacheco, Renato Spiller
P116r Reconstituição de paleoambientes com microbialitos do
Brasil / Renato Spiller Pacheco. - Rio Claro, 2017
67 f. : il., figs., gráfs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Biociências de Rio Claro

Orientadora: Rosemarie Rohn Davies

1. Paleontologia. 2. Microbialitos. 3. Paleoreconstituição.
4. Paleoarte. 5. Bacia do Paraná. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão primeiramente aos pais e meu irmão, obrigado por todo amor e apoio que só poderiam vir dos melhores pais do mundo. A minha mãe, obrigado por despertar em mim o amor pela natureza e me incentivar a completar esse nosso sonho. Ao meu pai, a pessoa mais bondosa que conheço, agradeço por todo o esforço para me manter estudando, e me como respeitar e tolerar a tudo e a todos. Ao meu irmão, por me mostrar que todo esforço e perseverança sempre serão recompensados. Agradeço ao restante da minha família, especialmente minha tia Maria Helena, por sempre trazer alegria em quaisquer momentos da vida

Agradeço a minha sogra Arlete, por ter me aceitado em sua casa, me apoiado em todas as minhas decisões e me ajudado nas épocas difíceis, obrigado pela sua amizade e carinho.

Aos meus velhos amigos, e aos novos amigos, obrigado pela força e incentivo e pelos momentos de alegria.

Um agradecimento especial, a alguns professores do curso de Biologia, por se esforçarem em transmitir seus conhecimentos e fazerem desse período um dos melhores da minha vida, por participarem da construção de um sonho. Especialmente a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rosemarie Rohn, agradeço por me aceitar como aluno, agradeço a enorme paciência e compreensão, durante este período de projeto, mesmo cheio de dificuldades para ambos os lados, sempre disposta a ajudar, e sem ela, tudo estaria perdido.

E por último, mas, o mais importante, agradeço a Larissa Lobo, minha namorada, companheira, amiga e o grande motivo pelo qual eu vivo, busco e consigo alcançar todos os meus objetivos. Nesses 15 anos de convivência, nosso amor cresceu mais que todo o universo, te amo!

Obrigado a todos.

RESUMO

Microbialito é um termo amplo para designar depósitos organossedimentares, litificados ou não, produzidos pelo aprisionamento e adesão de grãos e/ou precipitação de minerais durante o desenvolvimento de comunidades microbianas bentônicas. Uma infinidade de microbialitos - normalmente construções tridimensionais carbonáticas - refletem múltiplas situações ambientais e biológicas desde pelo menos 3,8 bilhões de anos atrás até hoje. A suspeita de que reservatórios de hidrocarbonetos do “Pré-Sal” tenham forte relação com microbialitos despertou um enorme interesse no assunto. Até o momento, são poucas as reconstruções ambientais com microbialitos disponíveis na literatura, especialmente para o Brasil. A Paleoarte ou ilustração paleontológica é um ramo da ilustração científica especializada em retratar fósseis e outros objetos de estudo da Paleontologia. A arte aplicada à Paleontologia é uma interface fundamental na disseminação do conhecimento acerca do processo evolutivo da vida em nosso planeta, pois, ainda que todas as informações sobre a fauna e flora pretéritas e sua ecologia e sucessão estivessem disponíveis, tais dados não seriam passíveis de compreensão sem uma tradução visual apropriada através da arte aplicada à pesquisa paleontológica. No trabalho aqui apresentado, objetivou-se reconstituir os paleoambientes de microbialitos selecionados da Bacia do Paraná. Como resultado final, obtivemos ilustrações das prováveis condições ambientais que geraram enormes microbialitos de Santa Rosa do Viterbo, no Estado de São Paulo (Formação Irati) e pequenas incrustações em conchas observadas em testemunho de poço em Congonhinhas, no Estado do Paraná (Formação Teresina). Os esquemas procuram mostrar o desenvolvimento dos microbialitos em escala macroscópica (centímetros a metros) em relação a variações paleobatimétricas e outras modificações ambientais. Os resultados podem ser usados para complementar estudos detalhados de microbialitos ou auxiliar na difusão de conhecimento em atividades didáticas, tanto em publicações, como enriquecendo exposições em congressos, museus, etc.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. Microbialitos.....	9
1.2. Paleoarte.....	13
1.3. Objetivos.....	14
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
2.1. Levantamento bibliográfico.....	15
2.2. Interpretação dos dados e confecção das ilustrações.....	15
3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	17
3.1. Bacia do Paraná.....	17
3.2. Grupo Passa Dois.....	18
3.3. Formação Irati.....	19
3.4. Formação Teresina.....	23
4. MICROBIALITOS SELECIONADOS PARA RECONSTITUIÇÕES AMBIENTAIS.....	26
4.1. Campo de Estromatólitos de Santa Rosa do Viterbo.....	27
4.1.1. Localização e descrição.....	27
4.1.2 Interpretação.....	31
4.2. Microestromatólitos de Congonhinhas – PR.....	32
4.2.1 Localização e interpretação.....	34
5. RESULTADOS.....	39
5.1. Estromatólitos de Santa Rosa do Viterbo – SP.....	39
5.2. Microestromatólitos de Congonhinhas – PR.....	50
6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....pag.

Figura 1. Representação esquemática das categorias de microbialitos. A combinação de aspectos de categorias diferentes pode gerar microbialitos híbridos (segundo RIDING, 2011a modificado por FAIRCHILD, 2015).....10

Figura 2. Representação esquemática das características de um biofilme (FAIRCHILD, 2015).12

Figura 3. Exemplos das etapas de criação das ilustrações do presente trabalho. Desde a criação dos esboços a lápis, digitalização, arte final e aplicação de cores e texturas, a maior preocupação sempre foi manter o equilíbrio entre o realismo e a função didática das paleoreconstruções.16

Figura 4. Mapa da paleogeografia eopermiana durante a deposição da Formação Irati, indicando a localização de um mar epicontinental que banhava as bacias do Paraná, Karoo e Huab no Gondwana Ocidental. A correlação dos fósseis das bacias nos continentes sul-americano e africano forneceu as primeiras evidências de que os antigos continentes formavam um único bloco continental (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).18

Figura 5. Posição estratigráfica do Grupo Passa Dois, contendo as duas unidades enfocadas no presente trabalho: as formações Irati e Teresina. Tempo em milhões de anos (Ma) (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).19

Figura 6. **A**-Coluna estratigráfica da Formação Irati no poço FP-12-SP na região de Botucatu (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015). **B** e **C**- Exposições da pedreira Partecal em Assistência, distrito de Rio Claro (SP), mostrando a grande extensão lateral e regularidade dos ritmitos compostos por camadas centimétricas de calcários dolomíticos e folhelhos. A porção basal esbranquiçada corresponde a um banco mais espesso de calcário dolomítico, com cerca de 3 m de espessura, explotado na pedreira. A parte superior, onde desaparecem as delgadas camadas horizontais, já expõe a Formação Corumbataí.21

Figura 7. À esquerda, a figura, apresenta as isópacas e áreas de afloramentos do Grupo Passa Dois, com destaque para a localização do poço FP-12-SP e da ocorrência de microbialitos em Santa Rosa do Viterbo – SP. A parte direita da figura é um perfil geológico esquemático para a região destacada no mapa, mostrando acunhamento até total desaparecimento da Formação Irati no nordeste da bacia e ocorrência local lateralmente descontínua de calcários com microbialitos e mesossauos em Santa Rosa de Viterbo (FAIRCHILD *et al.*, 2015).23

Figura 8: Exemplo de exposição da Formação Teresina em Prudentópolis (PR), na qual predominam rochas siliciclásticas finas, com intercalações de rochas carbonáticas (camadas mais delgadas e esbranquiçadas) e detalhe de argilito interlaminado com arenito muito fino com acamamento flaser, wavy e lenticular, denotando a influência de ondas na sedimentação.....24

Figura 9. Exemplo de sucessões cíclicas de fácies da Formação Teresina num intervalo do poço SP-58-PR, sul de Congonhinhas (PR). As setas indicam aumento ascendente da proporção de arenitos nas sucessões cíclicas granocrescentes (FAIRCHILD *et al.*, 2015).....26

Figura 10. Localização dos microbialitos de Santa Rosa do Viterbo e da área de exploração de calcário dolomítico da Pedreira PH 7 (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	27
Figura 11. Perfil colunar esquemático dos microbialitos expostos na Pedreira PH-7 em Santa Rosa de Viterbo. As espessuras variam conforme a localização na pedreira (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	28
Figura 12. Vista panorâmica de uma frente da pedreira da Mineração de Calcário Ltda. ("Calcário PH7"), com indicação das unidades litoestratigráficas e das principais subdivisões do pacote calcário da Formação Irati (ROHN <i>et al.</i> , 2015)....	30
Figura 13. A. Seção vertical do biostroma, onde estromatólitos pseudocolunares são lateralmente contínuos. B. Laminações onduladas truncadas na parte inferior do biostroma. C. Ramificação paralela na parte superior de um estromatólito pseudocolunar no biostroma. D. Vista superior do biostroma e dos domos estromatólíticos isolados desenvolvidos acima (modificado de FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	30
Figura 14. Representação da história deposicional dos carbonatos de Santa Rosa de Viterbo (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	32
Figura 15. Interpretação paleoambiental dos microbialitos mais comuns da Formação Teresina (Permiano) na porção leste da Bacia do Paraná, em fase sob condições semiáridas/áridas (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	33
Figura 16. Exemplos de microestromatólitos incrustados em moluscos bivalves A. Microestromatólitos com variações na orientação e na concentração, evidenciando provável retrabalhamento durante tempestades. Porção inferior da Formação Rio do Rasto em Ribeirão Claro (PR). B. Corte polido de rocha carbonática fina da Formação Rio do Rasto em Congonhinhas (PR). C. Exemplos da Formação Teresina no furo SP-23-PR, nível 46 (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	34
Figura 17. Localização da região de Congonhinhas – PR, onde ocorrem níveis com microestromatólitos nas formações Teresina e Rio do Rasto, tanto em afloramentos, como em testemunhos de sondagens (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	35
Figura 18: Perfil geofísico e litológico do poço SP-23-PR, em Congonhinhas (PR) e detalhe do perfil litológico da caixa de testemunhos 46, onde se encontra a rocha carbonática com os microestromatólitos, à profundidade de 257 m (extraído de MEGLHIORATTI, 2006).....	36
Figura 19: Caixa de testemunho 46 do poço SP-23-PR e amostra serrada e polida de uma parte do calcário com grande abundância de microestromatólitos incrustados em valvas de moluscos bivalves.....	37
Figura 20: Seção delgada do testemunho SP-23-cx46-r1b, mostrando detalhes dos microestromatólitos, como a trama radial que deve refletir a posição original dos filamentos da comunidade microbiana.....	38
Figura 21. A. Textura utilizada para a camada ondulada. B. Foto do afloramento da camada com ossos de mesossauros (modificado de FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	39
Figura 22. Bloco diagrama com da porção basal do afloramento, com tapete microbiano crescendo sobre o carbonato laminado.....	40

Figura 23. Bloco diagrama com vista “semi-aérea” do tapete microbial e a presença de mesossauros.....	41
Figura 24. Imagem dos domos colunares utilizada como referência para as ilustrações (modificado de FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	42
Figura 25. Formação do biostroma com corpos colunares alongados e alinhados no sentido do fluxo aquoso.....	43
Figura 26. Estromatólitos pseudocolunares com tendência de ramificação paralela na parte superior, com espaço limitado entre as colunas.....	44
Figura 27. Fotografia dos domos isolados utilizada como referência para os desenhos.....	45
Figura 28. Vista “semi-aérea” com aumento do nível e fluxo da água e desenvolvimento dos estromatólitos restrito às estruturas mais altas.....	46
Figura 29. Vista aproximada dos grandes domos se desenvolvendo mais isolados e com as extremidades assimétricas, reforçando a influência do fluxo e o sentido do canto superior esquerdo para o canto inferior direito, já que a extremidade mais íngreme dos estromatólitos é o lado onde o fluxo de choca com maior intensidade com as comunidades microbianas.....	47
Figura 30. Vista “semi-aérea” da água agitada, mais turva e do soterramento dos grandes domos.....	48
Figura 31. Vista aproximada dos grandes domos sob influência de fortes correntes e iniciando o processo de soterramento e fim das atividades microbianas.....	49
Figura 32. Imagem aérea usada como referência para o mar raso e ilhas (fonte https://kimberleymedia.photoshelter.com/image/I0000eMRvJMV1meY).....	51
Figura 33. Bloco diagrama com vista ampla do ambiente marinho epicontinental raso e extenso da formação Teresina.....	52
Figura 34. “Vista aérea” do ambiente marinho após evento de tempestade, com grande agitação da água e aumento da turbidez.....	53
Figura 35. Foto utilizada para inspiração e referências das conchas e estrutura colunar dos microestromatólitos (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015). As feições circulares maiores são vistas em planta de microestromatólitos e no canto superior direito há microestromatólitos em vista lateral. A amostra é da Formação Rio do Rasto, de Ribeirão Claro (PR).....	54
Figura 36. Bloco diagrama representando o início da colonização das superfícies das conchas de bivalves e clastos pela comunidade microbiana.....	55
Figura 37. Estromatólitos formando estruturas colunares cobrindo toda a superfície das conchas e clastos depositados sobre o fundo do meio aquático. O detalhe apresenta uma ampliação com representação microscópica do biofilme e da trama filamentosa aprisionando os grãos sedimentares pelo processo de joejamento.....	56
Figura 38. Fotografia do afloramento com abundância de conchas e fragmentos utilizada como referência, da Formação Rio do Rasto, em Ribeirão Claro (PR) (FAIRCHILD <i>et al.</i> , 2015).....	57

Figura 39. Simulação de eventos tempestivos responsáveis pela alta energia hidrodinâmica e retrabalhamento dos microestromatólitos e das conchas, e deposição em posições caóticas, eventualmente com alguma fragmentação das conchas.....58

Figura 40. Após o retrabalhamento, vemos os microestromatólitos em posições variadas no substrato lamoso e novas conchas sendo colonizadas pelos microrganismos.....59

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste na apresentação de ilustrações didáticas, “semi-realistas”, feitas a partir da interpretação de algumas ocorrências de microbialitos permianos da Bacia do Paraná.

O tema “microbialitos” tem despertado grande interesse da comunidade científica após a descoberta pela PETROBRAS dos hidrocarbonetos do “Pré-Sal” das bacias marginais do Brasil (bacias de Santos e Campos), já que as rochas-reservatório são calcários que podem ter expressiva proporção de microbialitos em sua composição (FAIRCHILD, 2015).

Hoje, o UNESPetro, Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo do IGCE da UNESP, Campus de Rio Claro, possui amplo acervo de amostras de microbialitos de diversas regiões do Brasil e das mais variadas idades. Este acervo foi profundamente detalhado no atlas *“Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente: um atlas”*, financiado pela Petrobras e coordenado por Fairchild, *et al.* (2015).

A publicação deste atlas despertou o interesse do autor em ilustrar e descrever detalhadamente alguns paleoambientes que fizeram parte da história evolutiva destes microbialitos. Na Paleontologia, são comuns reconstituições artísticas de animais e vegetais de diversas idades geológicas (consideradas como “Paleoarte”). Contudo, raros microbialitos têm sido retratados em reconstituições e estes normalmente apenas serviram como cenário para mostrar outros organismos.

A concepção das figuras do presente trabalho se faz graças à integração de conceitos de *design*, arte e ciência. Com o auxílio cada vez maior das ferramentas digitais, é possível recriar detalhes e noções mais amplas do tema, que podem passar despercebidas ou ficar mal entendidas quando somente tratados por meio de textos. Os dois tipos de microbialitos selecionados do Grupo Passa Dois são completamente distintos quanto à morfologia, organização na rocha e provável origem. As lacunas no conhecimento ainda existentes sobre o significado ambiental de cada microbialito constituem um desafio adicional na confecção das figuras. A

relativa variedade de situações oferecidas pelos exemplos estudados pode nortear a elaboração de figuras para outros microbialitos.

1.1. Microbialitos

Conforme a revisão de Riding (2011b), calcários formados por influência ou controle de comunidades microbianas receberam diversas denominações, com variações significativas na nomenclatura. O termo microbialitos foi introduzido em 1987 por Burne & Moore para designar:

“depósitos organo-sedimentares formados por meio de processos de aprisionamento e adesão de sedimentos detríticos por parte de comunidades microbianas bentônicas e/ou em função da precipitação de minerais *in loco* no interior destas comunidades” (conforme tradução de FAIRCHILD, 2015).

Microbialitos são depósitos formados em decorrência de processos biológicos, bioquímicos, químicos e sedimentares associados a comunidades de micróbios junto ao substrato, podendo estar litificados ou não (FAIRCHILD, 2015).

Riding (2011a) considerou que os microbialitos compreendem quatro categorias diferentes, conforme as suas “macrotramas”.

Estromatólitos (KALKOWSKY, 1908 *apud* FAIRCHILD, 2015): depósitos microbianos bentônicos laminados. Incluem formas estratiformes, dômicas e colunares, bem como oncóides (estes caracterizados pela laminação concêntrica, em torno de um núcleo) e formas equivalentes não litificadas (figura 1). Riding (2011b) discutiu a definição de estromatólitos, já que o termo já foi usado até para designar crostas abiogênicas ou microbialitos não laminados. Este autor definiu estromatólitos como sedimentos microbianos autigênicos macroscopicamente laminados com ou sem interlaminação de substâncias precipitadas (abiogênicas). Os estromatólitos são os microbialitos mais comuns dentre as ocorrências brasileiras (FAIRCHILD, 2015).

Trombólitos (AITKEN, 1967 *apud* FAIRCHILD, 2015): depósitos microbianos bentônicos não laminados (figura 1), caracterizados por uma petrotrama macroscópica de agregados pelóides, em diferentes escalas, com “aspecto de coágulos” ou grumos.

Dendrólitos (RIDING, 1991 *apud* FAIRCHILD, 2015): depósitos microbianos bentônicos não laminados ou debilmente laminados, com petrotramas dendríticas macroscópicas produzidas pela calcificação de micróbios, comumente filamentosos, que passam a ser chamados de calcimicróbios (figura 1).

Leiólitos (BRAGA *et al.*, 1995 *apud* FAIRCHILD, 2015): microbialitos praticamente afaníticos, sem laminação e sem petrotramas trombolíticas ou dendríticas (figura 1).

Os microbialitos podem constituir bioermas, ou ocorrem como corpos pequenos isolados ou desenvolvem-se como extensos tapetes microbianos quase planos a ondulados (FAIRCHILD, 2015). Em geral, os microbialitos se desenvolvem em ambientes restritos, em águas rasas do mar e em todo lugar onde a luminosidade e as condições físico-químicas paleoambientais permitem fixação ao leito e crescimento sem soterramento, onde não ocorrem outros organismos, como em águas hipersalinas, pois as comunidades microbianas (geralmente formadas por cianobactérias, bactérias e algas) não se desenvolvem na presença de organismos herbívoros, que são potenciais consumidores destas comunidades (FAIRCHILD, 2015).

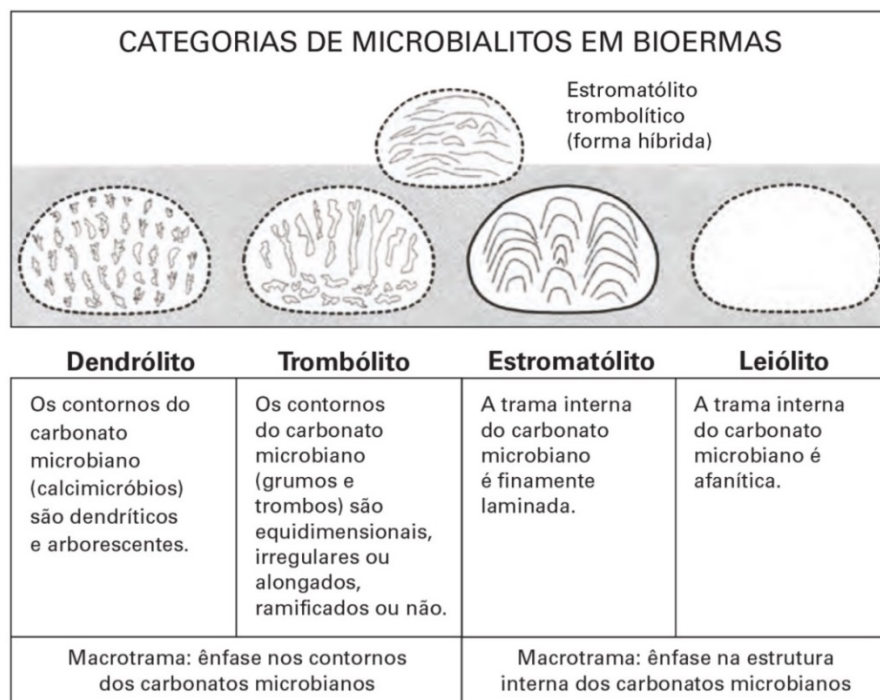


Figura 1. Representação esquemática das categorias de microbialitos. A combinação de aspectos de categorias diferentes pode gerar microbialitos híbridos (segundo RIDING, 2011a modificado por FAIRCHILD, 2015).

Há grande diversidade de microbialitos representando múltiplas situações paleoambientais. Os microbialitos desenvolvem-se em meios aquáticos sob condições variadas de salinidade, alcalinidade e temperatura, em águas doces, salobras, marinhas normais, hipersalinas, hiperalcalinas, hidrotermais, ou até em ambientes terrestres normalmente secos (FAIRCHILD, 2015).

Através de análises principalmente da forma dos microbialitos e da laminação, é possível inferir a energia do ambiente, a direção e sentido de eventuais correntes, a taxa relativa de sedimentação, a profundidade da água e a posição aproximada da linha de costa. Os microbialitos podem evidenciar parte da história sedimentar de uma bacia como processos cíclicos, eventuais eventos episódicos e variações, em distintas escalas de tempo, da dinâmica sedimentar, do nível de mar, da subsidência, do clima e da paleoecologia (GROTZINGER & KNOLL, 1999 apud FAIRCHILD, 2015).

As comunidades microbianas associadas ao desenvolvimento de microbialitos incluem principalmente microrganismos unicelulares ou multicelulares procarióticos e eucarióticos dos domínios Archaea, Bacteria ou Eukaryota (FAIRCHILD, 2015). Além das cianobactérias filamentosas e cocoides, tidos como os principais produtores primários e construtores dos microbialitos modernos (KNOLL *et al.*, 2013), as comunidades modernas também podem apresentar bactérias anaeróbicas fotossintetizantes e outros micróbios, tais como diatomáceas (microalgas), fungos e protistas (DUPRAZ *et al.* 2009; RIDING, 2011a apud FAIRCHILD, 2015). As comunidades microbianas são caracterizadas pela secreção de grandes quantidades de substâncias extracelulares poliméricas (figura 2). Essas substâncias formam películas e biofilmes complexos que fixam as comunidades microbianas ao substrato, acrescentam massa orgânica a elas e permitem a incorporação de material mineral à comunidade microbiana (FAIRCHILD, 2015).

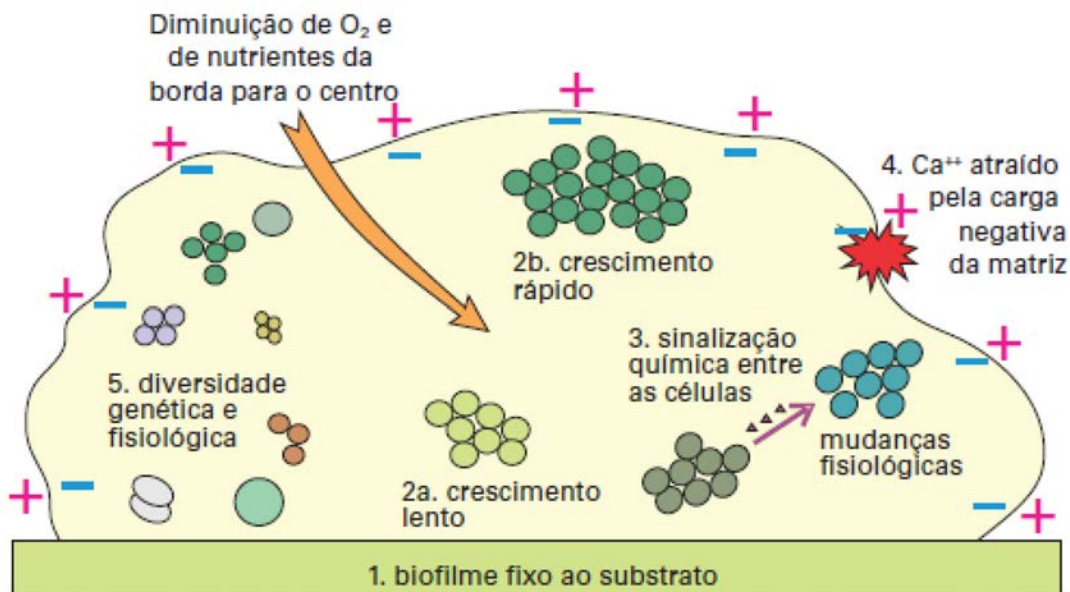


Figura 2. Representação esquemática das características de um biofilme (FAIRCHILD, 2015).

O desenvolvimento de uma comunidade microbiana pode levar à formação de uma esteira microbiana, que é uma película predominantemente orgânica de alguns milímetros de espessura subdividida em delgadas zonas ou microecossistemas, desde a zona mais oxidante e externa, onde ocorre fotossíntese e respiração, até as mais internas anaeróbicas, com eventual metanogênese (FAIRCHILD 2015). O material mineral incorporado durante a formação das esteiras é o que permite a litificação das estruturas e sua preservação no registro geológico. Este material pode corresponder a partículas disponíveis no ambiente sedimentar ou a minerais precipitados durante a sedimentação ou início da diagênese. A incorporação de partículas (siliciclásticos, intraclastos, oóides, bioclastos), pode ocorrer de diversas maneiras, como por aderência à substância extracelular, ou por aprisionamento resultante de um emaranhado de tricomas entre os grãos buscando a superfície para formar nova esteira, ou por retenção de grãos em pequenas reentrâncias da esteira, ou finalmente por joeiramento, quando as partículas mais finas da carga de fundo do ambiente ficam presas entre os filamentos (FAIRCHILD, 2015).

A precipitação química, geralmente de carbonatos, pode ser bioinduzida por microrganismos decompositores ou resultar de processos abióticos como evaporação ou ressurgência (FAIRCHILD, 2015). A litificação normalmente ocorre

por organomineralização, a qual pode ser bioinduzida (por aumento de alcalinidade ou saturação de carbonato no meio causadas por atividades metabólicas da comunidade) ou bioinfluenciada (simplesmente por presença de matéria orgânica degradada que serve como sítio de nucleação de cristais) (FAIRCHILD, 2015).

1.2. Paleoarte

A arte aplicada à Paleontologia é uma interface fundamental na disseminação do conhecimento acerca do processo evolutivo da vida em nosso planeta. Qualquer tentativa de reconstituição em vida de espécies fósseis necessita estar embasada nos conceitos e técnicas aplicadas do campo da arte em equilíbrio com o trabalho acadêmico (GHILARDI *et al.*, 2007).

Existem diversas maneiras de se obter informações a partir do registro fóssil. A análise de estruturas preservadas nos permite fazer inferências sobre aspectos biomecânicos inerentes aos organismos e estruturas em estudo e consequentemente pode trazer informações sobre o desenvolvimento de ambientes, situações climáticas e toda uma gama de dados fundamentais à compreensão biológica e ecológica do objeto de estudo em questão (ALEXANDER, 1989; GHILARDI, 1999).

Ainda, outros elementos de análise, como a estratigrafia, a sedimentologia e a tafonomia também podem representar importantes ferramentas na reconstituição do ambiente de vida de organismos e ambientes pretéritos, através do estudo da composição e padrões de estruturação das unidades sedimentares, rochas e dos processos de desenvolvimento ambientais (HOLZ & SIMÕES, 2002, 2004; SIMÕES & HOLZ, 2004; ROHN, 2004).

Mesmo que o conjunto de todas estas informações sobre fauna, flora e clima pretéritas, sua ecologia e sucessão estivessem disponíveis, tais dados não seriam passíveis de compreensão total sem uma tradução visual apropriada através da arte aplicada à pesquisa paleontológica (GHILARDI *et al.*, 2007).

Dentro do processo de reconstituição paleontológica, a ciência deve buscar o suporte técnico das artes visuais para criar um perfeito veículo de expressão (MUNARI, 1989). Porém, arte neste caso, sem o devido embasamento científico,

pode tornar-se dedutiva e pouco consistente. Ambas parecem manter uma relação de dependência mútua e intrínseca na reconstituição de fósseis de qualquer natureza. Um artista que não detenha um forte embasamento científico ou que não domine a técnica e a sensibilidade exigidas pela arte, encontra-se fadado a uma produção pobre na transmissão do conhecimento. Habilidade e técnica pouco significam em uma situação como esta, especialmente na ausência de um conhecimento global e integrado entre arte, design gráfico, paleontologia, biologia evolutiva, anatomia comparada, geologia e ciência por parte do artista (GHILARDI *et al.*, 2007).

Neste contexto, podemos dizer que a paleoarte, a paleoreconstrução e a paleoreconstituição, termos frequentemente aplicados a este tipo de abordagem visual, são interfaces imprescindíveis no processo de disseminação do conhecimento acadêmico através do público leigo (PAUL, 2003).

1.3. Objetivos

Levando em conta as considerações propostas acima, o objetivo deste trabalho consiste na confecção e apresentação de pranchas com ilustrações, que de maneira didática e verossímil à realidade, ofereça uma contribuição, tanto à comunidade acadêmica quanto ao público leigo sobre o entendimento dos ambientes paleontológicos em que se criaram alguns tipos de microbialitos do período Permiano na Bacia do Paraná, em território brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de trabalho e respectivos métodos subdividiram-se em três fases principais: 1. Levantamento bibliográfico e aquisição de dados, 2. Interpretação dos dados e 3. Confecção das ilustrações, e finalmente foram feitas as correções e elaboração do relatório.

No início do projeto, foi realizada uma viagem de campo, com a supervisão da orientadora Rosemarie Rohn para estudar afloramentos da Formação Teresina (Permiano da Bacia do Paraná) da região de Prudentópolis – PR. Nesta ocasião, o

autor teve o primeiro contato com estromatólitos para aprimorar o entendimento dos ambientes de formação e de como essas estruturas foram preservadas e se apresentam no tempo atual. Os microbialitos observados nestes afloramentos não entraram na relação de itens reconstituídos, servindo somente como fonte de dados e referências.

2.1. Levantamento bibliográfico

Nesta primeira etapa, foi realizada pesquisa bibliográfica enfocando a geologia regional e a paleontologia da Bacia do Paraná, num âmbito geral, e das formações Irati e Teresina em aspectos mais específicos sobre os campos de estromatólitos. Grande parte dos dados utilizados constava do arquivo pessoal da orientadora, que forneceu uma gama de artigos científicos, fotos e diagramas, dentre eles o Atlas de microbialitos do Brasil, principal fonte de informação presente neste relatório.

Também foram realizadas consultas nos acervos físicos e digitais das bibliotecas da UNESP (no campus de Rio Claro), e USP (acervo digital).

2.2. Interpretação dos dados e confecção das ilustrações

A partir das interpretações dos dados, foram elaborados esboços das ilustrações e definidos quais ambientes e quais etapas do desenvolvimento dos microbialitos seriam reconstituídos.

Para os esboços, foram utilizadas técnicas tradicionais de desenho a mão livre, dando maior liberdade para ajustes e correções. Os rascunhos foram digitalizados em *scanner* doméstico e a partir disso os desenhos foram feitos com o auxílio de ferramentas digitais.

Para a criação dos desenhos finais, foram utilizadas técnicas de computação gráfica. Os traços iniciais dos esboços foram reconstituídos através do software Adobe Photoshop. Versão CC 2017, com o auxílio de um *pen tablete* da marca Wacom, com a utilização de “pincéis” simulando traços reais e outras técnicas como fotomanipulação e renderização de texturas.

Os arquivos finais foram gerados em formatos distintos para utilização em mídias digitais e impressos.

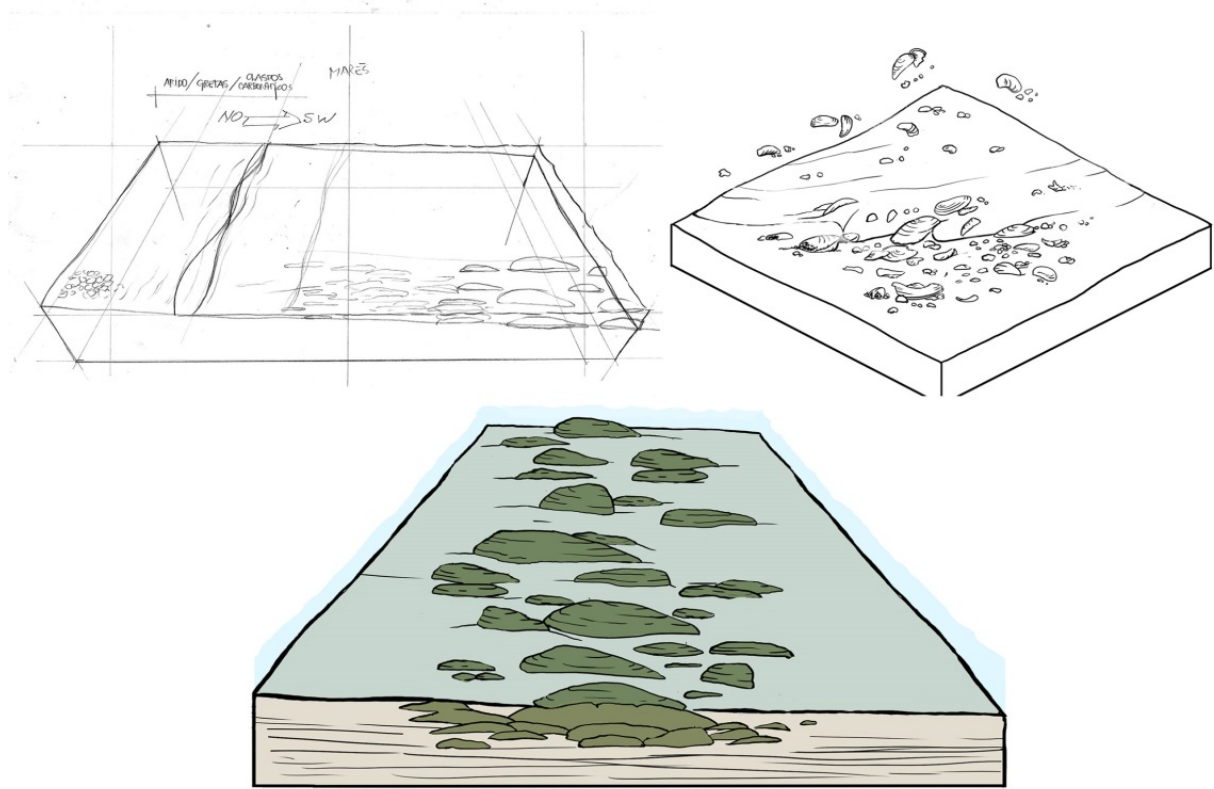


Figura 3. Exemplos das etapas de criação das ilustrações do presente trabalho. Desde a criação dos esboços a lápis, digitalização, arte final e aplicação de cores e texturas, a maior preocupação sempre foi manter o equilíbrio entre o realismo e a função didática das paleoreconstruções.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar intracratônica de forma ovalada do continente sul-americano que inclui porções territoriais da porção sul do Brasil, leste do Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,7 milhão de quilômetros quadrados (MILANI *et al.*, 1994). No Brasil, a Bacia do Paraná abrange os estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal.

Por apresentar carvão, folhelhos betuminosos, calcários dolomíticos, outros calcários, argilitos para a indústria cerâmica, algum potencial para hidrocarbonetos, aquíferos, entre outros recursos naturais, a Bacia do Paraná vem sendo alvo de muitos estudos desde o início do século XX. Seu registro sedimentar (e secundariamente magmático) compreende o Ordoviciano ao Cretáceo (MILANI *et al.* 2007) e durante a maior parte de sua história pertenceu ao antigo supercontinente Gondwana (figura 3) (MILANI *et al.* 2007).

A bacia possui grandes quantidades de fósseis vegetais e animais, que também são encontrados no continente africano, fato de suma importância no desenvolvimento das teorias da deriva continental e da tectônica de placas.

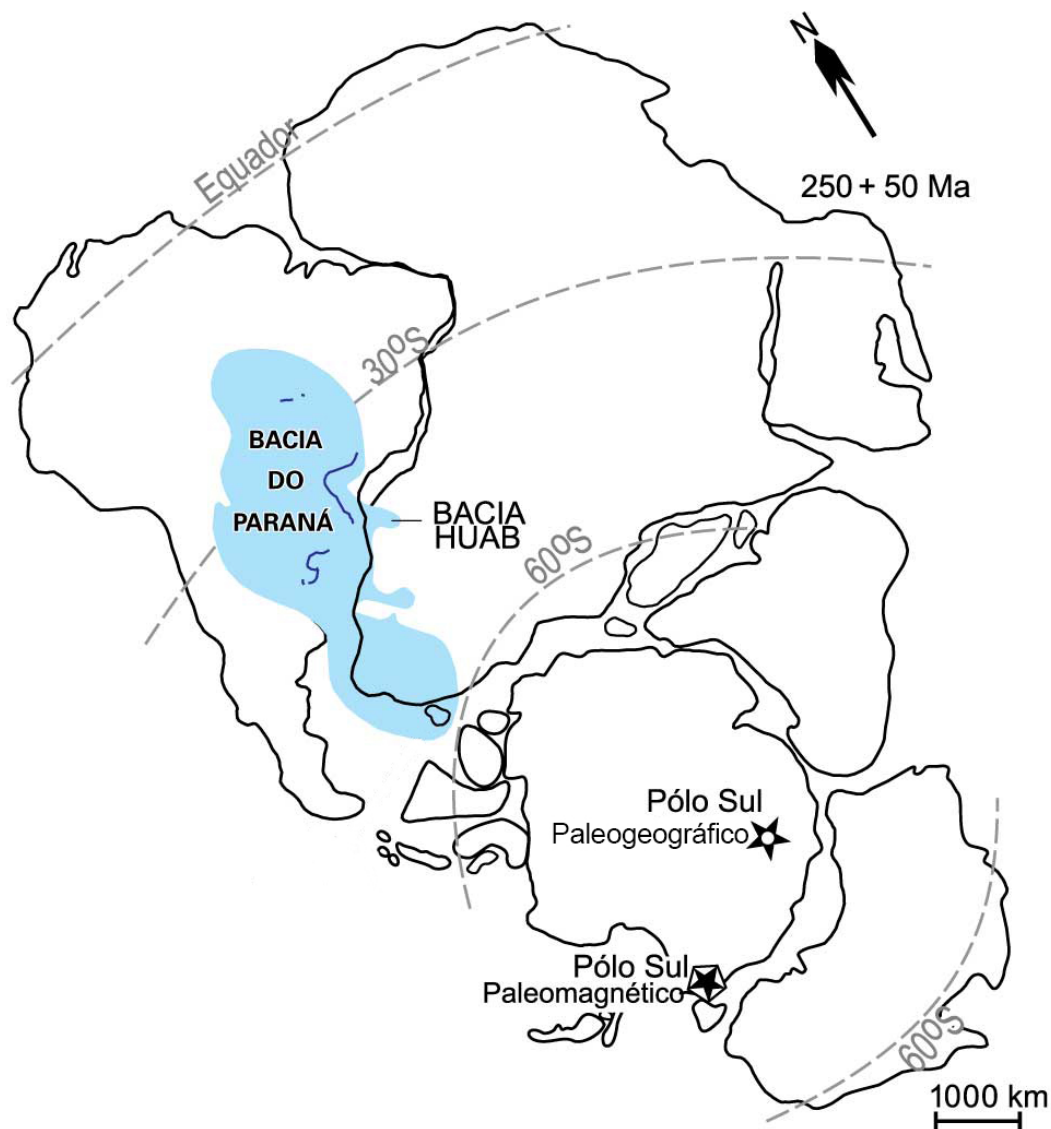


Figura 4. Mapa da paleogeografia eopermiana durante a deposição da Formação Irati, indicando a localização de um mar epicontinental que banhava as bacias do Paraná, Karoo e Huab no Gondwana Ocidental. A correlação dos fósseis das bacias nos continentes sul-americano e africano forneceu as primeiras evidências de que os antigos continentes formavam um único bloco continental (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).

3.2. Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois e suas unidades estão amplamente distribuídas na Bacia do Paraná e sua espessura máxima se aproxima de 1400 metros. Ele se divide nas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rastro (MILANI *et al.*, 2007; FAIRCHILD, 2015). No Estado de São Paulo, o Grupo Passa Dois é composto pelas

formações Irati, Corumbataí, Serra Alta e Teresina (figura 5). Este grupo é frequentemente referido como o intervalo de continentalização da Bacia do Paraná, mas muitas questões permanecem abertas em relação às suas características (ROHN, 2007). Os microbialitos usados para as reconstituições ambientais são das formações Irati e Teresina, as quais são tratadas a seguir.

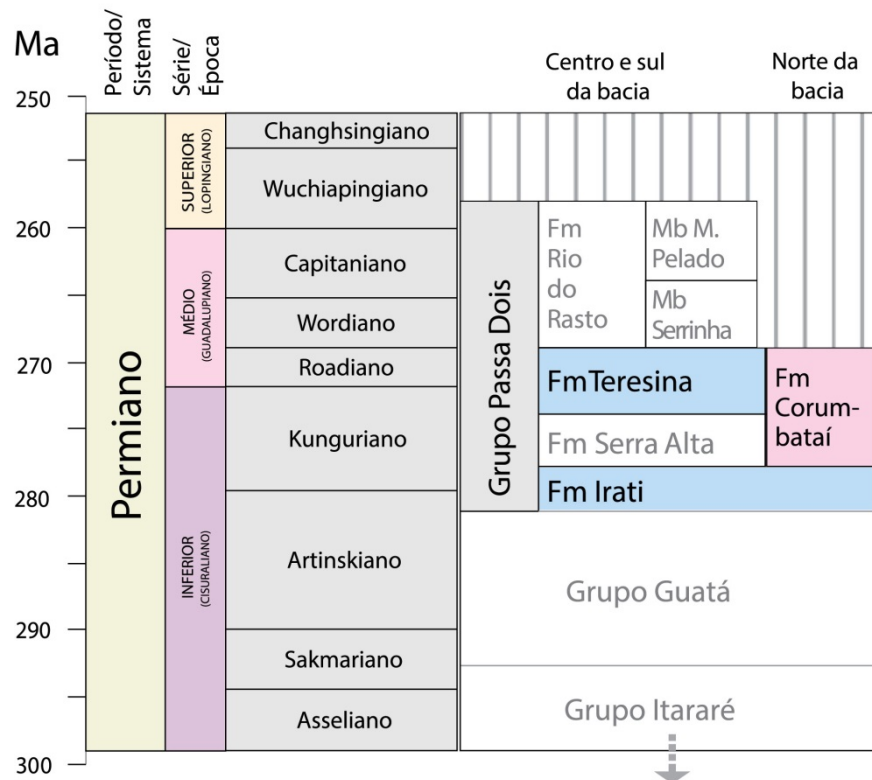


Figura 5. Coluna estratigráfica do Grupo Passa Dois, contendo as duas unidades enfocadas no presente trabalho: as formações Irati e Teresina. Tempo em milhões de anos (Ma) (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).

3.3. Formação Irati

Durante o período Permiano, teve origem a Formação Irati. Representada em um ambiente marinho restrito, a deposição cíclica de carbonatos e folhelhos betuminosos é famosa pelo potencial de geração de hidrocarbonetos e pela presença de fósseis de *Mesosaurus brasiliensis* e *Stereosternum tumidum*, corroborando a relação da mesma com a Formação Whitehill, da Bacia Karoo, na África do Sul e também com a Bacia de Huab na Namíbia (MILANI, 2005; FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Na porção inferior da formação temos o Membro Taquaral, na maior parte composto por folhelhos e, na porção superior, o Membro Assistência, com carbonatos e folhelhos betuminosos, onde ocorrem os mesossauros. O Membro Assistência corresponde a cerca de dois terços da coluna Irati e alcança espessuras máximas de aproximadamente 30 metros no centro-leste do Estado de São Paulo (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

A sucessão de fácies da Formação Irati no Estado de São Paulo se assemelha às de outras áreas da bacia, porém com proporção maior de rochas carbonáticas e espessuras relativamente maiores. A figura 6A sintetiza as principais características e as figuras 6B e 6C retratam exposições na pedreira Partecal em Rio Claro, as quais correspondem apenas à metade superior da coluna.

Na brecha da porção basal do Membro Assistência foram identificadas gipsita e anidrita (HACHIRO *et al.*, 1993; LAGES, 2004). Alguns fragmentos dolomicríticos encontrados junto à pseudomorfos de cristais evaporíticos teriam origem microbiana (ARAÚJO, 2001; LAGES, 2004), sendo o restante da sucessão uma alternância entre níveis de folhelhos betuminosos e níveis dolomicríticos. Também são comuns nódulos de sílex e cristais de pirita. A partir da porção média do membro ocorrem, em abundância, ossos de mesossauros, troncos permineralizados, raras folhas glossopterídeas e ramos de coníferas, crustáceos e raríssimos insetos. Em contrapartida, há escassez de palinomorfos, que se encontram muito mal preservados (ARAÚJO, 2001; LAGES, 2004).

O contato superior do membro com as formações Corumbataí ou Serra Alta é indicado pelo desaparecimento de folhelhos betuminosos e dos fósseis típicos, regionalmente ocorrendo uma camada de arenito muito fino a siltito laminado horizontalmente, com algumas lâminas ricas em crustáceos e raros ossos de mesossauros ainda articulados (LAGES 2004; FAIRCHILD *et al.*, 2015). Segundo Warren *et al.*, (2015), esta camada já pertenceria à Formação Serra Alta, sobrepondo uma significativa discordância no topo da Formação Irati, porém há necessidade de revisão detalhada desta interpretação, já que os ossos de mesossauros não foram retrabalhados e remeteriam ao contexto paleoecológico do Membro Assistência.

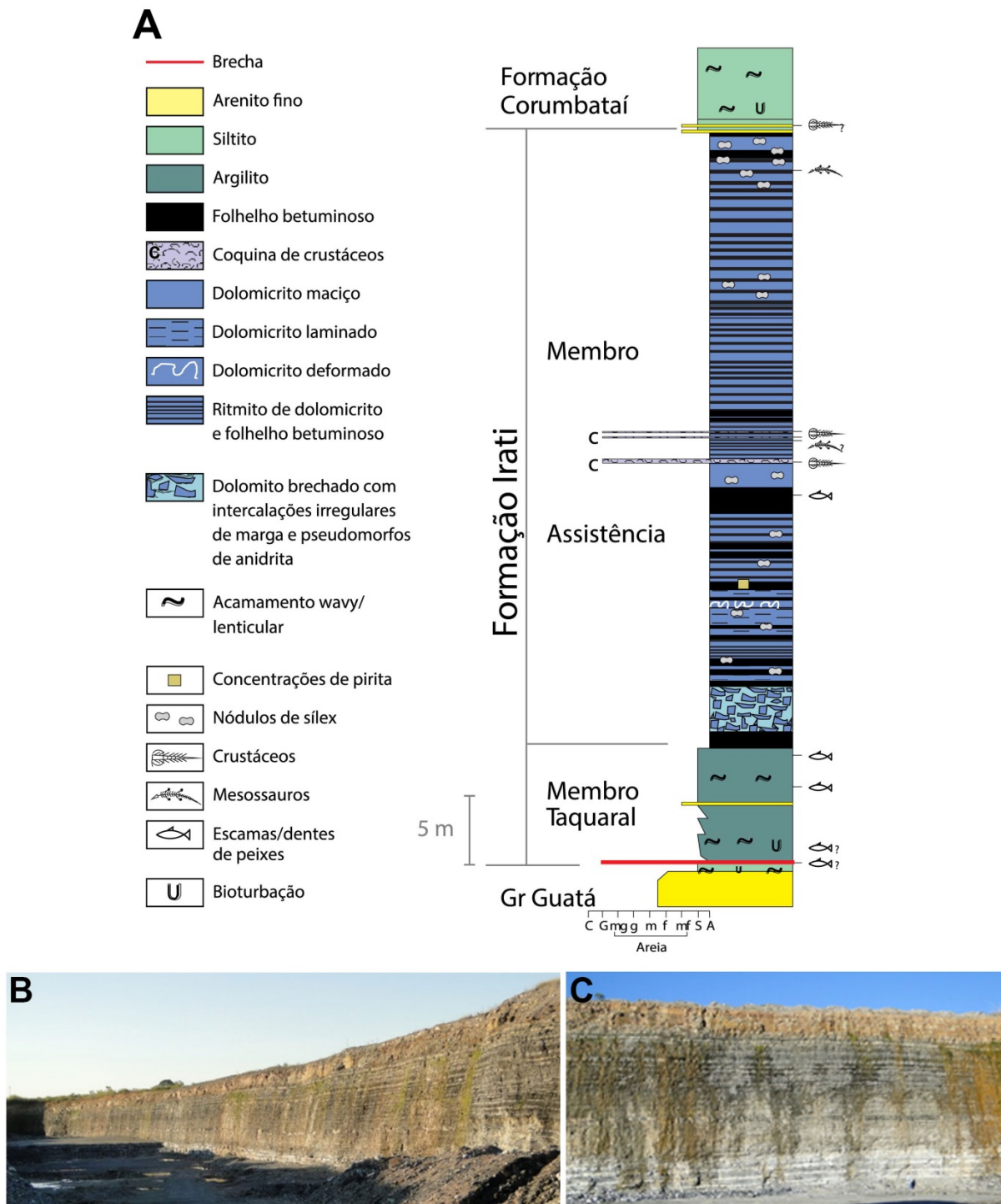


Figura 6. A-Coluna estratigráfica da Formação Irati no poço FP-12-SP na região de Botucatu (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015). **B** e **C**- Exposições da pedra Partecal em Assistência, distrito de Rio Claro (SP), mostrando a grande extensão lateral e regularidade dos ritmitos compostos por camadas centimétricas de calcários dolomíticos e folhelhos. A porção basal esbranquiçada corresponde a um banco mais espesso de calcário dolomítico, com cerca de 3 m de espessura, explotado na pedra. A parte superior, onde desaparecem as delgadas camadas horizontais, já expõe a Formação Corumbataí.

A idade da Formação Irati determinada por datações de cinzas vulcânicas intercaladas se aproximam de $278,4 \pm 2,2$ Ma (SANTOS *et al.*, 2006) indicando uma posição próxima ao limite Artinskiano – Kunguriano, no Eopermiano (figura 5), corroborando correlações com unidades da África fundamentadas em dados paleontológicos (ROHN & STOLLHOFEN, 2000).

A grande continuidade lateral das fácies, não só na escala de pedreira (figura 6B), como na bacia, é típica de mares epicontinentais de bacias cratônicas. As características litológicas são interpretadas por diversos autores (por exemplo, SCHNEIDER *et al.*, 1974; HACHIRO, 1996; MILANI *et al.*, 2007) como indicativos de ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação de ondas no membro inferior e em condições de restrição de bacia em ambiente marinho de águas rasas, no membro superior. Contudo, faltam fósseis que indiquem condições francamente marinhas e também nenhuma estrutura comprova claramente a influência de grandes marés (ARAUJO, 2001; LAGES, 2004). A notável ocorrência de evaporitos na parte inferior do Membro Assistência indica alta salinidade da água condicionada por um clima com características de aridez (HACHIRO, 1996; ARAÚJO, 2001). Os ritmitos com alternância de folhelhos e calcários são atribuídos a ciclicidade climática de milhares de anos, respectivamente condições úmidas e secas (HACHIRO, 1996; ARAUJO, 2001).

Pela continuidade lateral das fácies e sua espessura relativamente pequena, entre 35 e 60 m, a Formação Irati é usada como um datum na bacia (ARAÚJO, 2001; LAGES, 2004; MILANI *et al.*, 2007). Entretanto, esta formação desaparece no nordeste do estado, com a possibilidade de ter sido erodida antes da deposição da Formação Corumbataí (LANDIM, 1970; SOARES & LANDIM, 1973; MASSOLI, 1980; FAIRCHILD *et al.*, 2015) (figura 7).

Em Santa Rosa de Viterbo, localizada na região em que falta, a priori, a Formação Irati, Suguio & Souza (1985), reconheceram uma pequena ocorrência anômala de calcários dolomíticos com mesossauros, inicialmente atribuída à Formação Corumbataí. Engenheiros da pedreira PH7 que explota estes calcários determinaram que os calcários possuem pequena extensão lateral e espessura. A natureza microbialítica dos carbonatos foi reconhecida logo após a primeira publicação (SUGUIO *et al.* 1985) e a presença de mesossauros foi usada como forte

argumento de que os carbonatos são cronocorrelatos, na realidade, ao Membro Assistência da Formação Irati (HACHIRO *et al.*, 1993; ARAÚJO, 2001; LAGES, 2004; RICARDI-BRANCO *et al.*, 2006, 2009; FAIRCHILD *et al.*, 2015). Ainda faltam estudos detalhados para explicar o registro desta formação em Santa Rosa de Viterbo e sua ausência nas áreas vizinhas, mas é provável que logo após a deposição dos carbonatos tenham ocorrido falhamentos que abaixaram o respectivo bloco e o protegeram da erosão (ROHN *et al.*, 2015). Cabe salientar que as fácies carbonáticas em Santa Rosa de Viterbo são bem distintas das normais do Membro Assistência, o que deve estar relacionado à posição bem mais próxima à margem original da Bacia do Paraná (HACHIRO *et al.*, 1993; ARAÚJO, 2001; LAGES, 2004; FAIRCHILD *et al.*, 2015).

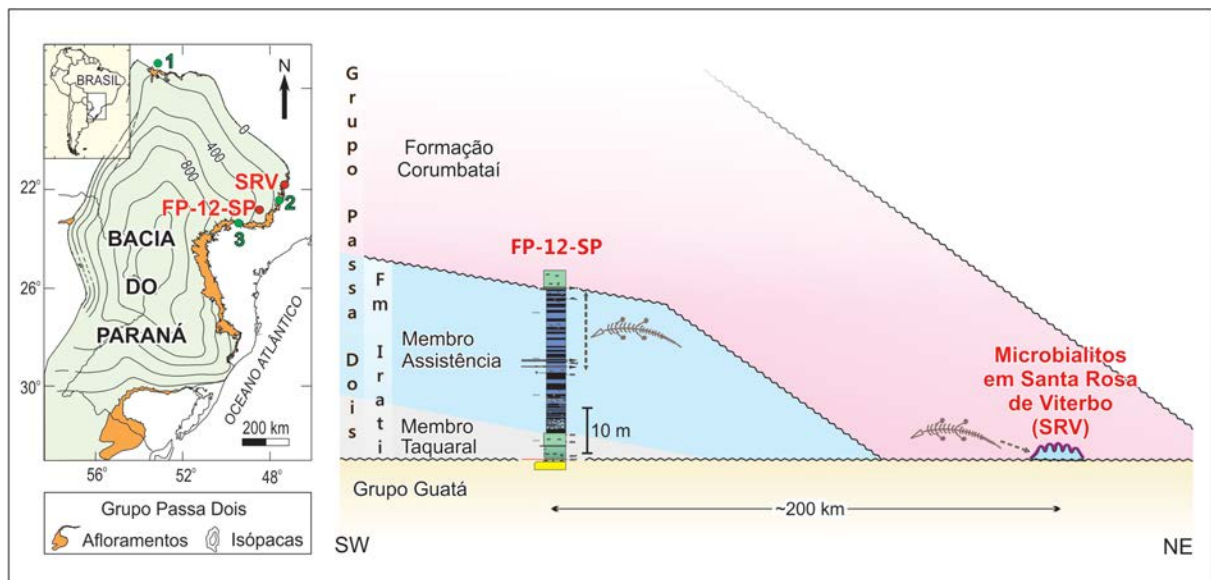


Figura 7. À esquerda, a figura, apresenta as isópacas e áreas de afloramentos do Grupo Passa Dois, com destaque para a localização do poço FP-12-SP e da ocorrência de microbialitos em Santa Rosa do Viterbo – SP. A parte direita da figura é um perfil geológico esquemático para a região destacada no mapa, mostrando acunhamento até total desaparecimento da Formação Irati no nordeste da bacia e ocorrência local lateralmente descontínua de calcários com microbialitos e mesossauros em Santa Rosa de Viterbo (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

3.4. Formação Teresina

A Formação Teresina compõe a parte média do Grupo Passa Dois (figura 5) com espessuras de aproximadamente 300 m registradas na porção leste da bacia e se adelgaça significativamente para nordeste no sentido da paleoborda original da

bacia, onde comumente é denominada como Formação Corumbataí (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Esta formação compreende principalmente argilitos, siltitos e arenitos muito finos, cinza claros, com predomínio de acamamento flaser, wavy e lenticular laminações onduladas, gretas de contração e diques clásticos, assim como camadas submétricas de arenitos muito finos com estratificação cruzada *hummocky*, indicativos de ondas de tempestades, e intercalações de rochas carbonáticas e de coquinitos (figura 8A e B) (SCHNEIDER *et al.*, 1974; LAVINA, 1991; ROHN *et al.*, 2003; MEGLHIORATTI, 2006; NG, 2010; HOLZ *et al.*, 2010; FAIRCHILD *et al.*, 2015). As rochas siliciclásticas mostram organização cíclica de alguns metros de espessura, começando com argilitos na porção basal, terminando com maior proporção de arenitos na porção superior e, muitas vezes, com intercalações de rochas carbonáticas (figura 9) (ROHN *et al.*, 2003; MEGLHIORATTI, 2006). Os ciclos indicam variações do nível relativo da água do paleoambiente, de condições um pouco mais profundas a mais rasas ou até exposições subaéreas, porém nunca atingindo profundidades significativas. A enorme profusão de estruturas sedimentares onduladas evidencia que o substrato era atingido por fluxos oscilatórios em quase todas as regiões da bacia e durante quase todo o tempo (ROHN *et al.*, 2003; MEGLHIORATTI, 2006).

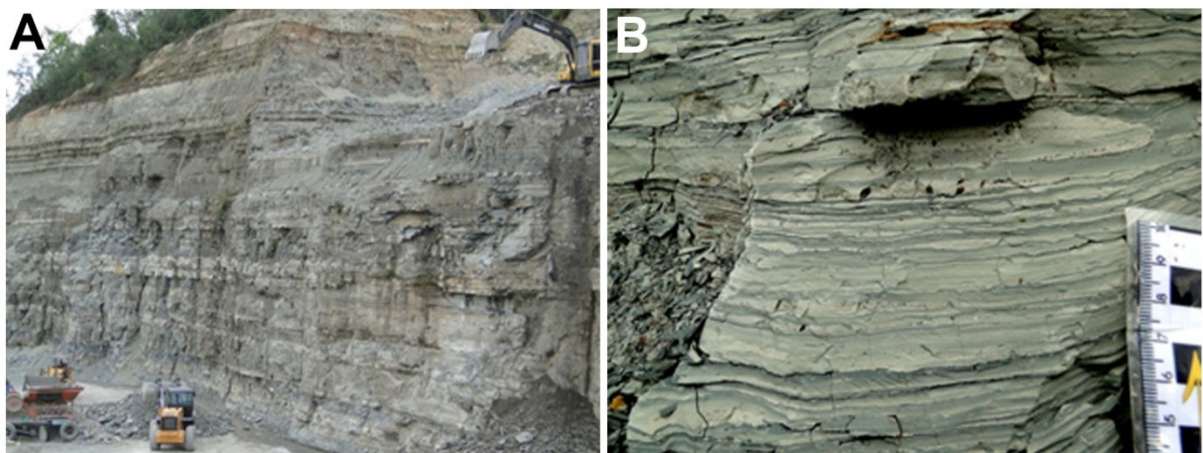


Figura 8: Exemplo de exposição da Formação Teresina em Prudentópolis (PR), na qual predominam rochas siliciclásticas finas, com intercalações de rochas carbonáticas (camadas mais delgadas e esbranquiçadas) e detalhe de argilito interlamorado com arenito muito fino com acamamento flaser, wavy e lenticular, denotando a influência de ondas na sedimentação.

Os carbonatos são diversos, podem aparecer silicificados e apresentam espessuras centimétricas a decimétricas, raramente alcançando mais que um metro (ROHN *et al.*, 2003; NG, 2010). Incluem microbialitos de diversas formas e dimensões, registrados em pelo menos 22 níveis da Formação Teresina (MEGLHIORATTI, 2006; NG, 2010; FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Os fósseis mais abundantes da Formação Teresina são moluscos bivalves, havendo também ostracodes, vegetais e palinomorfs (SCHNEIDER *et al.*, 1974; GHILARDI & SIMÕES, 2002; ROHN *et al.*, 2003; FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Os moluscos bivalves com valvas inteiras ou fragmentadas, com baixa diversidade e aparentemente endêmicos à bacia, são encontrados principalmente em rochas carbonáticas ou constituem coquinitos. As situações tafonômicas dos bivalves são diversas (vide, por exemplo, NEVES *et al.*, 2011). Para o presente trabalho são de interesse os bivalves incrustados por pequenos estromatólitos observados em pelo menos sete níveis de calcários da Formação Teresina e em quatro na unidade estratigráfica acima, ou seja, na Formação Rio do Rasto (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

A Formação Teresina provavelmente foi depositada num intervalo aproximado de 10 milhões de anos, do final do Kunguriano à passagem do Rodiano para o Wordiano, (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Esta formação, assim como as unidades mais inferiores do Grupo Passa Dois, comumente tem sido atribuída a paleoambientes marinhos rasos com influência de marés (por exemplo, por SCHNEIDER *et al.*, 1974; MILANI *et al.*, 2007), porém faltam fósseis realmente marinhos ou são extremamente escassos ou controversos os registros paleontológicos que apontariam conexão franca entre as águas da Bacia do Paraná e o oceano (LAVINA, 1991; GHILARDI & SIMÕES, 2002; HOLZ *et al.*, 2010; FAIRCHILD *et al.*, 2015). O paleoambiente pode ser definido, portanto, como um mar epicontinental muito raso (mar epêirico), com fundo quase plano, águas normalmente calmas, episodicamente agitadas durante tempestades, apresentando variações de salinidade e de profundidade por influência climática, de modo que, nas fases mais secas, as condições ambientais se tornavam mais propícias à sedimentação carbonática e ocorria emersão de pequenas porções do substrato (formando ilhas) ou amplas áreas ressecavam (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

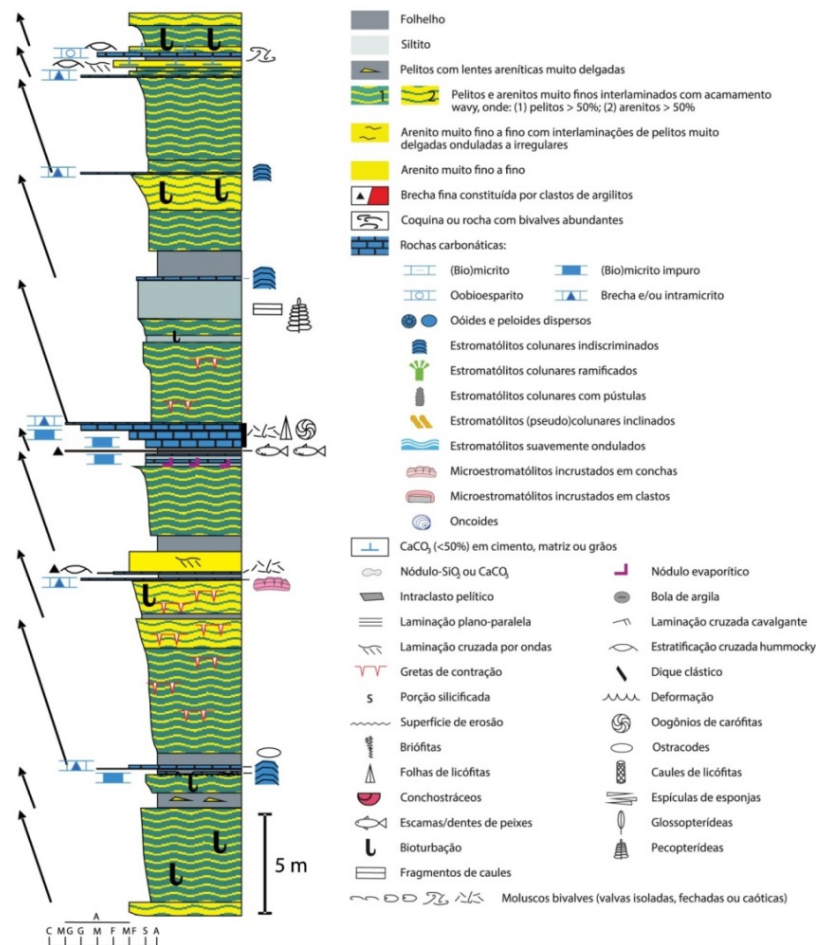


Figura 9. Exemplo de sucessões cíclicas de fácies da Formação Teresina num intervalo do poço SP-58-PR, sul de Congonhinhas (PR). As setas indicam aumento ascendente da proporção de arenitos nas sucessões cíclicas granocrescentes (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

4. MICROBIALITOS SELECIONADOS PARA RECONSTITUIÇÕES AMBIENTAIS

Neste capítulo, são apresentadas informações litológicas, descrições dos microbialitos, diversas imagens já publicadas no Atlas (FAIRCHILD *et al.*, 2015) e interpretações das condições ambientais que originaram os microbialitos. Os microbialitos selecionados pertencem à Formação Irati, localizados em Santa Rosa de Viterbo, apresentados em Fairchild *et al.* (2015), e à Formação Teresina, abrangendo diversos calcários com microestromatólitos incrustados em conchas, com ênfase a uma ocorrência de poço na região de Congonhinhas (PR), descritos em Fairchild (2015). A compilação bibliográfica sobre os microbialitos é fundamental para as reconstituições ambientais dos microbialitos - objetivo do presente trabalho.

4.1. Campo de Estromatólitos de Santa Rosa do Viterbo

4.1.1. Localização e descrição

Em Santa Rosa de Viterbo, nordeste do Estado de São Paulo, ocorre uma singular associação entre estromatólitos e fósseis de répteis aquáticos, os mesossauros, de idade eopermiana já tratados em publicações por Suguio & Souza (1985), Suguio *et al.* (1995), Ricardi-Branco *et al.* (2006, 2009) e Fairchild *et al.* (2015). Estes microbialitos constituem estruturas imponentes de dimensões métricas, todas paralelas entre si, e representam um dos registros da Formação Irati mais próximos da paleoborda original da Bacia do Paraná (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Holförster *et al.* (2000) registraram ocorrências semelhantes na Formação Huab (Namíbia), também com mesossauros associados a bioermas estromatolíticos.

Os estromatólitos se encontram na Pedreira da Mineração de Calcário Ltda., também conhecida como Mineração “PH 7”, que está localizada cerca de 4 km a sudeste do centro urbano de Santa Rosa de Viterbo (figura 10), nas coordenadas 47°19'18,88"W / 21°29'23,34"S ou UTM 23K 259434/7621855 (WGS 84), (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

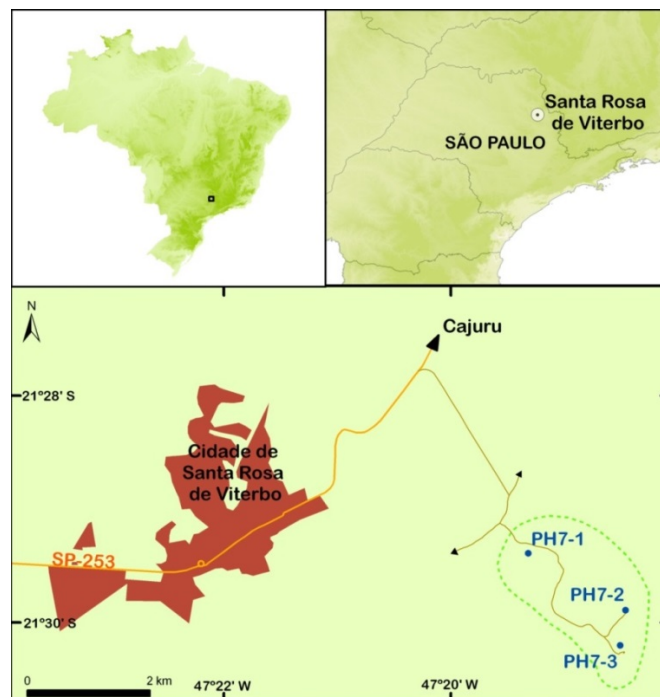


Figura 10. Localização dos microbialitos de Santa Rosa do Viterbo e da área de exploração de calcário dolomítico da Pedreira PH 7 (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Os carbonatos deste afloramento constituem um “banco” de 4 km² de extensão e até 2,5 m de espessura que se acunha para leste até desaparecer totalmente. Domos isolados podem se sobressair acima do banco em até 2,1 m (SUGUIO & SOUZA, 1985; SUGUIO *et al.*, 1995; RICARDI-BRANCO *et al.*, 2006, 2009; FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Na porção basal, o banco carbonático apresenta uma brecha com 12 cm de espessura, constituída por clastos angulosos dolomicríticos, já com ossos de mesossauros (figura 11, 12 e 13B). Segue-se uma camada de aproximadamente 80 cm, com lâminas sub-horizontais a ligeiramente onduladas e truncadas, constituída por calcarenito e com algumas lâminas intercaladas mais micríticas, sucedida pelo corpo principal dos microbialitos, em contato abrupto truncado ou localmente transicional (figuras 11 e 13B) (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

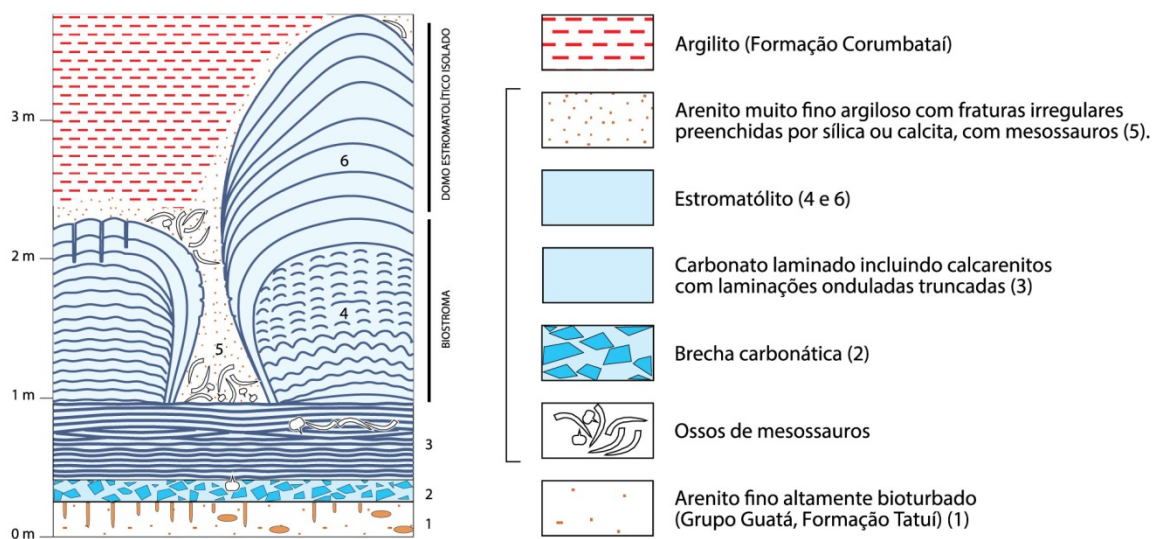


Figura 11. Perfil colunar esquemático dos microbialitos expostos na Pedreira PH-7 em Santa Rosa de Viterbo. As espessuras variam conforme a localização na pedreira (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Os primeiros microbialitos compreendem estruturas suavemente onduladas, passando a estromatólitos dômicos, com porções colunares e localmente pseudocolunares, com orientação NE/SW (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Os

estromatólitos estão densamente agrupados, muito próximos entre si a quase contíguos, formando um extenso biostroma (figuras 11, 12 e 13A).

Alguns correspondem a grandes estruturas dômicas alongadas (altura $\leq 1,6$ m, largura $\leq 1,2$ m, e comprimento ≥ 7 m), com seção vertical quadrangular arredondada, parabólica a turbinada. Em seção transversal mostram-se como elementos fusiformes de orientação paralela. O relevo sinóptico é alto, quase igual à espessura da camada, com laminação convexa simples. Lateralmente, os domos podem apresentar rugas paralelas à direção de alongamento (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Espaços entre colunas possuem alguns centímetros de largura e estão preenchidos por calcita espática e arenitos finos argilosos avermelhados com abundantes ossos de mesossauros parcialmente articulados, portanto, não retrabalhados (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Acima do nível do biostroma, alguns estromatólitos continuaram a se desenvolver e originaram domos isolados ainda paralelos (figura 11), mas muito variados em altura (até 2,1 m), comprimento (3 a 8,6 m) e espaçamento (de 3 a 6 m lateralmente e 3 a 9 m no sentido do alongamento) (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Assim, nos locais dos domos isolados, a espessura do carbonato pode ultrapassar 4 m. A extremidade NE de cada domo tende a ser muito inclinada, enquanto a oposta se inclina mais suavemente (figura 13D).

Os domos e o biostroma são recobertos por uma camada irregular de arenitos muito finos argilosos avermelhados, com fraturas preenchidas por sílica. A camada arenítica é sobreposta por siltitos vermelhos mais homogêneos, seguramente atribuíveis à Formação Corumbataí.



Figura 12. Vista panorâmica de uma frente da pedreira da Mineração de Calcário Ltda. ("Calcário PH7"), com indicação das unidades litoestratigráficas e das principais subdivisões do pacote calcário da Formação Irati (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

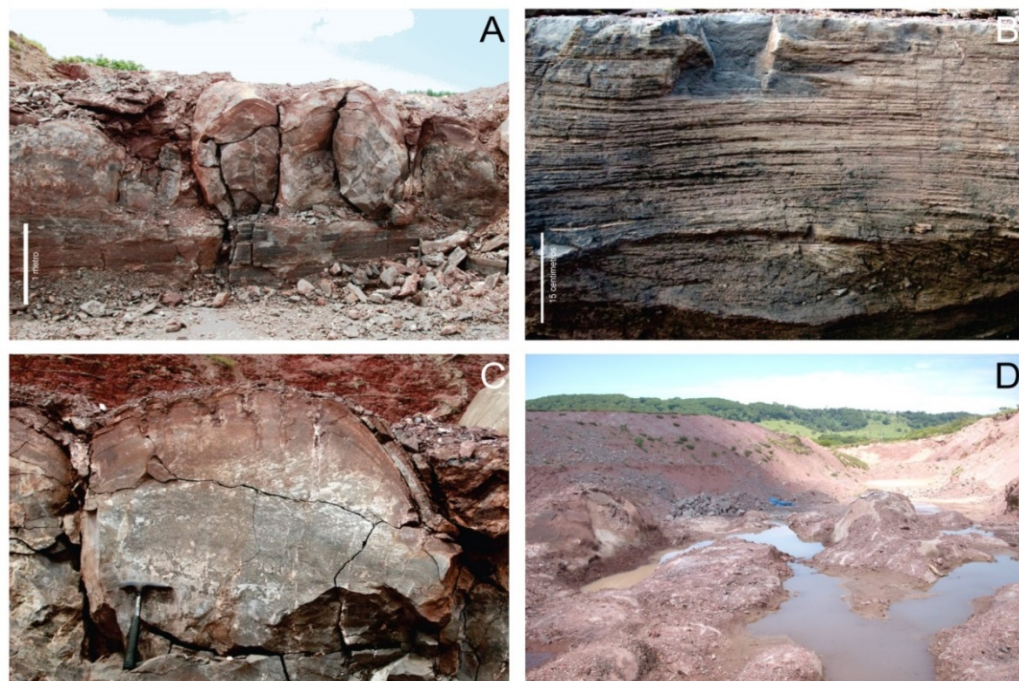


Figura 13. A. Seção vertical do biostroma, onde estromatólitos pseudocolunares são lateralmente contínuos. B. Laminas onduladas truncadas na parte inferior do biostroma. C. Ramificação paralela na parte superior de um estromatólito pseudocolunar no biostroma. D. Vista superior do biostroma e dos domos estromatolíticos isolados desenvolvidos acima (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).

4.1.2 Interpretação

Quase toda a sucessão carbonática de Santa Rosa de Viterbo documenta o aumento gradual da profundidade do ambiente aquático (transgressão) (figura 14). O desenvolvimento dos microbialitos terminou quando houve aumento significativo de aporte de sedimentos siliciclásticos (pelitos avermelhados) provavelmente causado por aumento de pluviosidade, causando o colapso do ecossistema microbiano (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

A forma e o paralelismo das pseudocolunas do biostroma e dos domos isolados sugerem que seu desenvolvimento ocorreu sob a influência de fluxos paralelos. A assimetria das extremidades dos domos, ou seja, uma extremidade com forma bem oblíqua a quase vertical e a outra extremidade com inclinação suave sugerem que o crescimento foi controlado por fluxos aquosos unidirecionais no sentido SW (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Esta dedução está de acordo com a ideia de que os microbialitos da pedreira se desenvolveram por aprisionamento de partículas, “capturando” mais grãos onde os fluxos se chocavam com as comunidades microbianas, tornando a respectiva extremidade mais íngreme. Hachiro (1996) considerou que os fluxos foram controlados por marés. Porém, segundo Lavina (1991) e Araújo (2001), processos relacionados a tempestades podem ser considerados mais importantes do que as marés na Bacia do Paraná; assim, o crescimento paralelo dos estromatólitos de Santa Rosa pode ter sido condicionado por fluxos induzidos por ventos num sentido preferencial ou pela circulação da água causada por gradientes térmicos (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

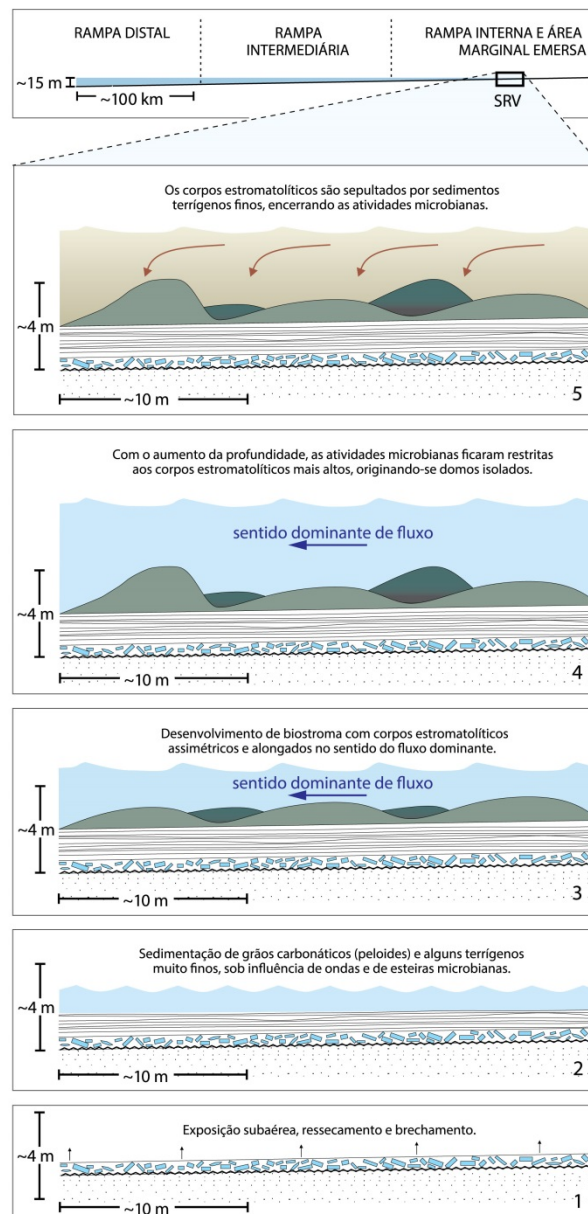


Figura 14. Representação da história deposicional dos carbonatos de Santa Rosa de Viterbo (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

4.2. Microestromatólitos de Congoninhas – PR

A Formação Teresina possui diversas intercalações carbonáticas, havendo microbialitos registrados em mais do que duas dezenas de níveis. No geral, os estromatólitos são colunares ou pseudocolunares, relativamente pequenos, ramificados de modo paralelo ou divergente, isolados ou agrupados, constituindo delgados biostromas ou bioermas, às vezes separados por fina brecha das rochas siliciclásticas adjacentes (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Os carbonatos da matriz das

rochas carbonáticas são muito finos (micritos), com mistura de quantidades significativas de sedimentos terrígenos. Alguns carbonatos têm a granulação areia fina (calcarenitos oolíticos) (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

A Formação Teresina depositou-se num mar epicontinental interior de águas muito rasas, cercado por relevo arrasado, sem conexão com o oceano e com assoalho praticamente plano (figura15). A influência de tempestades neste mar deve ter sido bem mais importante do que a de marés (LAVINA, 1991; FAIRCHILD *et al.*, 2015). Segundo modelos de mares epêiricos (PÖPPELREITER & AIGNER, 2003), a pequena profundidade da água implicava em condições de baixíssima energia numa faixa costeira da ordem de dezenas a centenas de quilômetros de largura, com acumulação exclusiva de lama. Assim, dentro dessas condições, pequenas variações do nível da água eram suficientes para modificar as linhas de costa e expor partes do substrato. Presume-se, assim, que a alternância de longas fases semiáridas com fases mais úmidas pode ter controlado tais variações (ROHN & FAIRCHILD, 2015).

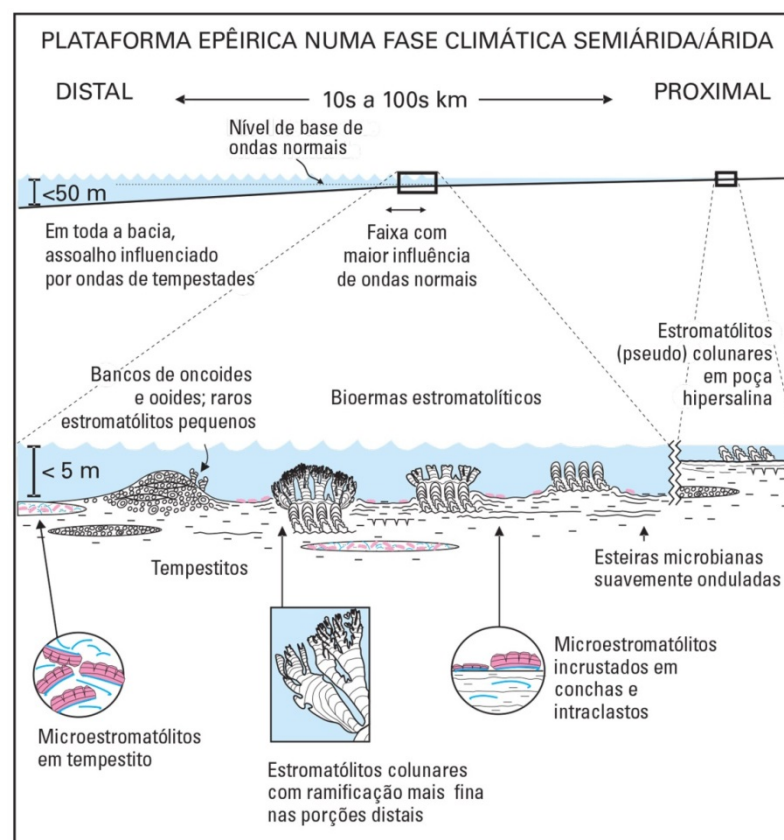


Figura 15. Interpretação paleoambiental dos microbialitos mais comuns da Formação Teresina (Permiano) na porção leste da Bacia do Paraná, em fase sob condições semiáridas/áridas (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Foram selecionados microestromatólitos incrustados em conchas de moluscos bivalves, observados em sete intervalos da Formação Teresina e em quatro da unidade sobrejacente - Formação Rio do Rasto.

4.2.1 Localização e interpretação

Pequenos estromatólitos, aqui denominados microestromatólitos, revestem parcial ou totalmente conchas de moluscos bivalves. Distribuem-se caoticamente em diversos carbonatos muito finos (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Estes estromatólitos são encontrados em afloramentos e em testemunhos de sondagens da CPRM. Sua distribuição estratigráfica variável mostra que a incrustação de comunidades microbianas em conchas ocorreu diversas vezes na história deposicional da Bacia do Paraná, de modo que os microestromatólitos não podem ser usados para correlações estratigráficas (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Alguns exemplos, inclusive da Formação Rio do Rasto, são fornecidos na figura 16.

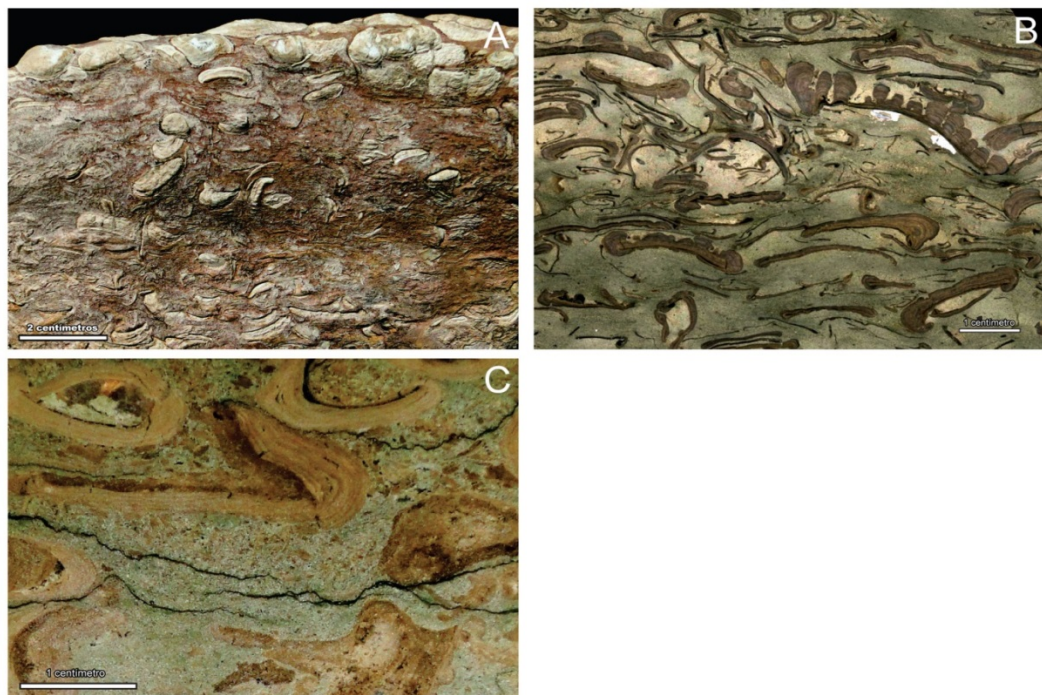


Figura 16. Exemplos de microestromatólitos incrustados em moluscos bivalves **A.** Microestromatólitos com variações na orientação e na concentração, evidenciando provável retrabalhamento durante tempestades. Porção inferior da Formação Rio do Rasto em Ribeirão Claro (PR). **B.** Corte polido de rocha carbonática fina da Formação Rio do Rasto em Congonhinhas (PR). **C.** Exemplos da Formação Teresina no furo SP-23-PR, nível 46 (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Como exemplos para a reconstituição do ambiente deposicional, foram selecionados os microestromatólitos do poço SP-23-PR, em Congonhinhas (PR), caixa 46, profundidade 257 m, localizado em 50°33'18,83"W, 23°44'12,01"S = 22K545330/ 7374857 (figuras 17 e 18).



Figura 17. Localização da região de Congonhinhas – PR, onde ocorrem níveis com microestromatólitos nas formações Teresina e Rio do Rasto, tanto em afloramentos, como em testemunhos de sondagens (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

O intervalo carbonático é relativamente espesso (~0,6 m na parte contínua ou 0,8 m considerando uma intercalação pelítica de ~0,1 m), apresenta variações verticais na concentração de microestromatólitos. A porção carbonática ocorre intercalada entre argilitos e arenitos muito finos interlaminados com acamamento wavy, mais arenosos e com gretas abaixo, e mais argilosos acima (porção basal de nova sucessão cíclica).

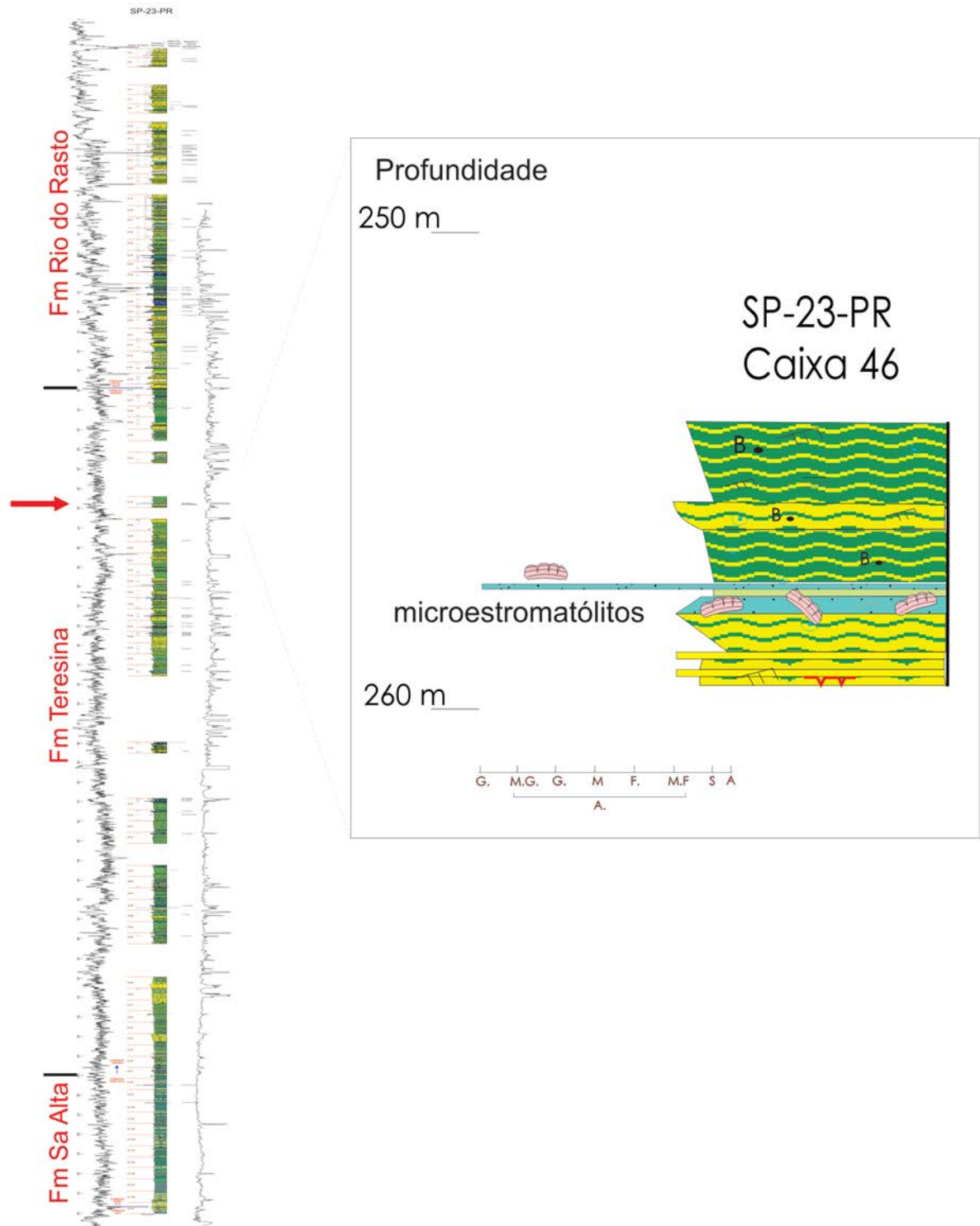


Figura 18: Perfil geofísico e litológico do poço SP-23-PR, em Congonhinhas (PR) e detalhe do perfil litológico da caixa de testemunhos 46, onde se encontra a rocha carbonática com os microestromatólitos, à profundidade de 257 m (extraído de MEGLHIORATTI, 2006).

SP-23-cx46-Am46.1B
Fm Teresina



Figura 19: Caixa de testemunho 46 do poço SP-23-PR e amostra serrada e polida de uma parte do calcário com grande abundância de microestromatólitos incrustados em valvas de moluscos bivalves.

Os microestromatólitos tiveram origem a partir de comunidades microbianas que colonizavam qualquer porção do substrato um pouco mais dura ou elevada, como conchas de bivalves que jaziam sobre lama carbonática ou intraclastos isolados (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Na maior parte do tempo, o paleoambiente apresentava águas calmas, porém, diversos episódios de energia um pouco mais alta acrescentavam conchas, ostracodes e outros clastos à lama carbonática do substrato, além de grãos de quartzo. Num evento final com maior energia, causado por ondas de tempestade, os microestromatólitos foram retrabalhados e depositados em posições caóticas. (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

Os exemplos selecionados do poço SP-23-PR, cx 46 (figura 19), mostram incrustação não apenas sobre a superfície convexa das valvas, como também na porção côncava, talvez porque esta superfície esteve voltada para cima durante certo tempo. Outra possibilidade é que as valvas se encontrassem inclinadas, umas sobre as outras, e não sobre lama, permitindo que a luz incidisse sobre ambas as superfícies (FAIRCHILD *et al.*, 2015). Em seção delgada podem ser observadas as lâminas normais do desenvolvimento das comunidades microbianas e também uma trama radial que parece refletir a organização original dos filamentos da comunidade microbiana (figura 20).

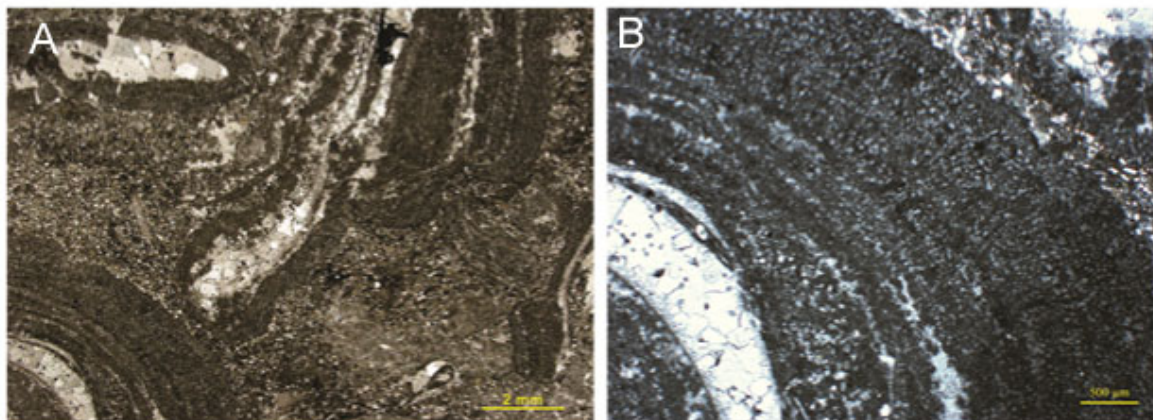


Figura 20: Seção delgada do testemunho SP-23-cx46-r1b, mostrando detalhes dos microestromatólitos, como a trama radial que deve refletir a posição original dos filamentos da comunidade microbiana.

5. RESULTADOS

5.1. Estromatólitos de Santa Rosa do Viterbo - SP

As ilustrações e pranchas apresentadas aqui são os resultados das interpretações sobre o desenvolvimento e os paleoambientes dos microbialitos de Santa Rosa do Viterbo e Congonhinhas.

O primeiro conjunto de figuras ilustra sequencialmente como se formaram os estromatólitos de Santa Rosa do Viterbo. O bloco diagrama da figura 22 mostra uma vista “semi-aérea” do fundo do mar raso, quase plano. A área inferior destaca, através do uso de texturas (figura 21A), o fim da brecha carbonática e a camada com carbonato laminado de laminações onduladas. O substrato em que se desenvolveram os microbialitos foi representado em verde, para se obter um bom contraste com a cor de fundo. A coluna de água mais rasa, de cor azul clara e com contornos calmos representam a baixa energia do ambiente.

Na figura 23 aproximamos o plano para ilustrar a formação do extenso tapete microbiano. Foi acrescentada a figura ilustrativa de um mesossauro vivo nadando na coluna d’água e um esqueleto junto ao fundo. Ainda que seja debatida a presença de animais vivos neste ambiente (FAIRCHILD *et al.*, 2015), a figura tem como objetivo enfatizar a presença de ossos nessas camadas do afloramento (figura 21B).

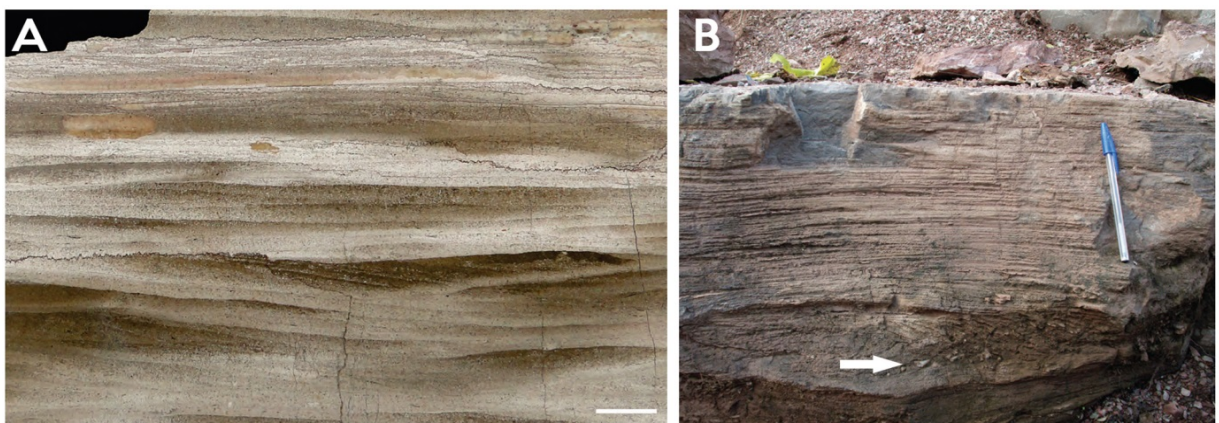


Figura 21. A. Textura utilizada para a camada ondulada. **B.** Foto do afloramento da camada com ossos de mesossauros (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).

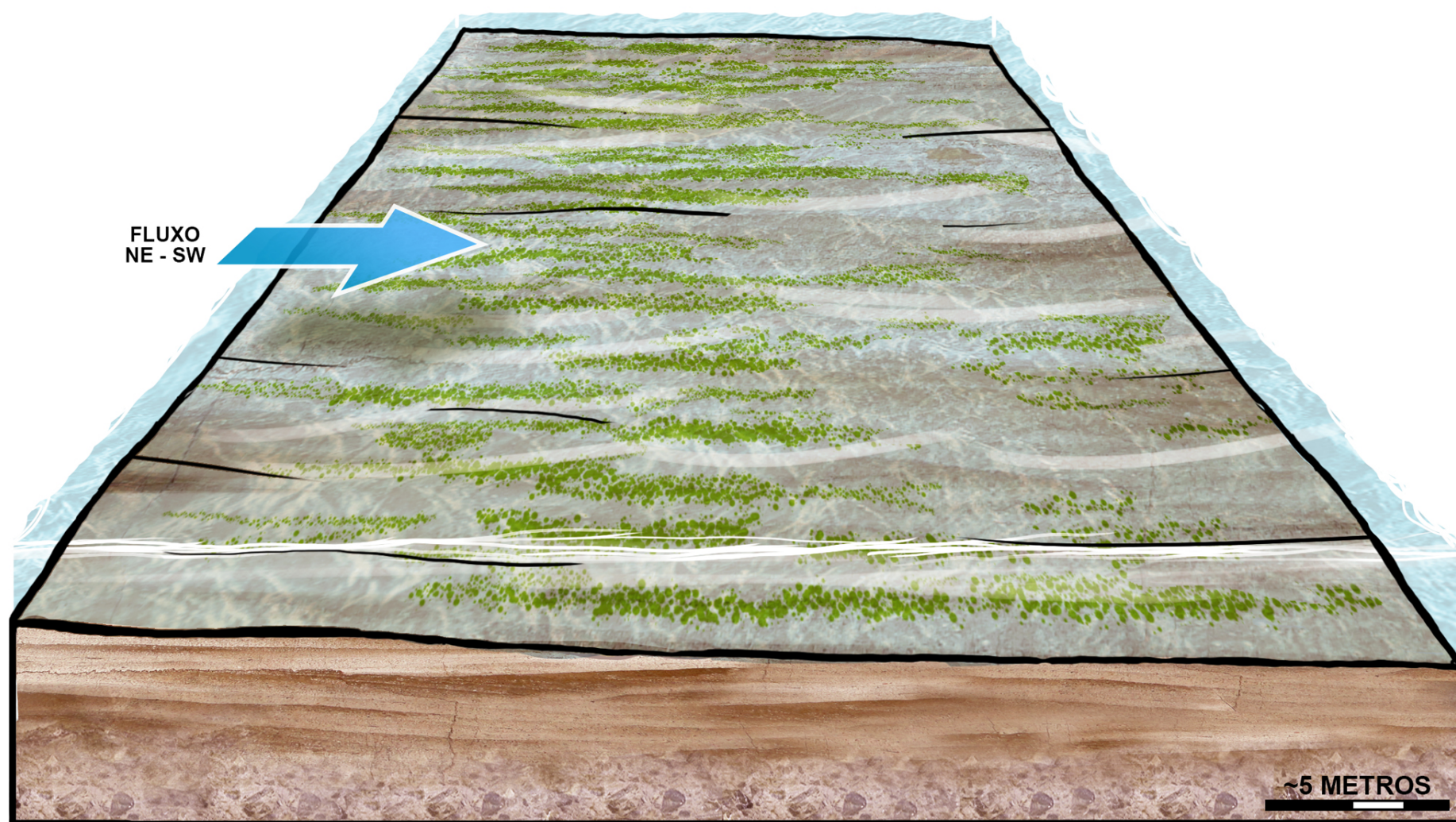


Figura 22. Bloco diagrama com da porção basal do afloramento, com tapete microbiano crescendo sobre o carbonato laminado.

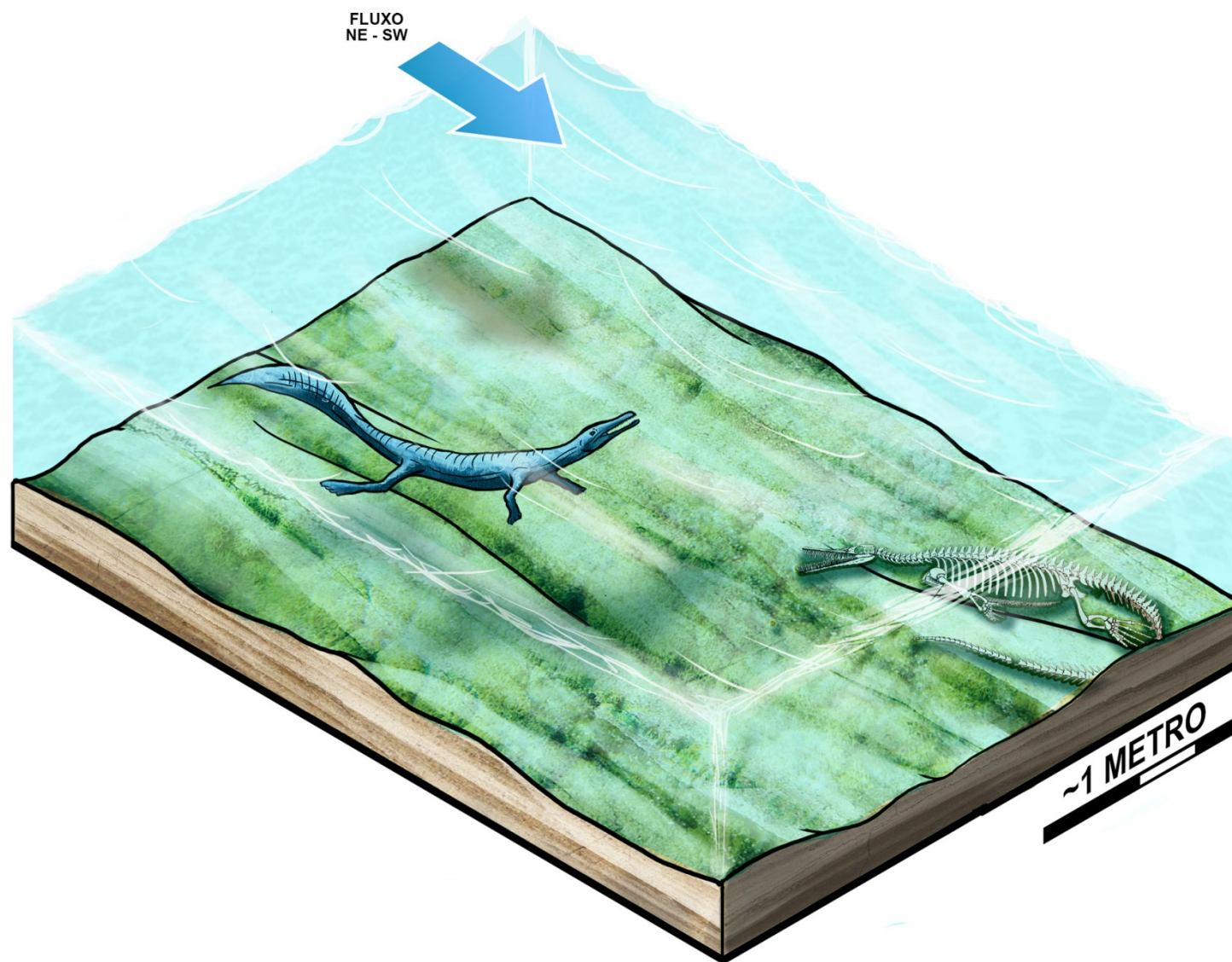


Figura 23. Bloco diagrama com vista “semi-aérea” do tapete microbial e a presença de mesossauros

O próximo conjunto de figuras representa a camada média do afloramento, com os estromatólitos pseudocolunares, assimétricos, se estendendo paralelamente, provavelmente no sentido do fluxo aquoso.

Na figura 25, o intuito do desenho é demonstrar as dimensões do biostroma e a alta densidade de estruturas, com pouco espaço entre as colunas. Esta organização provavelmente se estendia por uma área muito maior do que a representada na imagem. Nessa etapa a camada viva exposta a luz cobre toda a superfície dos domos, até a base e entre as colunas, pois o relevo sinóptico dos estromatólitos era alto, e está representada com um verde vivo e textura semelhante a corais modernos.

Na sequência, temos a figura 26, com um bloco diagrama dos estromatólitos, através de cortes transversais e longitudinais é demonstrada a forma dos domos e laminação convexa.



Figura 24. Imagem dos domos colunares utilizada como referência para as ilustrações (modificado de FAIRCHILD *et al.*, 2015).

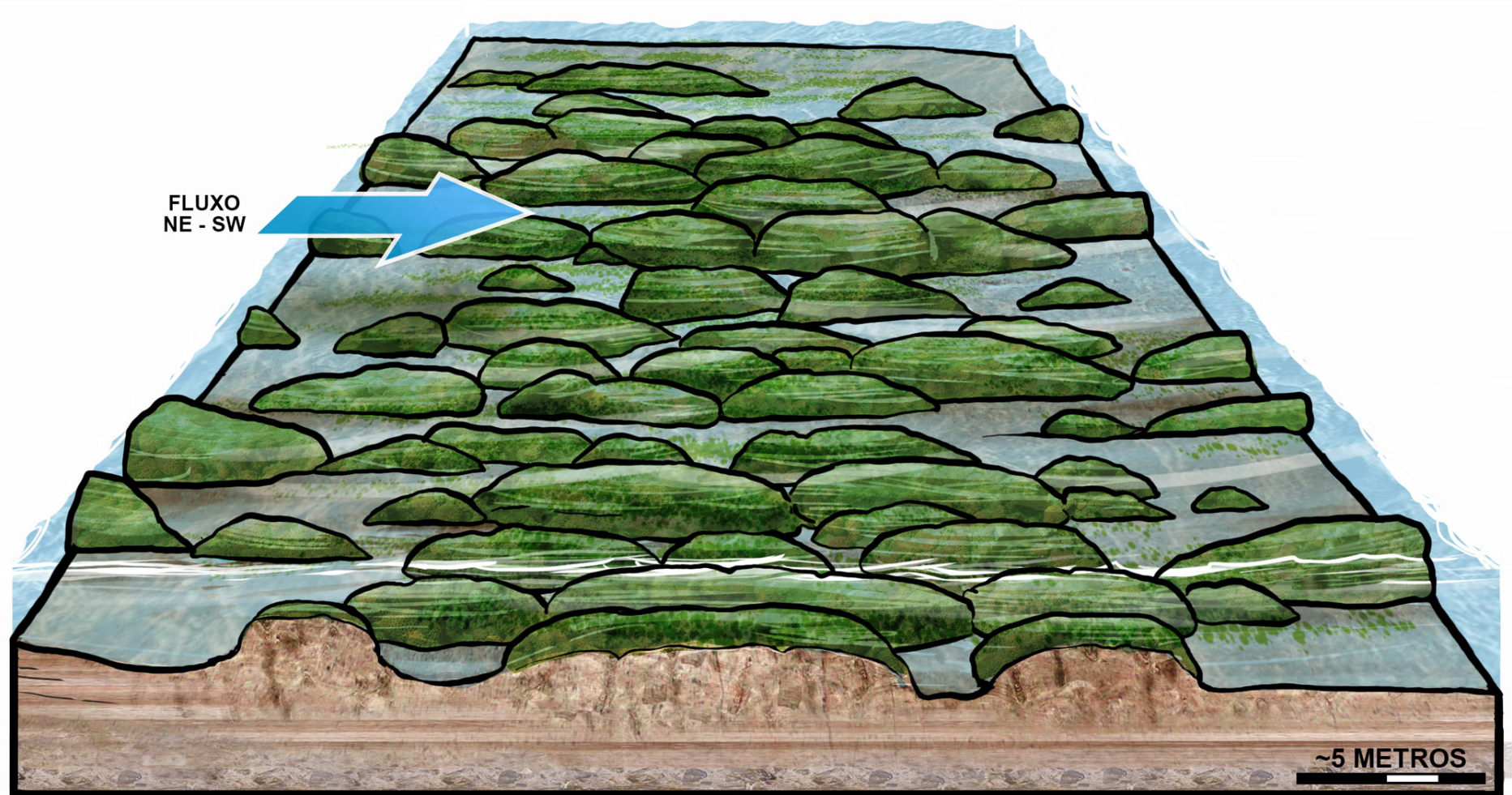


Figura 25. Formação do biostroma com corpos colunares alongados e alinhados no sentido do fluxo aquoso.

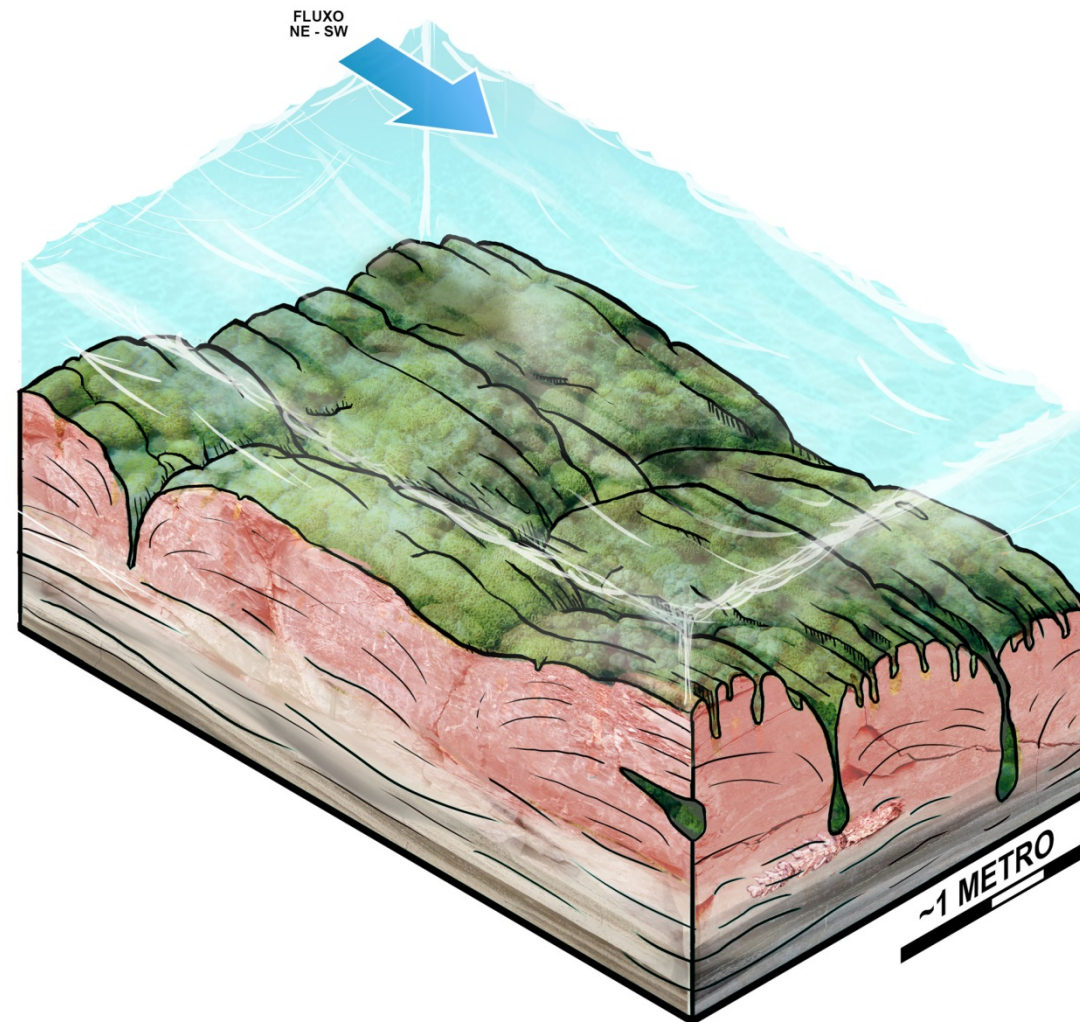


Figura26. Estromatólitos pseudocolumnares com tendência de ramificação paralela na parte superior, com espaço limitado entre as colunas

As três últimas imagens ilustram a seção superior do afloramento, onde apenas alguns domos isolados continuaram o seu desenvolvimento (como pode ser visto na foto da pedreira na figura 27). As figuras 28 e 29 mostram respectivamente a diminuição da densidade e o aumento das dimensões dos estromatólitos. Para demonstrar graficamente o crescimento desses domos é utilizada novamente uma textura de uma foto do local.

Conforme ilustrados nas figuras 30 e 31, o subsequente aumento do nível da água e a turbidez são trabalhados através de detalhes no contorno do desenho e linhas de reflexo, e de alteração das cores, porém a escolha do tom mais claro é importante para não esconder os detalhes sob a água.

Estes eventos culminaram no fim do desenvolvimento e soterramento dos estromatólitos.



Figura 27. Fotografia dos domos isolados utilizada como referência para os desenhos.

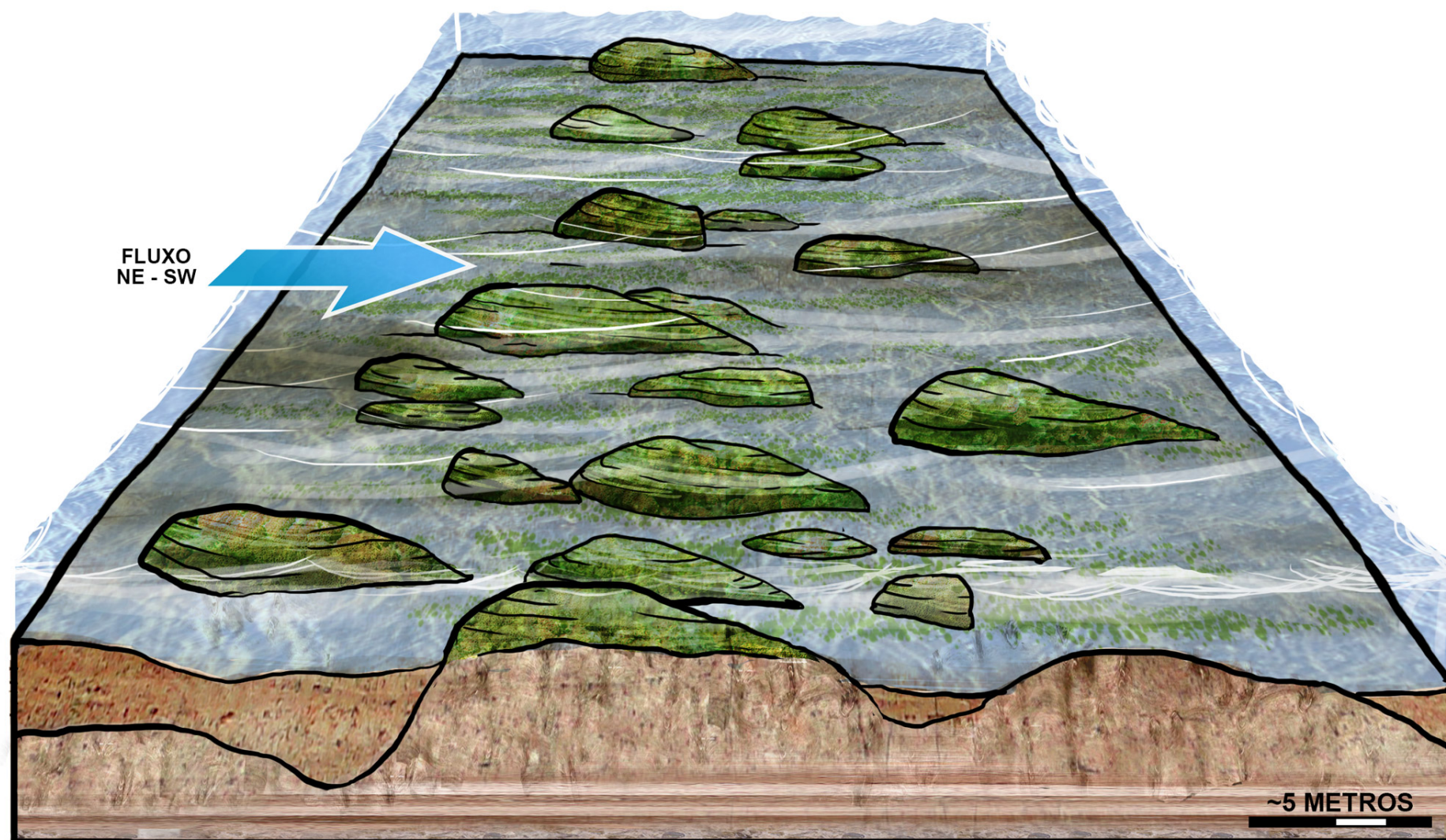


Figura 28. Vista “semi-aérea” com aumento do nível e fluxo da água e desenvolvimento dos estromatólitos restrito às estruturas mais altas.

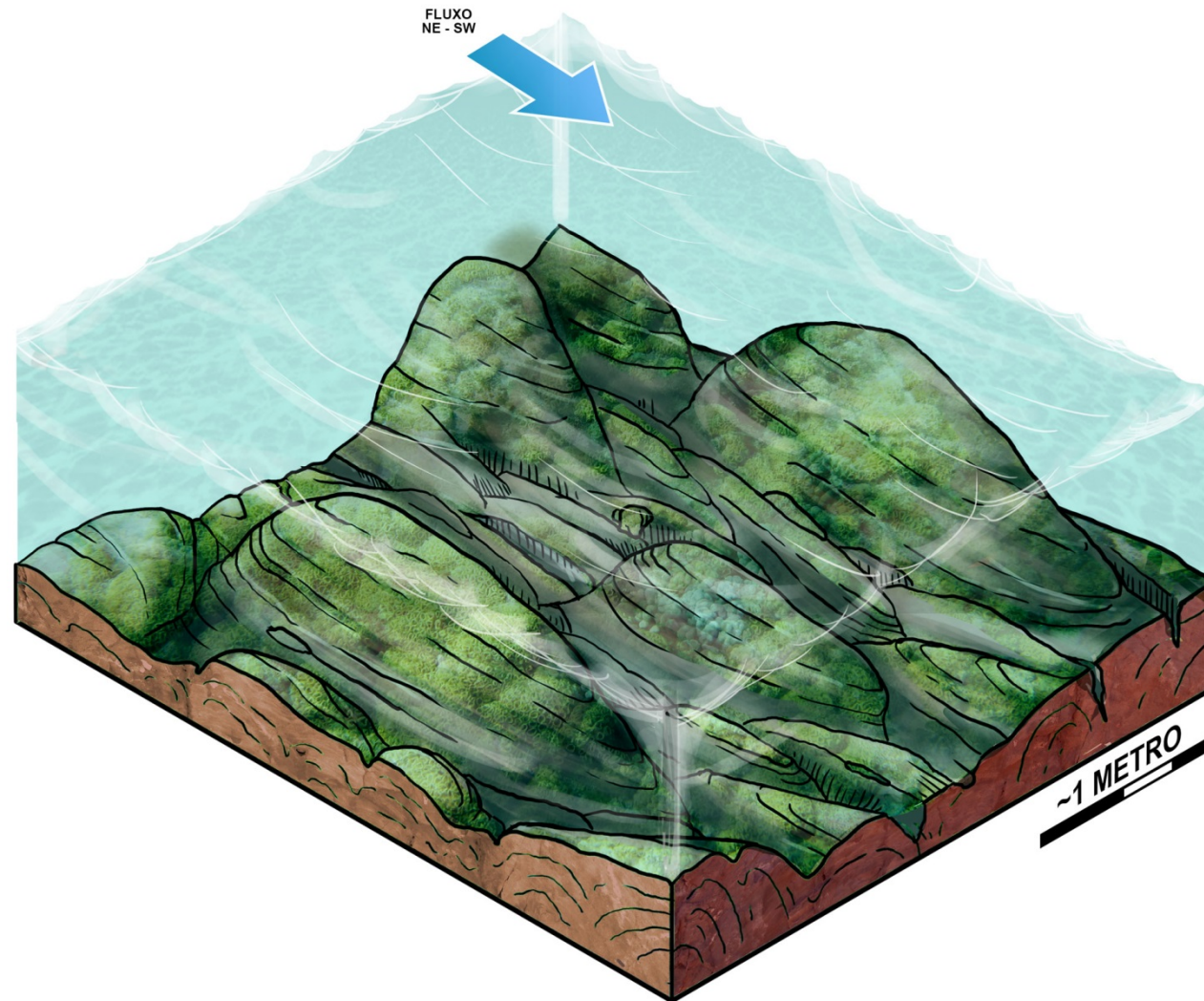


Figura 29. Vista aproximada dos grandes domos se desenvolvendo mais isolados e com as extremidades assimétricas, reforçando a influência do fluxo e o sentido do canto superior esquerdo para o canto inferior direito, já que a extremidade mais íngreme dos estromatólitos é o lado onde o fluxo de choca com maior intensidade com as comunidades microbianas.

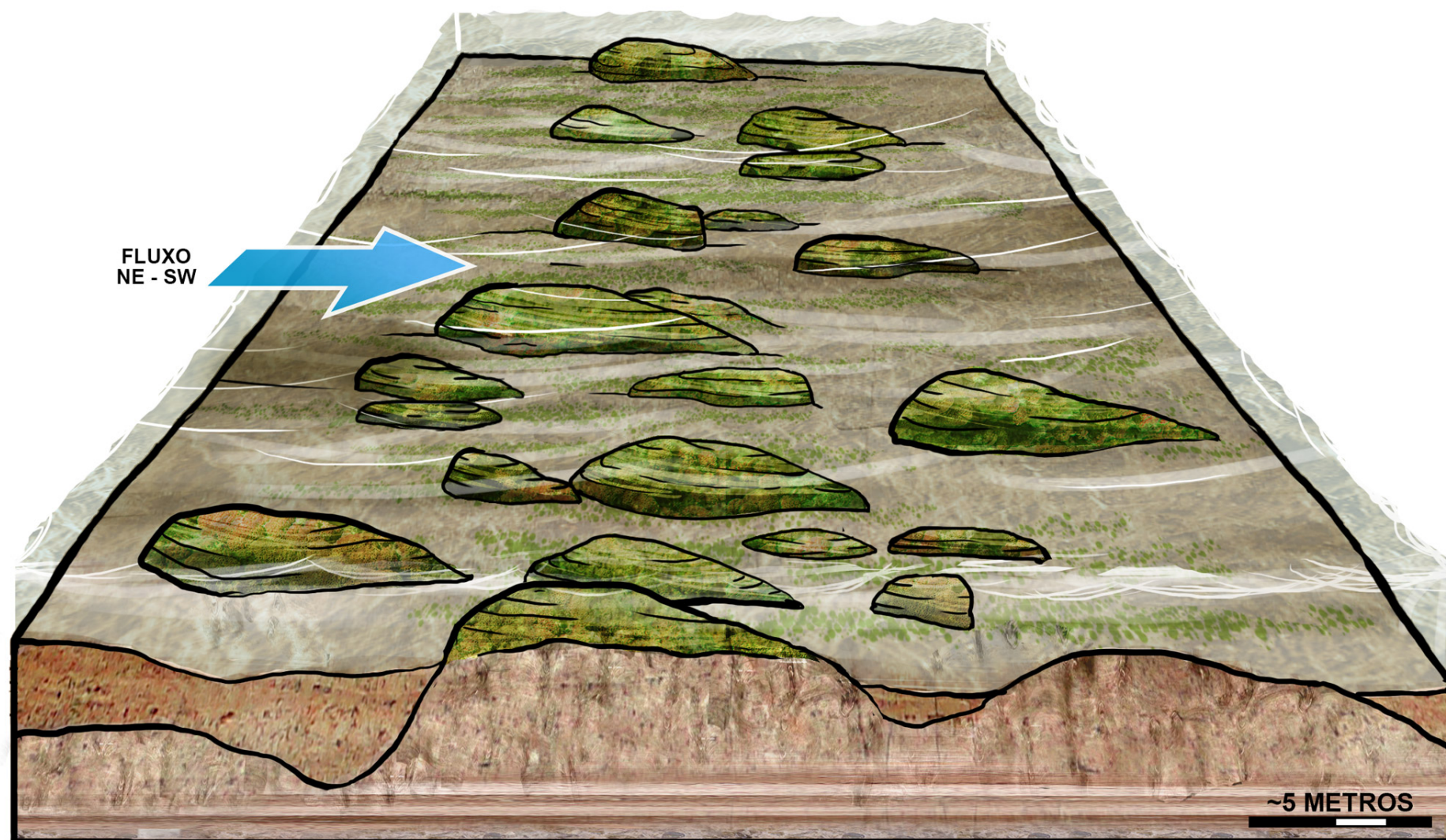


Figura 30. Vista “semi-aérea” da água mais turva e do soterramento dos grandes domos.

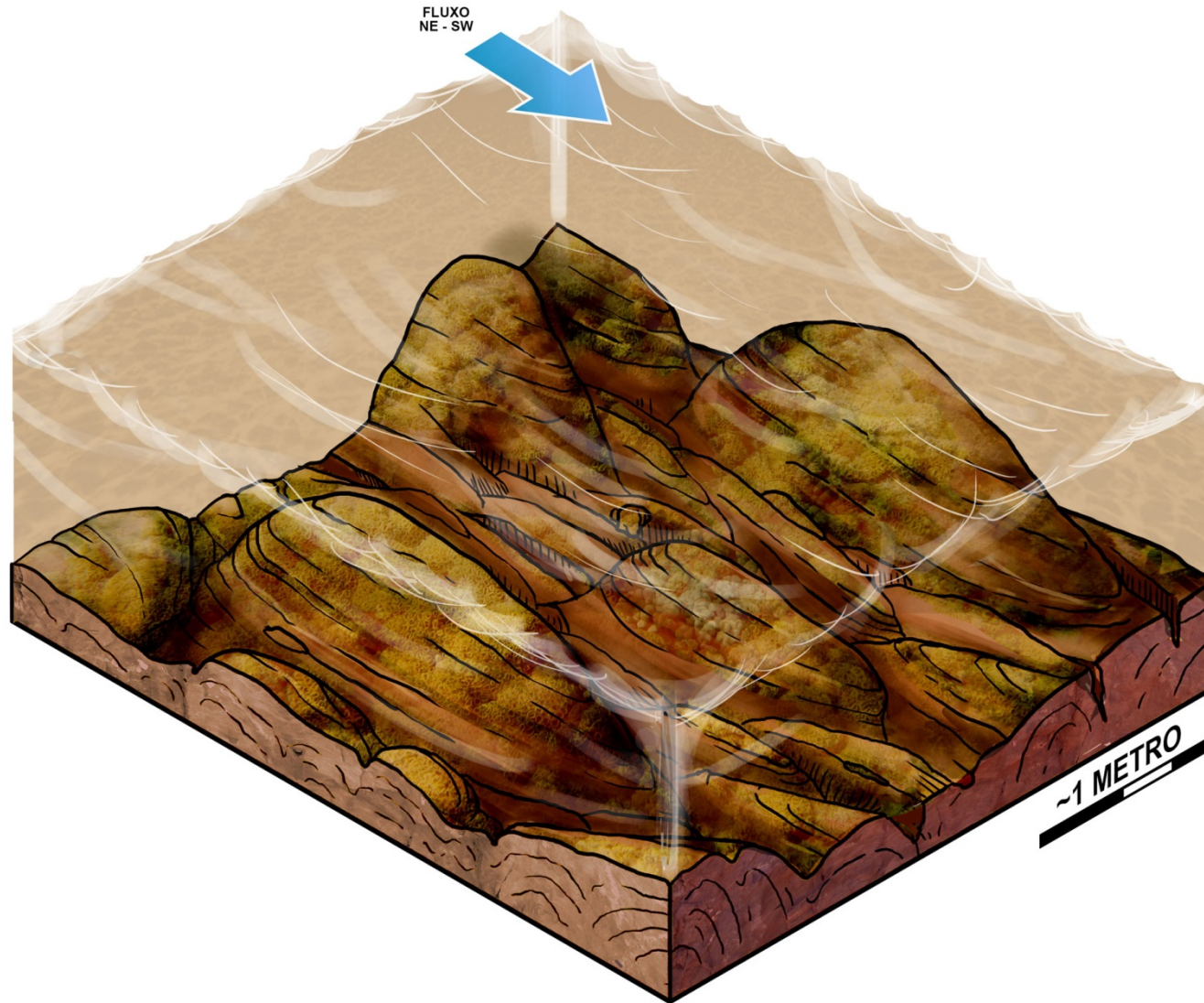


Figura 31. Vista aproximada dos grandes domos sob influência de fortes correntes e iniciando o processo de soterramento e fim das atividades microbianas.

5.2. Microestromatólitos de Congonhinhas – PR

As pranchas e ilustrações apresentadas neste capítulo contêm os resultados das interpretações sobre o desenvolvimento e os paleoambientes dos microestromatólitos dos afloramentos e furos de sondagem de Congonhinhas – PR.

As duas primeiras imagens (figuras 33 e 34) abordam o ambiente marinho epicontinental de enormes dimensões, fundo quase horizontal, muito raso, e que frequentemente era assolado por eventos de tempestades. A amplitude desse ambiente gera uma dificuldade de representação gráfica, visto que texturas e formas não podem ser retratadas com complexidade quando “vistas” de longe, em uma vista aérea. Outra dificuldade é que não existem mares epêiricos modernos como aqueles interpretados para o Paleozoico, de modo que faltam modelos para a confecção de desenhos. As ilhas aparecem apenas nas fases de abaixamento do nível relativo do mar e teriam perfil topográfico extremamente suave. Nas fases de nível da água mais alto, as ilhas desaparecem, assim como amplas áreas do substrato podiam ficar expostas e ressecar nas fases de nível da água mais baixo.

A intenção aqui é retratar inicialmente, através da força nas linhas da água e escurecimento da transparência da água, o efeito que estas atividades de tempestades causavam no ambiente.

As representações das ilhas formadas em períodos de aridez também exigem um pequeno exagero nas escalas das ondulações do terreno e nas linhas de contorno, para que possam ser notadas.

Os vegetais foram criados a partir de fotomanipulação de vegetais atuais, e a textura foi feita com o uso de “pincéis” do software e variação nos tons de verde. Novamente a cor verde do desenho tem que contrastar com a cor de fundo para que não perca o contraste quando reproduzido em outras mídias, por isso as tonalidades podem não se equivaler ao real.



Figura 32. Imagem aérea usada como referência para o mar raso e ilhas (fonte <https://kimberleymedia.photoshelter.com/image/I0000eMRvJMV1meY>).

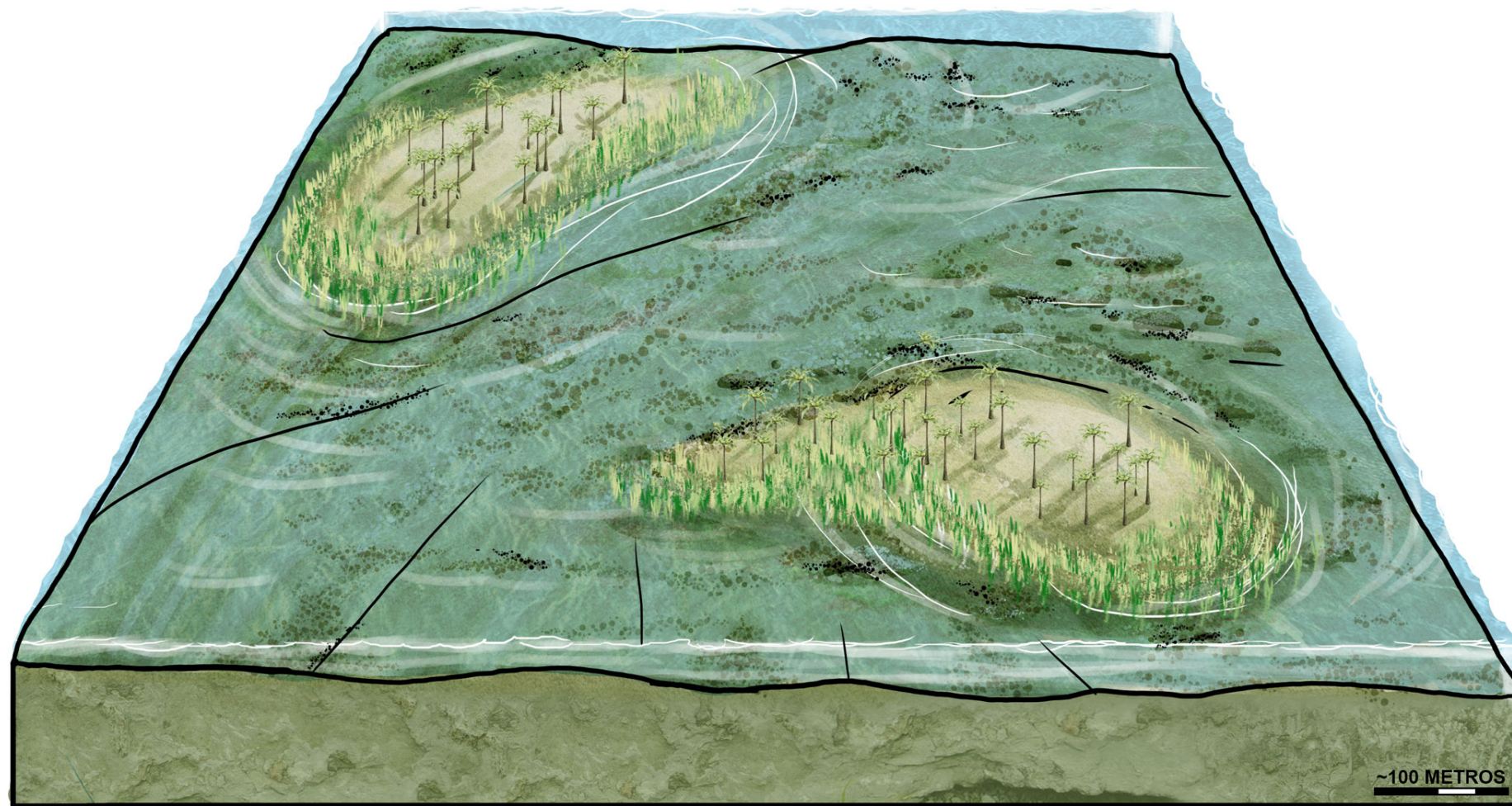


Figura 33. Bloco diagrama com vista ampla do ambiente marinho epicontinental raso e extenso da formação Teresina.

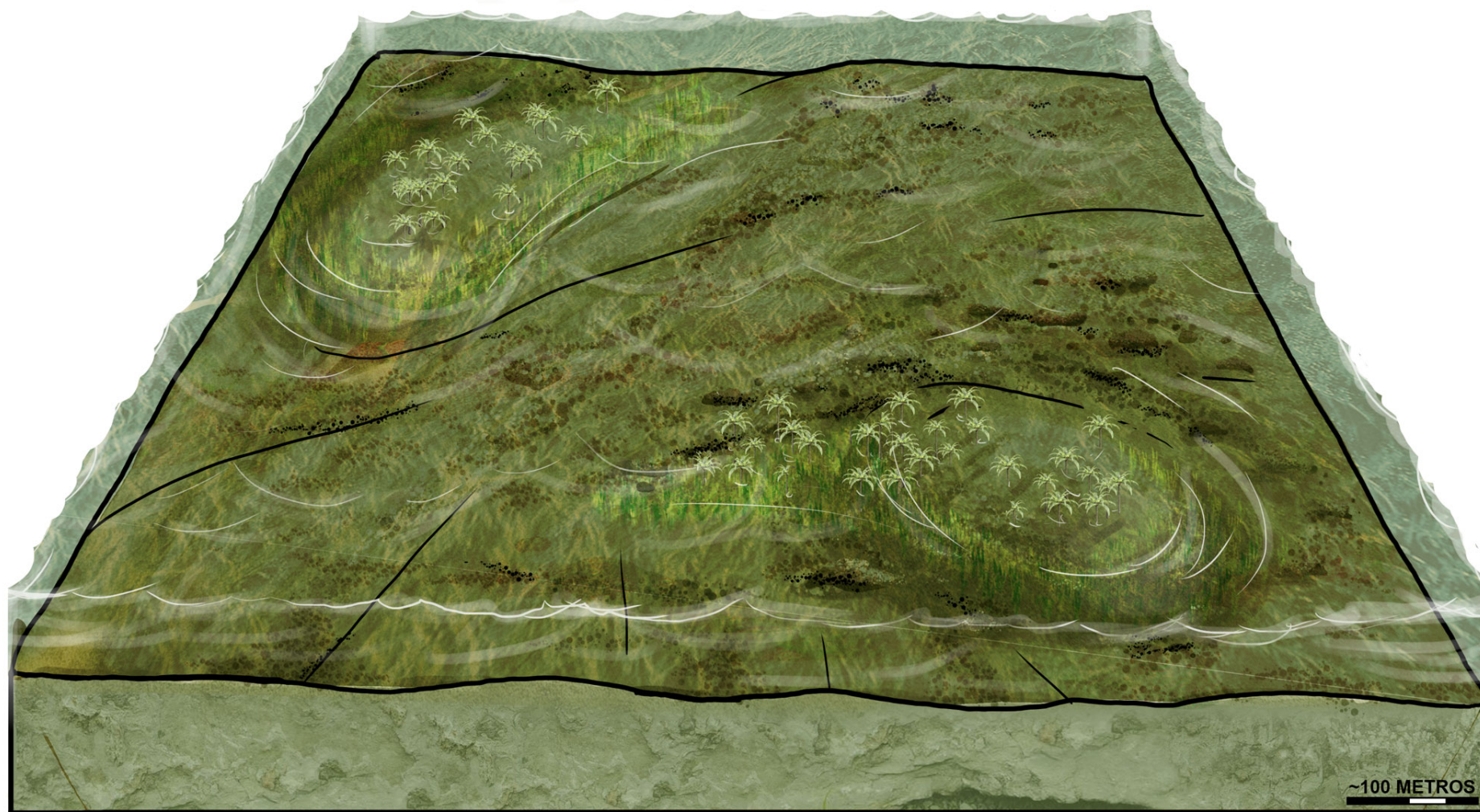


Figura 34. “Vista aérea” do ambiente marinho após evento de tempestade, com grande agitação da água e aumento da turbidez.

As reconstituições dos próximos dois desenhos (figuras 36 e 37) abordam em blocos diagramas, a fase inicial do crescimento das comunidades microbianas sobre conchas depositadas no fundo desse mar.

São evidenciados a extrema transparência da água e o baixo nível de energia, com o contorno da água bem suave e a cor clara, para indicar um ambiente alcalino, onde ocorria a sedimentação carbonática. Texturas esverdeadas de comunidades microbianas fotossintetizantes foram adicionadas sobre as conchas e clastos para dar a impressão de organismos vivos

A principal preocupação nesse ponto é dar o nível de detalhe ideal da forma colunar dos estromatólitos sem que o desenho fique obscuro e sem sentido.



Figura 35. Foto utilizada para inspiração e referências das conchas e estrutura colunar dos microestromatólitos (FAIRCHILD *et al.*, 2015). As feições circulares maiores são vistas em planta de microestromatólitos e no canto superior direito há microestromatólitos em vista lateral. A amostra é da Formação Rio do Rasto, de Ribeirão Claro (PR).

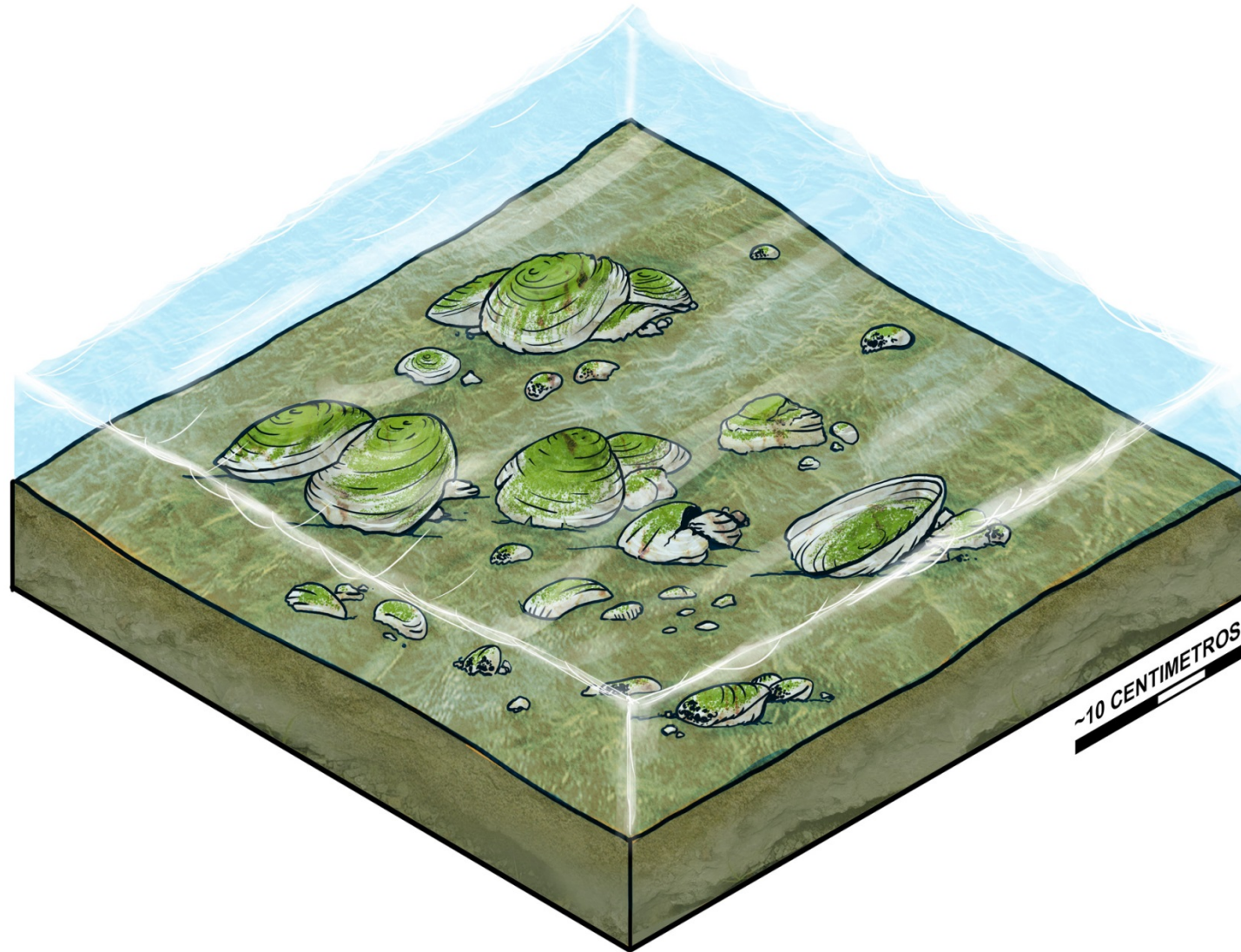


Figura 36. Bloco diagrama representando o início da colonização das superfícies das conchas de bivalves e clastos pela comunidade microbiana.

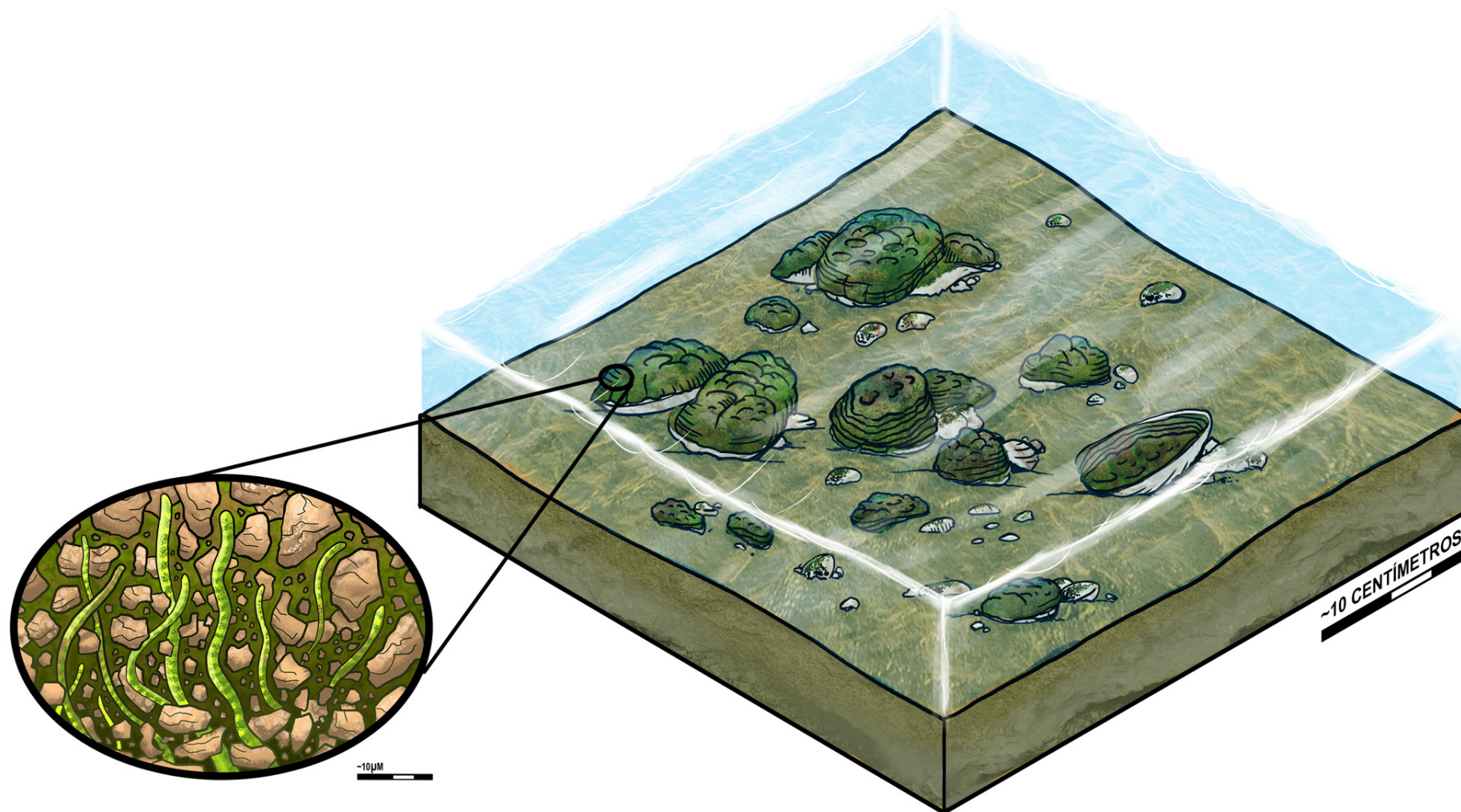


Figura 37. Estromatólitos formando estruturas colunares cobrindo toda a superfície das conchas e clastos depositados sobre o fundo do meio aquático. O detalhe apresenta uma ampliação com representação microscópica do biofilme e da trama filamentosa aprisionando os grãos sedimentares pelo processo de joeiramento.

As últimas ilustrações confeccionadas (figuras 39 e 40) recriam os eventos de tempestades e agitação da água, responsáveis pelo retrabalhamento dos microestromatólitos, conforme pôde ser interpretado através da figura 38. Para tal efeito, foi utilizado o recurso de contornos ondulados e linhas de reflexos mais fortes na água. Para a sensação de turbidez, a cor da água é matizada com uma textura de sedimento, e os clastos são representados com a intenção de parecer estarem flutuando no corpo da água.

A reprodução de pedaços menores de conchas tem a intenção de retratar a fragmentação destas, mas novamente foi tomada a preocupação de não poluir muito o desenho com objetos excessivos.



Figura 38. Fotografia do afloramento com abundância de conchas e fragmentos utilizada como referência, da Formação Rio do Rasto, em Ribeirão Claro (PR) (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

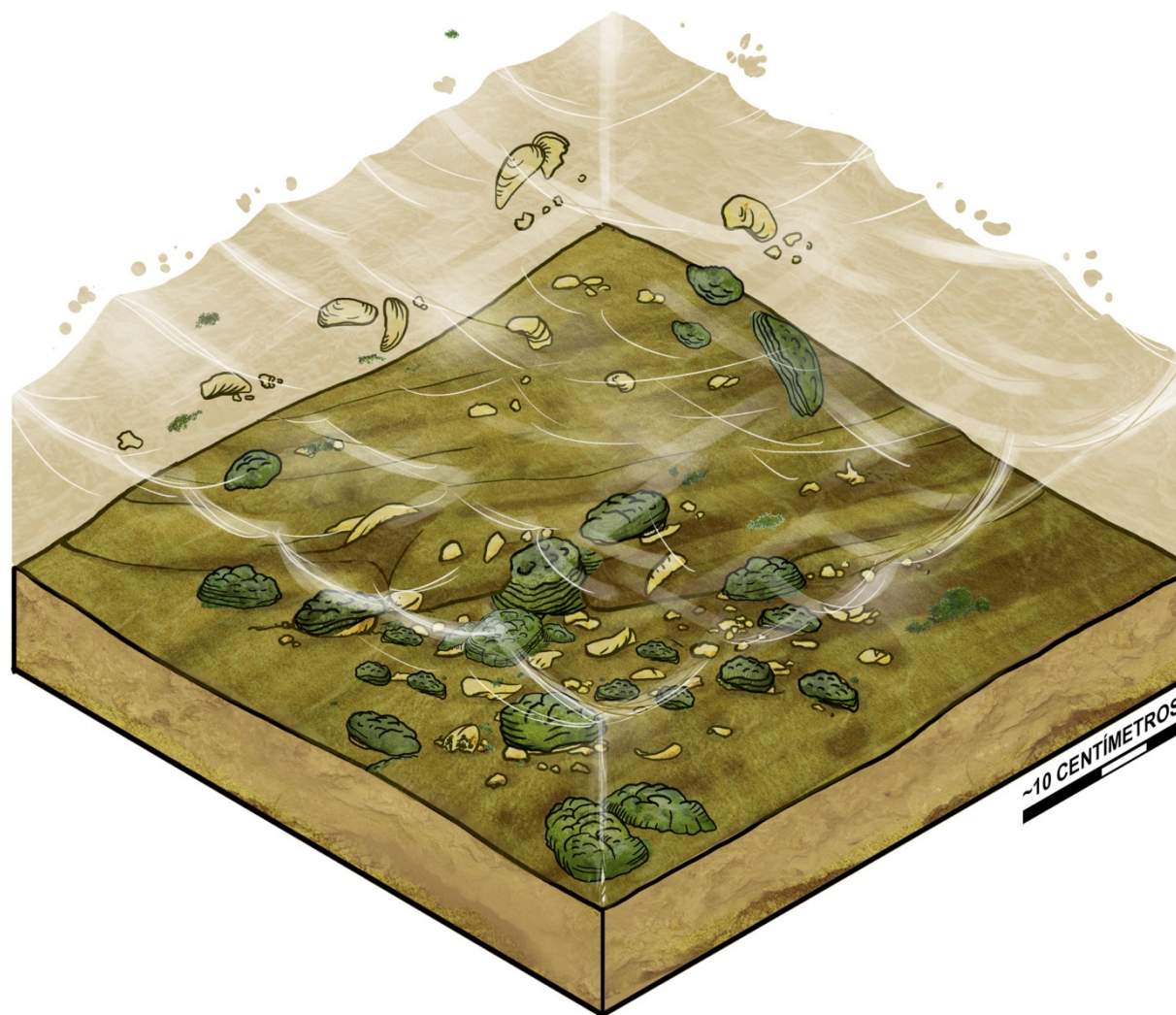


Figura 39. Simulação de eventos tempestivos responsáveis pela alta energia hidrodinâmica e retrabalhamento dos microestromatólitos e das conchas, e deposição em posições caóticas, eventualmente com alguma fragmentação das conchas.



Figura 40. Após o retrabalhamento, vemos os microestromatólitos em posições variadas no substrato lamoso e novas conchas sendo colonizadas pelos microrganismos.

6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste trabalho são apresentados os resultados de um levantamento sobre formações e descrições de afloramentos com microbialitos da Bacia do Paraná, das formações Irati e Teresina, nos Estados de São Paulo e Paraná.

Pesquisas revelaram a pouquíssima quantidade de reconstituições de microbialitos não só no Brasil, como também na literatura internacional. Para confeccionar os desenhos, cada um dos afloramentos foi analisado e ilustrado em termos de estrutura, morfologia, ambiente e historia deposicional, porém a ênfase do trabalho constitui o equilíbrio entre uma retratação artística e um diagrama didático.

Em um âmbito geral, os microbialitos encontrados no afloramento de Santa Rosa do Viterbo, se destacam não somente pela presença de ossos de mesossauros, como pela extensa área, complexidade e variação morfológica. Depositou-se sobre o ambiente costeiro com influência de correntes induzidas possivelmente por vento e gradualmente houve subida do nível relativo da água (FAIRCHILD *et al.*, 2015).

.Os estromatólitos colunares e nodulares da formação Teresina, que afloram em Congonhinhas, indicam condições de águas rasas, provavelmente hipersalinas e com intervalos climáticos quentes e áridos. Instalou-se uma comunidade microbial sobre um extenso ambiente de sedimentação plano. Seu padrão colunar indica que houve alguma agitação da água, mas não suficiente para tombar as conchas e os microestromatólitos. Eventos de tempestades são registrados como responsáveis pelo retrabalhamento dos microbialitos, com significativas mudanças na maneira como eles se desenvolviam, alterando bastante sua disposição e concentração. Estes eventos também foram os responsáveis pelo fim do crescimento das comunidades de microrganismos. (FAIRCHILD *et al.*, 2015; NG, 2010).

É importante salientar que o registro paleontológico nem sempre compreende todos os eventos ocorridos durante a formação de determinadas estruturas fossilíferas. As técnicas, metodologias e suporte que a arte e o design oferecem à paleontologia, não se limitam somente para representações morfológicas externas, ou somente do conceito de forma dos organismos vivos que se tornaram fósseis,

mas contribuem profundamente no entendimento de todas as relações ecológicas que as espécies estudadas tinham com o ambiente em que se formaram.

Não é rara, para algumas pessoas, a existência de dificuldades em perceber as formas, o relevo e as demais características representadas através de recursos como fotografias, perfis e esquemas/desenhos bidimensionais. Por isso, durante o desenvolvimento deste trabalho, houve uma preocupação sobre a melhor maneira de solucionar este problema gráfico. A maior dificuldade seria representar vistas de amplos sistemas costeiros e marinhos, associados a vistas mais aproximadas dos microbialitos, sem que os dois tipos de desenhos destoassem muito em termos de técnica e visual.

O bloco-diagrama, para esse tipo de representação, se mostrou um dos recursos melhor utilizados na representação dos ambientes nos livros didáticos e demais divulgações científicas. Este tipo de representação gráfica favorece uma observação clara e fácil de ser apreendida, à medida que a impressão visual vai sendo produzida. Em comparação aos esquemas planos e complexos que oferecem detalhes, o bloco diagrama seleciona apenas aqueles elementos ao qual a atenção é direcionada (LOBECK, 1958).

Outros problemas surgiram durante a confecção dos desenhos, como as múltiplas interpretações de diversos autores sobre a gênese dos microbialitos, e como representá-las em apenas uma imagem. A busca por referências de ambientes atuais e texturas também consistiu em grande parte do esforço.

Para concluir, que por se tratar de uma das maneiras de se ver o passado, a paleoarte tem recebido atualmente grande atenção do meio acadêmico e de mídias científicas e leigas. Ela se torna assim muito atrativa e didática para a divulgação científica (GHILARDI; RIBEIRO; ELIAS, 2007).

A crescente demanda por estudos mais aprofundados sobre microbialitos no Brasil pode se tornar o grande fator a tornar este trabalho um êxito para o autor, que busca exaltar a importância da multidisciplinaridade dentro do cenário científico, e beneficiar o intercâmbio de informações técnicas entre artistas e pesquisadores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITKEN J.D. 1967. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37:1163-1178.

ALEXANDER R.M. 1989. *Dynamics of Dinosaurs and Other Extinct Giants*, Columbia University Press, New York, 167p.

ARAÚJO L.M. 2001. Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas seqüências Irati. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2v., 301p.

BRAGA J.C., MARTIN J.M., RIDING R. 1995. Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, SE Spain. *Palaaios*, 10:347-361.

BURNE R.V. & MOORE L.S. 1987. Microbialites: Organosedimentary deposits of benthic communities. *Palaaios*, 2:241-254.

DUPRAZ C., REID R.P., BRAISSANT O., DECHO A.W., NORMAN R.S., VISSCHER P.T. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96(3):141-162.

FAIRCHILD T.R., HIRUMA S.T., SOUSA S.H.M. 1991. Nova ocorrência de estromatólitos na Formação Estrada Nova (Permiano Superior), Fartura, SP. In: 12º Congresso Brasileiro de Paleontologia. São Paulo, Boletim de Resumos, p. 14.

FAIRCHILD T.R., ROHN R. & DIAS-BRITO D. 2015. O que são microbialitos e como se formam? In: Fairchild, T. R.; Rohn, R.; Dias-Brito, D. (eds.) *Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente : um atlas*. Rio Claro, UNESP - IGCE - UNESPetro, Obra 2,.

GHILARDI R.P. 1999. Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), no estado de São Paulo: bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar. 162p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

GHILARDI R.P.; & SIMÕES M.G. 2002. Foram os bivalves do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Rio do Rasto), Neopermiano, invertebrados tipicamente dulcícolas? *Pesquisas em Geociências*, 29(1): 91-99.

GHILARDI R.P., RIBEIRO R.N.S. & ELIAS F.A. 2007. Paleodesign: uma nova proposta metodológica e terminológica aplicada à reconstituição em vida de espécies fósseis. *Paleontologia: Cenários de Vida*. ISBN 978-85-7193-185-5 – Editora Interciência 2007

GROTZINGER J.P. & KNOLL A.H. 1999. Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 27:313–358.

HACHIRO J., COIMBRA A.M., MATOS S.L.F. 1993. O caráter cronoestratigráfico da Unidade Irati. In: 1º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Rio Claro, Resumos, 1, p. 62-63.

HACHIRO J. 1996. O Subgrupo Irati (Neopermiano) da bacia do Paraná. Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, 196 p.

HOLZ M.; SIMÕES M.G. 2002. Elementos fundamentais de Tafonomia. Porto Alegre, Editora Universidade/UFRGS, 231 p.

HOLZ M.; FRANÇA A.B.; SOUZA P.A.; IANNUZZI R.; ROHN R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2): 381-399

HOLZFÖRSTER F., STOLLHOFEN H., STANISTREET I.G. 2000. Lower Permian deposits of the Huab area, NW Namibia: a continental to marine transition. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, 12:247-257.

KALKOWSKY E. 1908. Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. *Dtsch. Geol. Ges.*, 60:68-125.

KNOLL A.H., WÖRNDLE S., KAH L.C. 2013. Covariance of microfossil assemblages and microbialite textures across an upper Mesoproterozoic carbonate platform. *Palaaios*, 28(7):453-470.

- LAGES L.C. 2004. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 117 p.
- LANDIM P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois (Permiano) na Bacia do Rio Corumbataí. Bol. Div. Geol. Miner., 252:103 p.
- LAVINA E.L. 1991. Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2v., 333 p., 81 figs.
- LOBECK A.K. Block diagrams. AMHERST, MA: Emerson-Trussel Book Co., 1958.
- MASSOLI M. 1980. Geologia da Folha de Santa Rita do Passa Quatro. Revista IG, Universidade de São Paulo, 1(1):7-14.
- MEGLHIORATTI T. 2006. *Estratigrafia de seqüências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 133 p.
- MILAN E.J., et al., 1994. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências Petrobrás, 1:69-82.
- MILANI E.J. (2005). Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Neves, B.B.B. (Eds.). Geologia do continente sul-americano - evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Brasil: Beca, 2005. p.264-279.
- MILANI E.J., MELO J.H.G., SOUZA P.A., FERNANDES L.A., FRANÇA A.B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, 15(2):265-287.
- MUNARI B. 1989. Design e comunicação visual: Contribuição para uma metodologia didática, 1ª ed., São Paulo, Ed. Martins Fontes, 345p.
- NEVES J. P., ROHN, R., SIMÕES, M. G. 2011. Tafonomia de tempestitos conchíferos amalgamados da Formação Teresina em Rio Preto (Estado do Paraná,

Permiano Médio, Bacia do Paraná) e suas implicações paleoambientais. *Geologia USP: Série Científica*, 11(3):131-147.

NG C. 2010. Estromatólitos do Grupo Passa Dois, Permiano da Bacia do Paraná, Norte do estado do Paraná e Sul do Estado de São Paulo. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 84 p.

PAUL G. 2003. Restoring the Life Appearances of Dinosaurs. In: PAUL, Gregory (Ed.). *The Scientific American Book of Dinosaurs*, New York: Byron Press, 2003. p.78-106.4

PÖPPELREITER M. & AIGNER T. 2003. Unconventional pattern of reservoir facies distribution in epeiric successions: Lessons from an outcrop analog (Lower Keuper, Germany). *AAPG Bulletin*, 87(1):39-70.

RICARDI-BRANCO F., CAIRES E.T., SILVA A.M. 2006. Campo de estromatólitos gigantes de Santa Rosa do Viterbo, SP – Excelente registro do litoral do mar permiano Irati, Bacia do Paraná, Brasil. In: Winge M. Schobbenhaus C. Berbert-Born M. Quiroz E.T. Campos, D.A. Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (eds.) *Sítios geológicos e Paleontológicos do Brasil*.

RICARDI-BRANCO F., BRANCO F.C., GARCIA R.F., FARIA R.S., PEREIRA S.Y., PORTUGAL R., PESSENDA L.C., PEREIRA P.R.B. 2009. Features of plant accumulations along the Itanhaém River, on the southern coast of the Brazilian state of São Paulo. *Palaios*, 24(7):416-424.

RIDING R. 1991. Classification of microbial carbonates. In: Riding R. (ed.) *Calcareous Algae and Stromatolites*. Berlin, Springer-Verlag, p. 20-51.

RIDING R. 2011a. The nature of stromatolites: 3,500 Million Years of History and a Century of Research. In: Reitner, J., Queric, N.-V. et al. (eds) *Advances in Stromatolite Geobiology. Lecture Notes in Earth Sciences*. Springer, Heidelberg, 131: 29-73,. DOI 10.1007/978-3-642-10415-2_3

RIDING R. 2011b. Microbialites, stromatolites, and thrombolites. In: Reitner J. & Thiel V. (eds.) *Encyclopedia of Geobiology*. Amsterdam, Springer-Netherlands, p. 635-654..

ROHN R. & STOLLHOFEN H. 2000. The Permian age of the Passa Dois Group (Paraná Basin, Southern Brazil) re-affirmed. In: 31° International Geologic Congress. Rio de Janeiro, Abstracts, CD-ROM. Simões, M. G. & Holz, M. 2004. Tafonomia: Processos e Ambientes de Fossilização. In: CARVALHO, I. S. (ed.). Paleontologia, 2ª ed., Rio de Janeiro, Ed. Interciência, p. 19-46.

ROHN R., LOURENÇO A.T.A., MEGLHIORATTI T. 2003. As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto no furo de sondagem SP-23-PR (Permiano, Grupo Passa Dois, Borda Leste da Bacia do Paraná). In: 2° Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. Rio de Janeiro, Trabalho completo e Resumos, 1, p. 1-6.

ROHN R. 2004. O uso estratigráfico dos fósseis e tempo geológico. In: CARVALHO, I. S. (ed.). Paleontologia, 2ª ed., Rio de Janeiro, Ed. Interciência, p. 61-73.

ROHN R. 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): Investigations in progress. In: Workshop - Problems in the Western Gondwana Geology, South America-Africa Correlations: Du Toit Revisited. Gramado, Extended Abstracts, 1, p.151-157.

SCHNEIDER R.L., MÜHLMANN H., TOMMASI E., MEDEIROS R.A., DAEMON R.F., NOGUEIRA A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: 28° Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, Anais, 4, p. 41-65.

SIMÕES M. G., & HOLZ, M. 2004. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. Paleontologia, 1, 19e37.

SOARES P.C. & LANDIM P.M.B. 1973. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: 27° Congresso Brasileiro de Geologia. Aracaju, Anais, 1, p. 243-296.

SUGUIO K. & SOUSA S.H.M. de 1985. Restos de mesossaurídeos na Formação Corumbataí, Permiano da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 57(3):339-347.

SUGUIO K., MARTIN L., BITTENCOURT A.C.S.P. 1985a. Flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. Revista Brasileira de Geociências, 15:273-286.

SUGUIO K., FAIRCHILD T.R., SOUSA S.H. DE M. 1985B. Novas descobertas de estromatólitos na Formação Corumbataí (Permiano) em Santa Rosa de Viterbo (SP) e seus significados paleoambientais. In: 5º Simpósio Regional de Geologia. São Paulo, Boletim de Resumos e Breves Comunicações, 1, p.12.

WARREN L.V.; ASSINE M.L.; SIMÕES M.G.; RICCOMINI C.; ANELLI L. E. 2015. A Formação Serra Alta, Permiano, no centro-leste do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 45:109-126.