

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTROMATÓLITOS: UMA INVESTIGAÇÃO DAS AMOSTRAS PRESENTES NO
MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA
GROSSA**

PONTA GROSSA

2023

DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO ÉTICO

Eu, Bruno Hideyuki Sanada Antunes, RA: 19001202, RG: 14.014.663-3, asseguro que o Trabalho de Conclusão de Curso foi por mim elaborado e portanto, responsabilizo-me pelo texto escrito que apresenta os resultados de minha pesquisa científica.

Atesto que todo e qualquer texto, que não seja de minha autoria, transcrito em sua íntegra ou parafraseado de outros documentos, estejam eles publicados ou não, estão devidamente referenciados conforme reza a boa conduta ética, o respeito aos direitos autorais e à propriedade intelectual.

Tenho conhecimento de que os textos transcritos na íntegra de outras fontes devem apontar a autoria, o ano da obra, a página de onde foi extraído e ainda apresentar a marcação de tal transcrição, conforme as regras da ABNT. No caso de paráfrase, o trecho deve vir com a referência de autoria e ano da obra utilizada.

Além disso, declaro ter sido informado pelos responsáveis do Curso de Licenciatura em Geografia das leis que regulam os direitos autorais e das penalidades a serem aplicadas em caso de infração, conforme constam na Lei 10.695 de julho de 2003.

Sendo assim, declaro que estou ciente de que, caso infrinja as disposições que constam na Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998, serei responsabilizado juridicamente pelos meus atos e terei que arcar com qualquer prejuízo moral e financeiro deles decorrentes.

Ponta Grossa, 30 de janeiro de 2023.



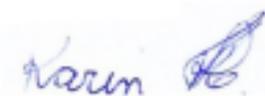
Assinatura do Acadêmico

FOLHA DE APROVAÇÃO
ATA DE DEFESA

Aos 15 dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e três, no Museu de Ciências Naturais reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos(as) professores(as): Dra. Karin Linete Hornes (Presidente-Orientador), Dr. Antonio Liccardo (membro) e Christopher Vinicius Santos (membro) para a análise do trabalho de Conclusão de Curso sob o Título “**Estromatólitos Museu de Ciências Naturais**”, elaborado por concluinte **Bruno Hideyuki Sanada Antunes** do Curso de Licenciatura em Geografia. Aberta a sessão, o autor teve vinte minutos para a apresentação do seu trabalho, sendo, posteriormente, arguido pelos integrantes da Banca. Após o procedimento da avaliação, chegou-se aos seguintes resultados:

O trabalho foi considerado **APROVADO**

Nada mais havendo a tratar, encerrou-se a presente sessão, da qual lavrou-se a presente ata que vai assinada por todos os membros da Banca Examinadora.



- 1) Presidente: Dra. Karin Linete Hornes



- 2) Membro 1: Dr. Antonio Liccardo



- 3) Membro 2: Me. Christopher Vinicius Santos

Ponta Grossa, 15 de fevereiro de 2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

BRUNO HIDEYUKI SANADA ANTUNES

**ESTROMATÓLITOS: UMA INVESTIGAÇÃO DAS AMOSTRAS PRESENTES NO
MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS – MCN DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA**

Trabalho de conclusão de curso do
apresentado ao curso de Licenciatura
em Geografia da UEPG para a
obtenção do título de licenciatura em
Geografia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Karin Linete
Hornes

PONTA GROSSA

2023

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me ajudar e me incentivar a chegar até este momento.

À minha amiga, Maria, por estar junto comigo todo o tempo durante esta jornada de quatro anos de curso. À Paula, por sempre me ouvir em tempos difíceis e sempre estar à disposição para me ajudar.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, por me proporcionar quatro anos de evolução em minha vida.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Karin Linete Hornes, por todo o auxílio durante a elaboração e construção deste trabalho.

A todos os professores do curso de Licenciatura em Geografia, que me permitiram chegar ao fim deste curso com sucesso.

E a todos os meus colegas do curso de Licenciatura em Geografia.

RESUMO

Os estromatólitos são estrutura biossedimentares originadas por atividades microbianas que ocorrem naturalmente. Eles representam os seres mais primitivos que se tem registro, povoando a terra desde o Éon Arqueano até a atualidade. O museu de Ciências Naturais da UEPG possui exemplares dos relictos da atuação destas bactérias em três amostras de icnofósseis disponibilizadas para exposição. O objetivo da presente pesquisa foi o de caracterizar três destas amostras com relação ao provável local de procedência, possível paleoambiente de formação e elementos morfológicos das amostras. Para a realização da pesquisa foram utilizados referencias teóricos a respeito de microbialitos e estromatólitos, tanto atuais como dos descritos nos períodos que vão desde o proterozoico ao permiano, correspondente aos prováveis ambientes de procedência. Assim foi possível identificar o aspecto morfológico de cada amostra e constatar que apesar da diferença no tempo de formação de cada amostra, elas apresentam semelhanças em seu ambiente de formação. As rochas que compõem os seus possíveis ambientes de deposição, apresentam características que indicam a presença de ambiente marinho variando entre epicontinental ou aberto, com predomínio de águas rasas variando em profundidade dadas as características específicas de determinadas formas estromatolíticas. Conclui-se que o museu possui três amostras morfológicamente e cronologicamente distintas que pode informar detalhes de seu ambiente de formação, que se dá em ambientes costeiros. Cada uma das amostras possuem o seu tempo de formação específico: a amostra de Castro, sendo a mais antiga, se formou no Éon Proterozoico, a cerca de 1,2 bilhões de anos. A segunda amostra, de Irati, do Fanerozoico se formou a cerca de 298.8 milhões de anos, sendo a mais recente. Por último, a amostra de Minas Gerais possui cerca de 635 milhões de anos, sendo do final do Proterozoico. Quanto a sua morfologia, as amostras de Irati e Minas possuem semelhanças quando à forma *Conophyton*, tendo a amostra de Irati a particularidade da presença de esponjas em sua superfície, e a amostra de Castro possui a forma semelhante à *Paniscollenia*.

Palavras-chave: estromatólitos. Microbialitos. Paleoambiente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estromatólitos coletados por F. F. M. de Almeida em 1944.....	9
Figura 2 - Processos de formação dos estromatólitos.....	11
Figura 3 - Processo de formação dos estromatólitos.....	12
Figura 4 - Estromatólitos estratiformes com laminações crenuladas e finas de calcita encontrado em Lagoa Salgada.....	14
Figura 5 - Forma macroscópica de trombólitos.....	14
Figura 6 - As 4 categorias de microbialitos.....	15
Figura 7 - Estromatólitos de Shark bay, Austrália.....	17
Figura 8 - Modelos deposicionais de estromatólitos.....	18
Figura 9 - Distribuição de campos de estromatólitos modernos no mundo.....	22
Figura 10 - Estromatólitos colunares.....	22
Figura 11 - Principais campos de Estromatólitos registrados no Brasil.....	26
Figura 12 - Guia de classificação de estromatólito.....	28
Figura 13 - Guia de classificação de estromatólito (parte II).....	29
Figura 14 - Amostra 01 proveniente de Castro.....	32
Figura 15 - Amostra 02 proveniente de Irati.....	33
Figura 16 - Amostra 03 proveniente de Minas Gerais.....	34
Figura 17 - Feições morfológicas de diversos estromatólitos.....	37
Figura 18 - As feições morfológicas e laminações internas de alguns estromatólitos estratiformes.....	37
Figura 19 - Localização de onde foi retirado a amostra de estromatólitos em metacalcário exposta no MCN.....	39
Figura 20 - Local de retirada da amostra de Irati.....	43
Figura 21 - Comparação da amostra de Castro com a feição morfológica “Paniscollenia”.....	48
Figura 22 - Prováveis estruturas laminares concêntricas.....	49
Figura 23 - Comparação entre o estromatólito no MCN e o estromatólito do trabalho de Filho.....	50
Figura 24 - Comparação do perfil laminar.....	50
Figura 25 - Estromatólito em metacalcário de Castro.....	51
Figura 26 - Estromatólito em metacalcário de Castro (face II).....	52

Figura 27	Amostra de Irati – Formação Teresina.....	53
Figura 28	A – Cristais de calcita – B – Substituição por Sílex.....	54
Figura 29	Estromatólito de Irati (face II).....	55
Figura 30	A: colunas cilíndricas, descontínuas com base ramificada no topo. Ramificação dicotôma. Ornamentação marginal de costelas (amarelo). B: perfil laminar parabólico.....	56
Figura 31	Estrutura de uma esponja.....	57
Figura 32	Possíveis poríferos na parte superior do estromatólito de Irati....	58
Figura 33	Estromatólito de Minas Gerais.....	60
Figura 34	Arranjo em círculos concêntricos da amostra.....	61
Figura 35	Possível morfologia <i>Conophyton</i>	62
Figura 36	Possível ambiente de formação dos estromatólitosdo MCN.....	65

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

PR	Paraná
MCN	Museu de Ciências Naturais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
FFM	Fernando Flávio Marques
RJ	Rio de Janeiro
GA	Giga anos
MA	Milhões de anos
H ₂ O	gua
UTM	Universal Transversa de Mercator
SE	Sudeste
NE – SW	Nordeste – Sudoeste
KM	Quilmetro
CM	Centímetro
MG	Minas Gerais

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Escala do tempo geológico da Terra.....	2
Quadro 2 -	Escala do tempo geológico da Terra (Pré-Cambriano)	2
Quadro 3 -	Atributos para a definição de um estromatólito.....	7
Quadro 4 -	Distribuição dos estromatólitos no Brasil ordenar do mais novo para o mais velho.....	25
Quadro 5 -	Principais formações do Grupo Itaiacoca.....	41
Quadro 6 -	Comparação de idade das amostras.....	63

SUMÁRIO

1.	A ORIGEM DA VIDA E OS ESTROMATÓLITOS.....	2
2.	ESTROMATÓLITOS.....	5
2.1	FORMAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS.....	10
2.2	ESTROMATÓLITOS MODERNOS.....	16
2.3	FÓSSEIS DE ESTROMATÓLITOS NO BRASIL.....	23
3.	METODOLOGIA.....	26
4.	ESTROMATÓLITOS PRESENTES NO MCN.....	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE CASTRO).....	47
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE IRATI)....	52
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE MINAS GERAIS).....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	66

INTRODUÇÃO

Os estromatólitos são estrutura biossedimentares originadas por atividades microbianas que ocorrem naturalmente na atualidade tendo registros do seu aparecimento desde o Éon Arqueano, sendo mais abundantes nas sequências carbonáticas do Éon Proterozoico (FILHO, 1999). A identificação e caracterização destes contribui para um entendimento do passado e de como era a vida e o ambiente nesse período no que hoje se denomina estado do Paraná.

O Museu de Ciências Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa inaugurado no ano de 2022, funciona como um complexo científico, educativo e turístico aberto para o público. O empreendimento foi concebido com o objetivo de preservar o patrimônio natural e cultural, local e regional e integrar pesquisa e extensão com novas propostas de ensino, trazendo conteúdo com 1800 peças de geodiversidade e biodiversidade. Dentre estas peças encontram-se três amostras de estromatólitos, do Proterozoico: a primeira proveniente de Castro -PR fossilizada e preservada em metacalcário. A segunda amostra de estromatólito pertence ao permiano, do Éon Fanerozoico e é proveniente de Irati - PR, retirado da Pedreira Rio Corrente. A terceira e última amostra, é provavelmente proveniente de Minas Gerais, foi elencada como provável e pertencente ao Grupo Bambuí (informações de procedência obtidas com o coordenador do Museu).

Através da presente proposta, pretende-se caracterizar as amostras em conjunto com a procedência e por consequência a formação que estas derivam e a partir disso descrever as características do provável ambiente de sua gênese e os elementos morfológicos que estes icnofósseis permitem interpretar das condições envolvidas na organização e crescimento de suas esteiras.

Espera-se que o presente trabalho auxilie na disseminação do conhecimento do patrimônio geológico local e regional proporcionando o reconhecimento da história evolutiva das paisagens do estado do Paraná. A caracterização contribuirá ainda com o entendimento da vida do planeta. Através do reconhecimento destes seres quase primordiais e dos ambientes provavelmente predominantes neste período. A pesquisa auxiliará também no registro das informações dos fósseis disponibilizados ao público na recém organização do MCN, proporcionando a integração entre pesquisa e

extensão através da divulgação do conhecimento regional geológico e da geodiversidade auxiliando na sensibilização da presença de tais fósseis e por consequência na sua conservação.

1. A ORIGEM DA VIDA E OS ESTROMATÓLITOS

O planeta possui cerca de 4,5 Ga (BRANCO, 2016). Para facilitar o estudo do passado, cientistas e pesquisadores dividiram o tempo de vida da terra em intervalos chamados de tempo geológico. As chamadas unidades cronoestratigráficas são os éons, as eras, os períodos, as épocas e as idades como mostrado no quadro 1 e quadro 2.

Quadro 1: Escala do tempo geológico da Terra.

Éon	Era	Período	Época	Idade (Ma)	
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Holoceno	0.0117	
			Plleistoceno	2.58	
		Neógeno	Plioceno	5.333	
			Mioceno	23.03	
		Paleógeno	Oligoceno	33.9	
			Eoceno	56	
			Paleoceno	66	
		Mesozoico	Cretáceo		~145
			Jurássico		201.3
	Triássico			251.902	
	Paleozoico	Permiano		298.9	
		Carbonífero		358.9	
		Devoniano		419.2	
		Siluriano		443.8	
		Ordoviciano		485.4	
Cambriano			541		

Fonte: modif. de International Union of Geological Sciences, IUGS, 2017.

Quadro 2: Escala do tempo geológico da Terra (Pré-Cambriano)

Éon	Era	Período	Época	Idade (Ma)
Proterozoico	Neo-Proterozoico	Ediacariano		635

		Cryogeniano		720
		Toniano		1000
	Meso-Proterozoico	Steniano		1200
		Ectasiano		1400
		Calymmiano		1600
	Paleo-Proterozoico	Staheriano		1800
		Orosiriano		2050
		Rhyaciano		2300
Sideriano			2500	
Arqueano	Neo-arqueano		2800	
	Meso-arqueano		3200	
	Paleo-arqueano		3600	
	Eo-arqueano		4000	
Hadeano			4600	

Fonte: International Commission on Stratigraphy, 2016

O Éon mais antigo que se tem registro no tempo geológico é o Hadeano, sem nenhum tipo de vida. Segundo Branco (2016), foi neste Éon que a terra teve sua história iniciada, há cerca de 4,54 bilhões de anos. Este Éon terminou há cerca de 3,85 bilhões de anos, com o aparecimento das primeiras rochas.

O Éon Arqueano ou Arqueozoico, do grego “vida antiga”, foi onde surgiram os primeiros indícios de vida no planeta (entre os 2,5 Ga e 3,5 Ga) (HASUI *et al.*, 2013, p. 228), com os primeiros seres procariontes e unicelulares e posteriormente, os seres eucariontes e pluricelulares. Com a gênese dos primeiros seres capazes da realização da fotossíntese, possibilitando então a absorção de carbono e liberação de oxigênio para a atmosfera, torna-se mais fácil habitar na terra, contribuindo então com o surgimento dos primeiros estromatólitos, em um período onde já existia a crosta terrestre.

Já Daminieli e Daminieli (2007, p. 276), afirmam que a vida pode ter surgido antes dos 3,5 bilhões de anos citando o exemplo da formação geológica Isua, na Groenlândia, onde não há o registro de organismos fósseis, porém contém indicações de contaminação de atividade biológica. No local foram encontrados grafite com ^{13}C

(variedade de átomo de carbono com seis prótons e sete nêutron) em relação ao isótopo mais leve ^{12}C com valores típicos de material orgânico. A única explicação a essa anomalia do carbono, segundo os autores, é a fotossíntese. Isso indica a existência de uma vida provavelmente anterior ao Arqueano.

É complexo afirmar como foram os primeiros seres a habitarem a terra. As formas dos organismos do pré-cambriano são indistinguíveis das atuais cianobactérias que colonizam diversos ambientes da Terra. Para Daminieli e Daminieli (2007, p. 266), mesmo que os organismos que compõem os estromatólitos sejam primitivos para a vida atual, esses fósseis, como refere-se o autor, são de organismos tão complexos que não podem ter sido as primeiras formas de vida. Isso indica que a vida pode ter surgido milhões de anos antes das bactérias formadoras de estromatólitos, sendo possivelmente seres mais simples.

É muito raro o encontro de rochas mais antigas que 3,5 bilhões de anos, pois a superfície do planeta é constantemente reciclada. Como afirmam Daminieli e Daminieli (2007, p.266), encontrar sinais de vida antes dos 3,5 bilhões de anos é extremamente difícil. As constantes mudança e transformação sofridas pela terra a exemplo dos movimentos de placas tectônicas proporcionaram que a sua superfície imergisse nas profundezas, reciclando as rochas sob a pressão, destruindo quaisquer indícios fósseis que comprovem a existência dos seres mais antigos que passaram pelo planeta.

Por este motivo, as rochas arqueanas são geralmente muito deformadas e metamorfizadas, sendo destituídas de fósseis de valor cronológico (CARNEIRO; MIZUSAKI; ALMEIDA, 2005, p. 13). No entanto, em excepcionais casos é possível encontrar icnofósseis e microfósseis originados por bactérias.

Segundo Carneiro *et al.* (2005, p. 14), o Éon Proterozoico foi o marco da explosão de vida no planeta. Consequentemente, a expansão dos estromatólitos passara a se tornar mais abundantes. Com a evolução da vida, além das bactérias, as cianobactérias, microalgas e metazoários passaram a habitar a terra e contribuir com a formação dos microbialitos, que são depósitos biossedimentares formados pela interação entre comunidades microbianas bentônicas e sedimentos (BURNE; MOORE, 1987). Este Éon vai de 2,5 Ga a aproximadamente 570 Ma. Os fósseis que registram a existência da vida no planeta mostram que ela evoluiu pouco durante os

primeiros bilhões de anos, por muito tempo as formas de vida não passaram de seres unicelulares (CARNEIRO; MIZUSAKI; ALMEIDA, 2005, p. 14).

Há uma imprecisão do exato tempo geológico a respeito da origem da vida, pelas razões já mencionadas anteriormente. Os estromatólitos podem ser um sinal de uma das vidas mais antigas do planeta, mas possivelmente não são os primeiros.

Existem diversas hipóteses da origem da vida. Damineli e Damineli (2007, p.268) citam o exemplo da água, que está presente em 70% do corpo humano e 75% de uma bactéria, corroborando a importância deste elemento H₂O, na constituição dos seres vivos. Isso abre uma porta para a possibilidade de que a vida na Terra pode ter sua origem de maneira aquosa, assim como os estromatólitos, que dependem de cianobactérias para sua formação.

2. ESTROMATÓLITOS

Os estromatólitos são estruturas organosedimentares laminadas formadas pelo aprisionamento e muitas vezes precipitação de sedimentação providas de algas microscópicas e bactérias (WALTER, 1970 p. 6). Walter (1970. p. 332) afirma que os estromatólitos se formam desde o Arqueano. Os estromatólitos estão entre as evidências mais antigas dos primeiros seres vivos a habitar o planeta, sua adaptação ao meio foi de sucesso pois ainda se mantém até os dias atuais. Hofman (*apud* SALLUN FILHO, 1999, p.14) afirma que as descrições de estromatólitos auxiliam na tentativa de correlação e datações do Pré-Cambriano como para interpretações sedimentológicas e paleogeográficas, informações estas que auxiliam na compreensão do paleoambiente e paleoclima.

A morfologia das esteiras microbianas que são estruturas sedimentares que se desenvolvem a partir da fixação destes microrganismos em um determinado substrato podem apontar as condições ambientais favoráveis à manutenção da vida e do metabolismo destes seres (CALLEFO, 2014). Estas bioconstruções fornecem informações a respeito da evolução da atmosfera e das suas condições químicas bem como dos oceanos. Elas também permitem identificar as interações bióticas a que estas estruturas foram submetidas (CALLEFO, 2014). Além disso, as estruturas podem fornecer dados a respeito da comunidade microbiana que se estabeleceu, bem como a biogeocenose atuante, permitindo em alguns casos a identificação de

exposições subaéreas, correntes e ondas (GUIMARÃES; NETO; SIQUEIRA, 2002, p. 79).

Muitos autores consideram os estromatólitos como fósseis, mas devido ao seu processo de formação ele pode ser classificado também como icnofóssil, (WALTER *apud* SALLUN FILHO, 1999, p. 15). Segundo a Anelli *et. al* (2020), diferentemente dos fósseis que são registros de organismo conservado, os icnofósseis representam vestígios das atividades de animais e vegetais nos sedimentos e rochas., como por exemplo, biolaminação e biodeposição, praticada por estes.

Carvalho e Fernandes (2004, p. 141) define os icnofósseis, com vários tipos de estruturas como bioturbações, bioerosões e coprólitos, como resultado de atividade de um organismo, que pode vir a ser preservado em um sedimento, rocha ou corpo fóssil. Os autores ainda citam a importância dos icnofósseis, que possibilitam o registro da presença de animais de corpo mole que normalmente não se preservam; que mostram a diversidade de comportamento das assembleias fossilíferas; que demonstram o grau de retrabalhamento dos sedimentos pelos organismos; que auxiliam nas interpretações paleoambientais e paleoecológicas; e que indicam topo e base de camada.

Os icnofósseis de estromatólitos se formam da seguinte maneira: os organismos se fixam em determinada estrutura em uma costa marinha; sedimentos trazidos pela maré cobrem esses organismos; como os estromatólitos são formados por cianobactérias (DAMINELI; DAMIELI, 2007), elas necessitam da luz para realizar a fotossíntese, as mesmas se movimentam no substrato afim de buscar energia, no entanto se deparam com o sedimento que acaba dificultado a sua atividade causando então a sua morte em alguns casos; o vestígio desta movimentação pode ser preservado nos denominados icnofósseis.

Segundo Srivastava (2004, p.171), há uma controversa na definição exata do que é um estromatólito, pois eles não são animais ou vegetais, tais como a estrela-do-mar, as algas, os foraminíferos e as plantas, mas ainda são produtos de atividades biológicas de microrganismos, podendo ser comparados com estruturas como formigueiros. Portanto, a autora afirma que os estromatólitos são mais próximos aos icnofósseis do que aos fósseis verdadeiros.

Srivastava (2004, p.172) afirma que, apesar de haver uma controversa no momento de definir um estromatólito, existem alguns atributos principais considerados fundamentais para a sua definição como mostra o quadro 3:

Quadro 3: Atributos para a definição de um estromatólito.

1.	Presença de biohermas ou bioestromas contendo estruturas compostas de natureza laminada, tipo nódulos, colunares-laminados, colunares ou uma combinação dessas formas.
2.	Presença de espécimes individuais, tanto colunares como “domais” (tipo couve-flor ou repolho) ou outras estruturas indistintas.
3.	A presença das laminações internas individuais.
4.	A microestrutura, tanto no nível de laminação como na sublaminação, tais como a relação entre os cristais ou grãos de minerais, espessura da lâmina, amplitude de lâminas e a distribuição de microrganismos.
5.	A presença de microrganismo nas lâminas.

Fonte: SRIVASTAVA, 2004, p.172.

O crescimento das colônias pode proporcionar o aparecimento de colunas em formato de lâminas, que demonstram a sua movimentação. A partir dessa atividade os estromatólitos surgem como formas similares aos recifes, geralmente colunares, de estrutura carbonática laminar (GONÇALVES, 2013).

Uma das características mais importantes dos estromatólitos é a natureza das lâminas (na estrutura biossedimentar) (SRIVASTAVA, 2004, p.175):

“A laminação primária nos estromatólitos reflete a natureza de crescimento da cenose de microbianos e do hábito de precipitação ou trapeamento de carbonato de cálcio dentro do corpo filamentosos, arredondado, estrelado ou de outra forma geométrica. Muitas vezes, a laminação em estromatólitos pretéritos reflete a influência de processos diagenéticos.” (SRIVASTAVA, 2004, p. 175)

Riding (2011, p. 29) afirma que os primeiros registros do uso do termo estromatólito foram feitos por Kalkowsky (1908 *apud* RIDING, 2011), que nominava os estromatólitos como estruturas laminadas de origem microbiana lacustre. Após Kalkowsky, este termo foi utilizado para definir depósitos microbianos não-laminados, também rochas finamente laminadas, mas não microbianas. Riding (1999, *apud*

FAIRCHILD; SALLUN FILHO, 2004, p. 179) cria um conceito genérico para os estromatólitos baseado no seu uso nos últimos cinquenta anos: estromatólito seria um depósito microbiano bêntico laminado.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) define os estromatólitos como estruturas biohermas decimétricas a métricas, carbonáticas, com formas geralmente colunares finamente laminadas, construídas por ação de bactérias em mares rasos e quentes (CPRM, 2022).

Kalkowsky (1908, *apud* RIDING, 2011) considera os estromatólitos como sedimentos microbianos. Burne e Moore (1987, p. 241) trazem o termo “microbialito”, que são depósitos organossedimentares criados do resultado do aprisionamento de comunidades microbianas ligando sedimentos detríticos e/ou formando o *locus* de precipitação mineral. Riding (2011), usa o termo “microbialito” e traz as suas quatro categorias: os trombólitos, os dendrólitos e os leiólitos, que são carbonatos microbiais distintos um do outro e dos estromatólitos.

Ferriz, Reyna e Ledesma (1981, p. 04) definem os estromatólitos como corpos organo-sedimentares de arquitetura determinada e produzida por comunidades bentônicas de microorganismos por fixação, incorporação ou precipitação biótica de sedimento (geralmente carbonato de cálcio).

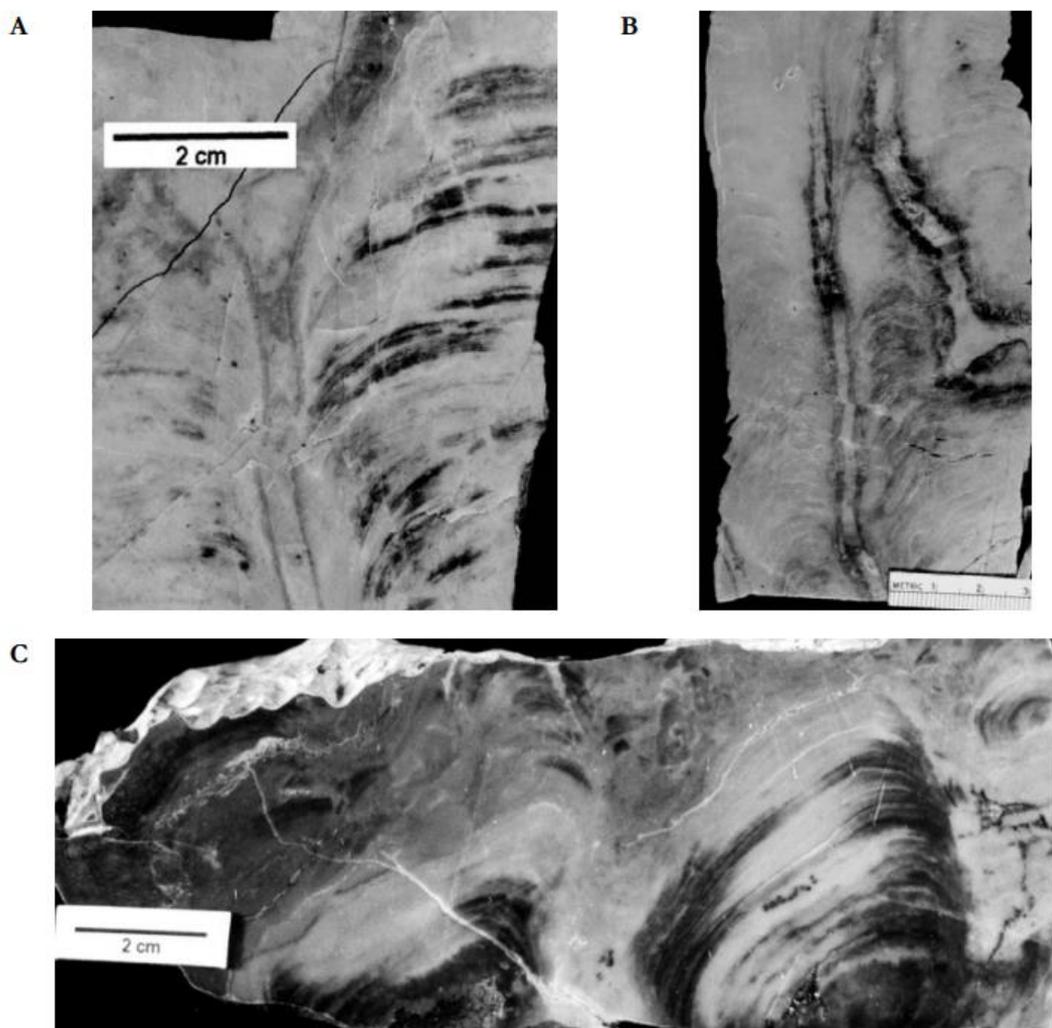
A partir da década de 1950 o estudo dos estromatólitos começou a se desenvolver mais intensamente, inicialmente na antiga União Soviética por geólogos interessados na utilização estratigráfica desses objetos para correlacionar e datar os imensos terrenos pré-cambrianos daquele país (FAIRCHILD & SALLUN FILHO, 2004, p.179).

Maslov (*apud* SRIVASTAVA, 2004, p. 172) começou investigações sobre relações filogenéticas e evolutivas de estromatólitos na década de 1950. Foi a partir deste período que foi comprovada a origem algálica dos estromatólitos, passando a ser considerados “estruturas” e não mais “fósseis” no sentido restrito (SRIVASTAVA, 2004, p. 172)

No Brasil salienta-se as descobertas de Fernando Flávio Marques de Almeida em 1944. Almeida teria descrito os primeiros fósseis pelo interior de São Paulo, mais detalhes a respeito dos estromatólitos do Brasil serão tratados a seguir no item 2.3.

Segundo Sallun Filho *et al.* (2013, p. 4), ele identificou estromatólitos em rochas expostas à beira da estrada ao sul de Nova Campinas (FIGURA 1), denominando-os *Collenia Itapevensis*. O estudo de estromatólitos iniciado em Nova Campina e Itapeva, prosseguiu com F.F.M. de Almeida nos anos seguintes, e novas ocorrências de estromatólitos foram encontradas e descritas, estendendo-se até o Estado do Paraná (SALLUN FILHO *at al*, 2013, p. 4).

Figura 1: Estromatólitos coletados por F. F. M. de Almeida em 1944



Fonte: SALLUN FILHO *at al*, 1999.

2.1. FORMAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS

A formação dos estromatólitos ocorre em regiões costeiras através de processos sedimentológicos e biológicos, onde bactérias, cianobactérias, microalgas e metazoários atuam nos sedimentos de uma estrutura, produzem a fotossíntese e conforme são cobertos com sedimentos, formam estratos, ou seja, sua formação depende de fatores biológicos e ambientais. Sallun Filho (1999, p.17) afirma que existem algumas condições específicas para a sua formação, tais como:

“fatores incluiriam principalmente, grau de agitação da água, correntes, profundidade, tipo de substrato (topografia, granulometria, composição, etc.), luminosidade, salinidade, temperatura, exposição sub-aérea, entre outros, enquanto os fatores biológicos incluiriam taxa de crescimento, composição taxonômica, hábito (filamentoso vs. cocóide co lonial), produção de mucilagem, decomposição e destruição por outros organismos, etc.” (SALLUN FILHO, 1999, p.17).

Srivastava (2004, p. 172) também traz algumas condições que são favoráveis para o desenvolvimento de um estromatólito, das quais podem ser citadas:

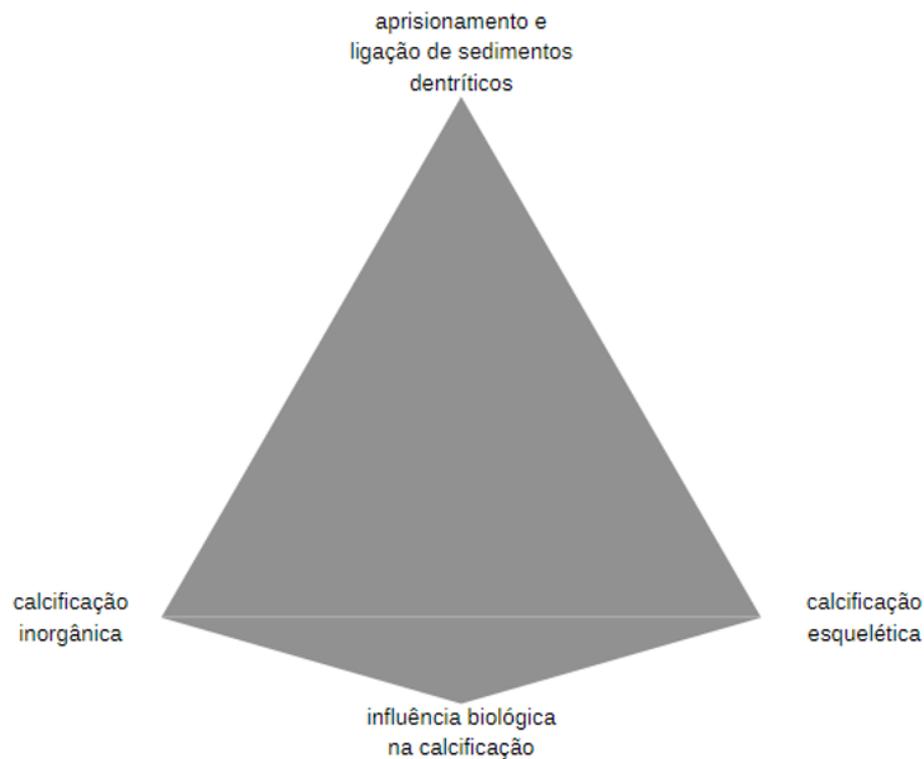
“Presença de um substrato sobre o qual os estromatólitos possam se desenvolver; sistema aberto contendo água; presença de componentes químicos que satisfaçam o metabolismo de uma microbiota; fonte de energia (luz, temperatura) para possibilitar a atividade metabólica; população de microbianos bentônicos ou outros organismos; matéria mineral de pequeno tamanho, que possa ser aprisionada e/ou precipitada; episódios rítmicos, resultando no desenvolvimento de estrutura laminada (descontinuidade no processo de acreção), este ritmo pode ser astronômico, geológico, biológico ou climático; e processos de litificação e diagênese, para que os estromatólitos recém-formados fiquem preservados.” (SRIVASTAVA, 2004, p.172)

De acordo com pesquisas recentes, a formação de estromatólitos ocorre de duas maneiras (SRIVASTAVA, 2004, p.172). Segundo a autora, o primeiro caso, cada célula microbiana produz e forma um filme mucoso gelatinoso que aprisiona os sedimentos, que posteriormente são interligados com o material mucoso, havendo então o crescimento dos microbianos sobre os sedimentos.

A segunda forma ocorre através da precipitação de carbonato de cálcio com pouco aprisionamento de sedimento em sua estrutura, e teriam origem em ambientes não-marinhos (MACNAMARA e AWRAMIK, 1992, *apud* SRIVASTAVA, 2004).

Segundo os estudos de Burne e Moore (1987), existem quatro processos que são fundamentais para a formação de um estromatólito, que são os seguintes representados na figura 2:

Figura 2: Processos de formação dos estromatólitos.



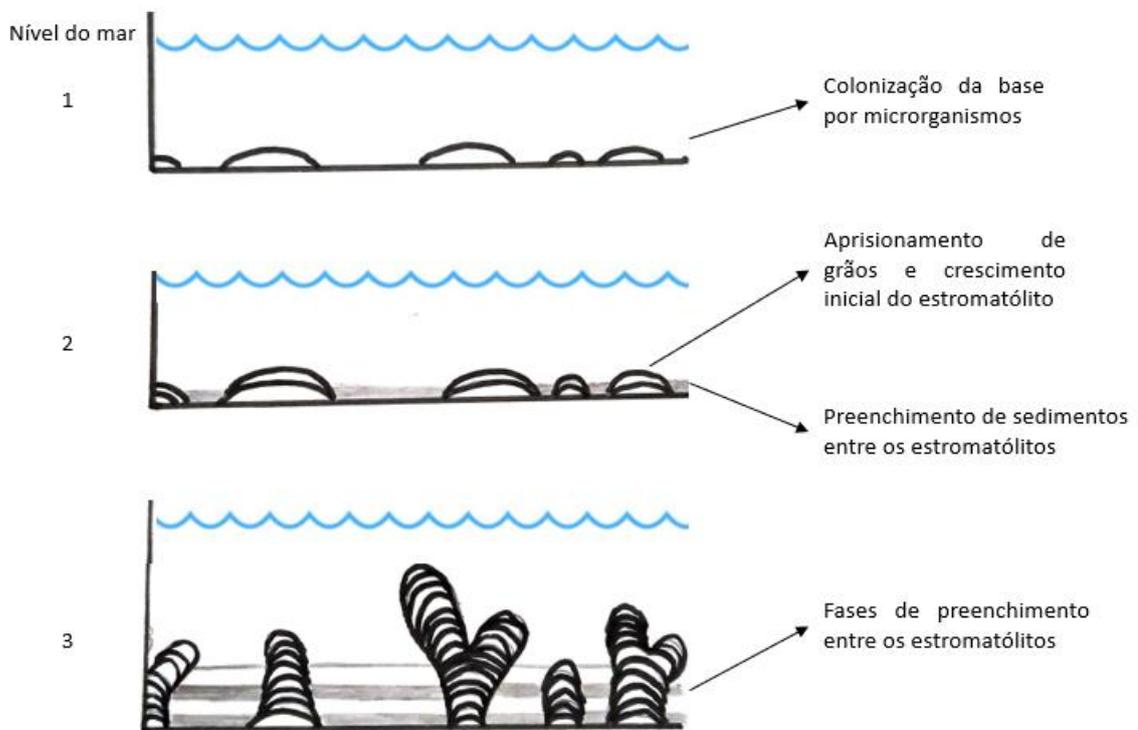
FONTE: BURNE E MOORE, 1987

Os quatro principais processos envolvidos na formação de microbialitos, tais como os estromatólitos calcários são o aprisionamento e ligação de partículas sedimentares detríticas, calcificação inorgânica, calcificação biologicamente influenciada e calcificação esquelética.

Para os autores, um estromatólito se constrói através do acúmulo e aprisionamento de sedimentos, ocasionado pela aglutinação de sedimentos à bainha

mucilagínosa, que seria um revestimento que se encontra na parte externa da parede celular e auxilia no aprisionamento dos sedimentos, produzida então por cianobactérias que, quando formada, torna-se um sítio de precipitação orgânica e/ou inorgânica de carbonato, resultando em sua litificação formando então os estromatólitos (SALLUN FILHO, 1999. P. 16). A figura a seguir (figura 3) mostra com mais detalhes o processo de formação dessas estruturas biossedimentares.

Figura 3: Processo de formação dos estromatólitos.



Fonte: Antunes. 2023.

Vale salientar que, para Riding (2011) os estromatólitos são uma das 4 categorias de microbialitos, e há a necessidade de diferenciação entre as mesmas, sendo elas os estromatólitos, os trombólitos, os dentrólitos e os leiólitos (FIGURA 6). Microbialitos são depósitos organossedimentares formados a partir da interação entre comunidades microbianas bentônicas e sedimentos detríticos (formado com fragmentos) ou químicos (BURNE; MOORE, 1987, p. 241). E dentro desta definição,

estão os trombólitos, que são estruturas calcárias, em suas feições externas são semelhantes aos estromatólitos colunares e colunares estratiformes (é um caso especial de depósito mineral estrato-ligado) (FIGURA 4), formando pequenas biohermas (estrutura sedimentar de crescimento recifal, em montículos, em lentes ou dômica desenvolvida *in situ* por organismos como corais, algas, moluscos, gastrópodes, espongiários) dômicas e o seu maior destaque, é que sua laminação interna é geralmente difusa. Há Também os dentrólitos, que como o seu nome já diz, são detríticos, ou seja, possuem depósitos microbiais que se assemelham a ramos ou musgos e são formadas por cianobactérias esqueletais. Os leiólitos, que são os depósitos microbial dômico, sem laminação ou coágulos. E por último, os estromatólitos, que são estruturas biossedimentares que se formam através da atividade de microorganismos, deixando a estrutura em formato de camadas. No entanto, para Burne e Moore (1987, p. 241), apenas três tipos de estruturas de microbialitos são identificados: os microbialitos de estrutura estromatólica, sendo elas de textura finamente laminada (sem o aspecto concêntrico); microbialitos de estruturas trombólicas, com uma textura não laminada com aspecto de coágulo (FIGURA 5); e por fim, microbialitos de estrutura oncoítica, com uma textura concêntrica finamente laminada. Vale lembrar que os oncólitos, embora de origem microbiana e contendo laminação interna, não crescem fixados no fundo do ambiente aquático, mas flutuando ou arrastando-se no substrato (SRIVASTAVA, 2004, p.171).

Enquanto isso, Walter (1970) já define estromatólitos, trombólitos e oncólitos como sinônimo de microbialito.

Figura 4: Estromatólito estratiforme com laminações crenuladas e finas de calcita encontrado na lagoa Salgada.



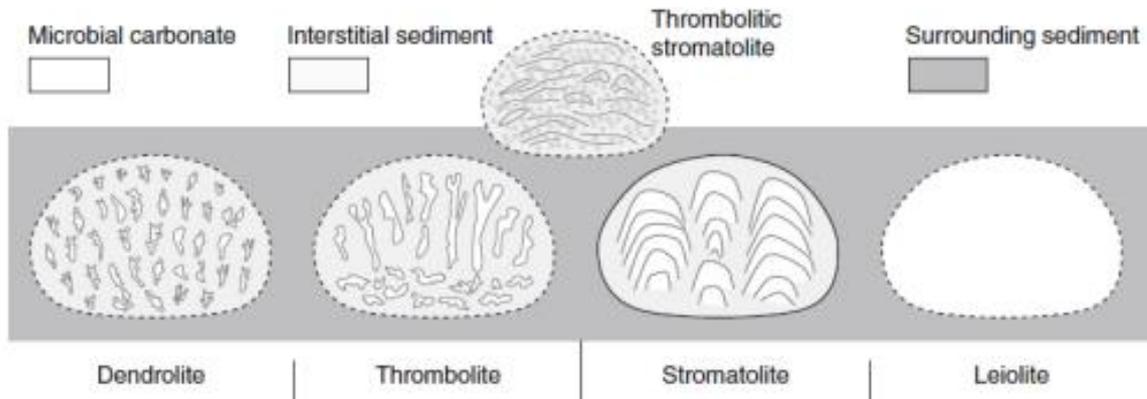
Fonte: RearchGate, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/43245468_Composicao_dos_Estromatolitos_Estratiformes_da_Lagoa_Salgada_Rio_de_Janeiro_Brasil. Acesso em: 11/08/2022.

Figura 5: Forma macroscópica de trombólitos



Fonte: ROMERO, 2015.

Figura 6: As 4 categorias de microbialitos.



Fonte: Riding, 2011.

O presente capítulo apresentou uma explanação da denominação e formação destes icnofósseis, como vislumbrado não existe um consenso nos termos microbialito e estromatólitos alguns autores como Burne e Moore (1987) que tratam os mesmos como sinônimos, enquanto outros os como Riding (2011) classificam como estruturas diferenciadas. A presente proposta irá seguir a classificação de Burne e Moore (1987), referindo-se à essas estruturas biossedimentares laminadas como estromatólitos.

Hofman (1973 *apud* SALLUN E FAIRCHILD, 2004) afirma a importância dos estudos de estromatólitos, tanto para a sedimentologia quanto para a paleontologia. No que se trata do estudo dos icnofósseis de estromatólitos, sua importância está relacionada com a análise da ocorrência, a descrição, do ambiente passado e possivelmente, tendências evolutivas. Já o estudo dos estromatólitos modernos está ligado com a análise da gênese e do ambiente em que se formam. A sua compreensão também pode ser dividida em estudos experimentais, como a realização de simulações e os estudos aplicados, contribuindo com uma análise de atividades biológicas, estudos de paleoclima, paleoambiente, paleogeografia, paleocorrente, paleomarés e toda a sua correlação. Para a melhor compreensão dos estromatólitos presentes no museu o próximo capítulo irá tratar dos estromatólitos modernos.

2.2. ESTROMATÓLITOS MODERNOS

A formação dos estromatólitos se iniciou no Éon Arqueano e até os dias atuais, no Holoceno, ainda ocorre a formação dessas estruturas biossedimentares. As cianobactérias são o principal conteúdo biótico dos estromatólitos, possuem independência nutricional proporcionando grande capacidade de adaptação às condições variadas do meio (SILVA e SILVA, 2004, p. 190), fazendo então com que os microrganismos responsáveis pela formação dos estromatólitos conseguissem acompanhar as diversas fases de evolução da terra, continuando sua produção pelas estruturas biossedimentares ainda na contemporaneidade.

Atualmente existem diversos trabalhos que descrevem os denominados estromatólitos modernos. Os estromatólitos modernos também se configuram por serem estruturas organossedimentares laminadas e estão presentes em ambientes marinhos e de água doce, podendo inclusive estarem submetidos a condições ecológicas adversas como as encontradas em hipersalinas e lagoas efêmeras, e em fontes termais (GOLUBIC, 1991).

Um campo de estromatólitos fortemente documentado se refere aos presentes no parque de Shark Bay na Austrália (FIGURA 7). Alguns destes estromatólitos podem ser encontrados na piscina de Hamelin no litoral da Austrália e fazem parte do complexo de Shark Bay, que em 1991 foi considerada patrimônio mundial pela UNESCO.

Figura 7: Estromatólitos de Shark Bay, Austrália.



Fonte: Luis Duarte, 2019.

Um dos critérios utilizados para a inclusão da baía de Shark Bay como patrimônio foi a presença de exemplares de estromatólitos que permitem evidenciar os processos de evolução biológica e geomórfica o de um ambiente de hipersalinidade que se apresenta em estado de conservação. Os estromatólitos da piscina de Hamelin foram os primeiros a serem reconhecidos com exemplares modernos e vivos possuindo uma diversidade morfológica e abundância semelhante a àquelas que existiam nos mares do Proterozoico. Eles representam um dos melhores exemplos para o estudo da natureza e evolução da biosfera da Terra até o início do Cambriano (UNESCO, 2023).

Os estromatólitos de Shark Bay provêm de tapetes microbianos que trabalham mutuamente se apoiando. A comunidade de cianobactérias alimentada pela luz do Sol converte o dióxido de carbono em carbono orgânico e oxigênio livre. Ao lado das cianobactérias outras comunidades se instalam e utilizam o carbono e o oxigênio e criam outros produtos para a uma comunidade de fermentadores. A comunidade de fermentadores gera outros produtores que serão posteriormente utilizados por seres assim por diante.

O solo onde este processo ocorre está vivo, os tapetes microbianos em certas condições vão se litificando formando os denominados microbialitos que seriam “lâminas superficiais” quando estas se organizam em camadas mais altas são chamadas de estromatólitos. A profundidade dos tapetes microbianos acaba afetando a forma e a textura destes pois propiciam um tempo de exposição variável a atuação das marcas de maré (SHARK BAY WORLD HERITAGE , 2022).

Em Hamelin Pool o formato e a textura dos tapetes microbianos são afetados pela profundidade da água conforme crescem. É possível observar essa diversidade de formatos na figura 8, extraído do trabalho de Hoffman (1976), que traz as diferentes formas de estromatólitos de acordo com seu ambiente de ocorrência, com base na análise de Hoffman (apud SRIVASTAVA, 2015).

Figura 8: modelos deposicionais de estromatólitos.



Fonte: HOFFMAN, 1976 *apud* SRIVASTAVA, 2004.

Conforme observado na figura acima (FIGURA 8) é possível verificar que as formas dos estromatólitos recebem influência da profundidade da água e da atuação das marés.

Outras áreas que possuem estromatólitos modernos se referem aos presentes em *Exuma Sound* nas Bahamas. Segundo o trabalho da professora Pamela Reid (2022), em associação com o National Geographic, estes seriam um dos únicos

exemplares de estromatólitos modernos formados em condições de mar aberto. Esta condição se assemelharia as formações de estromatólitos que existiram nas plataformas pré-cambrianas. Cerca de seis variações de tapetes microbianos foram evidenciadas nas superfícies de estromatólitos ao leste de Highborne Cay (Schizothrix, Solentia, biofilme heterotrófico, diatomáceas stalked, diatomáceas tubulares e tapetes de Phormidium).

Reid (2022) realizou uma pesquisa que documenta os efeitos de fatores ambientais nas comunidades microbianas de superfície de estromatólitos marinhos modernos. Ela comparou alguns parâmetros ambientais como temperatura, luz, vento e química da água com o intuito de verificar se estes estavam associados as causas do ciclo microbiano do tapete. Utilizando-se de 43 marcadores monitorados ao longo do período de dois anos entre 2005 e 2006 no recife estromatolítico na margem leste de Highborne Cay. Reid (2022) obteve alguns resultados que indicaram que a composição dos tapetes e suas transições são controladas por eventos sazonais e estocásticos. Ela encontrou correlação positiva entre a temperatura e as seis comunidades de tapetes tais como os representantes da Biofilmes heterotróficos, Solentia, esteiras de diatomáceas e Phormidium. Apenas as comunidades de Schizothrix e diatomáceas tubulares que apresentaram uma correlação negativa. A autora menciona que não houve correlações significativas entre a intensidade de vento.

A ilha de Andros nas Bahamas também possui representantes de estromatólitos modernos. O trabalho que descreveu esta presença foi realizado em 1930, por Maurice Black em uma expedição a ilha de Andros (BLACK, 1933 p. 167).

O Black (1933) descreve o local onde os estromatólitos foram registrados como de sedimentação calcária de águas rasas. O autor relata que a sedimentação como proveniente do Pleistoceno com sedimentos modernos de Calcita e Aragonita sem inclusão de material argiloso. Ao longo da costa da ilha há ainda uma área de cerca de dois mil quilômetros quadrados que conta com um recife de barreira bem desenvolvido. Este recife está apoiado em uma estreita elevação de “colinas” de calcário. A parte interior ocidental da ilha possui planícies pantanosas baixas. Toda a ilha em especial a parte ocidental sofre influências de um processo intrincado de sistema de marés. Riachos e manguezais são influenciados por estas e podem

produzir inundações que possibilitam as condições favoráveis para o crescimento dos depósitos de algas, fornecendo um suprimento intermitente de sedimentos e possivelmente causando alterações na salinidade da água. (BLACK, 1933).

Em seu trabalho, Black (1933) traz espécies de plantas, especialmente a alga *Blue-Green*, que contribui em um importante processo de sedimentação podendo favorecer a formação de microbialitos. Além daquelas formas que contribuem ativamente com carbonato de cálcio para o sedimento, existem outras espécies que funcionam principalmente como aglutinantes de sedimentos, sem necessariamente precipitar qualquer cal (BLACK, 1933, p. 166).

Horodyski e Haar (*apud* ALVES; SILVA, 2011, p. 118) trazem estudos de estromatólitos *biscuit* individuais holocênicos em Lagoa Salgada, RJ. Segundo os autores, essas estruturas apresentam-se como formações carbonáticas crostosas aragoníticas, de formato irregular e nodoso, tamanho reduzido, com até 15 cm de altura, laminações irregulares, descontínuas e pobremente desenvolvidas (ALVES; SILVA, 2011, p. 118), Para Alves e Silva (2011, p. 118), é a sua frágil morfologia que inspirou a sua denominação de *biscuit*, atribuída à predominância de taxa de cianobactérias cocóides.

Flores (2018, p. 15) busca apresentar em seu trabalho os microbialitos do Holoceno presentes em Lagoa Bacalar, no México, que pertencem a uma das maiores ocorrências de microbialitos em água doce. A autora busca em seu trabalho, conscientizar sobre a existência de estromatólitos no Lago Bacalar, que faz parte do ecossistema aquático local. Flores (2018, p. 42) traz recomendações como educação ambiental para promover a conscientização das pessoas. Beltrones, Hernández e Almeida (2013, p. 866) destacam que os microbialitos como estromatólitos, oncólitos e trombólitos são grandes atrativos do Lago Bacalar.

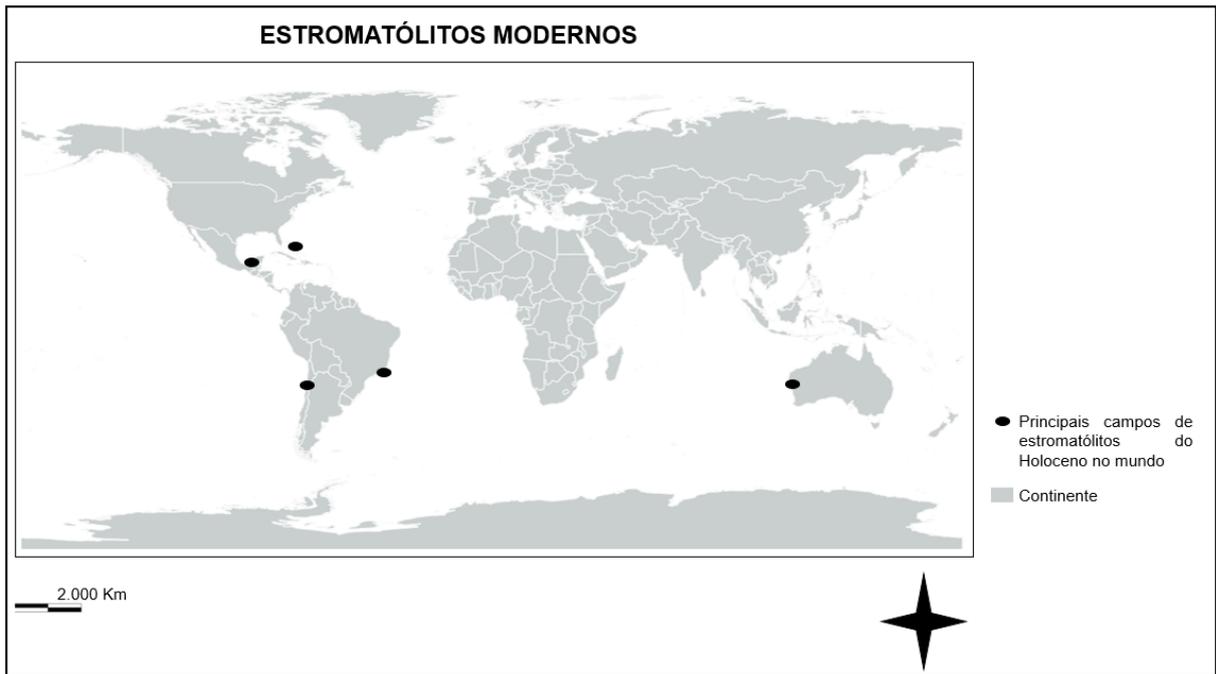
Osman *et al.* (2020), traz um estudo sobre a composição bacteriana e geoquímica dos trombólitos modernos do Lago Sarmiento, no Chile. Em seu trabalho, os autores concluíram que foram encontradas composições bacterianas similares com outros microbialitos presentes em diferentes localidades do mundo, como em Highborne Cay, nas Bahamas, Lago Alchichica Crater, no México, La Brava, no norte do Chile e no Lago Clifton, na Austrália.

No Sudeste, Gonçalves (2013) afirma que é onde se encontra a maior quantidade de ocorrências de estromatólitos. No Estado do Rio de Janeiro, os estromatólitos recentes do holoceno ocorrem de forma carbonáticas colunares domais estromatólitos e oncóticos, similares aos estromatólitos de Shark Bay, ainda em formação. Os tipos de estromatólitos atuais presentes em Lagoa Salgada no Rio de Janeiro são colunares, oncólitos, trombólitos, e Esteiras Microbianas, que são gelatinosas, escuras, compostas de uma sucessão de lâminas escuras, claras, carbonáticas, estratiformes a crenuladas, finamente laminadas (GONÇALVES, 2013).

Os estromatólitos se formam normalmente em ambientes marinhos, plataformal ou de planícies costeiras. (SIRIVASTAVA, 2004). Segundo Sallun Filho (1999, p. 17), a forma com que os estromatólitos crescem depende do nível da água e da salinidade, por exemplo, estromatólitos coniformes se formam em regiões de águas mais profundas, mas que ainda consiga receber luz solar, que é um fator importante para os microrganismos, enquanto os estromatólitos colunares (FIGURA 10) se formam em regiões mais rasas. Como afirmado antes por Sallun Filho (1999), devido a necessidade de luz, o seu local precisa ser também uma zona fótica, ou seja, zonas cuja as águas sejam claras e relativamente limpas para que haja a penetração de luz.

Na figura a seguir é possível observar os principais campos de estromatólitos modernos no mundo, que se encontram em regiões litorâneas. O presente mapa (FIGURA 9) foi apoiado nos trabalhos aqui descritos, portanto podem ter ocorrências que não foram mencionadas nas pesquisas consultadas. Ao observar o mapa, é possível identificar que todos os locais registrados possuem o clima tropical como uma característica em comum.

Figura 9: Distribuição de campos de estromatólitos modernos no mundo



Fonte: Bruno Hideyuki Sanada Antunes. 2023.

Figura 10: estromatólitos colunares.



Fonte: Segredos do Mundo. Disponível em: <https://segredosdomundo.r7.com/estromatolitos-o-que-sao-onde-encontrar-e-sua-importancia-para-a-vida/>. Acesso em: 11/08/2022.

2.3. FÓSSEIS DE ESTROMATÓLITOS NO BRASIL

No Brasil, também existem análises de estromatólitos do Holoceno, como os presentes no sítio de Lagoa Salgada, RJ. O seu ambiente de localização se caracteriza por ser na borda da lagoa, são geralmente recobertos por solo ou vegetação ou submersos na época de cheia, formando pequenas biohermas ou biostromas de espessuras variadas, mas raramente superior a um metro. (SRIVASTAVA, 1999, p. 204).

Os estromatólitos são conhecidos de diversas unidades brasileiras carbonáticas (SALLUN FILHO, 2011, p. 22). Segundo Sallun Filho e Fairchild (2004, p. 178) pioneiro no estudo dos fósseis do pré-cambriano no Brasil foi Fernando Flávio Marques de Almeida. Ele identificou os estromatólitos em metacalcários ao sul de Itapeva, SP, designou de *Collenia Itapevensis*, sendo os primeiros fósseis pré-cambrianos já descobertos no Brasil.

Essas ocorrências em território nacional foram registradas por Almeida na década de 1940. Para Sallun Filho, Fairchild e França (2013, p. 138), os estromatólitos de Itapeva e também de Campina possuem uma grande relevância porque são considerados os fósseis mais antigos do estado de São Paulo do Éon Proterozoico.

O seu local de encontro foi fortemente degradado devido às atividades de mineração de calcário, utilizado para produção de cal, cimento e corretivos agrícolas. Algumas medidas para a preservação do sítio estão sendo tomadas junto aos órgãos competentes devido ao risco de degradação desses importantes registros testemunhos do passado geológico da Terra. (SALLUN FILHO *et al.*, 2013, p. 307).

Além de F. F. M. de Almeida, outros autores também procuraram estudar o passado através de seus registros em estromatólitos, como Sallun Filho (1999), que buscou realizar em sua dissertação, a Grupo Itaiacoca, ao Sul de Itapeva. Em seu trabalho, o autor estuda especificamente os estromatólitos em metacalcários dolomíticos cinza-claro pertencentes a uma unidade vulcanossedimentar mesoproterozóica da Faixa Ribeira. (SALLUN FILHO, 1999, p. 1)

Angonese (2021), diferentemente de Sallun Filho (1999), procura caracterizar os estromatólitos siliciclásticos pertencentes a Formação Caboclo, da Chapada

Diamantina (Bahia). Seu trabalho buscou levantar os dados estratigráficos e analisar as lâminas delgadas para definir os diferentes tipos de estromatólitos e o processo que contribuíram com sua origem. Foram encontrados estromatólitos aglutinantes siliciclásticos, ou seja, são produzidos pelo intemperismo de rochas compostas predominantemente por silicatos.

No Brasil, existem registro de ocorrências de estromatólitos nas regiões do Nordeste e Sudeste. Gonçalves (2013) afirma que, no Nordeste há dois campos de estromatólitos, cada um com suas especificidades. Segundo o autor, o primeiro, a Fazenda Cristal, localizado na Bahia, onde apresenta-se ocorrência do MesoProterozoico em que foram encontrados estromatólitos estratiformes, estromatólitos colunares, estromatólitos não-colunares e oncólitos, sendo este, concreções esféricas, ovais assimétricos com laminações milimétricas. O segundo campo de estromatólito presente no Nordeste se encontra na Fazenda Arrecife, também na Bahia. Os estromatólitos encontrados nesta localidade são do tipo colunar que podem ser grandes, podendo chegar a um metro de altura, com larguras de até 15 centímetros e pequenos, com 6 centímetros de altura e 2 centímetros de diâmetro.

Em Minas Gerais, Gonçalves (2013) cita registros de estromatólitos do Proterozoico no município de Lagamar, constituída por afloramentos dolomíticos colunares com laminações convexas e cônicas pertencentes ao Grupo Vazante. O Estado de São Paulo é onde agrupa o maior número de registros de campos de Estromatólitos no Brasil, como citado por Sallun Filho (1999), os estromatólitos presentes em Nova Campina e Itapeva são os primeiros a serem descritos na América do Sul.

Segundo Sallun Filho e Fairchild (2005, p.27), após os trabalhos de F. F. M. de Almeida, várias localidades foram descobertas com a presença de estromatólitos no Brasil, como por exemplos os estromatólitos do Neoproterozoico, estudados pelo próprio Almeida. O autor afirma que dezenas de novos sítios de estromatólitos foram descobertos em praticamente todas as regiões de calcário proterozoicos, principalmente em rochas Neoproterozóicas (de 1 bilhão a 542 milhões de anos) no Paraná, em Minas Gerais, em Goiás e no Distrito Federal (FAIRCHILD, 2005, p.27). Na Bahia, também foram descobertos, a partir da década de 1980, ampla distribuição e variedade dessas estruturas nas rochas proterozóicas da Chapada Diamantina (FAIRCHILD, 2005, P. 28).

O quadro 4 a seguir apresenta a distribuição de estromatólitos no Brasil, ordenado por idade, do mais novo ao mais velho, contendo a localização, Grupo/Formação e a forma mais comum nesta localização, com base nos trabalhos descritos nesta pesquisa.

Quadro 4: Distribuição dos estromatólitos no Brasil ordenar do mais novo para o mais velho

Estado	Local	Período	Grupo/Formação	Forma
Rio de Janeiro	Lagoa Salgada	Holoceno	Depósito Fluvio-Marinhas	Domal e estratiforme
Paraná	Irati	Permiano	Formação Teresina	Colunar
Minas Gerais	-	Proterozoico Médio e Superior	Grupo Bambuí	Colunar
São Paulo	Itapeva e Nova Campina	Proterozoico	Grupo Itaiacoca	Colunar
Bahia	Fazenda Cristal e Fazenda Recife	Mesoproterozoico	Formação Cabloco	Estratiforme, colunar, não-colunar
Paraná	Castro	Proterozoico	Grupo Itaiacoca	Colunar

Fonte: Bruno Hideyuki Sanada Antunes. 2023

Na figura a seguir é possível observar a distribuição dos principais campos de estromatólitos que se tem registro no Brasil (FIGURA 11), marcando lugares como Nova Campina, Itapeva e Lagoa Salgada. O presente mapa (FIGURA 11) e o quadro 4 foram apoiados nos trabalhos aqui descritos, portanto podem ter ocorrências que não foram mencionadas nas pesquisas consultadas.

Figura 11: Principais campos de Estromatólitos registrados no Brasil.



Fonte: Bruno Hideyuki Sanada Antunes, 2022.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada no Museu de Ciências Naturais da UEPG. Inicialmente se deu a predileção dos estromatólitos, o museu dispõe de 4 amostras, dentre estas foram selecionados apenas três dado ao tempo disponível para a realização do trabalho de conclusão de curso. O termo utilizado para se referir às amostras presentes no MCN será “estromatólitos” e não “microbialitos”, por ele já ser utilizado no MCN.

O primeiro capítulo situa temporalmente o surgimento dos estromatólitos utilizando-se dos artigos de Branco (2016), Hasui *et al.* (2013), Daminieli A e Daminieli D (2007), Carneiro, Mizusaki e Almeida (2005). Para a definição e caracterização das amostras e de seu ambiente de deposição buscou-se a fundamentação nos trabalhos de Sallun Filho (1999), Walter (1970) e Riding (2010). A pesquisa também realizou uma abordagem da diferenciação entre estromatólitos e microbialitos tratadas no

capítulo dois. Apesar de alguns autores como Burne e Moore (1987) tratarem estes conceitos como sinônimos outros como Riding (2010) se referem ao mesmo como uma categoria específica de microbialito. Com a inexistência de um consenso o presente trabalho utilizou a de Burne e Moore (1987).

O item 2 do capítulo 2 fez um apanhado de alguns trabalhos que caracterizam os estromatólitos atuais do Holoceno. Esta seção foi utilizada para compreender as condições paleoambientais envolvidas na gênese e formação destes organismos.

Houve também a descrição de alguns artigos e pesquisas brasileiras a respeito de campos de estromatólitos de diferentes Éon e períodos; este segmento foi descrito com o intuito de utilizar as discussões na caracterização dos estromatólitos presentes no museu.

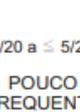
Para a tipificação da morfologia e estrutura dos estromatólitos, a tabela de macroestrutura para identificação de estromatólitos do trabalho de Sallun Filho (1999, p. 30) que foi adaptada por Fairchild serviu como norteadora. (FIGURA 12; FIGURA 13).

Figura 12: Guia de classificação de estromatólito

A		MODO DE OCORRÊNCIA		B I O E R M A					ISOLADOS
		1	2	3	4	5	6		
M A C R O E S T R U T U R A B Á S I C O S	B	LATERALMENTE CONTÍNUOS	1	2	3	4	5	ESTROMATÓLITOS ISOLADOS	
			PLANAR	ONDULADO	CUMULADO	PSEUDO-COLUNAR	PONTIAGUDO		
				E S T R A T I F O R M E					
	C	LATERALMENTE DESCONTÍNUOS SIMPLES	1	2	3	4	5	6	
			$b \geq B, a$ DÔMICO	$B > b; A \leq a/2$ BULBOSO	$B > b; A > a/2$ TURBINADO	TERETIFORME	CILÍNDRICO	SUB-CILÍNDRICO	
				7	8				
				TUBEROSO	ONCÓIDES				
	D	LATERALMENTE DESCONTÍNUOS RAMIFICADOS	1	2	3	4	5	6	
			DÔMICO	BULBOSO	TURBINADO	TERETIFORME	CILÍNDRICO	SUB-CILÍNDRICO	
				7					
			TUBEROSO						
E	FORMAS COMPOSTAS	1	2	3	4	5			
		EM FASCÍCULOS	COALESCIDA (SIMPLES)	COLUNAR-ESTRATIFORME	ANASTOMOSADA	COMPLEXA			
F	CONTORNO EM PLANTA	1	2	3	4	5	6		
		ARREDONDADO	POLIGONAL	ELÍPTICO A OBLONGO	LACEOLADO	CRESCENTIFORME	LOBADO		
		E Q U I D I M E N S I O N A L							
			7	8	9				
			COALESCIDO	INTERLIGADO	CUSPIDADO				

Fonte: Fairchild *apud* Sallun Filho, 1999

Figura 13: Guia de classificação de estromatólito (parte II)

M A C R O S S E C A O	G	ATITUDE	1  NORMAL	2  INCLINADA	3  PROSTERNADA	4  CURVA	5  SINUOSA	6  DECUMBENTE	
		7  RECUMBENTE							
	H	PROXIMIDADE	1  $d \leq 0$ CONTÍGUOS	2  $d \leq B$ PRÓXIMOS	3  $d > B$ SEPARADOS	4  $d \gg B$ ISOLADOS			
		I	DICÔTOMA	1  α PARALELA	2  β DIVERGENTE	3  γ MODERADAMENTE DIVERGENTE	4  MODERADAMENTE DIVERGENTE	5  MUITO DIVERGENTE	
	J		MÚLTIPLA	1  PARALELA	2  DIVERGENTE				
	K	DESIGUAL (PROJEÇÕES)	1  LATERAIS PARALELAS	2  LATERAIS DIVERGENTES	3  PROJEÇÃO EM NICHOS	4  PROJEÇÃO TERMINAL			
L		FREQUÊNCIA	1  $\frac{N_1}{N_1} = 0$ AUSENTE	2  $\leq 1/20$ RARA	3  $> 1/20$ a $\leq 5/20$ POUCO FREQUENTE	4  $> 5/20$ a $\leq 10/20$ COMUM	5  $> 10/20$ MUITO FREQUENTE	N = n' total de indivíduos N ₁ = n' de indivíduos com ramificação N ₂ = n' de pontos de restrição	
M	ORNAMENTAÇÃO MARGINAL	1  LISA OU SEM ORNAMENTAÇÃO	2  SERRILHADA	3  FIMBRIADA	4  COM COSTELAS	5  ENCAROÇADA	6  COM PONTES		

Fonte: Fairchild *apud* Sallun Filho, 1999

De posse destes dados realizou-se uma entrevista na data 18 de outubro de 2022 e no dia 14 de dezembro de 2022 com o coordenador do Museu de Ciências Naturais, Antonio Liccardo (APÊNDICE A). A entrevista foi aberta e nela buscou-se saber, informações a respeito da procedência e disposição das amostras dos icnofósseis em campos; com estas informações e com a permissão do coordenador, procedeu-se ao registro fotográfico de três amostras presentes no MCN utilizando quando possível uma escala.

Para a análise das amostras dos estromatólitos provindos de Minas Gerais e Irati, foi encaminhado um e-mail para o Professor Doutor Gilson Burigo Guimarães na data de 15 de dezembro de 2022 com as fotos das amostras, para conferir algumas

indicações e dúvidas quanto a identificação dos estromatólitos. O professor prontamente realizou indicações de referências e apontou algumas especificações identificáveis em ambas as amostras.

Após a descrição da fundamentação, procedeu-se a construção dos resultados que contou com a comparação da fundamentação realizada, descrição das formações geológicas das prováveis procedências com os trabalhos de Sallun Filho (1999), Basso (2018) Kuchenbecker e Soares (2010). A metodologia para a classificação morfológica dos icnofósseis baseou-se nas instruções descritas no capítulo intitulado “Estromatólitos”, escrito por Srivastava (2004) no livro de Carvalho (2004), findada as comparações e descrições as conclusões foram construídas.

4. ESTROMATÓLITOS PRESENTES NO MCN

O Museu de Ciências Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, localizado na cidade de Ponta Grossa – PR inaugurou em junho de 2022 como um atrativo cultural que busca trazer uma rica diversidade em seu acervo geológico, disponibilizando um grande número de informações sobre a geologia do Estado do Paraná. Dentro deste grande acervo de geodiversidade, o MCN possui algumas amostras de estromatólitos que estão em exposição para o público, disponibilizando a conscientização e a valorização das amostras como patrimônio para a conservação *ex situ*.

Segundo Ponciano *et al.* (2011), patrimônio é um conceito que remete a significados tais como herança, bens e monumentos, podendo se apresentar de modo tangível ou intangível. Quando se fala de patrimônio geológico, a autora afirma que:

“Portanto, patrimônio geológico é um conjunto de diversos elementos da geodiversidade (*in situ* e *ex situ*) e os registros associados que apresentem valor excepcional, selecionados com base em critérios objetivos que devem respeitar as particularidades locais durante o processo de valoração (PONCIANO, 2011, p. 854)”.

A autora afirma que o patrimônio *in situ* corresponde ao conjunto de depósitos minerais ou fossilíferos, paisagens e solos de uma determinada região, enquanto o patrimônio *ex situ*, os exemplares da geodiversidade retirados do seu sítio de origem. Sendo assim, as amostras presentes no museu são patrimônios geológicos *ex situ* por estarem fora de seu ambiente natural.

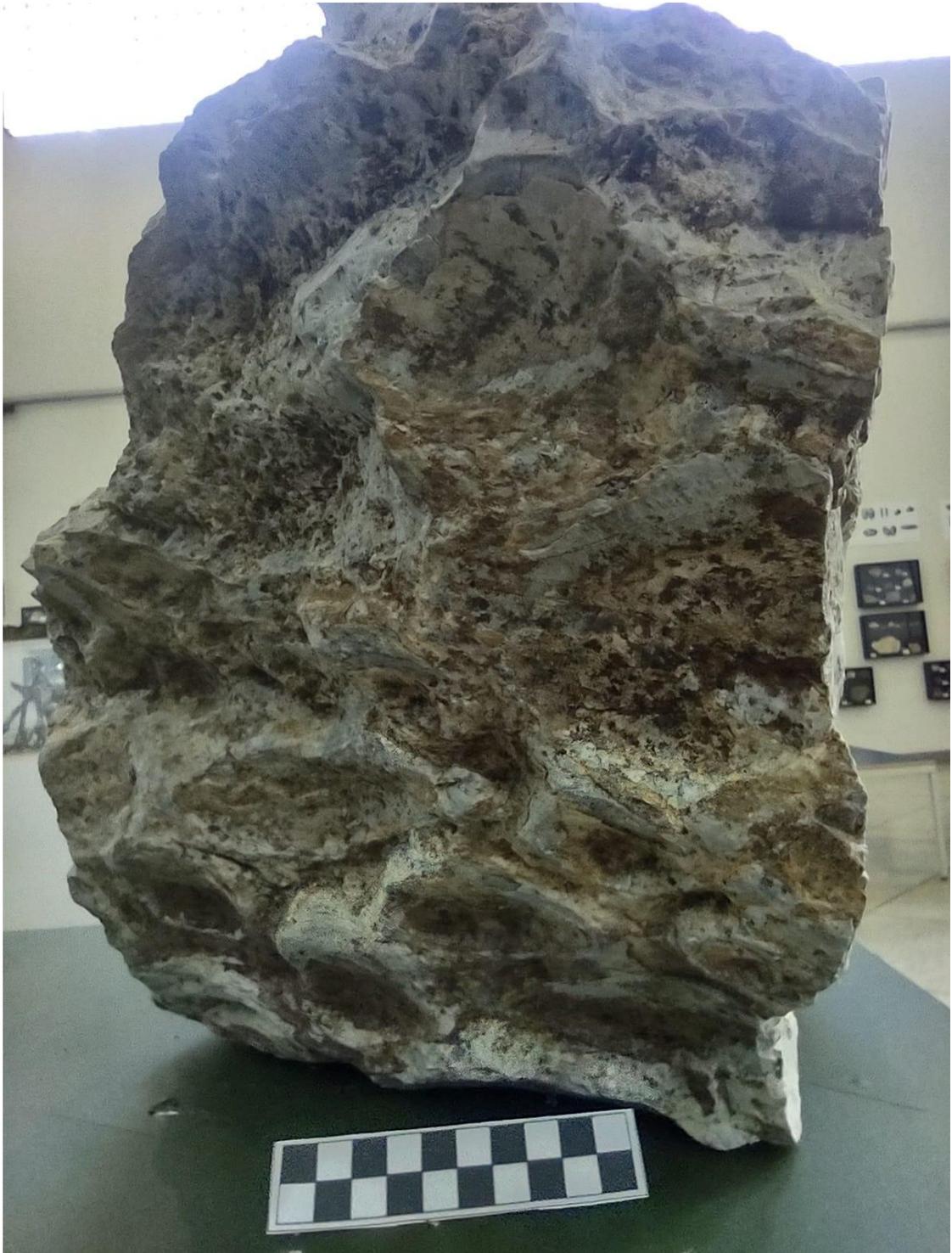
Quando falamos em exposições em museus, o Patrimônio Geológico não integra, habitualmente, as coleções museológicas de rochas fósseis e minerais (BRILHA, 2005, p. 55). Os motivos apresentados por Brilha para isso (2005, p.55) são que:

“Em primeiro lugar porque os elementos destas ocorrências já não se encontram no seu contexto natural, um pouco à semelhança do que sucede com a não aplicabilidade das estratégias de bioconservação em jardins zoológicos. s. Por outro lado, se as amostras se encontram em museus públicos, estão automaticamente protegidas da deterioração por processos naturais e da perda por roubo, vandalismo, etc. (BRILHA, 2005, p. 55)”

Então assim, as amostras que são armazenadas e expostas em museus possuem a sua importância patrimonial, mas não geológica por estar fora de seu ambiente natural, mas museológica, com um destaque para o seu valor didático, econômico e histórico. E desta, forma os fragmentos estromatolíticos no presente museu representam um patrimônio, pois possibilitam resgatar a história da biodiversidade da terra em outros períodos, possuindo um alto valor didático.

A primeira amostra a ser descrita, é a do estromatólito em metacalcário encontrado em Castro que está disposta junto às amostras da era Proterozoica; a segunda é o estromatólito trazido de Irati – PR do Paleozoico, preservado em calcário, apresentando áreas preenchidas com calcita e sílica, exposta temporariamente no lado externo do MCN; e a terceira é a amostra de estromatólito provindo de Minas Gerais, pertencente ao Grupo Bambuí da era Neoproterozoica, constituída de mármore. A determinação da unidade geológica da amostra de Minas foi indicada pelo coordenador do museu. Durante a descrição geológica disposta posteriormente, foram buscadas mais evidências de trabalhos que apresentassem semelhanças a amostra, afim de buscar mais registros que validassem esta indicação, dada a imprecisão de sua origem.

Figura 14: Amostras 01 proveniente de Castro



Fonte: Hornes. 2023.

Figura 15: Amostra 02 proveniente de Irati



Fonte: Hornes, 2023.

Figura 16: Amostra 03 proveniente de Minas Gerais



Fonte: Hornes, 2023

As amostras (FIGURAS 14, FIGURA 15 E FIGURA 16) possuem formas e tamanhos distintos e são fragmentos de afloramentos de icnofósseis sem descrição de suas disposições nos respectivos locais de retirada. Estas informações conforme Carvalho (2004) auxiliariam na compreensão da acomodação dos elementos, permitindo interpretações mais detalhadas a respeito do ambiente de deposição e do conjunto do afloramento disponível, no entanto não puderam ser detalhadas. A amostra número três é uma placa fragmentada e polida em mármore, enquanto que as amostras 2 e 3 são blocos tridimensionais irregulares com tamanho variando entre 20 a 80 cm aproximadamente (FIGURA 16). Todas elas apresentam um conjunto de vários icnofósseis que registram a passagem da presença de colônias de invertebrados que apresentaram um crescimento e depois findaram sua evolução devido a variação de ambiente provocadas por oscilações, geológicas, tectônicas e ambientais.

James Hutton (1830), criador da teoria do uniformitarismo, coloca que o presente é a chave para o passado. Esta teoria auxilia grandemente na compreensão de fenômenos geológicas e geomorfológicos que tendem a se repetir no passado e presente, apresentando elementos semelhantes de gênese e transformação comparáveis e reconhecíveis. No entanto, quando se trata de origem da vida esta teoria deve ser aplicada com cautela, pois as condições da vida primordial e a situação do planeta durante as eras Proterozoica e Paleozoica eram muito distintas; como já descritos na seção “origem da vida e os estromatólitos” apoiada nos trabalhos de Daminieli e Daminieli (2007).

Entre os exemplares caracterizados, a amostra estromatolítica de Castro (PR) é a mais antiga, posteriormente tem-se a de Minas Gerais (MG) e a mais recente configurada pela amostra provinda de Irati (PR). O ambiente de formação dos estromatólitos encontrados em Castro e Minas Gerais e Irati eram bem heterogêneos.

Sallun Filho e Fairchild (2005) apontam que as evidências mais antigas de vida no planeta estão entre 3,5 bilhões de anos atrás aproximadamente; onde estes microrganismos que os compuseram devem ter surgido nos mares no Éon Arqueano entre 4,1 e 2,5 bilhões de anos atrás quando a crosta terrestre se formou. A abundância e diversificação dos estromatólitos ocorreu principalmente no Éon Proterozoico, há cerca de 5 bilhões e 542 milhões de anos nos mares rasos que possibilitaram a expansão das esteiras microbianas e outros seres que ocuparam o mundo (SALLUN FILHO; FAIRCHILD, 2005).

Esta situação corresponde aos icnofósseis de Castro (PR) e Minas Gerais (PR). Contudo este hábitat imenso, começou a ser restrito com o aparecimento de seres pluricelulares. Ao término do Proterozoico ocorreu a disseminação dos invertebrados durante o Cambriano, período que deu início ao Éon Fanerozoico a aproximadamente 542 milhões de anos passados. Esta disseminação e a presença de novos seres pluricelulares segundo Sallun Filho e Fairchild (2005) geraram competição e predação que acabaram restringindo os estromatólitos a ambientes mais inóspitos com relação salinidade, alcalinidade, acidez, temperatura e exposição ao ar; ainda assim durante o Fanerozoico nos período do Permiano e Cretáceo é possível o encontro de resquícios estromatolíticos no Brasil, nestas circunstâncias a amostra provinda de Irati referente ao período do Permiano pode ser enquadrada.

Apesar das amostras já serem nominadas como estromatólitos no museu a presente pesquisa buscou observar e comparar os atributos necessários descritos para sua classificação propostas por Srivastava (2004 p. 172). Nos exemplares é perceptível a visualização da presença de biohermas, que se apresentam com diferentes formatos em todas as amostras. Nos vestígios é possível a identificação de estruturas individuais, em alguns casos colunares e demais bem como laminações internas. Os elementos relacionados a microestrutura das laminações não foram realizados na presente pesquisa devido a exigência de outras metodologias para tal comparação e são indicados para mais validações. Neste sentido os estromatólitos presentes no museu correspondem a 3 atributos que podem ser identificados visualmente.

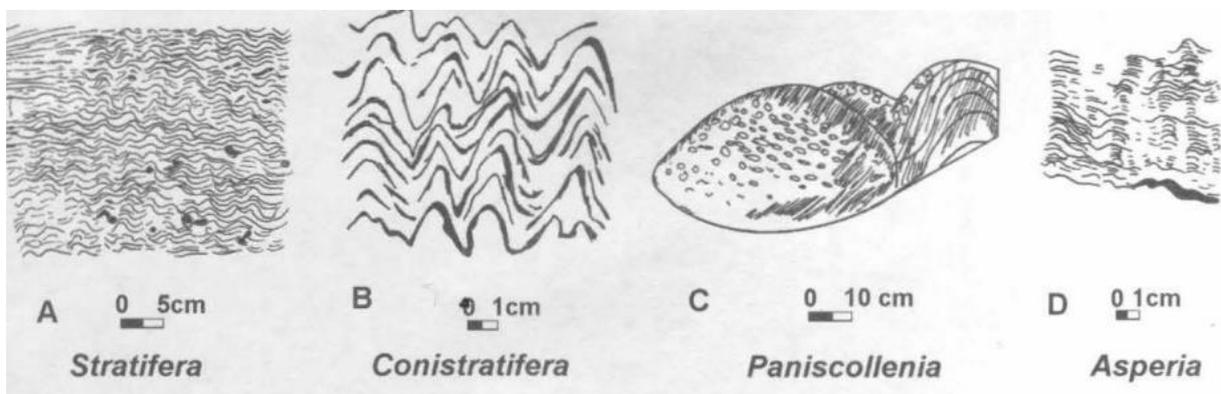
Os estromatólitos ocorrem em forma de colunas, nódulos ou planares (estratiformes) (SRIVASTAVA, 2004, p.173). Segundo o autor, como demonstrado nas figura 15, há três tipos principais de colunas: as cilíndricas (subcilíndricas), onde a base do cilindro é arredondada, elipsoidal ou irregular; as formas de xícara, estreita na base e o diâmetro aumentado gradativamente para o topo, podendo possuir inúmeras variações; pseudocilíndricas, com uma forma cilíndrica, mas estreita na base e alargada no topo; e as estratiformes, que mostram laminações irregulares ou com pequenos “domos”, dando uma aparência de “domos e bacias”.

Figura 17: Feições morfológicas de diversos estromatólitos.



Fonte: SRIVASTAVA, 2004, p. 173

Figura 18: As feições morfológicas e laminações internas de alguns estromatólitos estratiformes.



Fonte: Srivastava. 2004.

Para a caracterização da estrutura dos estromatólitos presentes no MCN, foi usado também a tabela de macroestrutura para identificação de estromatólitos do trabalho de Sallun Filho (1999, p. 30) que foi adaptada por Fairchild (FIGURA 12; FIGURA 13). A classificação é dividida em morfotipos e ramificação, apresentando várias estruturas com diferentes níveis onde podem ser identificadas em um estromatólito, como por exemplo: atitude, desde normal até recumbada; a proximidade, sendo isolados ou até contíguos; a ramificação dicotômica divergente ou paralela; o perfil laminar; ou o grau de herança laminar.

Ao observar as amostras presentes no museu, é possível identificar diversas morfologias, onde cada amostra possui a sua característica. Para a descrição morfológica, foi utilizada as tabelas das principais feições morfológicas apresentada por Srivastava (2004) (FIGURA 15 e FIGURA 16), comparando então com os estromatólitos expostos no museu que serão descritas posteriormente.

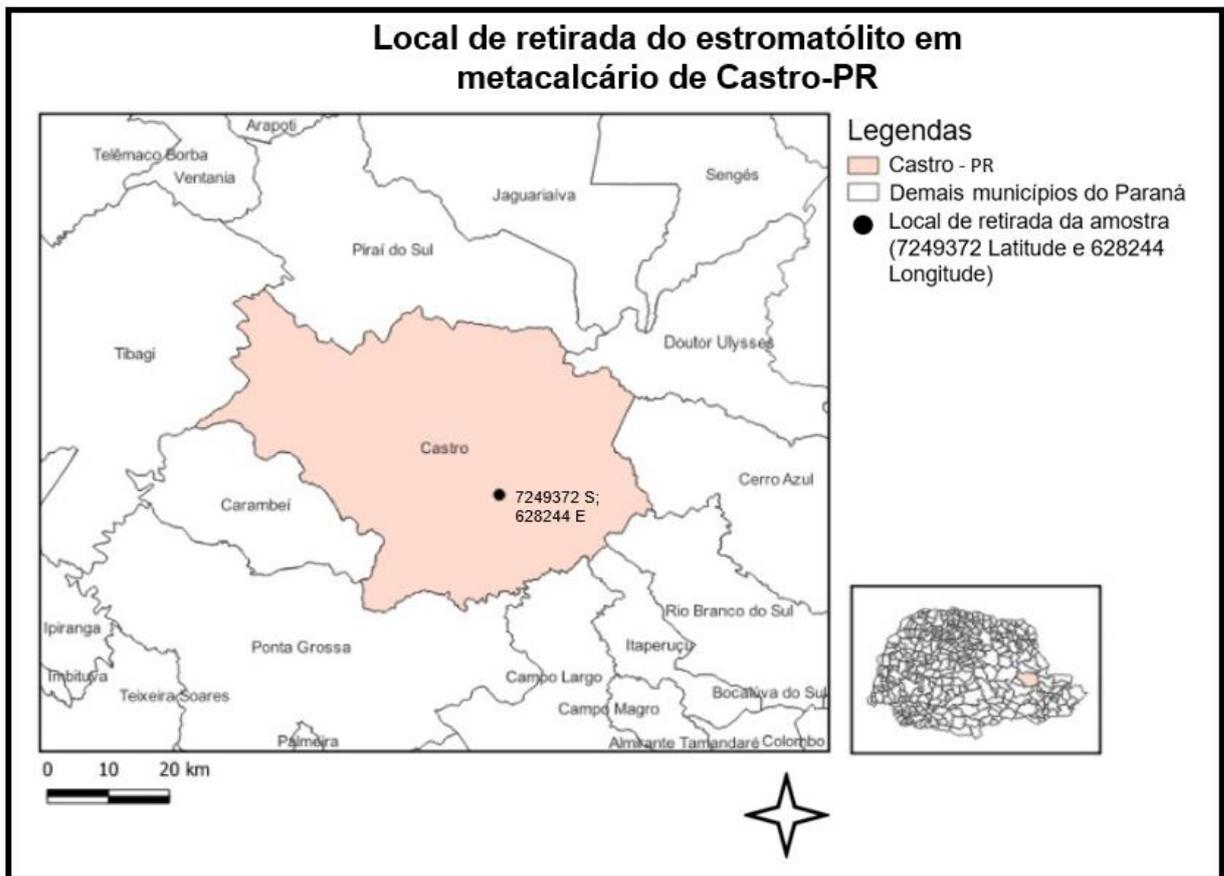
5. RESULTADOS DE DISCUSSÃO

A procedência das amostras permitiu descrever e caracterizar a situação geológica do depósito e como consequência o provável ambiente envolvido em sua gênese. A primeira amostra de estromatólito (Amostra 1) a ser relatada na pesquisa foi encontrada preservada em metacalcário na região de Castro - PR. Conforme informações do coordenador do museu, não se tem precisão do local de procedência desta amostra.

Segundo o organizador, o estromatólito foi coletado há cerca de 15 anos por um geólogo que o doou para a universidade. Ela pertence ao Grupo Itaiacoca que é calculado ter cerca de 1,1 bilhão de anos, sendo então possivelmente do final do Mesoproterozoico e final do Neoproterozoico. Possui uma tridimensionalidade na sua estrutura preservada em metacalcário que permite a identificação do conjunto de estromatólitos que sofreu um baixo grau de metamorfismo. A sua provável localização está entre as coordenadas 7249372 Latitude e 628244 Longitude (FIGURA 17) dispostas sem precisão. Acredita-se que a mesma seja adjacente a mineradoras da região do Socavão na cidade de Castro.

A folha geológica de Telêmaco Borba permite vislumbrar a área de provável procedência da amostra no que corresponderia a formação Itaiacoca como constituída de: Mármore dolomíticos e metadolomitos, com intercalações de *metacherts* e metacalcários calcíticos cinzas (PARANÁ, 2006).

Figura 19: Localização de onde foi retirado a amostra de estromatólito em metacalcário exposta no MCN



Fonte: Antunes, 2023

A antiga Formação Itaiacoca (agora Grupo Itaiacoca) está localizada na faixa de dobramentos homômina que se estende NE-SW, desde a região de Guapiara e Itapeva em São Paulo, até Itaiacoca no Paraná (SALLUN FILHO; FAIRCHILD, 2004, p. 360), chegando a 200 km de extensão e 20 Km de largura (SALLUN FILHO, 2010, p. 04). Neto (1994, p 05) em seu trabalho afirma que a Faixa Itaiacoca engloba todas as rochas compreendidas entre os complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, inclusive diversas unidades estratigráficas e tectônicas. Segundo

Caltabeloti (2011, p. 25), o grupo apresenta uma sequência de rochas metavulcanossedimentares de baixo grau metamórfico que são afetadas por zonas de cisalhamento e falhas dúcteis e rúpteis, além de intrusões graníticas associadas aos pútons da Suíte Intrusiva Cunhaporanga. Neto (1994, p. 39) afirma que nas diferentes localidades do Grupo Itaiacoca ocorrem mármore estromatolíticos, e essas estruturas estão associadas a um fino bandamento composicional irregular, predominante em certas regiões, caracterizados como esteiras algais. O Grupo Itaiacoca passou por quatro episódios metamórficos e dentre esses processos, um deles é o metamorfismo regional (Szabó *et al.*, 2006, p.16). Mesmo assim, como afirma Szabó *et al.* (2006. p. 16):

“os metadolomitos puros não apresentam registros do metamorfismo regional, tendo preservado sua granulação submilimétrica, composição predominantemente dolomítica, coloração cinza pela presença de pequenas quantidades de matéria orgânica, além de estruturas sedimentares primárias, de difícil identificação em superfícies não intemperizadas, raros leitos arenosos quartzosos, em geral descontínuos e complexamente deformados, estruturas estromatolíticas e esteiras algais, oóides com delicados detalhes internos bem preservados. (SZABÓ *et al.*, 2006. P. 16)”

Segundo o autor, o Grupo Itaiacoca apresenta diversas propostas de arranjo estratigráficos. A partir de dados geocronológicos U-Pb (método de datação geocronológica absoluta baseado na desintegração radioativa de dois isótopos de U (^{235}U e ^{238}U)), na região paranaense de Abapã e Socavão, local de provável procedência da amostra de estromatólito em metacalcário, foram definidas o empilhamento estratigráfico deste grupo em duas grandes unidades estratigráficas: uma sequência basal de rochas metacarbonáticas e metapelitos, de idades associadas ao final do mesoproterozoico e início do neoproterozoico; e uma sequência superior de rochas metavulcanoclásticas, metarenitos arcoseanos e metapelitos do final do Neoproterozoico.

Neto (1994, p.19) descreve as rochas do Grupo Itaiacoca como:

“Rochas que foram intrudidas por um intenso magmatismo ácido, representado pelas rochas gnáissicas, graníticas e riolíticas, que constituem os complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos. Essas rochas cortaram indiscriminadamente as rochas metassedimentares e metavulcânicas do Grupo Itaiacoca, ocasionando injeções quartzofeldspáticas e metamorfismo de contato.” (NETO, 1994, p. 19)

Segundo o autor, o Grupo Itaiacoca abrange 4 grandes formações, como mostra o quadro 5.

Quadro 5: Principais formações do Grupo Itaiacoca.

Grupo Itaiacoca	Formação Bairro dos Campos	Metadolomitos de plataforma carbonática, com termos impuros: filitos e metarenitos.
	Formação Serra dos Macacos	Quartzitos, com termos pelíticos arenosos: sericita filitos e quartzo filitos.
	Formação Água Clara	Metapelitos-carbonáticos (cálcio-silicatadas) de plataforma continental
	Formação Abapã	Metarenitos e metarenitos feldspáticos com intercalação de meta-vulcânicas e metavulcanoclásticas.

Fonte: Neto, 1994.

Primeiro, a Formação Abapã é constituída, segundo Neto (1994, p. 23), principalmente por rochas metareno feldspáticas, com intercalações de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas, limitadas entre os mármore da Formação Bairro dos Campos e o Complexo Cunhaporanga. O autor define a região, segundo a coluna estratigráfica genérica e esquemática, como uma região rica em rochas metavulcânicas, podendo-se verificar a intercalação de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas nos metarenitos feldspáticos, além de níveis de metaconglomerados. Além disso, os contatos entre os arenitos, vulcânicas e vulcanoclásticas encontram-se geralmente mascarados por um manto de intemperismo.

Neto (1994, p. 38) define a Formação Bairro dos Campos do Grupo Itaiacoca como uma sequência metaclasto-química, constituída essencialmente por mármore dolomíticos e por metapelitos e metapsamitos intercalados nas rochas metabásicas. Na região de Itaiacoca, Abapã e Socavão (Município de Castro-PR) abrange duas faixas de mármore da Formação Bairro dos Campos, intercaladas pela faixa de rochas metavulcano-sedimentares definidas como Formação Abapã. Caltabeloti

(2011, p. 39) descreve que nos mármoreos da Formação Bairro dos Campos a sua estrutura é geralmente maciça e homogênea, porém em alguns afloramentos é possível observar um bandamento com níveis de cor variada que sugerem uma provável estratificação sedimentar, onde em algumas estruturas é possível a observação de estromatólitos colunares.

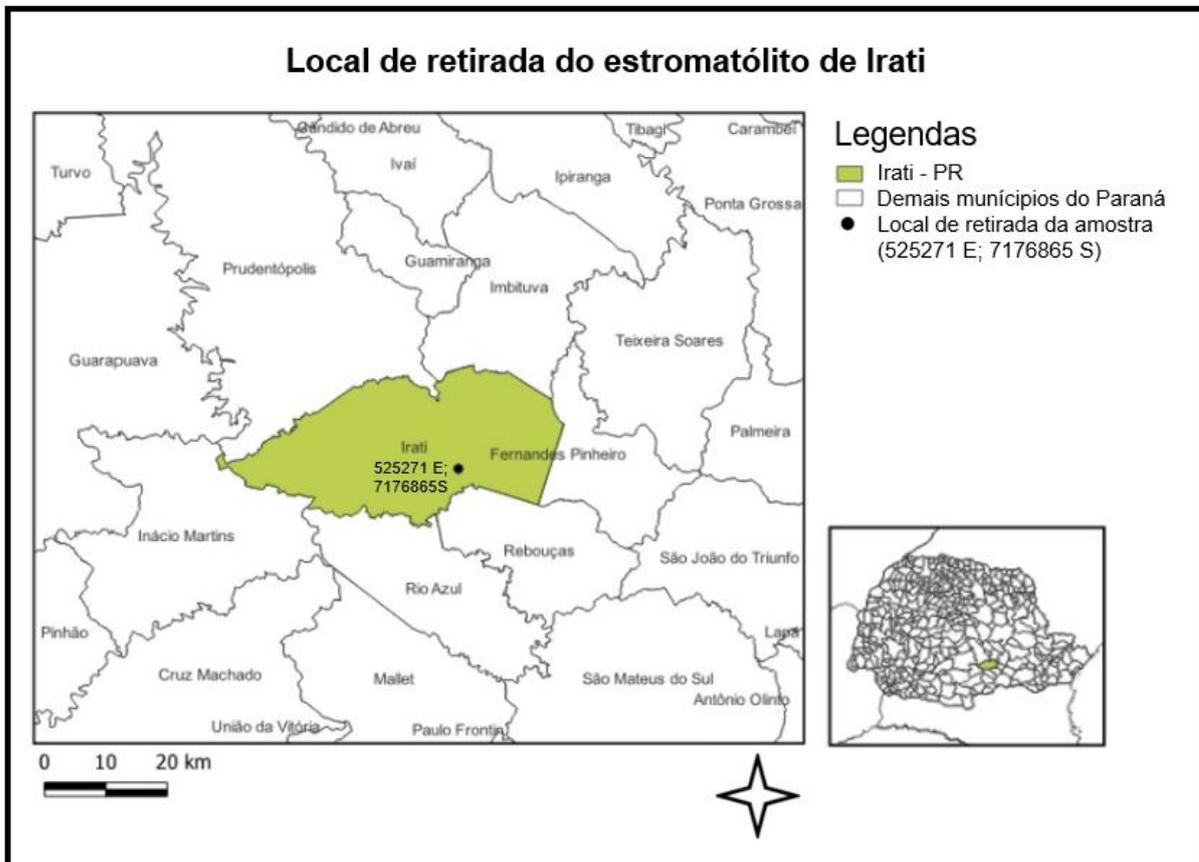
A Formação Água Clara é constituída por rochas cálcio-silicásticas (metamargas), xistos e anfibolitos com metamorfismo de grau médio, que se encontram entre a Falha de Itapirupã e o Complexo Três Córregos (NETO, 1994, p.50). Para o autor, as similaridades litológicas, petrográficas, estruturais e metamórficas permitem admitir a existência de correlação entre essas rochas e os metapelitos carbonáticos.

Por último, o autor descreve a Formação Serra dos Macacos, que pode ser correlacionada a uma sequência de rochas quartzosas, aflorantes na região da Serra do Amola Faca, próximo à Hercul do Xaxim. Na classificação de Neto (1994) os estromatólitos poderiam estar presentes tanto na Formação Águas Claras como na Formação Bairro dos Campos.

Almeida (1957 *apud* SALLUN FILHO, 1999, P. 35) descreveu ocorrências de estromatólitos próximos ao local onde foi recolhido o estromatólito em metacalcário do MCN, na região de Abapã, Socavão e Varzeão. Neste mesmo trabalho, descreveu estromatólitos muito deformados a SE de Abapã, na região de Erval, hoje atribuídos à Formação Água Clara (ALMEIDA, 1957 *apud* SALLUN FILHO, 1999). Assim sugere-se que os estromatólitos de Castro possam pertencer a esta formação.

A segunda amostra provinda de Irati foi encontrada na Pedreira Rio Corrente, local rico em fósseis (FIGURA 18). O exemplar pertence a Formação Teresina do Grupo Passa Dois, retratada como do período Permiano, da Era Paleozóica, do Éon Fanerozoico. Por pertencer ao Permiano, estima-se que o icnofóssil possui entre os 250 milhões e 298 milhões de anos.

Figura 20: Local de retirada da amostra de Irati.



Fonte: Antunes, 2023.

A Formação Teresina, pertencente ao Grupo Passa Dois, é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, intercalados com arenitos muito finos, que podem apresentar conchas de moluscos bivalves (MEGLHIORATTI, 2006, P. 100), cinza-claros (ROISENBERG *et al.*, 2008, p. 17). Essa formação, segundo os autores, apresenta o registro de fósseis de plantas e palonormorfos, que o colocam no Permiano Superior, no andar Tatariano. Hinrichs (2015, p. 21) afirma que a Formação Teresina e seus depósitos neríticos e costeiros marcam uma forte continentalização da Bacia do Paraná.

A Formação Teresina é dentre as formações permianas onde há lenhos fósseis que possui menos registros (FARIA, 2013, p. 5). O autor também afirma que existe uma grande diversidade paleoflorística na região. Nos afloramentos da Formação Teresina, o que se destaca é a típica Flora de Glossopteris, que caracteriza o registro paleobotânico do Permiano do Gondwana possui como um importante componente

os lenhos fósseis coniferóides (havia outras linhagens de lignófitas que não as Coniferales, como as Cordaitales e as próprias glossopterídeas) (FARIA, 2013, p.1). Faria (2013, p.58) afirma que Flora se destaca também pelo desenvolvimento de uma vegetação lenhosa dominada por licófitas, monilófitas e lignófitas.

Liccardo *et al.* (2018) afirmam que a região é composta por importantes registros fossilíferos que são presentes nas rochas sedimentares, entre eles o *Mesosaurus brasiliensis* que foi uma das evidências apontadas da separação dos continentes, além de estromatólitos preservados em calcário.

Basso *et al.* (2018, p. 275) afirma que:

“Este intervalo litoestratigráfico do Grupo Passa Dois consiste de uma seção síltico-argilosa de cor cinza-claro a cinza-esverdeado, às vezes escura, que apresenta laminações *flaser* e intercalações de camadas calcárias e eventuais coquinas. As características litológicas e estruturais apontam uma transição para um ambiente raso e agitado de planície de maré, já no Permiano Superior. Os solos residuais resultantes das rochas desta formação em Irati variam de maduros a jovens, atingindo até 5m de espessura, normalmente com a presença de solo orgânico na porção superior.”

Para Meglhioratti (2006, P. 100), a Formação Teresina apresenta um grande corpo arenoso que pode se aproximar dos 10 metros de espessura na sua porção inferior. O autor afirma que, com a análise de alguns fósseis da formação, há a sugestão de oscilações na salinidade da água devido ao encontro de oogônios de carófitas em alguns níveis, que sugerem a existência de água doce, em outros, diversas ocorrências de estromatólitos, tanto *in situ* como retrabalhados que, por conta da hipersalinidade, evidenciam condições ecológicas estressantes.

Meglhioratti (2006, p.80) afirma que os estromatólitos *in situ* que são encontrados na Formação Teresina apresentam uma forma de sino invertido e colunas finamente ramificadas. Eles são um tipo de ocorrência que sugere a existência de um ambiente de água pouco agitadas, limpas, além de um substrato endurecido.

Nesta formação, para Meglhioratti (2006, p.101), predomina litologias pelíticas, porém, a proporção de siltitos e argilitos é pequena em relação às rochas heterolíticas finas com acamamento *wavy/lenticular*, sugerindo então a influência muito frequente de ondas de tempestade na sedimentação, em águas relativamente rasas, de fundo quase sempre oxigenado, o que permitiu a proliferação de vida bentônica.

Os carbonatos da Formação Teresina ocorrem secundariamente, mais abundantes em certos intervalos, principalmente nas partes média e superior da unidade (NG, 2010, p. 6).

É comum na formação Teresina a existência de estruturas do tipo gretas de contração e marcas onduladas indicando condições de fluxo produzido por ondas, em ambiente marinho raso (BASSO, 2017, p.64), e são nessas estruturas que são possíveis observar estruturas de estromatólitos e conchas de bivalves.

Quanto a terceira e última amostra, a única informação que se tem conhecimento é que ela foi encontrada no estado de Minas Gerais, na região pertencente ao Grupo Bambuí. O Grupo Bambuí corresponde a uma espessa sucessão carbonática, depositada durante o Neoproterozoico, que cobre toda a Bacia do São Francisco (VIEIRA, 2007, p.32). A autora afirma que o registro dessa sedimentação carbonática se estende aos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, onde adota-se a denominação Formação Salitre para os carbonatos. Lima *et al.* (2007, p. 205) afirma que o Grupo Bambuí se constitui em uma unidade estratigráfica formada por litofácies siliciclásticas e carbonáticas, depositadas sobre uma plataforma marinha epicontinental, no final do Neoproterozoico. Segundo Dardenne (1978 *apud* LIMA *et al.*, 2007, p. 205) o Grupo Bambuí é constituído por seis formações, a saber: Formação Jequitaí, Formação Sete Lagoas, Formação Serra de Santa Helena, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra da Saudade e Formação Três Marias.

Segundo Kuchenbecker e Soares (2010, p. 47), no Grupo Bambuí, predominam rochas sedimentares neoproterozóicas, ocorrendo subordinadamente rochas sedimentares e ígneas de idade cretácica, além de coberturas cenozóicas. As Formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade, reunidas no Subgrupo Paraopeba descritas em RADAMBRASIL (1982 *apud* KUCHENBECKER E SOARES), constituem depósitos carbonáticos e pelíticos de origem marinha, que são sobrepostos pelos depósitos areno-arcosianos plataformais da Formação Três Marias.

A Formação Jaquetaí é constituída predominantemente por diamictitos maciços e estratificados com matriz areno-argilosa e seixos, blocos e grânulos dispersos de gnaiss, granitos, quartzitos, metassiltitos e calcários (UHLEIN; TROMPETTE E SILVA, 1995, p. 102).

Kuchenbecker e Soares (2010, p. 48) descrevem a Formação Serra de Santa Helena como a unidade que apresenta raríssimos afloramentos, uma vez que a maior parte da sua área de abrangência encontra-se coberta por depósitos coluvionares cenozoicos, onde são cultivados extensos canaviais. Junto a isso, os autores afirmam que o litotipo principal é um pelito, que ocorre invariavelmente alterado, em colorações que variam do bege ao laranja claro.

A Formação Serra da Saudade é caracterizada por um extenso pacote pelítico com raras intercalações arenosas (KUCHENBECKER E SOARES, 2010, p. 49). Iglesias e Uhlein (2009, p.263) descrevem essa unidade como composta por sucessão de siltitos, siltitos argilosos e folhelhos de cor esverdeada finamente laminando. Acrescentam também que estudos petrográficos mostram que a laminação obedece a alternância milimétrica de níveis sílticos ricos em grãos de quartzo e níveis argilosos.

A Formação Lagos do Jacaré, segundo Iglesias e Uhlein (2009, p. 261), é onde identificou-se estrutura estromatolítica do tipo colunar, nos calcários desta unidade, nas proximidades de São João da Ponte. Os autores afirmam que esta unidade apresenta a maior distribuição dentre as formações do Grupo e é composta por calcários, que apresentam estratos paralelos, com espessura média compreendida entre 10 e 20 cm, geralmente separados por pequenas superfícies onduladas (IGLESIAS E UHLEIN, 2009, p. 261).

Lopes (1995, p. 71) realizou estudos da faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí, onde descreveu estromatólitos dolomíticos com elementos dômicos de pequeno porte, que são frequentemente contíguos, mas podem apresentar espaçamento centimétrico. Os estromatólitos estudados por Lopes são fortemente dolomitizados, mas em lâmina delgada ainda são visíveis delgados níveis micríticos, contínuos, alternados com níveis espessos, de cor mais clara que contém vestígios de aloquímicos (LOPES, 1995, p. 71).

Segundo Vieira (2007, p. 69), no final do Proterozoico, a Formação Sete Lagoas foi depositada em uma rampa carbonática dominada por tempestade, dividida em ambientes de rampa interior, média e exterior. A autora afirma que esse sistema de rampa compreende dois ciclos retrogradacionais-progradacionais que registram a interação entre taxas de subsidência, oscilação eustática e deposição carbonática, caracterizando as duas sequências estratigráficas (VIEIRA, 2007 p. 69), além de uma

terceira sequência, siliclástica. Segundo a autora, é na sequência 2 onde Trato Transgressivo é caracterizado por ritimitos pelito-calcilutito de rampa externa, que passam para um Trato de Mar Alto composto por depósitos de rampa média influenciada por ondas e rampa interna com estromatólitos no topo da sucessão (VIEIRA, 2007 p. 69). Além disso, A Formação Sete Lagoas apresenta características litológicas: Calcários dolomíticos e calcários cinza finamente laminados, microcristalinos. Dolomitos beges litográficos, laminados com intraclastos, oólitos e estromatólitos colunares. (BAPTISTA, 2020, p. 8)

Pelas características descritas da formação sugere-se que a amostra provinda de Minas deva pertencer a Formação Lagos do Jacaré ou Formação Sete Lagoas, no entanto são necessários trabalhos estratigráficos comparativos para a confirmação.

As amostras de Castro e Minas Gerais apresentam um ambiente de deposição e situação muito semelhantes provindas do Embasamento Cristalino, com ambientes marinhos que foram posteriormente afetados por vários eventos que promoveram o metamorfismo perceptível nas amostras.

Já a situação descrita do fragmento de Irati disposto dentro da Bacia sedimentar do Paraná, apresenta características mais próximas as condições atuais dos estromatólitos (ver seção 2.2 a respeito dos estromatólitos atuais) como ambientes de hipersalinidade, mar raso com oxigenação e uma flora e fauna mais abundante.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE CASTRO)

Srivastava (2004) no capítulo do livro Estromatólitos, organizado por Ismar Carvalho, coloca que os estromatólitos ocorrem em forma de colunas, nódulos ou planares. A amostra de Castro apresenta colunas com feições estratiformes, que mostram laminações irregulares com aparência de “domos”.

Os estromatólitos estratiformes podem apresentar feições morfológicas e laminações internas, do tipo *Stratifera*, *Conistratife*, *Paniscollenia* (FIGURA 19) e *Asperia*. O exemplar descrito possui características de *Paniscollenia*.

Figura 21: Comparação da amostra de Castro com a feição morfológica “Paniscollenia”



Fonte: Srivastava (2004) e Hornes (2022)

Com relação a ramificações há dificuldades para observação das mesmas pois na amostra não é perceptível uma lateralidade contínua dos estromatólitos e de estratos que aparentam ramificações. Para verificação desta situação seria pertinente um corte transversal, no entanto isto não foi possível dada a raridade do exemplar, mas sugere-se a utilização de análises microscópicas para aprimoramento da caracterização.

Comparando o pacote de icnofósseis ao guia para classificação de estromatólitos realizado por Fairchild de forma inédita e adaptado de Grey, 1989 *apud* Sallun Filho (1999). A amostra apresenta semelhança com modelo de ocorrência subsférico a lateralidade parece descontínua com aparência que se assemelha a bulbosa. O contorno da planta apresenta-se equidimensional arredondado. Perfil laminar possui características que aparentam ser concêntricas (FIGURA 20).

Figura 22: Prováveis estruturas laminares concêntricas



Fonte: Hornes. 2023

Ao observar a amostra do trabalho de Sallun Filho (2004) (FIGURA 21), torna-se possível identificar semelhanças entre os estromatólitos em metacalcário e os estromatólitos retirados da Pedreira Lavrinhas, a leste da estrada Itapeva-Ribeirão Branco, que são estromatólitos metadolomíticos estratificados e pertencem ao Grupo Itaiacoca.

A amostra de Sallun Filho (1999) apresentada na figura 21 possui um corte transversal de uma grande coluna com contorno elíptico. As semelhanças estão presentes no metamorfismo que ambas sofreram. coloração clara, com detalhes com manchas amareladas e cinza, como fica possível observar nas marcações (FIGURA 21). A amostra de Castro não apresenta muitas tonalidades de cinza.

Figura 23: Comparação entre o estromatólito presente no MCN (face I) e o estromatólito do trabalho de Sallun Filho (1999).



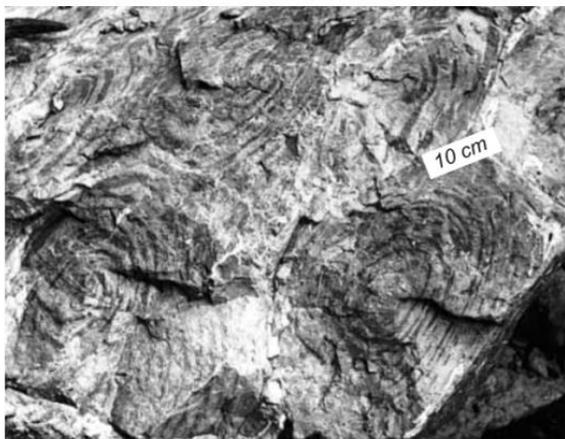
Autores: Sallun Filho e Fairchild (2004)



Autora: Hornes (2022)

Nos exemplares de Castro é perceptível a visualização de estruturas de crescimento do estromatólito ao compará-la ao guia de macroestrutura para identificação de estromatólitos do trabalho Fairchild de forma inédita (*apud* SALLUN FILHO, 1999, p. 30) que foi adaptada por Fairchild. Na amostra é possível verificar contornos de planta arredondados e contíguos “lembrando cogumelos distanciados” que se assemelham a amostra descrita por Sallun Filho e Fairchild (2004) (FIGURA 22).

Figura 24: Comparação do perfil laminar.



Autores: Sallun Filho e Fairchild (2004)



Autora: Hornes (2023)

Na figura a seguir (FIGURA 23), é possível identificar que o estromatólito apresenta uma cor esbranquiçada, com deformações. A amostra apresenta um conjunto de estromatólitos de maneira aglomerada com o formato arredondado apresentando formas convexas.

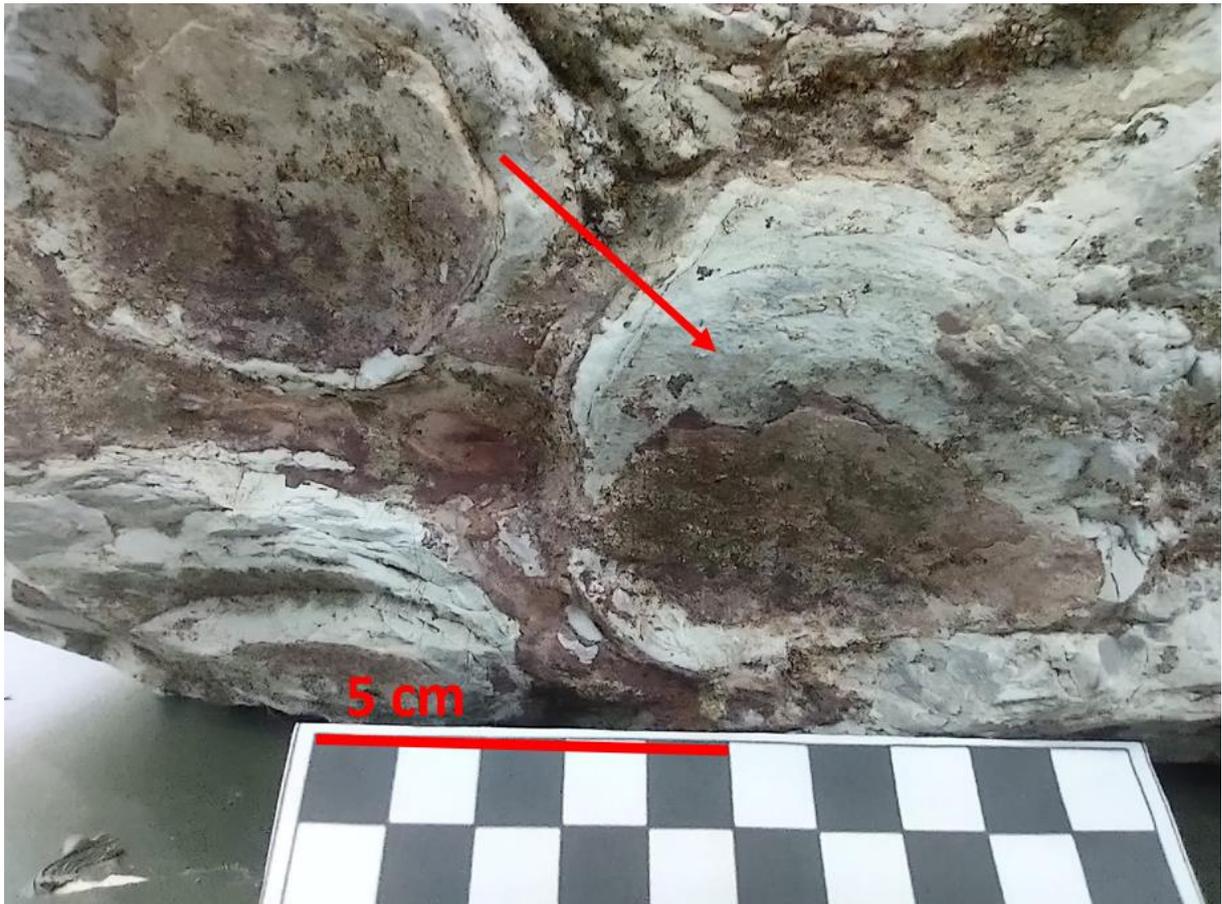
Figura 25: Estromatólito em metacalcário de Castro (face I).



Fonte: Hornes. 2022.

Na próxima imagem (FIGURA 24) é possível observar na parte interior contornos de formas de antigos estromatólitos que aparentemente acabaram se fragmentando do bloco. Os contornos se apresentam de forma moderadamente convexa. Ao invés de se assemelhar mais à uma coluna, devido a sua forma moderadamente convexa, ela se apresenta a um formato de domo.

Figura 26: Estromatólito em metacalcário de Castro (face II)



Fonte: Antunes. 2022.

Dado à sua forma dômica como observado nas figuras, o seu ambiente de formação foi possivelmente em região de águas rasas, como é possível observar na figura 8 de variação de formas de estromatólitos em ambiente de rampa, segundo Grotzinger (1989 *apud* SALLUN FILHO, 1999, p. 19). Devido à necessidade de luz por parte dos estromatólitos, pode-se especular que além de rasas, o seu local de deposição pode apresentar indícios de ambientes de águas limpas e claras por um determinado período para que os mesmos apresentassem crescimento.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE IRATI)

A segunda amostra a ser analisada morfologicamente foi a amostra de Irati, exposta na parte externa do museu, onde encontra-se preservada em calcário, sem

metamorfismo, com preenchimento de calcita (FIGURA 25). O bloco onde estão dispostos os estromatólitos aparentemente possui intercalações de uma colônia de fósseis de outros invertebrados que se apresentam na parte média e no topo da amostra, incrustados de sílex em sua maior parte (FIGURA 25). A amostra possui cerca de 70 cm de comprimento e 30 cm de largura.

Figura 27: Amostra de Irati – Formação Teresina



Autora: Hornes (2022)

Figura 28: A - Cristais de Calcita – B Substituição por Sílex

A



B



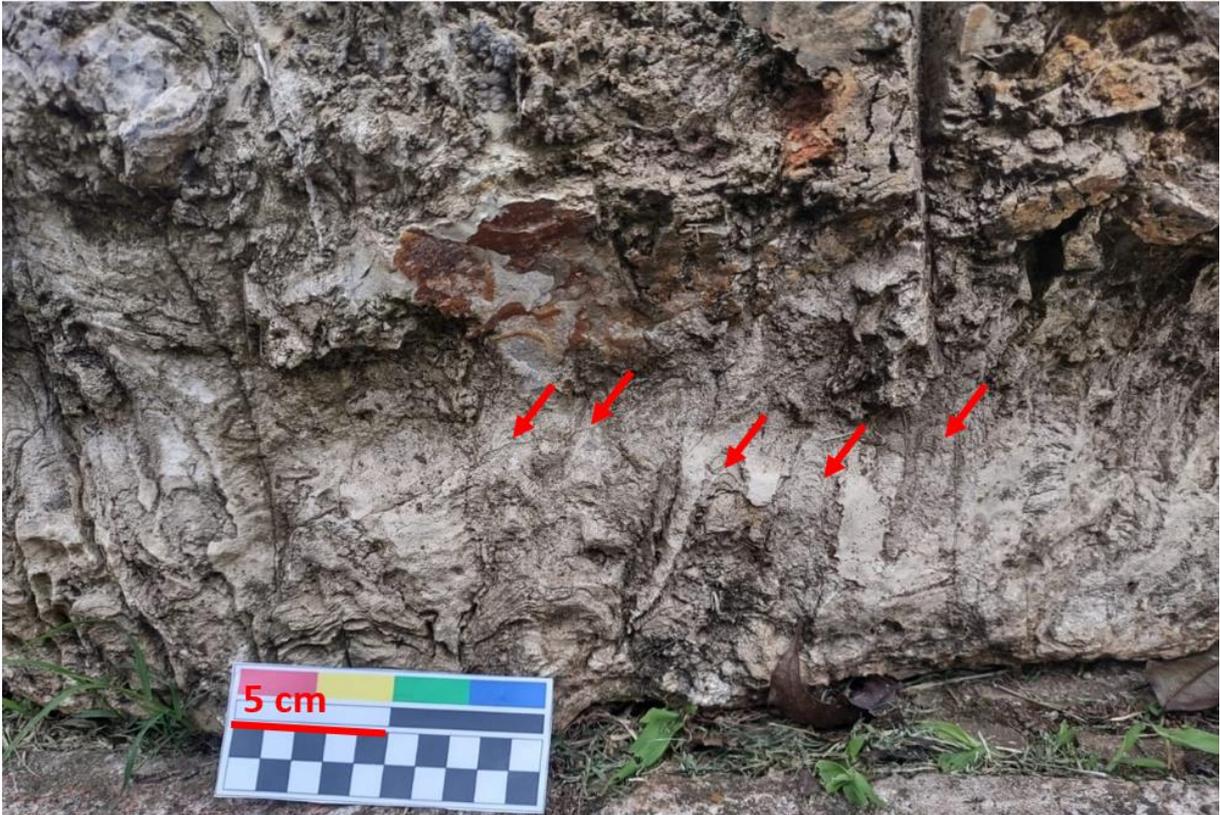
Fonte: Hornes. 2023.

Se comparado com a amostra de estromatólito em metacalcário do Grupo Itaiacoca, o estromatólito de Irati é um icnofóssil muito mais recente, podendo apresentar uma diferença de idade de 300 milhões de anos aproximadamente. Neves *et al.* (2011) acrescenta que a Formação Teresina é rica em conteúdo fossilífero e aponta registros de bivalves e biolitos estromatolíticos. Esta afirmativa permite inferir que os estromatólitos da Formação Teresina estavam em um ambiente mais competitivo quando comparado a situação ambiental do Proterozoico.

Na figura 27, pode-se observar o contorno de um conjunto de estromatólitos. Alguns permitem identificar colunas paralelas, no entanto, não é possível averiguar se o estromatólito estava fixado em um substrato. Callefo (2014) como descrito na fundamentação do trabalho, aponta que estromatólitos estão justapostos sobre um substrato inicial. A amostra de Irati estava desagregada do afloramento e nela não é possível identificar o substrato base para o crescimento do estromatólito.

Na área inferior (FIGURA 27), nos pontos marcados com flechas, é possível visualizar estratos em forma de cones onde as colunas ficam evidentes. De acordo com a classificação de Srivastava (2004), a feição mais próxima a esta forma é denominada de *Conophyton*. Os estromatólitos na imagem destacados apresentam possíveis ramificações dicômicas, com atitude normal, encontrando-se próximo uma da outra, de acordo com a classificação de estromatólito de Fairchild (*apud* SALLUN FILHO, 1999).

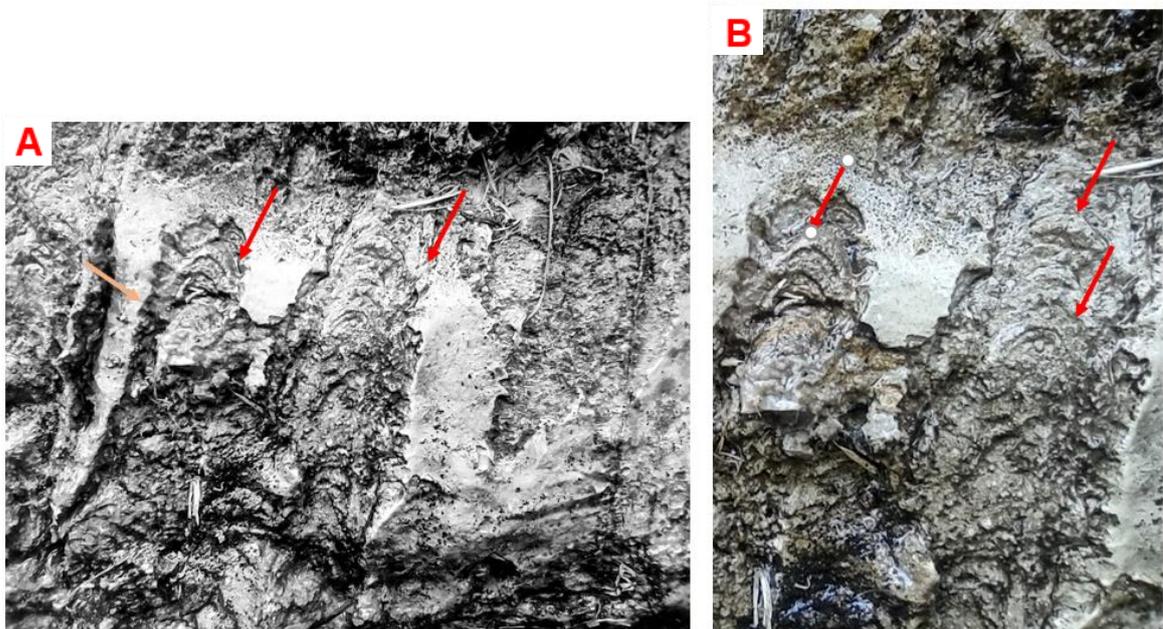
Figura 29: Estromatólito de Irati (face II)



Fonte: Hornes. 2022.

Ao comparar as amostras ao guia para classificação de estromatólitos realizado por Fairchild adaptado de Grey, 1989 *apud* Sallun Filho (1999) pode-se sugerir que alguns iconofósseis melhor preservados na parte inferior apresentam colunas cilíndricas descontínuas em base, mas ramificadas no topo. A ramificação se assemelha com a dicõtoma paralela (FIGURA 28 A). A frequência não pode ser determinada dada a dificuldade de visualização de mais exemplares. A ornamentação marginal fica mais próxima a forma de costelas. O perfil laminar lembra o parabólico. O grau de herança laminar e estrutura laminar marginal não foram detalhados.

Figura 30: A: colunas cilíndricas, descontínuas com base ramificada no topo. Ramificação dicôtoma paralela. Ornamentação marginal de costelas (amarelo). B: perfil laminar parabólico.



Fonte: Hornes. 2022.

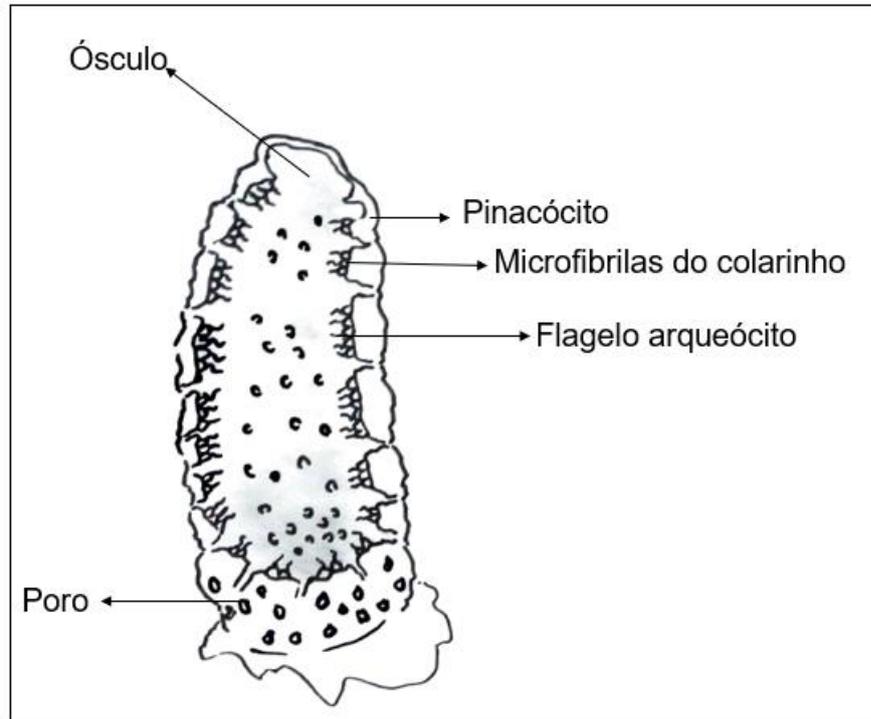
A composição de estromatólitos na base da rocha e a presença do que sugere ser esponjas na área superior aponta para mudança de ambiente. A morfologia *Conophyton*, a qual a presente amostra se assemelha está associada a condições relativamente profundas, uniformes e calmas de mar (SALLUN FILHO, 1999, p. 111).

A formação de poríferos na área superior indica que os mesmos tenham se fixado posteriormente a atividade da colônia dos estromatólitos. A sugestão para o porífero se deu pelas seguintes razões: na literatura consultada não foi encontrado morfologias de estromatólitos semelhantes. Os fragmentos fossilíferos superiores apresentavam colunas com aspecto de tubos levemente inclinadas de aproximadamente 5 a 10 cm, na área superior dessas fica evidente aberturas irregulares que se assemelham ao ósculo de esponjas, que é a maior abertura presente nos poríferos, tratando-se de uma estrutura excretora responsável por eliminar água que passou pelo animal (PLANETA BIOLOGIA, 2023) (FIGURA 29). Alguns exemplares ainda apresentam glóbulos milimétricos semelhantes a poros.

Estruturas porosas apresentam como propriedades principais, massa relativamente baixa, densidade baixa e baixa condutividade térmica, com

permeabilidade variável (FORMANSKI *et al.* 2007, p.42). Na figura a seguir (FIGURA 29) é possível observar a estrutura de uma esponja:

Figura 31: Estrutura de uma esponja



Fonte: Antunes. 2023

Um artigo do Nacional Geographic (HASS, 2021) aponta para os trabalhos da pesquisadora Elizabeth Turner a respeito da possibilidade do encontro de fósseis de esponjas de aproximadamente 890 milhões de anos.

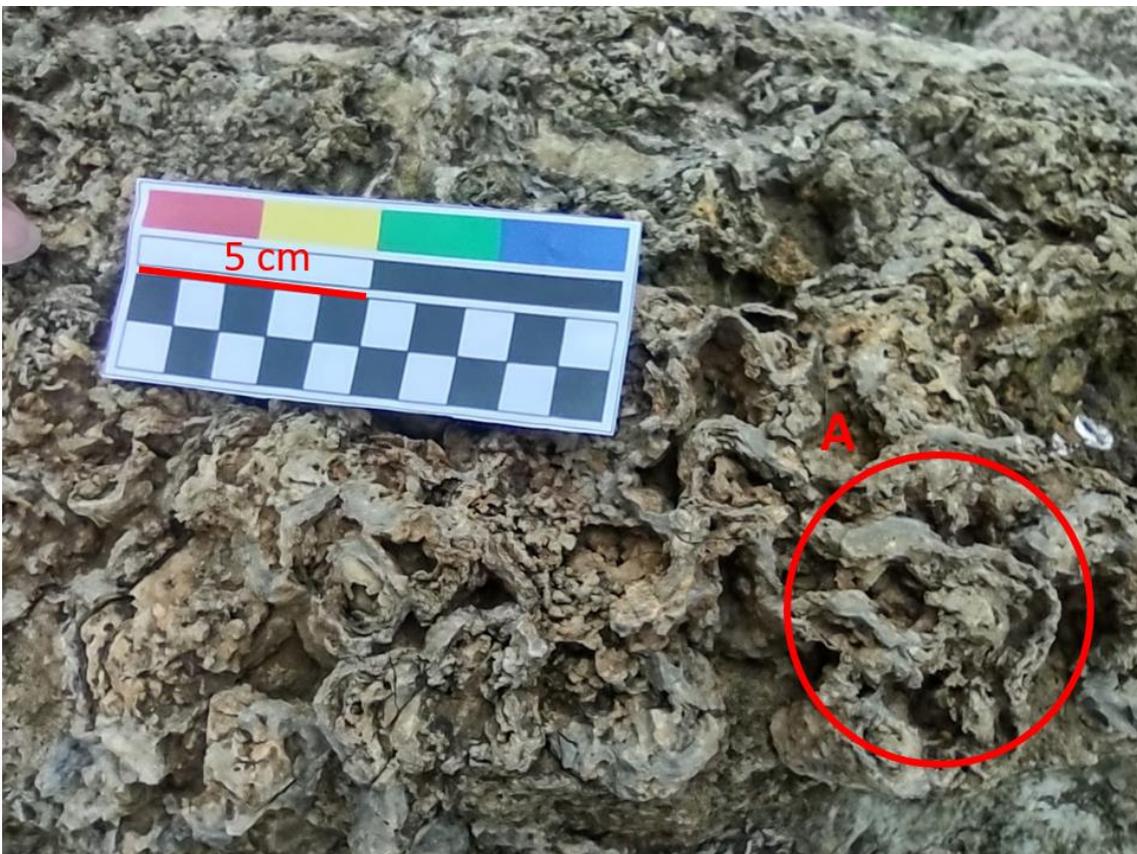
As esponjas-do-mar são responsáveis por filtrarem a água da Terra anteriormente ao aparecimento das primeiras plantas terrestres, Elizabeth observou estruturas incomuns em sua amostra. Elas apresentavam formatos de tubos ramificados em uma teia poligonal tridimensional. Um dos elementos que auxiliou a mesma a diferenciar as esponjas de fósseis de microbialitos, foi a presença de poros. As esponjas e os recifes microbianos crescem em associação. Maya Wei Haas (2021) afirma que:

“A atmosfera da Terra nem sempre foi rica em oxigênio, e a origem das esponjas é anterior ao período em que esse gás propício à vida se tornou

abundante em todo o mar. Mas provavelmente teriam existido os chamados “oásis de oxigênio” em torno de recifes de cianobactérias, onde os micróbios fotossintéticos teriam gerado o oxigênio necessário às esponjas”. (HAAS, 2021)

A amostra provinda de Formação Teresina (FIGURA 30) é muito mais recente do que a detalhada na pesquisa, porém a situação de associação entre os organismos e a presença de poros são elementos que auxiliam na sugestão de sua atuação.

Figura 32: Possíveis poríferos na parte superior do estromatólito de Irati (face I).



Fonte: Hornes. 2022.

Segundo Amaral (1967, p. 5), a formação do sílex singenético pode se formar a partir da dissolução de espículas silicosas de esponja, o que poderia explicar a presença de sílex na amostra. Ng (2010, p. 16), traz em seu trabalho um pouco de descrição da Formação Teresina, com o auxílio de trabalhos de Fairchild *et al* (1991 *apud* Ng, 2010), Rohn (1995 *apud* Ng, 2010) *et al.* e Maranhão (1995 *apud* Ng, 2010),

onde é afirmado que o ambiente da mesma é interpretado com sistema deposicional costeiro de águas rasas, provavelmente zona intermarés, ou simplesmente com condições climáticas secas restringindo o aporte de silicilásticos durante a deposição dos carbonatos. Segundo o autor, na Formação Teresina também aparecem calcarenitos oolíticos, calcilitos e camadas de sílex em meio a rochas finas. Ocorrem peccopterídeas, folhas de licófitas, ostracodes, espículas de esponjas, pequenos pelecípodes e carófitas (NG, 2010, p. 16).

Neves *et al.* (2011) em seu trabalho a respeito de Bivalves na Formação Teresina sugerem que algumas rochas como grainstono, ooides e bivalvíos e o *rudstone* bivalvíos e ooides apresentam elementos condizentes com condições turbulentas, associadas a tempestades que são demarcados por tempestitos. Este padrão de acordo com a autora já foi observado em condições de mares epicontinentais de bacias intracratônicas, com condições de lago ou mar raso variáveis. Há de se destacar que estromatólitos atuais já foram encontrados em lagoas como os estromatólitos presentes na Lagoa Vermelha próximos aos municípios de e Saquarema e Araruama (RJ) (SILVA; CARVALHAL, 2005), reafirmando a possibilidade de existência dos mesmos em tais condições.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTROMATÓLITOS E POSSÍVEL AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO. (AMOSTRA DE MINAS GERAIS)

O terceiro estromatólito a ser analisada foi o de Minas Gerais, conservado em mármore (FIGURA 31). Não se tem muitos detalhes do local de retirada da amostra, mas sabe-se que ela pertence ao Grupo Bambuí, no estado de Minas Gerais, pertencendo então ao Neoproterozoico. A amostra apresenta aproximadamente 50 cm por 50 cm de comprimento. Por ser apenas um fragmento, não foi possível identificar o substrato de sustentação, que auxiliaria na verificação de ramificações. Ela apresenta uma clara forma colunar, onde sua morfologia se assemelha com a *Kussiella* e *Butinella* descritas por Srivastava (2004). Os estromatólitos colunares preservados na amostra possuem uma extensão que pode chegar a aproximadamente 40 cm.

Figura 33: Estromatólito de Minas Gerais.



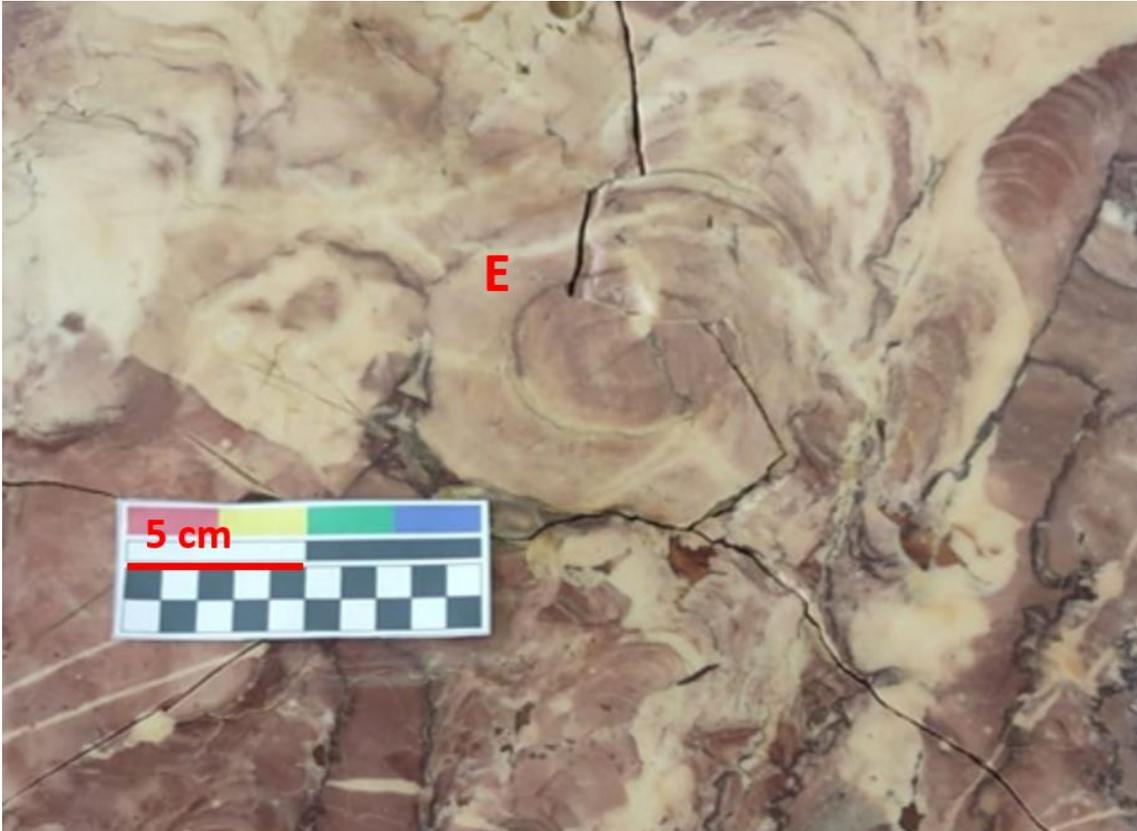
Fonte: Hornes. 2022.

Os estromatólitos do ponto A, B e C apresentam, de acordo com a guia de classificação de estromatólitos presente no trabalho de Sallun Filho (1999) colunas de atitude inclinada para a direita, em uma distância próxima um do outro, com formatos cilíndricos.

Em uma consulta realizada via e-mail com o professor Doutor Gilson Burigo Guimarães do Departamento de Geociências, a respeito da amostra de Minas Gerais o mesmo aponta para um domínio com arranjo em círculos concêntricos. Segundo o entrevistado, esse é um padrão tipicamente indicativo de seções transversais de "edifícios de estromatólitos". O professor segue afirmando que, como na amostra há principalmente estromatólitos colunares, surgem duas opções, assumindo que também sejam estromatólitos. Ou se trata de um ramo, derivado das colunas aqui mencionadas, ou então seria uma porção da rocha que estaria indicando uma

deformação tectônica do conjunto. Neste caso, observa-se as colunas então em colunas rotacionadas em 90° (FIGURA 32).

Figura 34: Arranjo em círculos concêntricos da amostra.



Fonte: Antunes, 2022

A forma alongada e simples demonstra que sua área de deposição foi em águas claras e calmas, devido à necessidade fótica de cianobactérias para sua sobrevivência e formação do estromatólito. O ambiente ainda pode ser marinho sublitorâneo, abaixo do nível de influência das ondas e correntes de maré, águas claras, profundidade moderada, se for da Formação Sete Lagoas, como afirma Baptista (2020, p. 8).

Figura 35: Possível morfologia *Conophyton*.

Fonte: Liccardo. 2023.

Ao observar os locais das setas na figura anterior (FIGURA 33), pode-se observar estromatólitos com uma base mais larga, e um estreitamento ao se direcionar ao topo, formando possíveis formas de cones, se encaixando na morfologia *Conophyton*, de acordo com a classificação de Srivastava (2004). Segundo Darlene (2005 *apud* BAPTISTA, 2020, p. 11), os estromatólitos do tipo *Conophyton*, que surgem em um intervalo entre o Esteniano e o Toniano, foram informalmente usados para separar rochas carbonáticas do Grupo Vazante e Paranoá, onde estão presentes, daquelas do Grupo Bambuí, onde estão ausentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu evidenciar que as amostras expostas no museu de fato apresentam atributos, como estruturas laminares, correspondentes a atividade biossedimentares oriundas de processos microbianos comuns em estruturas estromatolíticas. Destaca-se que um dos predicados a respeito dos estromatólitos é a necessidade de uma superfície de sustentáculo, no entanto nenhuma das amostras permitiu averiguar esta condição. Assim sugere-se cuidados em relação ao detalhamento da procedência e sua disposição em campo, pois este elemento auxilia na compreensão da comunidade estromatolítica.

Após a comparação com literaturas que descreveram estruturas estromatolíticas em formações equivalentes ou próximas ao local de provável origem sugere-se que as amostras de Castro, Irati e Minas Gerais pertençam aos grupos Itaiacoca, Passa Dois e Bambuí, e formações Águas Claras, Teresina e Sete Lagoas, respectivamente. A comparação permitiu confirmar a existência de estromatólitos de diferentes períodos. A primeira (Castro), do final do Mesoproterozoico ao Neoproterozoico, com aproximadamente 1,1 bilhão de anos; a segunda (Irati) com aproximadamente 200 milhões de anos, pertencendo ao Paleozoico e a última (Minas Gerais), do Neoproterozoico, com aproximadamente 635 milhões de anos a 1 bilhão de anos,

No quadro 6 a seguir as amostras encontram-se organizadas por idade, do mais recente ao mais antigo. Destaca-se a necessidade de mais pesquisas e comparações.

Quadro 6: Comparação de idade das amostras.

Amostra	Éon	Era	Idade (Ma)
Amostra de Irati	Fanerozoico	Paleozoico	298.8
Amostra de Minas Gerais	Proterozoico	Neo-proterozoico	635
Amostra de Castro	Proterozoico	Meso-Proterozoico/Neoproterozoico	1200 a 635

Fonte: Antunes, 2023.

A pesquisa tratou os estromatólitos como icnofósseis e não ousou classificar os fósseis da colônia microbiana dada a exigência de outras metodologias, se

dedicando apenas a classificação morfológica dos exemplares. A caracterização morfológica das amostras sugere que as mesmas possuem características colunares exceto a de Castro que apresenta características estratiformes dada a classificação de Srivastava (2004). Esta amostra expõe feições estratiformes, que mostram laminações irregulares com aparência de “domos” que se assemelham a *Paniscollenia* (Castro). Os exemplares da amostra de Irati e de Minas Gerais apresentam uma morfologia colunar com ramificações prováveis e possível associação com as formas de *Conophyton*.

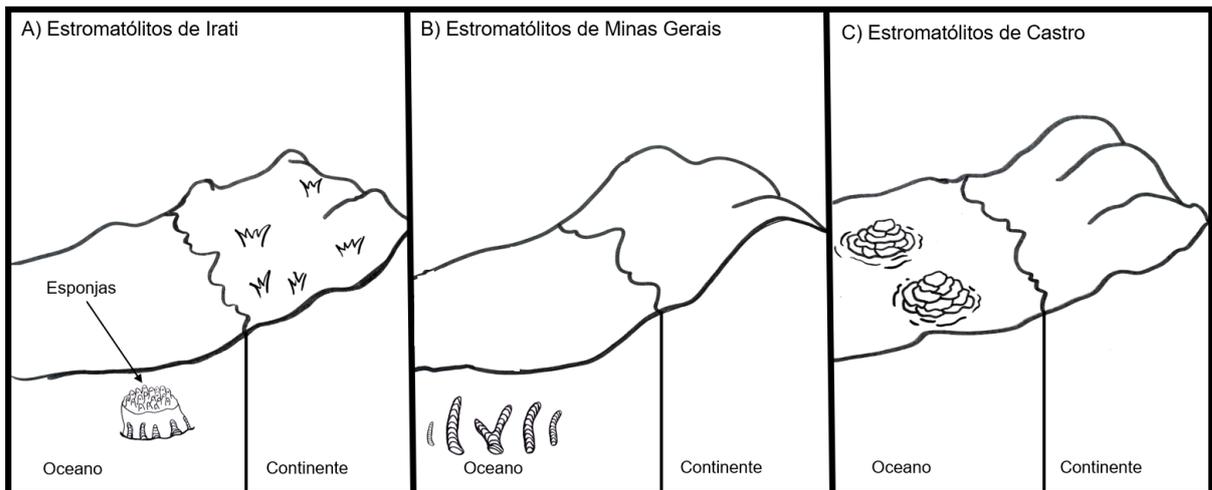
A confrontação com os possíveis locais de procedência dos Grupos geológicos e respectivas formações apontam que o local de deposição dos estromatólitos se localizava em regiões costeiras (FIGURA 34). A identificação destas atividades biológicas com as descrições dos ambientes geológicos de deposição, e disposição geográfica atual da presença destes seres reforçam a afirmativa de que o ambiente marinho seria variável entre mar aberto ou epicontinental. Provavelmente com predomínio de águas claras e calmas, mas que possivelmente tiveram influência de tempestades dadas as evidências de tempestitos nas formações equivalentes à Formação Águas Claras e Formação Sete Lagoas. Não se descreveu como um provável ambiente lagunar apesar de atualmente serem relatadas ocorrências, porque as descrições das formações geológicas não apontaram para esta situação. Esta situação pode ser correlacionada com a disposição das colônias estromatolíticas atuais que se encontram em área de clima tropical onde é comum a atuação de tempestades.

A amostra de Irati apresentou características de uma possível associação entre estromatólitos e esponjas, sendo a única que evidencia uma transição de ambiente ou uma possível associação entre estes organismos. No que se refere a biodiversidade pode-se inferir que as amostras do Proterozoico (Castro – PR, Minas Gerais – MG) possuíam um ambiente muito distinto de competição e condições de vida comparados a amostra de Irati dado inclusive aos registros fossilíferos descritos nos pacotes geológicos correspondentes. O fragmento da Irati provavelmente possuía um ambiente mais competitivo para o desenvolvimento da colônia microbiana.

A literatura sugere existir uma relação entre as formas de estromatólitos, a profundidade marinha e sua posição junta a costa, de acordo com a descrição de Sallun Filho (1999). Assim a seguir apresenta-se um croqui destas posições baseado

nas caracterizações de Sallun Filho (1999) sugerindo um ambiente de águas claras e rasas, Maranhão (1995 *apud* NG, 2010) com águas rasas de intermarés e Baptista (2020) com águas claras e profundidade moderada.

Figura 36: Possível ambiente de formação dos estromatólitos do MCN



Fonte: Antunes, 2023

Além de áreas como a geologia e a paleontologia, o seu estudo pode também contribuir com a educação, com a sua exposição e disponibilização, passando a poder ser considerado patrimônio.

A exposição destas amostras no Museu de Ciências Naturais permite ao visitante reconhecer o patrimônio do Brasil e principalmente do Estado do Paraná. Os estromatólitos são representantes dos seres mais primitivos da Terra tiveram sucesso em seu desenvolvimento pois perduram até os dias atuais. Sua exposição possui um alto valor didática e sugere-se a confecção de materiais didáticos e mais pesquisas para descrever estes microbianos invertebrados que tiveram um papel fundamental na construção do ecossistema do planeta.

REFERÊNCIAS:

ALVES, Siglia Andressa Pinto Monteiro do Nascimento; SILVA, Loreine Hermida da Silva e. Estudo dos estromatólitos biscuit da lagoa Vermelha (Rio de Janeiro – Brasil). **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 24, p. 116-130, dez. 2011.

AMARAL, Sérgio Estanislau do. **Geologia e petrologia da formação Irati (permiano) no estado de São Paulo**. 1967. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Livre Docência da Cadeira de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1967.

Anelli, L.E.; Leme, J.M.; Oliveira, P.E.; Fairchild, T,R. 2020. **Paleontologia**. Guia de aulas práticas, uma introdução ao estudo dos fósseis. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 8a ed., 104p.

ANGONESE, Bruno Silverston. **Estromatólitos siliciclásticos da Formação Caboclo, mesoproterozoico da Chapada Diamantina, BA**. 2021. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

BAPTISTA, Marcos Cristovão. **Fósseis do Grupo Bambuí (Ediacariano) no Norte de Minas Gerais e suas implicações bioestratigráficas e geocronológicas**. 2020. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

BASSO, Luiz Carlos; LICCARDO, Antonio; PIMENTEL, Carla Silvia. A Geodiversidade do Município de Irati, Paraná, e sua inserção no Ensino. **Terra Plural**, Ponta Grossa, v. 12, p. 270-285, ago 2018.

BLACK, Maurice. The Algal sediments of Andros Island, Bahamas. **Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London**, Londres, v. 222, p. 165-192, fev. 1933.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Breve História da Terra**. 2016. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Breve-Historia-da-Terra-1094.html>. Acesso em: 02 jul. 2022.

BRILHA, José. **Patrimônio Geológico e Geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage Editores, 2005.

BURNE, Robert V.; MOORE, Linda S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. **Palaios**, v. 2, n. 3, p. 241, 1987. Society for Sedimentary Geology.

CALTABELOTI, Fabrizio Prior. **Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)**. 2011. 97 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CALLEFO, Flávia. **Análise tafonômica e paleoecológica de estruturas associadas a comunidades microbianas holocênicas e permianas**. 2014. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014

CARNEIRO, Celso dal Ré; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel; ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. A determinação da idade das rochas. **Terra e Didática**, [s. l], v. 1, p. 6-35, 2005.

CARVALHO, Ismar Souza de. **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004. 258 p.

CARVALHO, Ismar de Souza; FERNANDES, Antonio Carlos Sequeira. Icnofósseis. In: CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004. Cap. 10. p. 143-166.

CPRM. **Estromatólito**. 2023. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/index.html>. Acesso em: 24 fev. 2023.

DAMINELI, Augusto; DAMINELI, Daniel Santa Cruz. Origens da vida. **SciELO**, v. 59, p. 263-284, 2007.

FARIA, RAFAEL SOUZA DE. **Lenhos fósseis das Formações Irati e Teresina no estado de São Paulo: novos dados**. 2013. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

FERRIZ, Sergio Cevallos; REYNA, Alfonso Salcido; LEDESMA, Andrés Pelayo. Una Nueva Sección del precámbrico de sonora: los estromatolitos y su importancia en estos estudios. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, Mexico, v. 5, p. 1-16, 1981.

FLORES, Ana Karen Meza. **Propuesta de Educación Ambiental para la Conservación de los estromatolitos de Bacalar, Quintana Roo**. 2018. 51 f. Tese (Doutorado) - Curso de Licença em Manejo de Recursos Naturais, Universidade de Quintana Roo, Mexico, 2018.

FORMANSKI, Guilherme *et al.* Estudo da Confecção de Cerâmicas Celulares pelo Método da Réplica. **Cerâmica Industrial**, v. 12, p. 42-45, dez. 2007.

GUIMARÃES, Sandra B.; REIS NETO, José Manoel dos; SIQUEIRA, Rossano B. L. Caracterização dos Estromatólitos da Formação Capiru (Proterozoico) nas Regiões de Morro Azul e Morro Grande: Leste do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 51, p. 77-88, 2002.

GOLUBIC, S. Calcareous Algae and Stromatolites, Department of Biology. Boston University, 2 Cummington St., Boston, MA 02215, USA R. Riding (ed.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991.

GONÇALVES, Sara Herculano. **Os Estromatólitos e as Origens da Vida**. 2013. Disponível em: <https://geoalmasunibh.blogspot.com/?view=classic>. Acesso em: 03 ago. 2022.

HAAS, Maya Wei. **Fóssil de esponja de 890 milhões de anos pode ser o animal mais antigo já encontrado**. 2021. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2021/08/fossil-de-esponja-de-890-milhoes-de-anos-pode-ser-o-animal-mais-antigo-ja-encontrado>. Acesso em: 28 jan. 2023.

HASUI, Yociteru; CARNEIRO, Celso dal Ré; ALMEIDA, Fernando F. M. de; BARTORELLI, Andrea. **Geologia do Brasil**. Fortaleza: Beca, 2013.

IGLESIAS, Mario; UHLEIN, Alexandre. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, Ponta Grossa, v. 39, p. 256-266, jun. 2009.

KUCHENBECKER, Matheus; PEDROSA-SOARES, Antônio Carlos. O Grupo Bambuí na Folha Luz (SE-23-Y-D-V). **Geonomos**, v. 18, p. 46-52, 2010.

L. H. SILVA E SILVA, *et al.* Estruturas Microbianas Recentes da Lagoa Pernambuco, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio de Janeiro, v. 7, p. 189-192, ago. 2004.

LIMA, Otávio Nunes Borges; UHLEIN, Alexandre; BRITTO, Walter de. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, Ponta Grossa, v. 37, p. 204-215, dez. 2007.

LOPES, Jane Nobre. **Faciologia e Gênese dos Carbonatos do Grupo Bambuí na região de arcos, estado de Minas Gerais**. 1995. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEGLHIORATTI, Thiago. **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**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

NETO, José Manoel dos Reis. **Faixa Itaiacoca**: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no neoproterozoico. 1994. 254 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

NEVES, Jacqueline Peixoto; DAVIES, Rosemarie Rohn; SIMÕES, Marcello Guimarães. Tafonomia de Tempestitos Conchíferos Amalgamados da Formação Teresina em Rio Preto (Estado do Paraná, Permiano Médio, Bacia do Paraná) e suas Implicações Paleoambientais. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, São Paulo, v. 11, p. 131-147, dez. 2011.

NG, Christiano. **Estromatólitos do Grupo Passa Dois, permiano da Bacia do Paraná, norte do estado do Paraná e Sul do estado de São Paulo**. 2010. 84 f. TCC (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

O que é Ósculo – Função e estrutura. 2023. Planeta Biologia. Disponível em: <https://planetabiologia.com/o-que-e-osculo/#:~:text=%C3%93sculo%20%C3%A9%20a%20maior%20abertura,principal%20abertura%20presente%20na%20espongiocela>. Acesso em: 27 jan. 2023.

OSMAN, Jorge R. *et al.* Bacterial and Geochemical Composition of Thrombolites from Lake Sarmiento, Torres del Paine National Park of Chilean Patagonia. **Geomicrobiology Journal**, XX, v. 37, p. 376-388, jan. 2020.

PONCIANO, Luiza Corral Martins de Oliveira *et al.* Patrimônio geológico-paleontológico *in situ* e *ex situ*: definições, vantagens, desvantagens e estratégias de conservação. **Paleontologia: Cenários de Vida**, v. 4, p. 853-869, 2011.

REID, Pamela. **Stromatolites at Little Darby Island**. 2023. Disponível em: <https://bahamasgeotourism.com/entries/stromatolites-at-little-darby-island/f607aeda-fedd-4d78-a7a5-7bff8163cc20>. Acesso em: 14 jan. 2023.

RIDING, Robert. The Nature of Stromatolites: 3,500 million years of history and a century of research. **Advances In Stromatolite Geobiology**, Berlin, p. 29-74, 3 dez. 2011. Springer Berlin Heidelberg.

ROMERO, Guilherme Raffaeli. **Geobiologia de microbialitos do ediacarano da Faixa Paraguai e sul do Craton Amazônico (MS E MT)**: implicações paleoambientais, paleoecológicas e estratigráficas. 2015. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SALLUN FILHO, Willian. **Análise dos estromatólitos do Grupo Itaiacoca (proterozoioco), ao sul de Itapeva, SP**. 1999. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SALLUM FILHO, William; FAIRCHILD, Thomas Rich; FRANÇA, Daniel Rodrigues de. Estromatólitos de Nova Campina e Itapeva, SP: primeiros estromatólitos descritos na América do Sul. **Sigep**, São Paulo, p. 127-141, fev. 2013.

SALLUN FILHO, Willian; FAIRCHILD, Thomas Rich. Um passeio pelo passado no shopping: estromatólitos no Brasil. **Ciência Hoje**, [s. l.], p. 22-29, maio 2005.

SALLUN FILHO, William; FAIRCHILD, Thomas Rich. *Collenia Itapevensis*, o primeiro fóssil pré-cambriano brasileiro e sua importância no estudo de estromatólitos no Brasil. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio de Almeida**, Brasília, v. 3, p. 177-186, jan. 2004.

SALLUN FILHO, William *et al.* Estromatólitos de Nova Campina e Itapeva, SP: registros de vida primitiva com um bilhão de anos. Sítios geológicos e paleontológicos

do Brasil. Tradução. Brasília: CPRM, 2013. v. 3. p. 307-314. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/26b34155-de0a-470d-be8e-b50c1dd94933/2787610.pdf> . Acesso em: 02 jan. 2023.

Shark Bay world heritage. **STROMATOLITES**. 2022. Disponível em: <https://www.sharkbay.org/place/hamelin-pool/stromatolites/> . Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVA, Loreine Hermida da Silva e; CARVALHAL, Sinda Beatriz Vianna. Biolaminóides Calcários Holocênicos da Lagoa Vermelha, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 28, p. 59-70, fev. 2005.

SRIVASTAVA, Narendra Kumar. 2022 Lagoa Salgada, RJ: Estromatólitos recentes. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Ed, 1. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. V.01: 203-209.

SRIVASTAVA, Narendra Kumar. Estromatólitos. In: CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004. Cap. 11. p. 171-191.

SIQUEIROS-BELTRONES, David A.; ARGUMEDO-HERNÁNDEZ, Uri; HERNÁNDEZ-ALMEIDA, Oscar U. Diagnósis prospectiva sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en la laguna Bacalar, Quintana Roo, México. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, [S.L.], v. 84, n. 3, p. 865-875, set. 2013. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

SZABÓ, Gergely Andres Julio *et al.* As Jazidas de Talco no Contexto da História Metamórfica dos Metadolomitos do Grupo Itaiacoca, PR. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 5, p. 13-31, 16 jan. 2006.

UHLEIN, Alexandre; TROMPETTE, Roland; EGYDIO-SILVA, Marcos. Rifteamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton Do São Francisco. **Geonomos**, Ponta Grossa, v. 3, p. 99-107, jul. 1995.

UNESCO. **Shark Bay, Western Australia**. 2023. Disponível em: <https://whc.unesco.org/en/list/578/>. Acesso em: 05 fev. 2023

VIEIRA, Lucieth Cruz. **A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozoico**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

WALTER, M. R. **Stromatolites and the Biostratigraphy of the Australian Precambrian**: with appendices on pseudofossils from Australian Precambrian iron-formation and graywacke. Adelaide: University Of Adelaide, 1970. 406 p.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título da Pesquisa: Estromatólitos: uma investigação das amostras presente no Museu de Ciências Naturais de Ponta Grossa

Nome do Pesquisador: Bruno Hideyuki Sanada Antunes

Principal ou Orientador(a): Karin Linete Hornes

1. **Natureza da pesquisa:** o Sr. está sendo convidado a participar desta pesquisa que tem como finalidade obter informações relacionadas às amostras de estromatólitos presentes no Museu de Ciências Naturais de Ponta Grossa.
2. **Envolvimento na pesquisa:** ao participar deste estudo o Sr. permitirá que o pesquisador utilize das informações e dos dados fornecidos e consentirá a citação de seu nome no Trabalho de Conclusão de Curso denominado Estromatólitos do Museu de Ciências Naturais. O Sr. tem liberdade de se recusar a participa da pesquisa e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase do trabalho, sem qualquer prejuízo para a V. S. ^a. Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone do (a) pesquisador (a) do projeto e, se necessário através do telefone do Comitê de Ética em Pesquisa.
3. **Sobre as entrevistas:** A entrevista acontecerá no Museu de Ciências Naturais de Ponta Grossa, onde serão esclarecidas algumas dúvidas com relação à morfologia, mineralogia e localização de retirada das amostras de estromatólitos presentes no Museu.
4. **Riscos e desconforto:** a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Seu nome e a informações dadas serão citadas publicamente. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade.
5. **Confidencialidade:** todas as informações coletadas neste estudo são serão disponibilizadas publicamente após o término do trabalho de conclusão de curso.

6. **Benefícios:** ao participar desta pesquisa o Sr. não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre os estromatólitos, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa auxiliar na valorização e conscientização das amostras como patrimônio do estado do Paraná, onde o pesquisador se compromete a divulgar os resultados obtidos. O trabalho completo será lhe enviado posteriormente.
7. **Pagamento:** o Sr. não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Portanto preencha, por favor, os itens que se seguem.

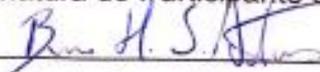
Obs: Não assine esse termo se ainda tiver dúvida a respeito.

Consentimento Livre e Esclarecido

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa. Declaro que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a realização da pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo.



Assinatura do Participante da Pesquisa



Assinatura do Pesquisador



Assinatura do Orientador