



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

TAYNARA CRISTINA MATOS MARTINS

FÁCIES DEPOSICIONAIS E GEOLOGIA ESTRUTURAL DO
ARENITO GUAMÁ NAS REGIÕES DE IRITUIA E SÃO MIGUEL DO
GUAMÁ, ESTADO DO PARÁ

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM-PARÁ
OUTUBRO – 2016

TAYNARA CRISTINA MATOS MARTINS

FÁCIES DEPOSICIONAIS E GEOLOGIA ESTRUTURAL DO
ARENITO GUAMÁ NAS REGIÕES DE IRITUIA E SÃO MIGUEL DO
GUAMÁ, ESTADO DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento as exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Joelson Lima
Soares

Belém – Pará

2016

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Martins, Taynara Cristina Matos, 1990-
Fácies deposicionais e geologia estrutural do arenito Guamá nas
regiões de Irituia e São Miguel do Guamá, Estado do Pará /
Taynara Cristina Matos Martins. – 2016.
62 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Joelson Lima Soares

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia,
Belém, 2016.

1. Arenito - Pará. 2. Geologia estratigráfica – Siluriano. 3.
Fácies (Geologia) - Pará. 4. Traços fósseis – Pará. I. Título.

CDD 22. ed.: 552.5098115

TAYNARA CRISTINA MATOS MARTINS

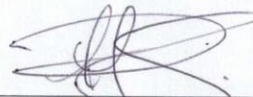
FÁCIES DEPOSICIONAIS E GEOLOGIA ESTRUTURAL DO
ARENITO GUAMÁ NAS REGIÕES DE IRITUIA E SÃO MIGUEL DO
GUAMA, ESTADO DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento as exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

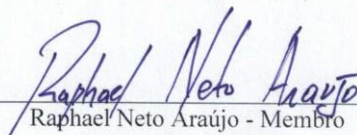
Data de Aprovação: 4/11/2016
Conceito: EXCELENTE
Banca Examinadora:



Prof. Joelson Lima Soares - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Hudson Santos - Membro
Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará



Raphael Neto Araújo - Membro
Mestre em Geologia
Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Aos meus pais, Fátima e Cyla;
meus irmãos Tatiane e Eduardo
e minha sobrinha Cecília.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre me abençoar, iluminar e guiar meus passos.

Aos meus pais Fátima e Cyla, por sempre acreditarem em meus sonhos e nunca terem deixado eu desistir.

Aos meus irmãos Tatiane e Eduardo, por todo o apoio e ajuda sempre.

À minha sobrinha Cecília, cunhada Betânia e sua família, especialmente D. Olinda pelas palavras de ajuda e força.

Ao meu orientador Professor Dr. Joelson Soares, por toda ajuda, conselhos e principalmente paciência durante toda minha graduação.

Ao Prof. Dr. Vladimir Távora, por toda sua preocupação.

Ao Grupo PET

À Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia.

Ao Prof. Dr. Fábio Domingos, por todas as dicas estruturais e seu apoio no campo.

Ao Afonso Quaresma, que esteve em todas as minhas viagens de campo da graduação e principalmente no campo do TCC.

Aos colegas do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (Gsed): Alexandre Castelo, Gabriel Salomão, Alexandre Ribeiro, Mateus Xavier e Hudson Santos

Aos meus amigos que sempre foram meus companheiros: Izabelle Serrão, Acácio Pina e Natan Silva; e aos meus presentes de campo 2 Sâmia Vianna e Nayra Souza que foram de extrema importância no final da graduação.

À minha turma de Geologia 2012, especialmente Paulo Ronny.

RESUMO

O Arenito Guamá é uma unidade sedimentar que ocorre de forma muito restrita na Plataforma Bragantina, principalmente nas regiões de São Miguel do Guamá e Irituia no nordeste do estado do Pará e que ainda carece de um melhor detalhamento geológico. É caracterizado por espessas camadas de quartzo-arenito com granulometria média, bem arredondados, bem selecionada e alto grau de maturidade textural e composicional. Devido suas características petrográficas, faciológicas e seu conteúdo icnológico serem semelhantes aos dos arenitos quartzosos das formações Nhamundá (Bacia do Amazonas) e Ipu (Bacia do Parnaíba), se tem sugerido uma idade siluriana para o Arenito Guamá. Em geral as camadas apresentam aspecto maciço e poucas estruturas sedimentares primárias preservadas o que dificultam a interpretação paleoambiental. Foram descritas quatro fácies deposicionais: 1) Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas; 2) Arenito maciço com bioturbações; 3) Arenito com laminação ondulada e planar e 4) Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. A associação de fácies indica que os depósitos estudados se formaram em uma região costeira arenosa que abrangia as zonas de *foreshore* e *shoreface*. Na geologia estrutural foi observado três famílias de fraturas, encontradas em todas as fácies estudadas e distribuídas de forma homogênea apresentando direção preferencial N-S, NE-SW e NW-SE; essas famílias de fraturas têm características extensionais e ortogonais entre si. No Arenito Guamá foram identificados os icnogêneros *Planolites* e *Skolithos* que comumente compõem uma mistura das icnofácies *Cruziana* e *Skolithos*. *Planolites* e *Skolithos* são traços fósseis produzidos geralmente por organismos vermeformes durante atividades de alimentação e habitação, respectivamente. A baixa icnodiversidade e alta abundância de icnofósseis sugerem condições estressantes durante o período deposicional. A presença da mistura das icnofácies *Skolithos-Cruziana* pode estar relacionada a ambientes deposicionais de águas salobras influenciadas por águas de degelo, onde a mistura de água doce de degelo e marinha causariam variações de salinidade e afetariam a vida bentônica. A presença de icnofácies *Cruziana-Skolithos* no Arenito Guamá é semelhante ao que é observado nos arenitos da Formação Nhamundá. Dessa forma, estas duas unidades são o registro de depósitos costeiros arenosos influenciados pelas glaciações que afetaram a região Amazônica durante o Siluriano Inferior.

Palavras-chave: Arenito Guamá. Siluriano Inferior. Fácies Deposicionais. Paleoambiente. Icnofósseis.

ABSTRACT

The Guamá Sandstone is a sedimentary unit, limited extent in Bragantina Platform, especially in the regions of São Miguel do Guamá and Irituia in northeast Pará state and still require a better geological detail. It is characterized by thick layers of quartz-sandstone with average particle size, well rounded, well selected and high degree of textural and compositional maturity. Owing to their petrographic features, facies and its ichnological content are similar to those of quartz sandstones of Nhamundá (The Amazon Basin) and Ipu (Parnaíba Basin) formations, it has been suggested a Silurian age for Guamá Sandstone. In general, the layers have massive aspect and few primary sedimentary structures preserved which hinder paleoenvironmental interpretation. Four depositional facies have been described: 1) Massive sandstone with megaripple bedded ; 2) Massive sandstone with bioturbations; 3) Sandstone with wavy and planar lamination and 4) Sandstone with tabular cross bedding with coarse sand in *foreset* and scattered pebbles. The facies association indicates that the studied deposits were formed on a sandy coastal region covering foreshore and shoreface areas. In structural geology was observed three families of fractures, found in all studied facies and distributed homogeneously, presenting preferred direction N-S, NE-SW and NW-SE; these families fractures have extensional and orthogonal features between each other. In Guamá Sandstone ichnogenera *Planolites* and *Skolithos* were identified and commonly comprise a mixture of ichnofacies *Cruziana* and *Skolithos*. *Planolites* and *Skolithos* are trace fossils usually produced by vermeformes organisms during feeding and housing activities, respectively. Low ichnodiversidade and high abundance of trace fossils suggest stressful conditions during the depositional period. The presence of *Skolithos-Cruziana* icnofácies mixture may be related to depositional environments of brackish water influenced by defrost water where defrosting fresh water and marine mixture cause salinity variations and affect benthic life. The presence of icnofácies *Cruziana-Skolithos* in Guamá Sandstone is similar to what is observed in the Nhamundá Formation. Thus, these two units are the record of sandy coastal deposits influenced by glaciations that affected the Amazon region during the Lower Silurian.

Keywords: Guamá Sandstone. Lower Silurian. Depositional Facies. Paleoenvironment. Ichnofossils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização da área de estudo nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia; P1–Cachoeira do Apolônio Miranda, P2-Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha, P3-Frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da igreja), P4- Balneário Vila da Pedra Caída, P5-Ramal em direção ao Balneário Vila da Pedra Caída; TS – Testemunho de sondagem. 17
- Figura 2- Principais grupos etológicos representados no registro de traços fósseis..... 20
- Figura 3- Terminologia para classificação de traços fósseis conforme seu modo de preservação..... 21
- Figura 4- Representação das diferentes formas de distribuição dos níveis bioturbados ao longo das camadas sedimentares ou de uma sucessão..... 21
- Figura 5- Classificação icnotaxobases, que consiste em uma classificação morfológica, seguida pela descrição do seu limite, ramificações, preenchimento e tipo de trilha. 22
- Figura 6- Distribuição idealizada dos diferentes arquetípicos que compõem as icnofácies mostrando uma relação passiva entre batimetria e o comportamento representado pelo traço fóssil. A distribuição das icnofácies arquetípicas está associada principalmente as fontes de alimentos, tamanho dos grãos e disponibilidade de oxigênio. 22
- Figura 7- Abordagem semiquantitativa de icnofábrica, indicando o índice de bioturbação (ii) em diferentes níveis de profundidade e intensidade..... 23
- Figura 8- Carta para avaliação semiquantitativa da distribuição de bioturbações utilizado para obtenção do índice de bioturbação de planos de acamamento. 23
- Figura 9- Visão geral dos afloramentos nas regiões estudadas. A) Afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia; em B) Em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; em C) Afloramento no Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha; e em D) Na Cachoeira do Apolônio. 29
- Figura 10- Perfis estratigráficos elaborados para o Arenito Guamá na região de Irituia, Vila da Pedra Caída (A- P3) e do testemunho de sondagem de São Miguel do Guamá (B- TS)..... 30

- Figura 11- Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas. A) Visão geral do afloramento com a fácies Ao na base e no topo os arenitos da fácies Amb; B) Moldes de clastos tabulares nos *foresets* indicado pelas setas. Escala em A = 1,65 m. 32
- Figura 12- Fácies de arenito maciço bioturbado. A) Camada de arenito maciço com o topo bioturbado por tubos horizontais, colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; B) Detalhe para os tubos horizontais retos e curvados de *Planolites*. 34
- Figura 13- Fácies arenito maciço bioturbado. A) Camadas tabulares de arenito maciço densamente bioturbado por tubos verticais de *Skolithos*, Vila da Pedra Caída; B) Detalhe para os tubos verticais de *Skolithos*. 35
- Figura 14- Fotomicroscopia do arenito maciço. A e B) Aspecto geral dos arenitos observado em lâmina delgada com contatos de compromisso resultado do sobrecrescimento de quartzo; C) Tubo de *Planolites* preenchido por grãos de quartzo de granulometria fina e grãos angulosos; D e E) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas em destaque; F) Destaque para a presença de minerais pesados como turmalina e cimento de quartzo. 36
- Figura 15- Microfotografias da fácies arenito maciço em testemunho de sondagem. A e B) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas; C, D e E) Notar alguns contatos grão-não grão e constituintes diagenéticos como cimento de quartzo; F) Poro moldico desenvolvidos pela dissolução total de feldspatos. 37
- Figura 16- Fácies arenito com laminação ondulada e planar que mostram truncamentos de muito baixo ângulo (setas) que ocorrem intercalados com arenitos maciços. 38
- Figura 17- Fácies Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. A) Visão geral do afloramento mostrando o adelgaçamento ascendente dos *sets*; B) Detalhe das concentrações de areia grossa no *foreset* e grânulos e seixos dispersos. Escala em A = 1,65 m. 40
- Figura 18- Fácies Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. A) Sets menores da fácies At; em B) Detalhe dos *foresets* com grãos grossos. 41

- Figura 19- Fotomicroscopia da fácies At. A) Arcabouço suportado por grãos de quartzo e alguns contatos pontuais, contatos de compromisso e grão-não grão; em B e C) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas em destaque; em D) Constituintes diagenéticos como cimento de quartzo. 42
- Figura 20- Mapa estrutural fotointerpretado com as principais direções de lineamentos e os estereogramas dos dados coletados em campo de cada ponto estudado nas cidade de Irituia e São Miguel do Guamá. 44
- Figura 21- Diagrama de roseta com os dados fotointerpretados, baseados na distribuição detalhada das drenagens, mostrando quatro *trends* principais: N-S, NE-SW, NW-SE e E-W. 44
- Figura 22- Em A) Afloramento visto em planta na cidade de Irituia com as fraturas ortogonais na fácies Arenito maciço com bioturbações (Amb); Em B e C) Afloramentos com fraturas ortogonais, em planta na cidade de São Miguel do Guamá nas fácies Arenito maciço com bioturbações (Amb) e Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao). 46
- Figura 23- Em A) Modelo de estresse local variável indicando os estágios de evolução, onde com o aumento da deformação no eixo de maior esforço que se encontra na horizontal, vários pares de juntas e fraturas secundárias dispostas perpendicularmente as fraturas principais; B) Modelo estresse regional com rotação mostrando os estágios de evolução deste modelo, indicando uma modificação nos eixos de esforço de caráter mais amplo. 47
- Figura 24- Traços fósseis do Arenito Guamá. A) Topo da camada de arenito densamente bioturbado por *Planolites* de formas meandranes e curvadas; B) Camada de arenito maciço com tubos verticais retilíneos de *Skolithos*; C) Preenchimento passivo do tipo downward advection em tubo vertical de *Skolithos*; D) Formas circulares que representa os tubos verticais de *Skolithos* vistas em planta intersectando tubos de *Planolites*. 49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	16
3	OBJETIVOS	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	Análises de fácies e estratigrafia	19
4.2	Ícnologia (icnotaxonomia, icnofábrica, icnofácies)	19
4.3	Geologia estrutural	24
4.4	Petrografia sedimentar	24
5	O ARENITO GUAMÁ NO CONTEXTO DA PLATAFORMA BRAGANTINA	25
6	O ARENITO GUAMÁ NA REGIÃO DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ E IRITUIA	27
6.1	Fácies sedimentares	27
6.1.1	Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao).....	32
6.1.2	Arenito maciço com bioturbações (Amb)	33
6.1.3	Arenito com laminação ondulada e planar (Alb).....	38
6.1.4	Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no foreset e seixos dispersos (At)	39
6.2	Aspectos estruturais	43
6.2.1	Análise de lineamentos	43
6.2.2	Análise de dados de campo	45
6.2.3	Discussão dos dados estruturais	46
7	ICNOLOGIA	48
7.1	Interpretação	49
8	DISCUSSÕES	52
8.1	Paleoambiente	52
8.2	Correlação com as formações Ipu e Nhamundá	53
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXOS	60
	ANEXO A—MAPA GEOLÓGICO	60
	ANEXO B - PONTOS DE ESTUDO	61

ANEXO C - CONTAGEM DE NO MÍNIMO 300 PONTOS EM LÂMINAS DELGADAS.....	61
ANEXO D - MEDIDAS ESTRUTURAIS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A geologia do nordeste do Estado do Pará é caracterizada pela ocorrência de extensos depósitos carbonáticos e siliciclásticos de idade cenozoica (formações Pirabas e Barreiras, respectivamente), além de alguns corpos graníticos e unidades sedimentares ainda pouco estudadas (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008; ROSSETTI et al., 2013). Dentre as unidades sedimentares pouco estudadas se encontra o Arenito Guamá caracterizado por espessas camadas de quartzo-arenito com alto grau de maturidade textural e composicional, e que geralmente apresenta aspecto maciço ou estratificação plano-paralela pouco expressiva (TRUCKENBRODT; ALVES, 1982). Os principais afloramentos desta unidade ocorrem nas margens de rios e igarapés nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia, nordeste do Estado do Pará.

A maioria dos dados estratigráficos do Arenito Guamá apontam para depósitos marinhos costeiros de idade siluriana, porém a ausência de uma descrição faciológica mais detalhada e da distribuição destas fácies, tanto no empilhamento vertical como em extensão horizontal, dificultam uma melhor interpretação do ambiente deposicional. As condições deposicionais que formaram o Arenito Guamá são geralmente interpretadas com base no icnogênero *Skolithos* os quais sugerem um ambiente de plataforma rasa, provavelmente *foreshore* ou *shoreface* (TRUCKENBRODT; ALVES, 1982). Contudo, para auxiliar nas interpretações quanto às condições e características do ambiente deposicional em que estas rochas siliciclásticas foram formadas se faz necessário um estudo mais detalhado sobre a existência de outros traços fósseis e principalmente associado a uma análise de fácies deposicionais.

O posicionamento estratigráfico do Arenito Guamá ainda é um problema, embora alguns indícios petrográficos ajudem a desvendar um pouco da história deposicional da unidade, como por exemplo, os tipos de contatos suturados que poderia ser interpretado como um resultado da influência de uma espessa coluna sedimentar, que foi erodida, sobre o Arenito Guamá (TRUCKENBRODT; ALVES, 1982) e a sua possível correlação com as formações Nhamundá (Bacia do Amazonas) e Ipu (Bacia do Parnaíba) sugerem uma idade eopaleozoica (CAPUTO; LIMA, 1984; SOARES et al., 2005; TRUCKENBRODT; ALVES, 1982). Outra possibilidade menos provável seria a idade Cretácea já que o peso gerado pelo empilhamento dos depósitos que constituem as

formações Pirabas e Barreiras é considerado insuficiente para a geração de dissolução por pressão (TRUCKENBRODT ; ALVES, 1982).

Os dados icnológicos podem auxiliar na correlação de depósitos locais e desta forma podem ser utilizados para inferir se existe uma relação entre as icnoassembleias das formações Nhamundá e Ipu, ambas de idade siluriana. Dessa forma, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como principal foco a caracterização faciológica, icnológica e estrutural do Arenito Guamá. Portanto, com estes dados pretende-se entender qual o contexto do Arenito Guamá na história geológica da Plataforma Bragantina.

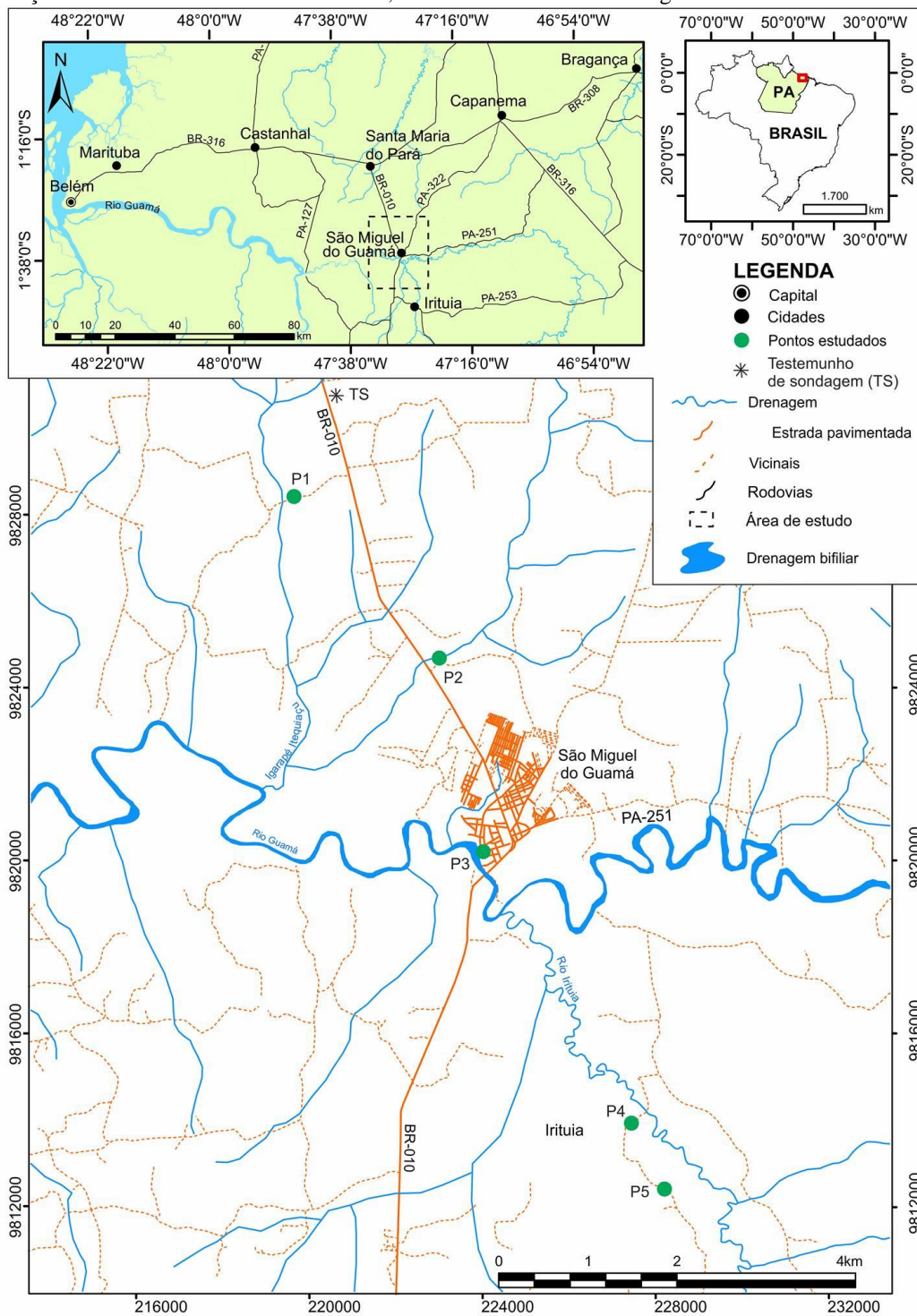
2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada na folha Castanhal (SA-23-V-C), limitada entre as coordenadas latitudinais $1^{\circ}29'58.70''\text{S}$ e $1^{\circ}43'1.50''\text{S}$; e longitudinais $47^{\circ}34'44.12''\text{W}$ e $47^{\circ}23'58.50''\text{W}$, nas cidades de São Miguel do Guamá e Irituia no nordeste do Estado do Pará.

O acesso a essas cidades se dá, a partir de Belém pela rodovia federal BR-316, passando pelos principais municípios da região metropolitana de Belém; até chegar na cidade de Santa Maria do Pará onde pega-se outra rodovia federal, BR-010 até ter acesso a São Miguel do Guamá. Continuando pela BR-010 até a rodovia estadual PA-253 tem-se acesso a cidade de Irituia (Fig. 1).

Em Irituia, localizado a sul-leste do Rio Guamá, as principais exposições do Arenito Guamá ocorrem no balneário Vila da Pedra Caída. Em São Miguel do Guamá as principais exposições estão na frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da igreja), o segundo localizado no Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha e o terceiro na Cachoeira do Apolônio Miranda aproximadamente a 2 km da BR-010.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia; P1– Cachoeira do Apolônio Miranda, P2-Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha, P3-Frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da igreja), P4- Balneário Vila da Pedra Caída, P5-Ramal em direção ao Balneário Vila da Pedra Caída; TS – Testemunho de sondagem.



Fonte: Da autora.

3 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo:

- I. Descrever e interpretar as fácies deposicionais e icnofósseis do Arenito Guamá nas regiões de São Miguel Guamá e Irituia, além de suas principais feições estruturais;
- II. Caracterizar os constituintes petrográficos deposicionais e diagenéticos do Arenito Guamá;
- III. Correlacionar os depósitos estudados com outras unidades litoestratigráficas de mesma idade da Bacia do Amazonas e Bacia do Parnaíba e posicionar o Arenito Guamá nos eventos paleoambientais que ocorreram no Siluriano.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Análises de fácies e estratigrafia

Na análise de fácies e estratigrafia foi utilizada a técnica de modelamento de fácies segundo Walker (1990, 1992) e Miall (1991, 1994) que consiste na individualização e descrição de fácies procurando caracterizar a composição, geometria, textura, estruturas sedimentares, conteúdo fóssilífero e padrões de paleocorrente. Foram analisados os processos de formação das estruturas sedimentares de todas as fácies, que foram associadas para a interpretação de seus respectivos paleoambientes. Nesta etapa foi obtido também a compreensão dos processos sedimentares que ajudam em um melhor entendimento de como a fácies foi gerada e por fim na associação de fácies cogenéticas refletindo os diferentes ambientes e sistemas deposicionais.

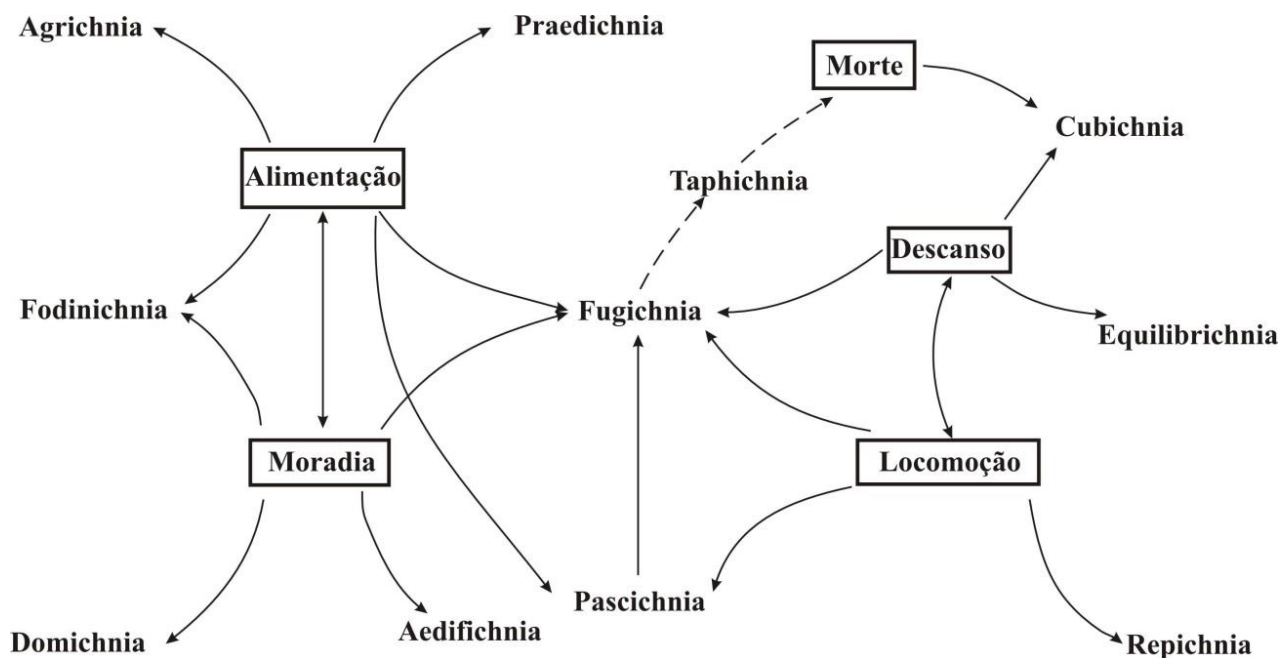
A confecção de perfis estratigráficos, seções geológicas e rosetas com medidas de paleocorrente e estruturais (falhas, fraturas) auxiliaram na interpretação da história geológica do Arenito Guamá. Para a confecção do mapa geológico foi utilizado como base cartográfica a folha Castanhal (SA-23-V-C), produzida pela CPRM, além de imagens do GoogleEarth® que foram georreferenciadas no ArcGIS.

4.2 Icnologia (Icnotaxonomia, Icnofábrica, Icnofácies).

O estudo dos traços fósseis foi utilizado com a finalidade de auxiliar na interpretação dos paleoambientes, para isso foram descritas as principais feições morfológicas que classificam um icnogênero ou icnoespécie a partir de comparações com a literatura especializada. Alguns desses trabalhos são o tratado de icnofósseis de invertebrados de Häntzschel (1975) e o guia de icnofósseis de invertebrados do Brasil de Fernandes et al. (2002). Para as interpretações dos icnofósseis foram utilizados os conceitos de icnofábrica, icnofácies e do processo icnológico que levam em conta a distribuição vertical e horizontal dos icnofósseis (Fig. 2 e 3), a quantidade de bioturbação e os espécimes que compõem a icnoassembleia (GINGRAS et al., 2011; SEILACHER, 1967) (Fig. 4). Após a classificação icnotaxonômica (Fig. 5) dos icnofósseis estes vão ser agrupados em icnofácies que definirão o paleoambiente no qual esses organismos habitavam (Fig. 6). Na análise semiquantitativa das icnofábricas foram utilizados os trabalhos de Droser e Bottjer (1986) e Miller e Smail (1997) que

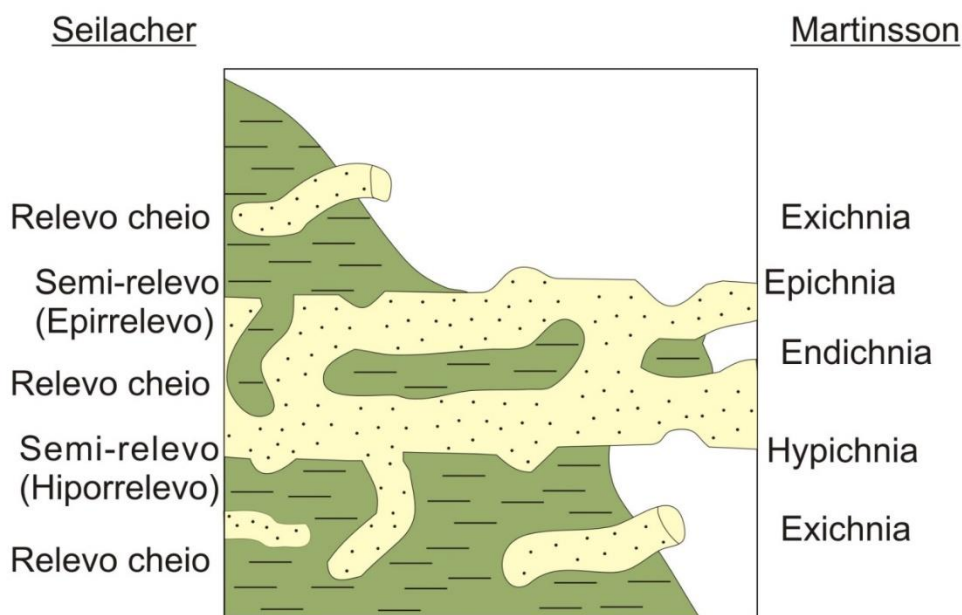
levam em conta a quantidade de substrato retrabalhado pelos organismos. O método de Droser e Bottjer (1986) considera a bioturbação em diferentes níveis de profundidade, chamados de *tiering*, e sua intensidade (Fig. 7), enquanto que o método semiquantitativo de Miller e Smail (1997) avalia a quantidade de bioturbação observada em planta, denominado de índice de bioturbação de planos de acamamento (*bedding-plane bioturbation index* – BPBI) (Fig. 8). O BPBI é determinado através da análise de fotografias de áreas bioturbadas observadas em planta. Estes índices de icnofábricas (ii) são determinados como: I) índice ii = 1, sem bioturbação; II) ii = 2, 0-10% de bioturbação; III) ii = 3, 10-40%; IV) ii = 4, 40-60% e V) ii = 5, 60-100%.

Figura 2- Principais grupos etológicos representados no registro de traços fósseis.



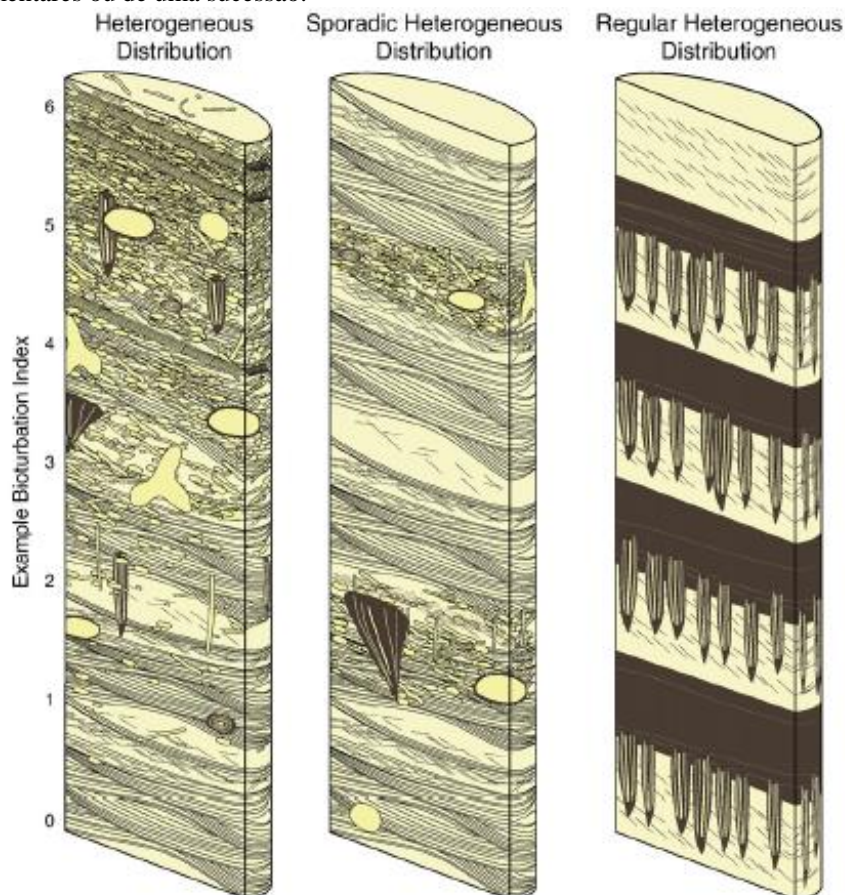
Fonte: Pemberton et al.(1992).

Figura 3- Terminologia para classificação de traços fósseis conforme seu modo de preservação.



Fonte: Ekdale et al. (1984).

Figura 4- Representação das diferentes formas de distribuição dos níveis bioturbados ao longo das camadas sedimentares ou de uma sucessão.



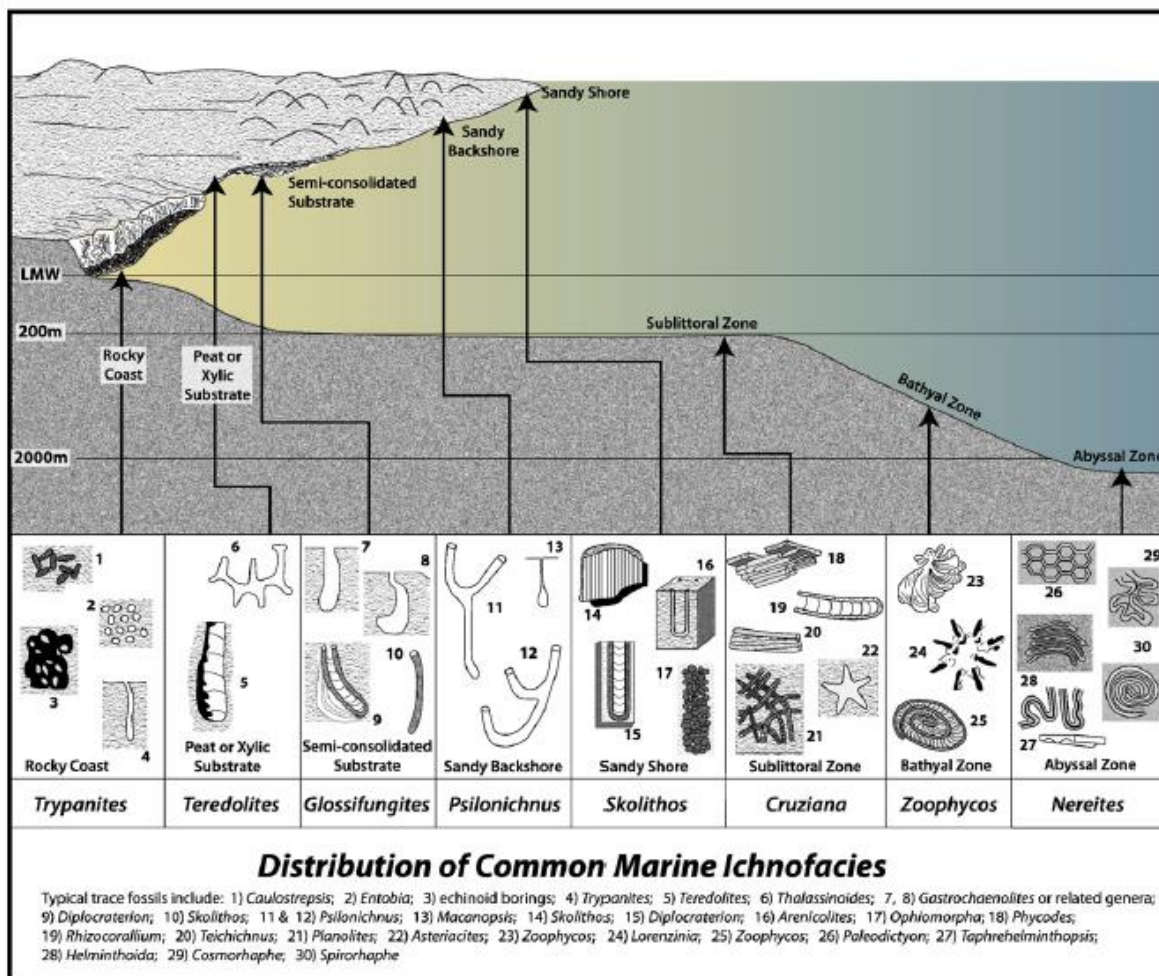
Fonte: Gingras et al. (2011).

Figura 5- Classificação icnotaxobases, que consiste em uma classificação morfológica, seguida pela descrição do seu limite, ramificações, preenchimento e tipo de trilha.

ICNOTAXOBASES					
FORMA GERAL	LIMITE DA ESTRUTURA		RAMIFICAÇÃO	PREENCHIMENTO	TRILHAS
Aspecto Morfológico	Sem Lineação		Verdadeira	Passivo	
	Orientação no estrato	Com Lineação		Falsa	Ativo
Interseção			Compactado	Rastejamento	
					Nado
				Meniscado	

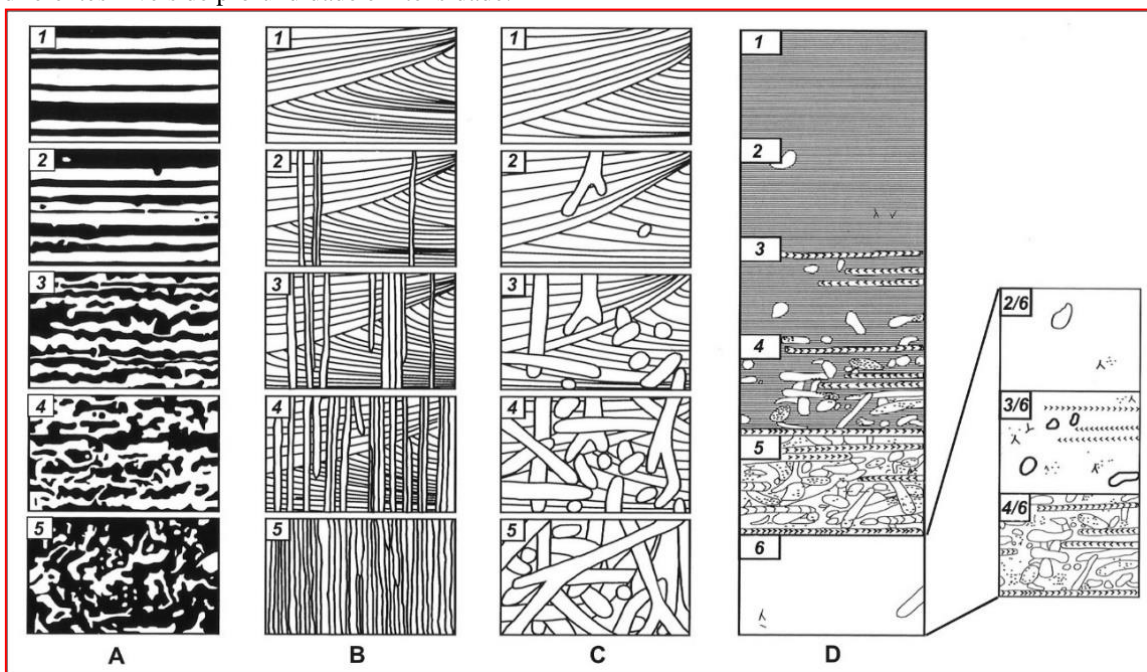
Fonte: Bromley (1996).

Figura 6- Distribuição idealizada dos diferentes arquétipos que compõem as icnofácies mostrando uma relação passiva entre batimetria e o comportamento representado pelo traço fóssil. A distribuição das icnofácies arquétípicas está associada principalmente as fontes de alimentos, tamanho dos grãos e disponibilidade de oxigênio.



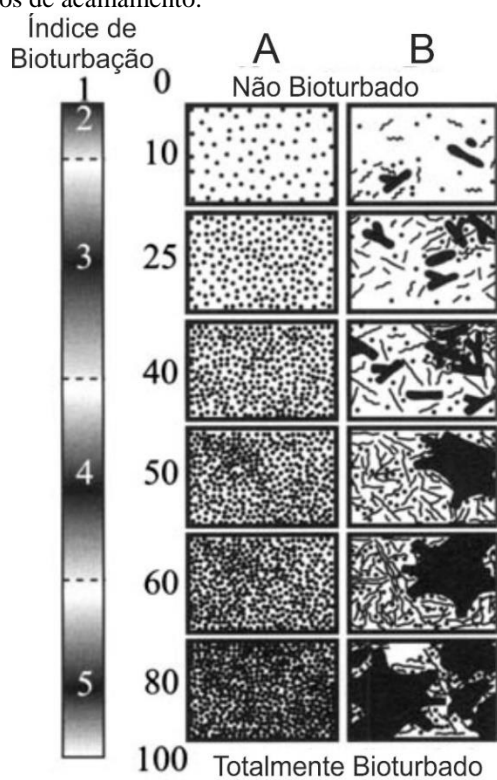
Fonte: Modificado de Seilacher (1967).

Figura 7- Abordagem semiquantitativa de icnofábrica, indicando o índice de bioturbação (ii) em diferentes níveis de profundidade e intensidade.



Fonte: Droser e Bottjer (1986)

Figura 8- Carta para avaliação semiquantitativa da distribuição de bioturbações utilizado para obtenção do índice de bioturbação de planos de acamamento.



Fonte: Modificado de Miller e Smail (1997).

4.3 Geologia estrutural

No tratamento dos dados estruturais, foi confeccionado um mapa estrutural e vários estereogramas com o objetivo de identificar os principais *trends* encontrados na área. Primeiro foram feitas tabelas no programa Microsoft EXCEL®2010 com o intuito de se organizar todos os dados. Depois foram colocados em arquivos com extensão txt no programa Bloco de Notas do Microsoft Windows®, para serem tratados no programa Stereonet e confeccionar os estereogramas. O mapa estrutural foi feito a partir *software* ArcGis através de lineamentos de drenagem extraídos com o auxílio de imagens de satélite GeoEye por meio do software Google Earth PRO.

4.4 Petrografia sedimentar

A petrografia sedimentar foi uma ferramenta auxiliar na interpretação das condições ambientais em que os arenitos foram depositados, principalmente na determinação das maturidades textural e composicional. A confecção de laminas delgadas foi feita a partir de amostras das diferentes fácies deposicionais para determinar as composições mineralógicas e classificações das rochas segundo Folk (1974). Foi feita uma contagem de 300 pontos em lâmina delgada para avaliar todos os constituintes detríticos e diagenético (Galehouse 1971). Os aspectos texturais tais como arredondamento, esfericidade e granulometria dos sedimentos também foram levados em consideração para a análise da maturidade textural. A seleção foi estimada pela comparação com os padrões de Beard e Weyl (1973) e para o índice de empacotamento foi baseada em função do volume intergranular (VI), levando em conta a porcentagem de porosidade, matriz e cimento observadas nas laminas delgadas.

5 O ARENITO GUAMÁ NO CONTEXTO DA PLATAFORMA BRAGANTINA

O Arenito Guamá é caracterizado por corpos arenosos pouco espessos que ocorrem de forma restrita nas margens e corredeiras encontradas nos rios Guamá e nos arredores das cidades de São Miguel do Guamá e Irituia, no nordeste do Estado do Pará. O Arenito Guamá é composto por camadas de quartzo-arenito esbranquiçado com aspecto maciço e localmente apresentando estratificação plano-paralela, exibe alta maturidade textural e composicional; com eventuais ocorrências de conglomerados (TRUCKENBRODT; ALVES, 1982).

O Arenito Guamá está inserido no contexto da Plataforma Bragantina que representa uma área do embasamento pré-cambriano, localizada junto a Faixa Gurupi. É constituída de dois setores: setor leste limitado pela Bacia de Bragança-Vizeu e pela Faixa Gurupi a leste; setor oeste limitado pela Sub-bacia de Cametá, integrante da Bacia do Marajó, a sul. Estes setores são separados pelo Graben Vigia-Castanhal (ROSSETTI, 2001). As formações Pirabas, Barreiras (Oligoceno-Mioceno) e a unidade Pós-Barreiras (Plioceno-Quaternário) são os principais depósitos da Plataforma Bragantina.

A ausência de fósseis e de relações estratigráficas com as outras unidades que compõem a Plataforma Bragantina torna a determinação da idade do Arenito Guamá ainda questionável. Devido as suas características petrográficas serem semelhantes aos arenitos quartzosos das formações Nhamundá (Bacia do Amazonas) e Ipu (Bacia do Parnaíba), se tem sugerido uma idade siluriana para o Arenito Guamá, ou pelo menos eopaleozoica (CAPUTO; LIMA 1984; SOARES et al., 2005).

Martins et al. (2007) determinaram a sua proveniência sedimentar com base na datação de zircões detríticos e análise da assembleia de minerais pesados, além de estudos paleogeográficos. Segundo Martins et al. (2007) existem várias fontes para o Arenito Guamá, sendo a primária as rochas dos ciclos Transamazônicos e Brasileiro, como as rochas cristalinas do Cráton Oeste-africano e suas faixas móveis adjacentes, Cráton São Luís e a Faixa Gurupi. Outras fontes consideradas também foram a Província Borborema, porção oriental do Escudo das Guianas e a Faixa Araguaia. Os estudos petrográficos indicam que o Arenito Guamá provavelmente é fruto da reciclagem, juntamente com a longa abrasão de seus grãos em ambiente litorâneo de alta

energia justificando a alta maturidade composicional e textural (MARTINS et al., 2007).

Segundo Truckenbrodt & Alves (1982), a datação mais aceita é a pré-Cretácea proposta por Kraatz-Koschlau & Huber (1900) que considera os contatos suturados entre os grãos de quartzo como resultado de dissolução por pressão. Esses contatos suturados sugerem que uma idade mais jovem seja menos provável, já que apenas o peso dos sedimentos das formações Barreiras e Pirabas seriam insuficientes para formar estes tipos de contatos.

O aspecto maciço e a escassez de estruturas sedimentares primárias dificultam a interpretação paleoambiental do Arenito Guamá que é baseada principalmente nas suas características petrográficas e na presença de alguns icnofósseis. Sobre a presença de icnofósseis, Truckenbrodt & Alves (1982) descrevem apenas o icnogênero *Skolithos* que são estruturas verticais em forma de tubos produzidas por organismos vermeformes (ALPERT, 1974) e que geralmente indicam um ambiente de plataforma rasa de alta energia (SEILACHER, 1967) e algumas estruturas tubulares horizontais.

6 O ARENITO GUAMÁ NA REGIÃO DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ E IRITUIA

6.1 Fácies sedimentares e estratigrafia

Os principais afloramentos do Arenito Guamá ocorre em margens de rios e igarapés nas cidades de São Miguel do Guamá e Irituia, nordeste do Estado do Pará. Foram visitadas quatro localidades, sendo uma na cidade de Irituia, na Vila da Pedra Caída e três em São Miguel do Guamá, sendo um em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias, o outro localizado no Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha e o último na Cachoeira do Apolônio Miranda (Fig. 9). Os dados faciográficos e petrográficos nos trabalhos de Torres (1985) e Oliveira (2007) a partir da análise de um testemunho de sondagem localizado a 6 km ao norte da sede do município de São Miguel do Guamá com 50 metros de profundidade foram incluídos nesse trabalho para auxiliar nas interpretações paleoambientais (Fig. 10).

Ao total foram descritas quatro fácies sedimentares (Tabela 1), que apresentam aspectos texturais e composicionais semelhantes entre si como predominância de quartzo-arenitos com granulometria média, bem selecionados e bem arredondados. Os arenitos são comumente maciços, porém estruturas sedimentares como laminações onduladas, planar e estratificação cruzada tabular são observadas localmente. A geometria das camadas, em sua maior parte, é de forma tabular, e localmente apresentam geometria ondulada. É possível também a visualização de dois tipos de bioturbações com características dos icnogêneros *Planolites* e *Skolithos*.

No afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia, estão expostos corpos tabulares de aproximadamente 18 metros de espessura e continuidade lateral de dezenas de metros presente nas margens do rio Guamá (Fig. 9^a). As fácies descritas neste afloramento são principalmente de arenitos maciços com bioturbações intercalados com arenitos com laminações onduladas e planar também bioturbados. Na base do perfil ocorrem arenitos com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. No afloramento em frente ao colégio Externato Maria Zacarias, em São Miguel do Guamá, estão expostos corpos tabulares em forma de lajedo, com aproximadamente 5 metros de espessura e que localmente apresentam também geometria ondulada (Fig. 9B). As fácies descritas nesse afloramento são principalmente

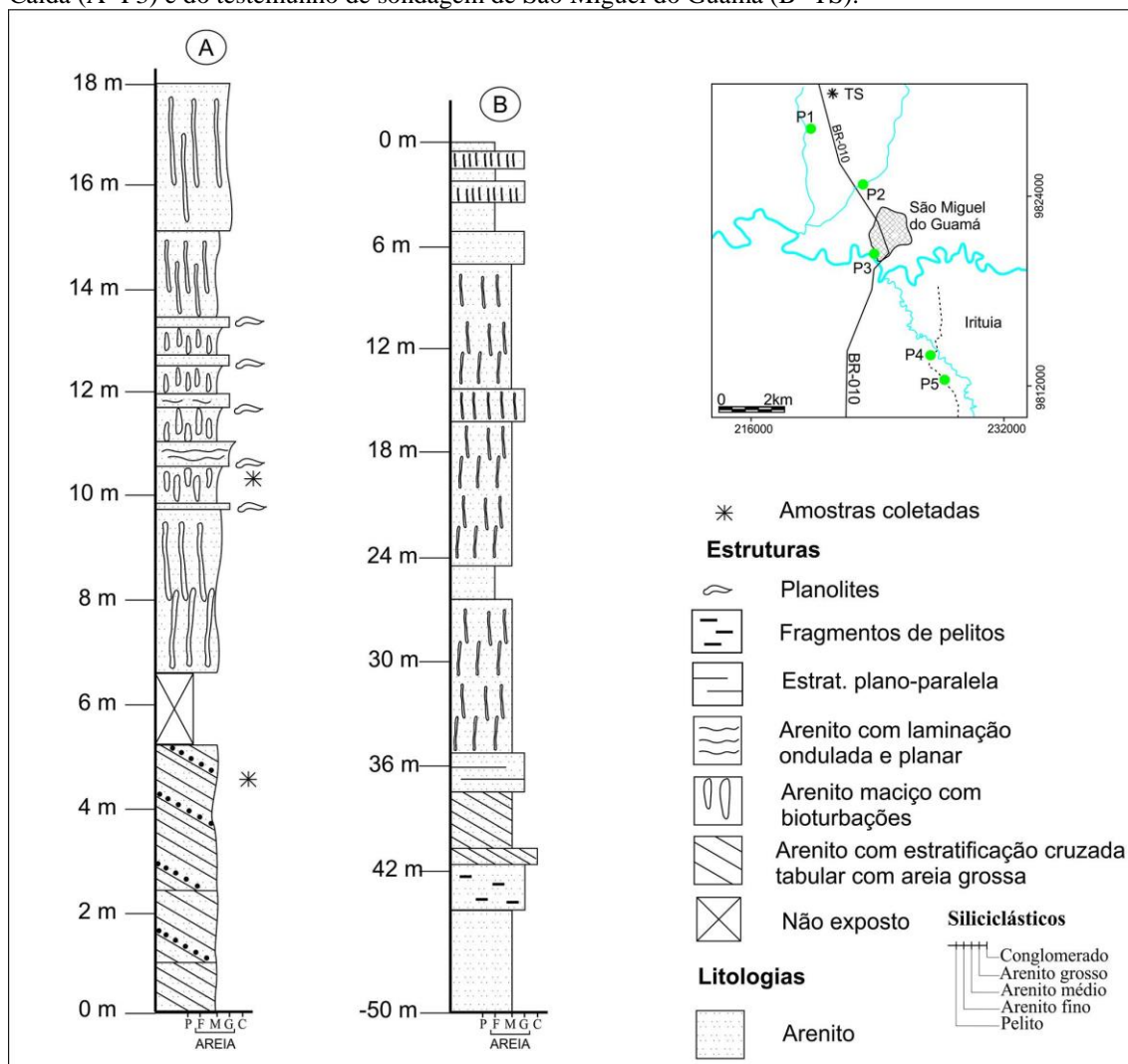
arenitos maciços com acamamento de megamarcas onduladas e arenitos maciços com bioturbações.

Nos afloramentos localizados no Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha e na Cachoeira do Apolônio Miranda, em São Miguel do Guamá, apresentam características semelhantes entre si. Os depósitos formam corpos tabulares que afloram nas margens de igarapés, encontrados em forma de lajedo. No Rio Taquiaçú as exposições podem chegar a 6 metros de espessura e são caracterizadas por arenito maciço com bioturbações e arenito com laminação ondulada e planar (Fig. 9C). Na Cachoeira do Apolônio Miranda as camadas de arenito formam extensos lajedos e corredeiras, a espessura das camadas não foi estimada e a única fácies descrita foi a de arenito maciço com bioturbações (Fig. 9D). O Arenito Guamá do testemunho de sondagem é caracterizado pela predominância de arenitos maciços bioturbados, arenitos com laminação planar e arenitos com estratificação cruzada. Conglomerados são descritos na base do testemunho, porém não foram observados nos afloramentos estudados (Oliveira 2007). Dessa forma, considerando a profundidade do testemunho e a espessura do maior afloramento estudado pode-se estimar que a espessura total do Arenito Guamá na Plataforma Bragantina é de aproximadamente 70 metros. Contudo, o testemunho de sondagem não alcançou o embasamento e, portanto, o Arenito Guamá pode ser ainda mais espesso (OLIVEIRA, 2007).

Figura 9: Visão geral dos afloramentos nas regiões estudadas. A) Afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia; em B) Em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; em C) Afloramento no Rio Taquiaçú no ramal da Pedreirinha; e em D) Na Cachoeira do Apolônio.



Figura 10: Perfis estratigráficos elaborados para o Arenito Guamá na região de Irituia, Vila da Pedra Caída (A- P3) e do testemunho de sondagem de São Miguel do Guamá (B- TS).



Fonte: A) Da autora; B) Adaptado Oliveira, 2007.

Tabela 1: Fácies deposicionais do Arenito Guamá com descrição e processos que geraram as fácies.

Fácies	Descrição	Processos
Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada com até 1,70 m de espessura com geometria ondulada. Localmente apresentam moldes de clastos tabulares nos <i>foresets</i> .	Migração de dunas subaquosas influenciada por fluxos oscilatórios, com retrabalhamento de material argiloso.
Arenito maciço com bioturbações (Amb)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada de aspecto maciço com até 1,85 m de espessura e bioturbações horizontais e verticais que ocorrem no topo e dentro das camadas.	Deposição em condições de alta energia e elevada taxa de sedimentação, com esporádicas paradas na sedimentação que possibilitava a ocupação do substrato por organismos vermeformes que produziram os tubos horizontais de <i>Planolites</i> e tubos verticais de <i>Skolithos</i> .
Arenito com laminação ondulada e planar (Alb)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada com até 1,85 m de espessura. Apresenta laminação ondulada e planar.	Deposição em leito plano sob regime de fluxo superior com influencias de fluxo oscilatório.
Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no <i>foreset</i> e seixos dispersos (At)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada com até 1 m de espessura, apresentando estratificação cruzada tabular com areia grossa no <i>foreset</i> e grânulos e seixos dispersos. Paleocorrentes são 44°, 10° e 12°	Migração de forma de leito 2D em regime de fluxo unidirecional inferior.

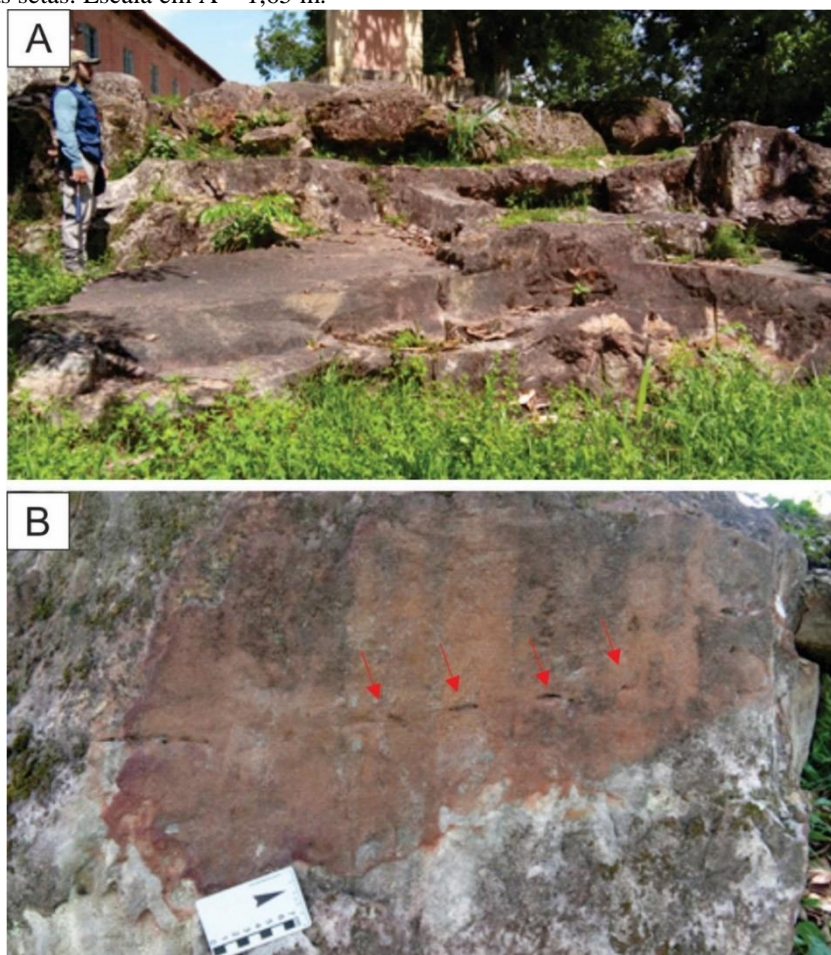
Fonte: Da autora.

6.1.1 Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao)

Quartzo-arenito com granulometria média e moderadamente selecionado que compõem camadas de cor esbranquiçada com até 1,70 m de espessura. Acamamento amalgamado com geometria ondulada semelhante à megamarcas onduladas (Fig. 11A). Comprimento de onda das megamarcas onduladas de aproximadamente 3,40 m e altura de 25 cm. Localmente apresentam moldes de clastos tabulares nos *foresets* (Fig.11B).

Acamamentos de megamarcas onduladas são formados pela migração de dunas subaquosas influenciada por fluxos oscilatórios. Os moldes de clastos nos *foresets* sugerem retrabalhamento de material argiloso. O extenso comprimento de onda das megamarcas onduladas sugerem águas moderadamente rasas (REINECK; SINGH, 1975).

Figura 11: Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas. A) Visão geral do afloramento com a fácies Ao na base e no topo os arenitos da fácies Amb; B) Moldes de clastos tabulares nos *foresets* indicado pelas setas. Escala em A = 1,65 m.



6.1.2 Arenito maciço com bioturbações (Amb)

Quartzo-arenito com granulometria média, bem selecionado e bem arredondado que compõem camadas de cor esbranquiçada com até 1,85 m de espessura. As camadas tem aspecto maciço e com bioturbações horizontais em forma de tubos restritos ao topo das camadas (Fig. 12). Os tubos são cilíndricos, apresentam superfície lisa e seu preenchimento é caracterizado por material mais fino que a rocha hospedeira (Fig. 14C); características semelhantes ao do icnogênero *Planolites* (PEMBERTON; FREY, 1982). Apresenta ainda *Skolithos* (ALPERT, 1974) que são estruturas verticais cilíndricas que ocorrem dentro das camadas (Fig. 13).

Conforme o volume intergranular (VI) a rocha apresenta um empacotamento frouxo, com VI de 35%. A rocha é suportada por grãos de quartzo que apresentam em sua maior parte contatos pontuais, contatos de compromisso e grão-não grão (Fig. 14A e B). Nas bioturbações ocorrem grãos de quartzo de granulometria fina e grãos angulosos (Fig. 14C). Os principais constituintes detríticos são grãos de quartzo com proporção modal de 46,8% de quartzo monocristalino e 5,6% de quartzo policristalino. O volume ocupado por fragmentos de rochas metamórficas, *chert* e pseudomatriz é de 2,6% (Fig. 14D e E). Mineraias pesados, como a turmalina e zircão também ocorrem com proporção modal de 1% na rocha (Fig. 14F). Entre os constituintes diagenéticos são encontrados cimento de quartzo pontualmente, ocupando 1% no volume total da rocha. Em relação aos poros são predominantemente intergranulares primários que compõem 43% da rocha.

Segundo Oliveira (2007), a fácies arenito maciço no testemunho de sondagem é um quartzo-arenito de granulometria média e bem selecionado. Apresenta grãos de quartzo monocristalino com extinção homogênea e policristalino; localmente ocorrem fragmentos de grãos metamórficos com cristais internos orientados. Os contatos entre os grãos são em sua maior parte contatos pontuais e de compromisso (Fig. 15). *Skolithos* também são observados no testemunho, ao contrário dos traços fósseis de *Planolites* que estão ausentes.

Arenitos maciços podem ser formados por diferentes processos deposicionais e pós-deposicionais entre eles, deposição rápida, bioturbação, fluidificação/liquefação, além de alterações durante a diagênese e intemperismo (REINECK; SINGH, 1975). A presença abundante de traços fósseis nessa fácies indica que a bioturbação é a principal responsável pela ausência de estruturas primárias.

Figura 12: Fácies de arenito maciço bioturbado. A) Camada de arenito maciço com o topo bioturbado por tubos horizontais, colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; B) Detalhe para os tubos horizontais retos e curvados de *Planolites*.

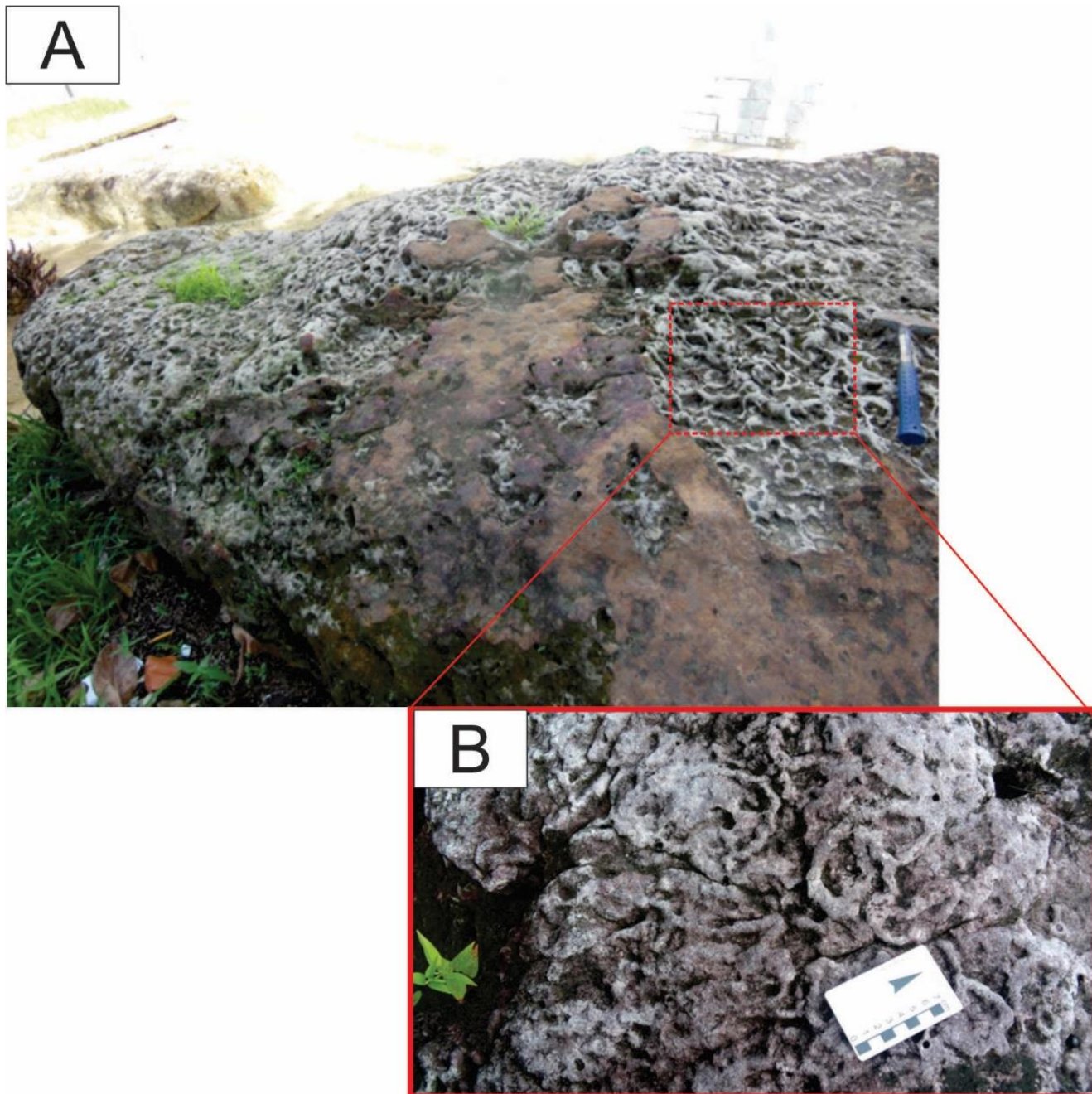


Figura 13: Fácies arenito maciço bioturbado. A) Camadas tabulares de arenito maciço densamente bioturbado por tubos verticais de *Skolithos*, Vila da Pedra Caída; B) Detalhe para os tubos verticais de *Skolithos*.

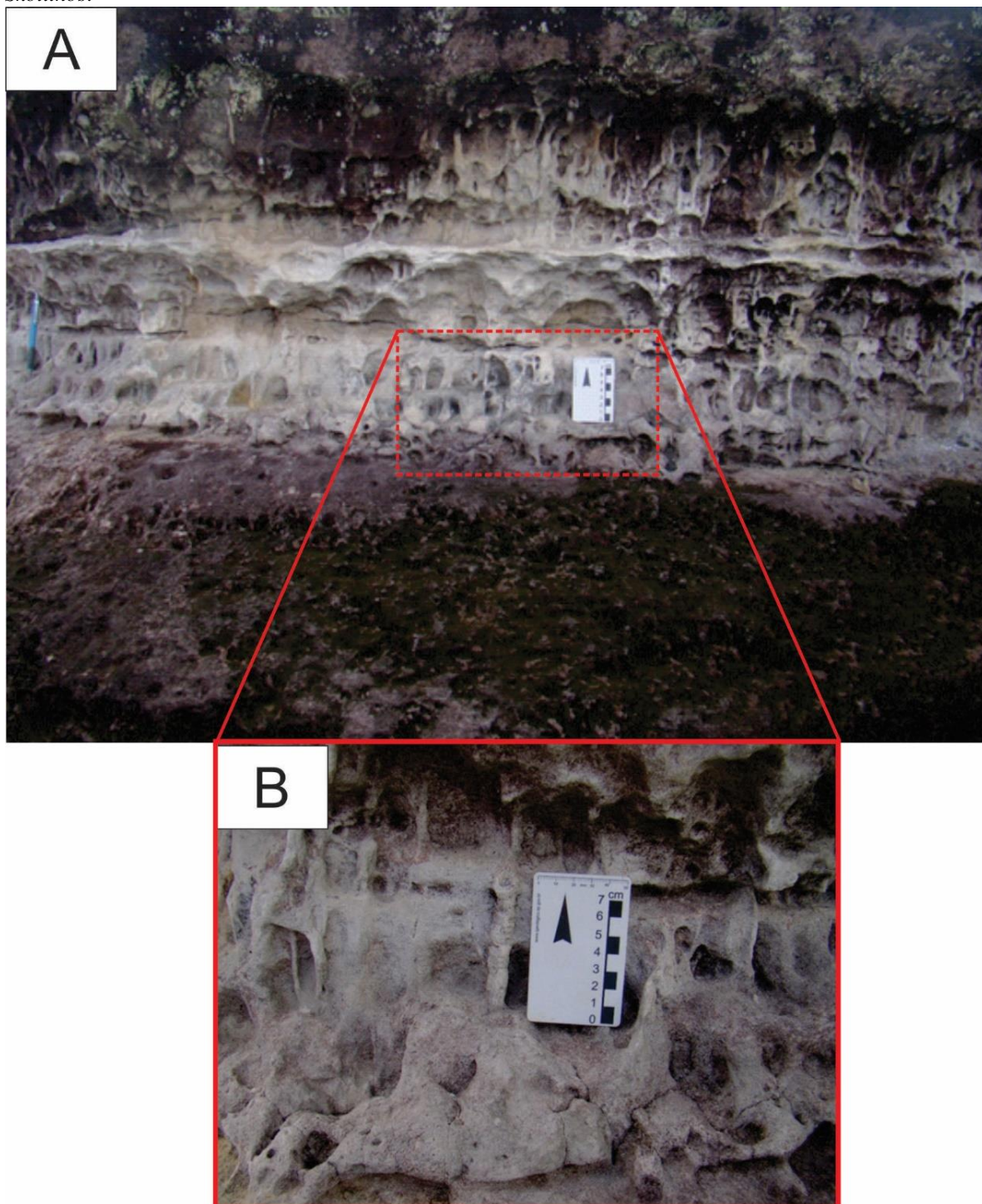


Figura 14: Fotomicrografias do arenito maciço. A e B) Aspecto geral dos arenitos observado em lâmina delgada com contatos de compromisso resultado do sobrecrecimento de quartzo; C) Tubo de *Planolites* preenchido por grãos de quartzo de granulometria fina e grãos angulosos; D e E) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas em destaque; F) Destaque para a presença de minerais pesados como turmalina e cimento de quartzo.

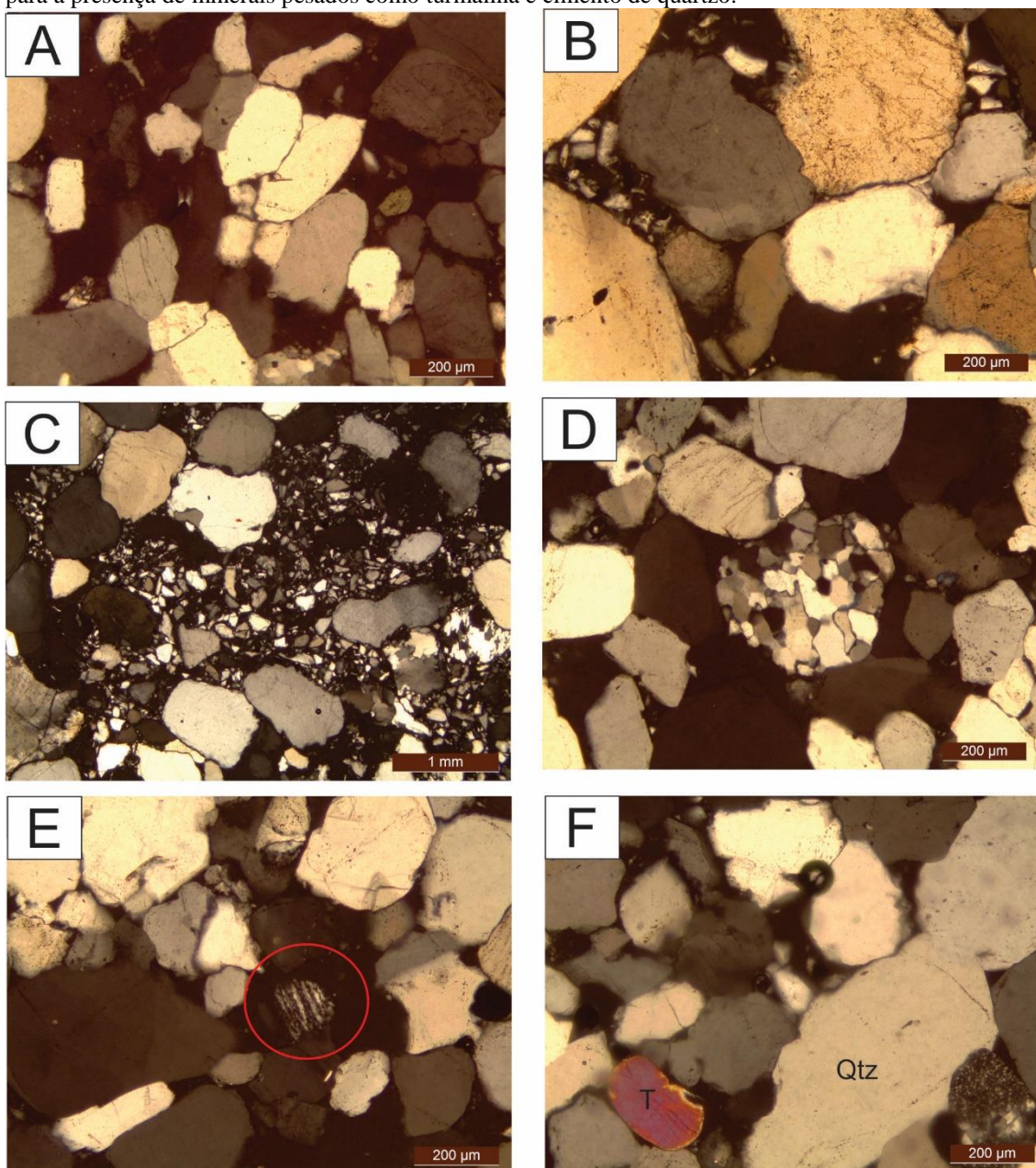
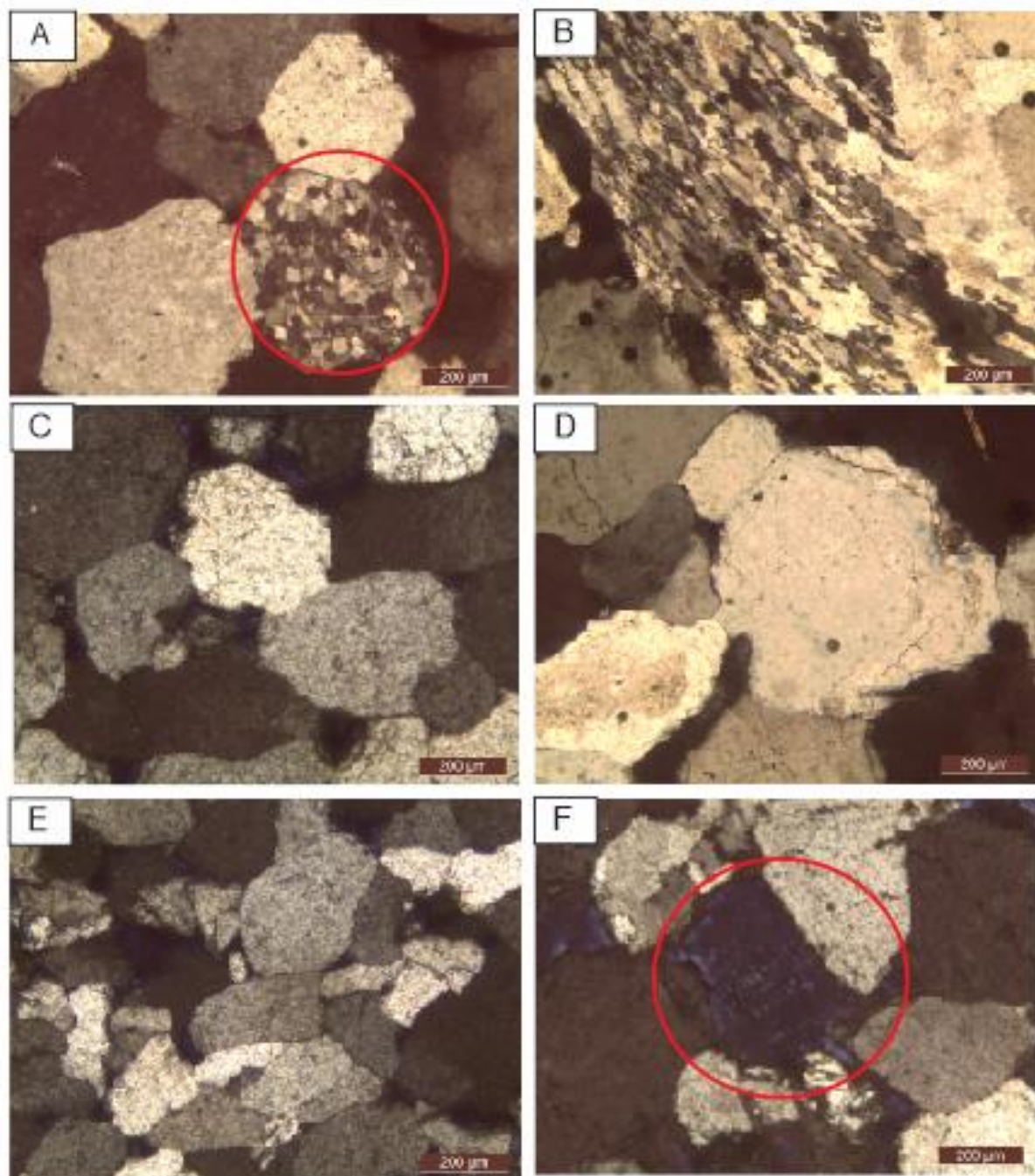


Figura 15: Fotomicrografias da fácies arenito maciço em testemunho de sondagem. A e B) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas; C, D e E) Notar alguns contatos grão-não grão e constituintes diagenéticos como cimento de quartzo; F) Poro moldico desenvolvidos pela dissolução total de feldspatos.



6.1.3 Arenito com laminação ondulada e planar (*Alb*)

Quartzo-arenito com granulometria média e moderadamente selecionados que compõem camadas tabulares de cor esbranquiçada com até 1,85 m de espessura (Fig. 16). Apresenta laminação ondulada e planar levemente inclinados formando truncamentos de baixo ângulo. As laminações onduladas são caracterizadas por estruturas geralmente simétricas com crista suave. Truncamentos de muito baixo ângulo são observados separando os *sets*. Localmente estes arenitos são bioturbados por *Skolithos*.

Quartzo-arenitos com laminações onduladas a planares sugere deposição em leito plano sob regime de fluxo superior com influencias de fluxo oscilatório (REINECK; SINGH, 1975). As laminações levemente inclinadas e com truncamentos de baixo ângulo sugerem deposição em superfícies inclinadas (REINECK; SINGH, 1975). Os truncamentos de muito baixo ângulo refletem pequenas descontinuidades erosivas que separam os *sets*. Arenitos com laminações onduladas e planas são geralmente abundantes em praias ou áreas expostas a ação de ondas (DELLA FÁVERA, 2001; REINECK; SINGH, 1975).

Figura 16: Fácies arenito com laminação ondulada e planar que mostram truncamentos de muito baixo ângulo (setas) que ocorrem intercalados com arenitos maciços.



6.1.4 Arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no foreset e seixos dispersos (At)

Quartzo-arenito com granulometria média a grossa, bem selecionados e bem arredondados que compõem sets de cor esbranquiçada com até 1 m de espessura, sendo que estes *sets* apresentam um adelgaçamento ascendente e podem chegar até 10 cm de espessura (Fig. 17A). Internamente exibem estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e grânulos e seixos dispersos com paleocorrentes apontando para o nordeste (Fig. 17B). Os grânulos e seixos são geralmente oblatos e de composição quartzosa. Os grãos de areia grossa dos *foresets* são subsarredondados a subangulosos e de composição quartzosa. Este material se concentra principalmente no limite entre *foresets* e o *bottomset* (FIG. 18).

Conforme o volume intergranular (VI) a rocha apresenta um empacotamento normal, com VI de 25%. A rocha é suportada por grãos de quartzo que apresentam em sua maior parte contatos pontuais, contatos de compromisso e grão-não grão, localmente são observados alguns contatos côncavo-convexos (Fig. 19^a). Os principais constituintes detríticos são grãos de quartzo com proporção modal de 59,5% de quartzo monocristalino e 12,2% de quartzo policristalino (Fig. 19B). O volume ocupado por fragmentos de rochas metamórficas, chert e pseudomatriz é de 2,3% (Fig. 19C). São também encontrados minerais pesados, como a turmalina com proporção modal de 0,7% na rocha. Entre os constituintes diagenéticos são encontrados cimento de quartzo, ocupando 1,5% no volume total da rocha (Fig. 19D). Em relação aos poros são predominantemente intergranulares primários que compõem 23,8% da rocha.

Arenitos com estratificação cruzada tabular são formados pela migração de forma de leito 2D em regime de fluxo unidirecional inferior (REINECK; SINGH, 1975). Os grãos de areia grossa que se concentram na base dos *foresets* são originados pelo processo de avalanche que ocorre na frente de dunas subaquosas relacionados a variações de energia durante o transporte. A predominância de grãos de quartzo bem selecionados e bem arredondados sugere uma alta maturidade composicional e textural comumente encontrada em regiões costeiras.

Figura 17: Fácies de arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. A) Visão geral do afloramento mostrando o adelgaçamento ascendente dos *sets*; B) Detalhe das concentrações de areia grossa no *foreset* e grânulos e seixos dispersos. Escala em A = 1,65 m.



Figura 18: Fácies de arenito com estratificação cruzada tabular com areia grossa no *foreset* e seixos dispersos. A) *Sets* menores da fácies At; em B) Detalhe dos *foresets* com grãos grossos.

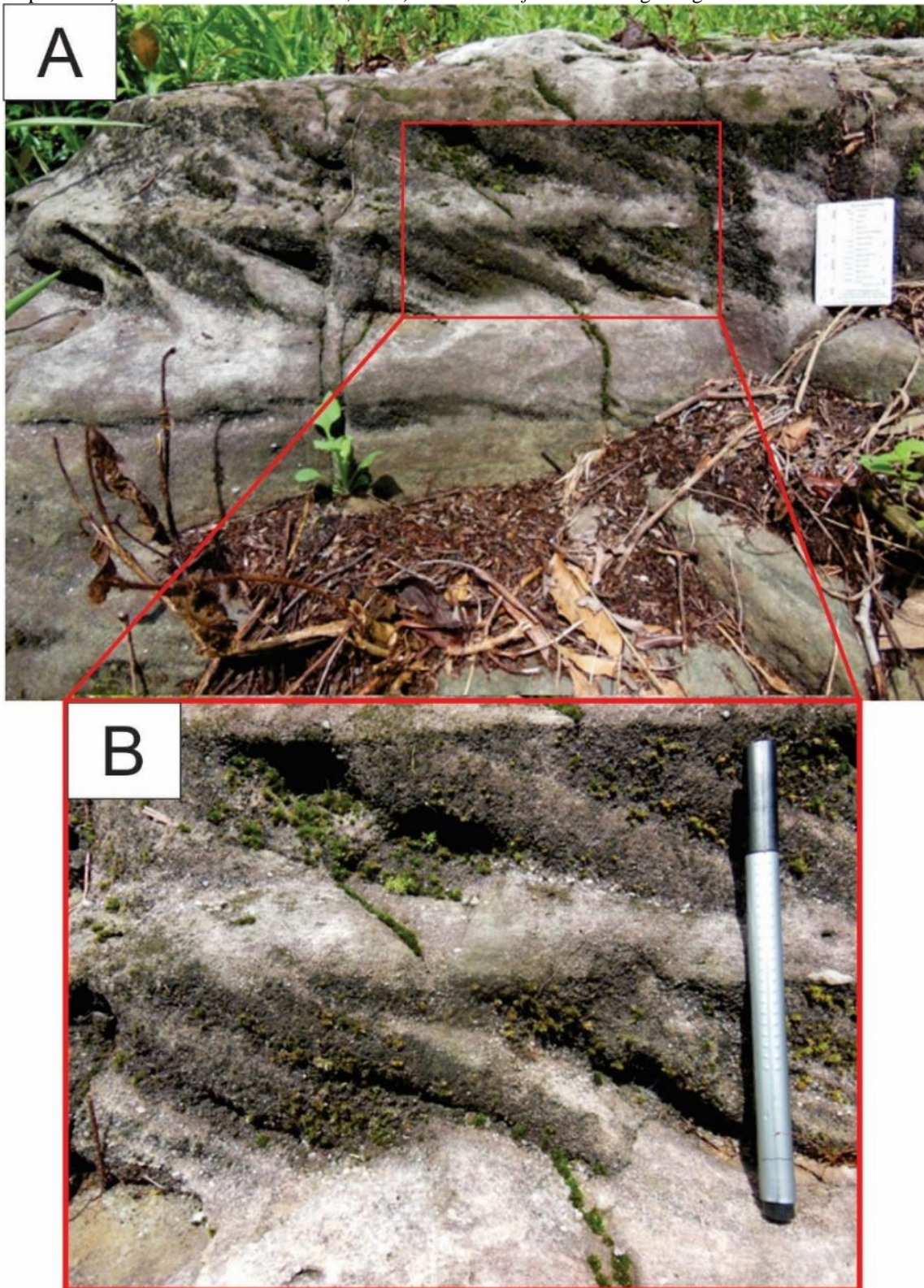
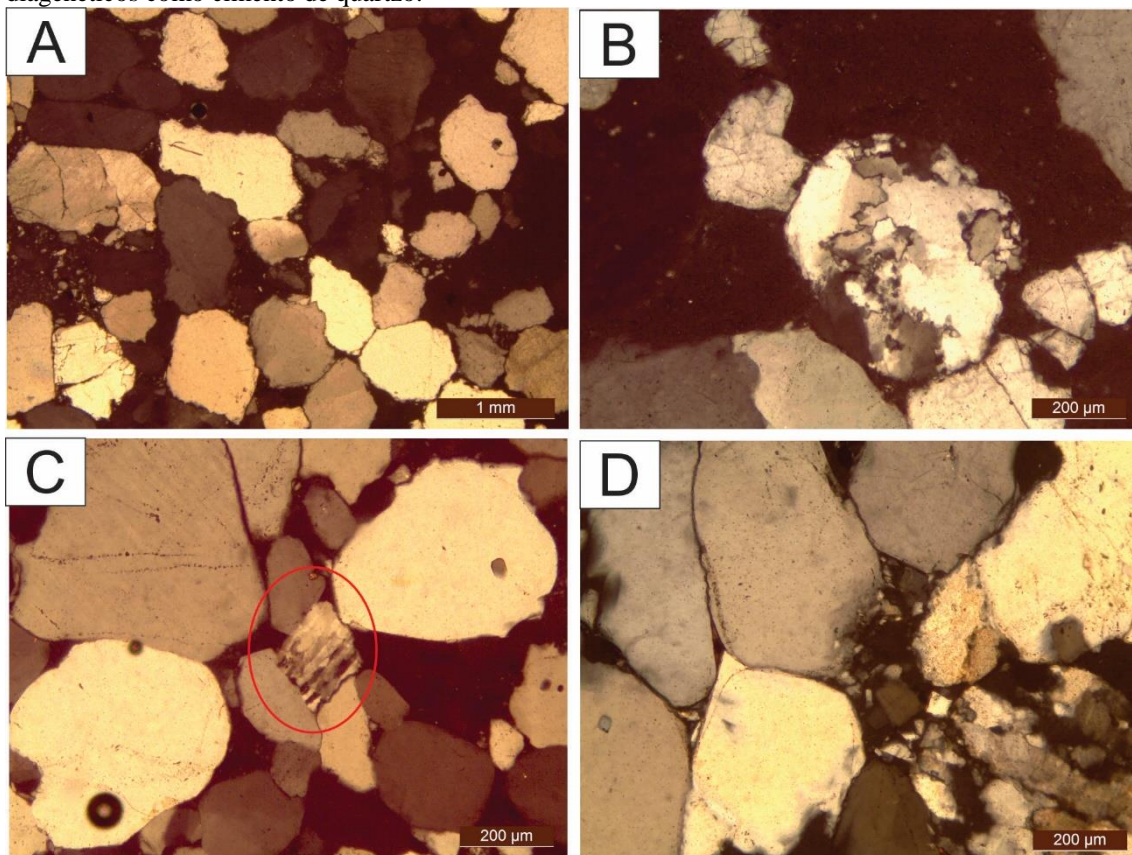


Figura 19: Fotomicrografias da fácies At. A) Arcabouço suportado por grãos de quartzo e alguns contatos pontuais, contatos de compromisso e grão-não grão; em B e C) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas em destaque; em D) Constituintes diagenéticos como cimento de quartzo.



6.2 Aspectos estruturais

Este capítulo descreve e analisa os aspectos estruturais da área de estudo com ênfase em lineamentos estruturais de escala macroscópica e juntas de escala mesoscópica.

6.2.1 Análise de lineamentos

O mapa de lineamentos foi elaborado a partir da extração manual de lineamentos de relevo e drenagem, utilizando um modelo digital de elevação (MDE) produzido a partir dos dados da missão SRTM da NASA. O MDE tem área de aproximadamente 20x24 km e inclui elevações que variam de 21,5 a 110 metros (Fig. 20). Os lineamentos são geometricamente classificados como traços retos contínuos e particularmente associados aos vales de drenagem, sendo os lineamentos de cristas de relevo subordinados. O tratamento estatístico das direções dos lineamentos permitiu identificar quatro famílias de lineamentos orientados predominantemente segundo os *trends* N-S, NE-SW, NW-SE e E-W (Fig. 21). Os lineamentos estão homogeneamente distribuídos na região de estudo e não indicam a presença de zonas de falha ou de concentração de deformação.

A família de lineamentos N-S representa os traços mais expressivos, com comprimento variando de 1,2 km até 6,9 km. Os lineamentos NE-SW formam traços curtos variando de 1 km até 6,7 km. A família de lineamentos menos expressivos estatisticamente mostra traços NW-SE, com comprimento variando de 1 km até 4 km. Não foi possível determinar relação temporal entre as famílias de lineamentos por não mostrarem relação de truncamento consistente.

Figura 20: Mapa estrutural fotointerpretado com as principais direções de lineamentos e os estereogramas dos dados coletados em campo de cada ponto estudado nas cidade de Irituia e São Miguel do Guamá.

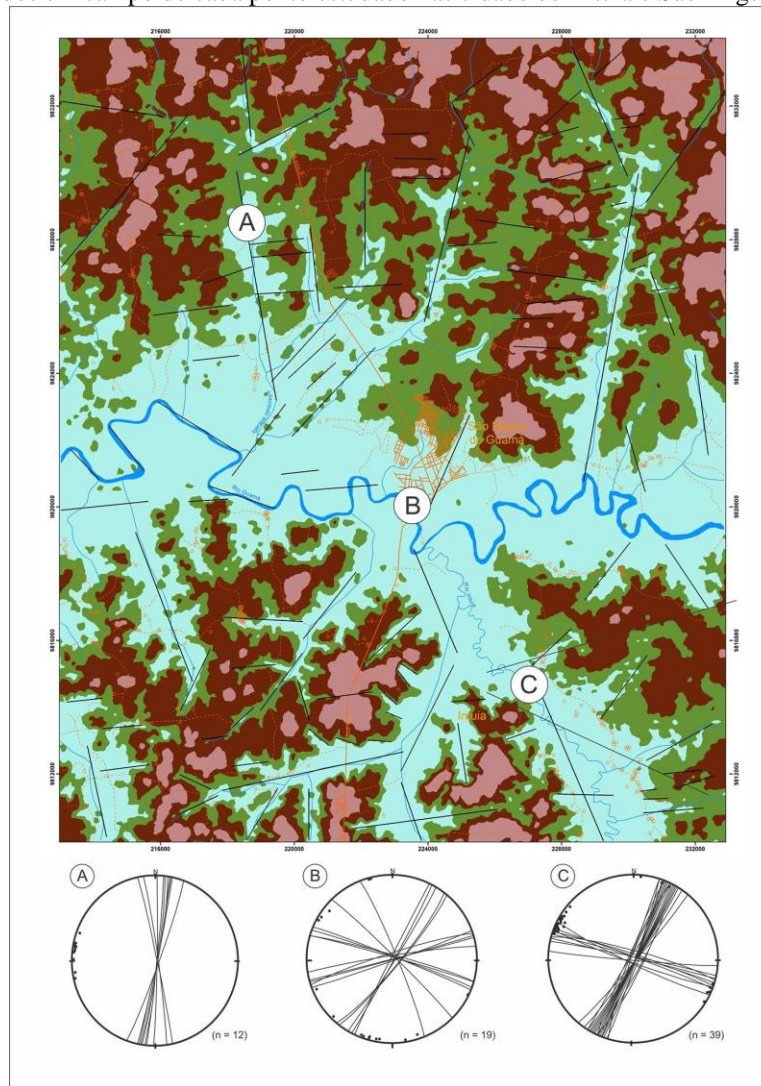
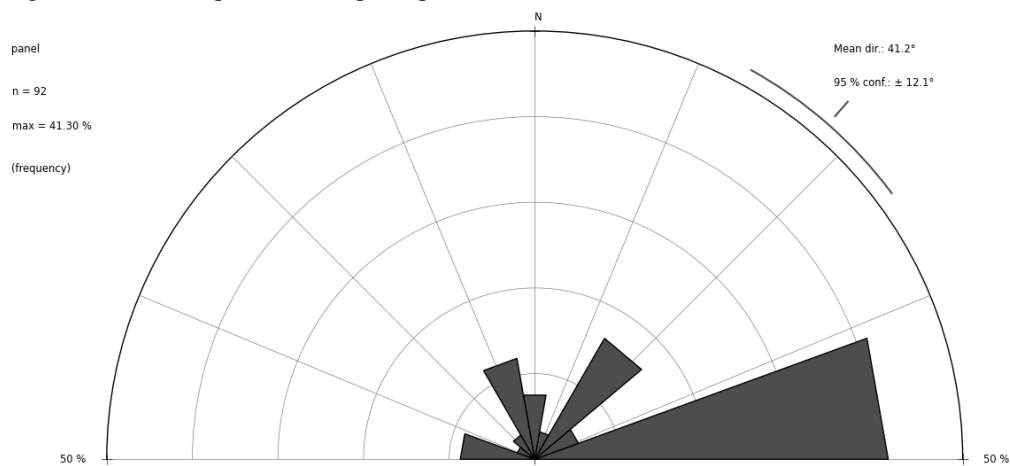


Figura 21: Diagrama de roseta com os dados fotointerpretados, baseados na distribuição detalhada das drenagens, mostrando quatro *trends* principais: N-S, NE-SW, NW-SE e E-W.



6.2.2 Análise de dados de campo

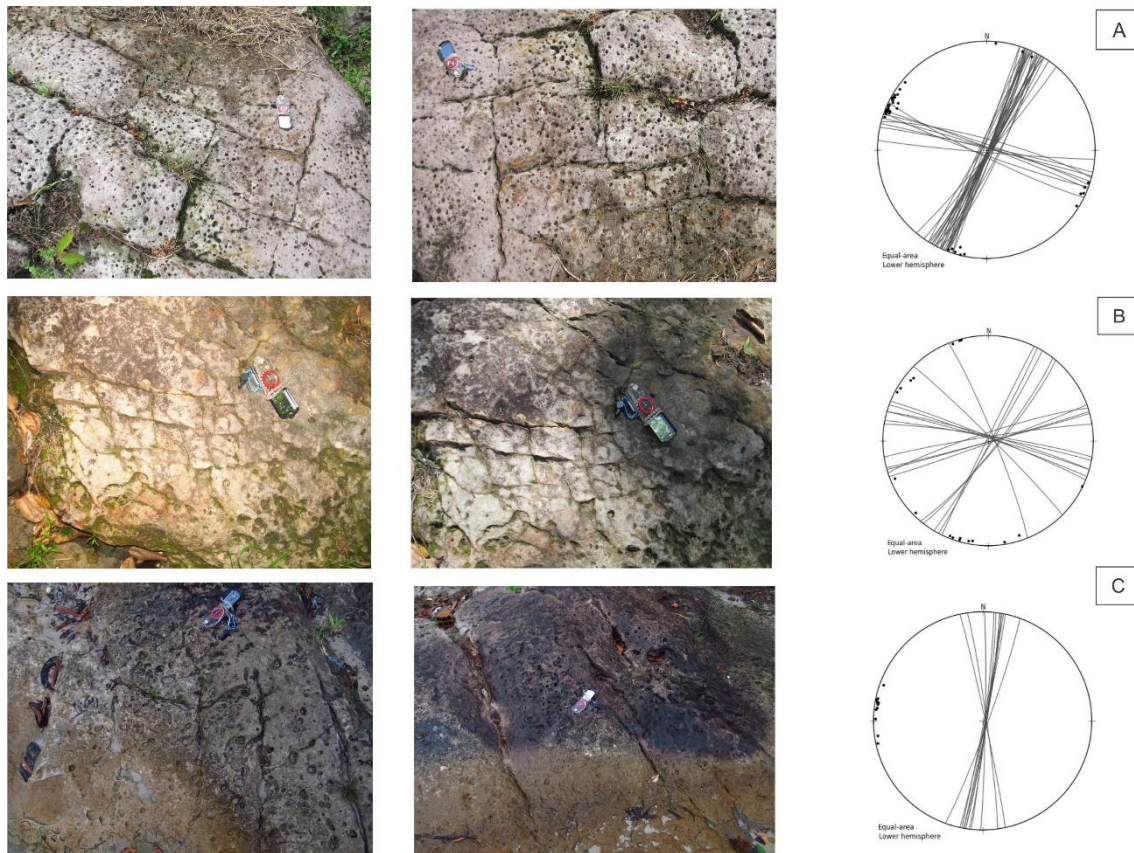
A coleta de dados estruturais de campo foi realizada em três localidades: no Município de Irituia, na localidade de Vila da Pedra, às margens do Rio Guamá; na cidade de São Miguel do Guamá em frente ao Colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; e no balneário da Cachoeira do Apolônio em São Miguel do Guamá.

As estruturas reconhecidas em campo compreendem juntas que ocorrem em quartzo arenitos médios, bem selecionados, descritas a seguir de acordo com o local de ocorrência. Na Vila da Pedra, em Irituia, foram observadas duas famílias de juntas, verticais seguindo as direções NE-SW e NW-SE, ortogonais entre si (Fig 22) e que se cortam mutuamente. Estas estruturas ocorrem distribuídas homoganeamente no afloramento estudado de forma descontínua e em traços curtos, na fácies Arenito maciço com bioturbações (Amb).

No afloramento em São Miguel do Guamá em frente ao Colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias foram encontradas três famílias de juntas, sendo duas 45odeling ortogonais entre si, com direções NE-SW e NW-SE uma família subordinada ENE-WSW. As juntas cortam Arenito maciço com bioturbações (Amb) e Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao). Na localidade da Cachoeira do Apolônio, uma família de fraturas extensionais com direção aproximada N-S e traços mais longos e contínuos que nas demais localidades, cortam arenitos maciços com bioturbações (Amb) (Fig. 22).

As famílias de juntas presentes nas rochas das três localidades estudadas, se cortam mutuamente, indicando que são estruturas contemporâneas, relacionadas a um único evento tectônico.

Figura 22: Em A) Afloramento visto em planta na cidade de Irituia com as fraturas ortogonais na fácies Arenito maciço com bioturbações (Amb); Em B e C) Afloramentos com fraturas ortogonais, em planta na cidade de São Miguel do Guamá nas fácies Arenito maciço com bioturbações (Amb) e Arenito maciço com acamamento de megamarcas onduladas (Ao).



6.2.3 Discussão dos dados estruturais

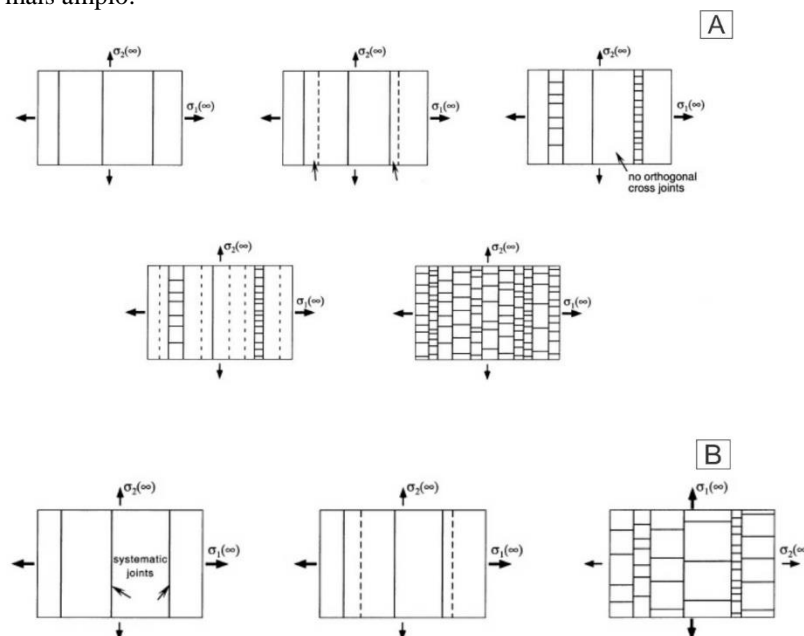
Os lineamentos interpretados remotamente e as fraturas extensionais observadas em campo mostram boa correlação entre as principais direções de suas famílias. Isto comprova que os lineamentos extraídos do produto de sensor remoto correspondem a estruturas tectônicas com expressão no relevo, excluindo a possibilidade de se tratarem de artefatos de imagem. Exceção ocorre com a família de lineamentos de direção E-W que não mostrou ter fraturas com a mesma direção em escala de afloramento. Isso foi interpretado como consequência da amostragem limitada dos dados de campo, restrita a três localidades distantes de qualquer lineamento de direção E-W.

As juntas não produziam deslocamento vertical ou horizontal visível a olho nu, tampouco evidência de deformação dos grãos de quartzo ao longo do plano da descontinuidade. Estas estruturas mostravam abertura submilimétrica o que permitiu classificá-las como fraturas extensionais ou fissuras de acordo com a classificação de juntas sugerida por Fossen (2012). A natureza das fissuras e seu caráter contemporâneo

permitiu interpretar que estas estruturas foram produzidas em um contexto de tectônica extensional que afetou a região estudada após a litificação do Arenito Guamá

Uma interpretação comum para a origem de fraturas extensionais ortogonais é que elas definem a orientação do campo de esforço regional durante sua formação, ou seja, a menor componente de esforço ou esforço tensional é perpendicular à direção da fratura. Assim, a presença de duas famílias de fraturas extensionais ortogonais indicaria a rotação do campo de esforço em 90° após a formação da primeira família de fraturas. Esta interpretação é comumente relacionada a dois ou mais eventos tectônicos separados no tempo. Bai et al (2002) propõe que fraturas ortogonais verticais podem se formar a partir do aumento contínuo do esforço tensional horizontal, formando fraturas secundárias dispostas perpendicularmente a fraturas principais, produzindo o padrão ortogonal (Fig. 23). As implicações deste modelo são coerentes com as fraturas estudadas neste trabalho. Visto que estas estruturas são interpretadas como contemporâneas e formadas durante um único evento tectônico regional extensional.

Figura 23: Em A) Modelo de estresse local variável indicando os estágios de evolução, onde com o aumento da deformação no eixo de maior esforço que se encontra na horizontal, vários pares de juntas e fraturas secundárias dispostas perpendicularmente as fraturas principais; B) Modelo estresse regional com rotação mostrando os estágios de evolução deste modelo, indicando uma modificação nos eixos de esforço de caráter mais amplo.



Fonte: Bai et al 2002

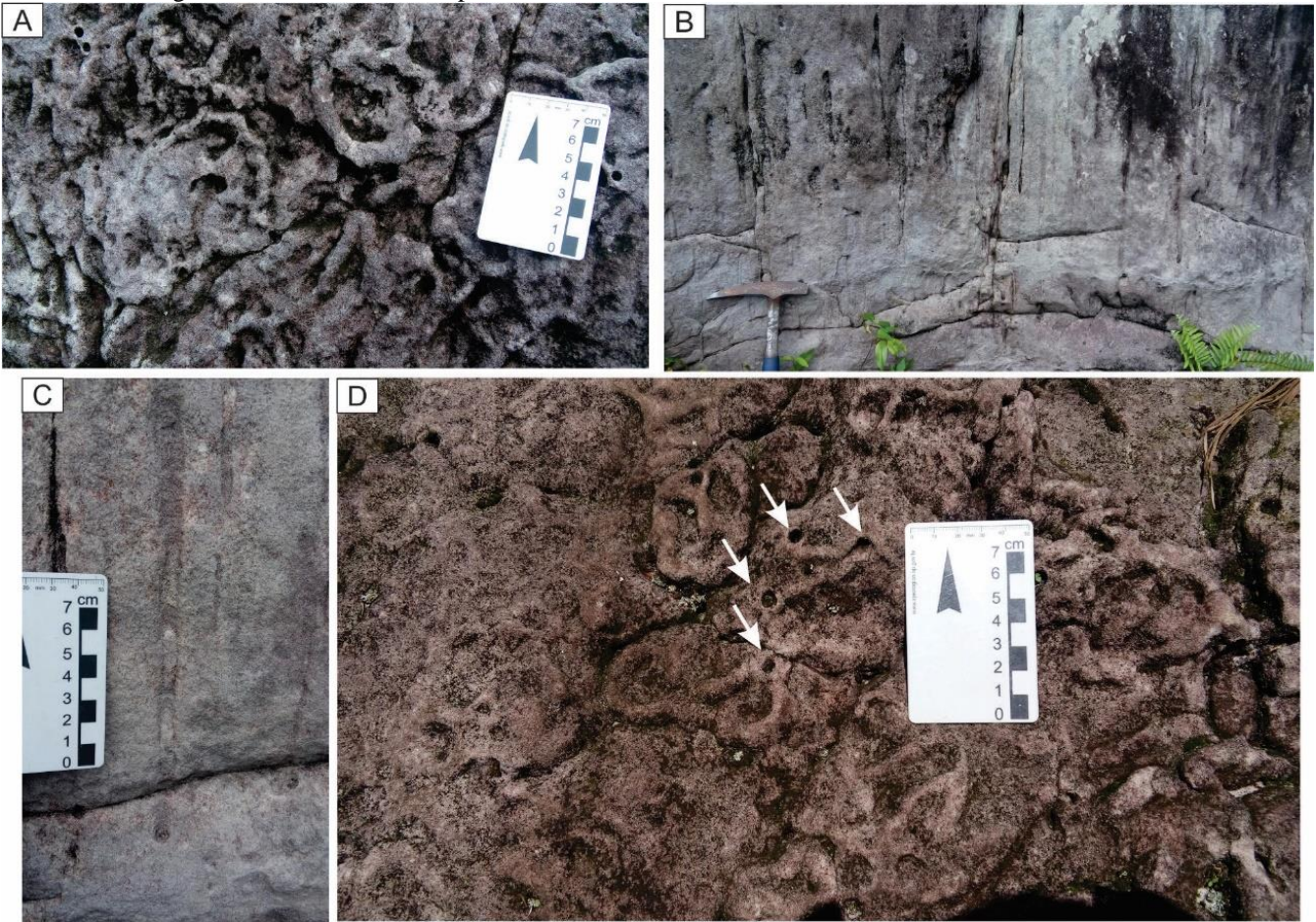
7 ICNOLOGIA

Os icnofósseis encontrados no Arenito Guamá ocorrem principalmente na fácies arenito maciço e esporadicamente na fácies arenito com laminação ondulada a planar. Estas estruturas biogênicas são visíveis tanto no topo das camadas como internamente. Duas formas principais são observadas: 1) Traços horizontais interpretados como *Planolites* e 2) Tubos verticais de *Skolithos*.

Os icnogêneros de *Planolites* são caracterizados por estruturas horizontais, cilíndricas meandantes preservadas em epirrelevo convexo. Traços mais curtos podem apresentar formas retilíneas ou curvadas. As paredes dos tubos são lisas e o preenchimento apresenta granulometria muito mais fina que da rocha hospedeira (areia média). O diâmetro dos tubos varia entre 0,8 e 1 cm e o comprimento é variado (Fig. 24A). Os icnogêneros de *Skolithos* são caracterizados por estruturas verticais, cilíndricas e retilíneas preservadas de forma endichnial (Fig. 24B). As paredes são lisas e sem ornamentações e o preenchimento é passivo do tipo *downward advection* (sensu BUATOIS; MÁNGANO, 2011) (Fig. 24C) e similar ao da rocha hospedeira. O diâmetro dos tubos é de 1 cm e o comprimento varia conforme a espessura da camada, podendo chegar a 1 metro de comprimento.

Dessa forma, no Arenito Guamá foram identificados os icnogêneros *Planolites* e *Skolithos* que comumente compõem as icnofácies *Cruziana* e *Skolithos*, respectivamente (MACEARCHEN et al., 2010). Estes traços fósseis estão heterogeneamente distribuídos regularmente no afloramento de Vila da Pedra Caída, porém de forma heterogênea que significa que as bioturbações ocorrem em determinados níveis geralmente limitados por níveis sem bioturbação (GINGRAS et al., 2011). Os *Planolites* se concentram no topo das camadas e exibem uma alta densidade de tubos com índices de icnofábrica (ii) igual a 5, que indicam um retrabalhamento do substrato por organismos escavadores entre 60-100%. Em outras localidades as camadas bioturbadas por *Planolites* apresentam ii entre 4 (40-60%) e 5. Os *Skolithos* ocorrem dentro das camadas e o índice de bioturbação varia entre ii 3 e 4. A associação entre *Skolithos* e *Planolites* é observada no topo das camadas, onde é possível visualizar tubos de *Skolithos* intersectando tubos de *Planolites* (Fig. 24 D)

Figura 24: Traços fósseis do Arenito Guamá. A) Topo da camada de arenito densamente bioturbado por *Planolites* de formas meandranantes e curvadas; B) Camada de arenito maciço com tubos verticais retilíneos de *Skolithos*; C) Preenchimento passivo do tipo downward advection em tubo vertical de *Skolithos*; D) Vista em planta de tubos verticais ao icnogênero *Skolithos* vistas em planta intersectando tubos de *Planolites*.



7.1 Interpretação

Planolites e *Skolithos* são traços fósseis produzidos geralmente por organismos vermeformes durante atividades de alimentação e habitação, respectivamente. *Planolites* representa o preenchimento ativo de sedimentos por um organismo que constrói tubos efêmeros durante o seu deslocamento intraestratal ao se alimentar. Portanto, o sedimento que preenche os tubos representa sedimento processado pelo organismo, especialmente pela atividade de organismos endolíticos sedimentívoros. Pemberton & Frey (1982) recomendam que a diferença entre *Planolites* e *Palaeophycus* seja feita analisando principalmente o tipo de preenchimento. *Planolites* representariam preenchimento ativo por isso apresentaria um preenchimento diferente da rocha hospedeira. Enquanto que *Palaeophycus* representaria um preenchimento passivo e semelhante ao da rocha hospedeira. Contudo, Jensen (1997) notou que o material digestivo pode ser semelhante ao sedimento hospedeiro e sedimento passivamente

introduzido pode contrastar com a rocha hospedeira. Consequentemente, em vez da natureza do preenchimento (contraste vs similar a rocha hospedeira), a análise deveria verificar se a estrutura registra um retrabalhamento ativo pelo produtor ou uma simples infiltração de matéria de forma passiva. O preenchimento dos tubos por sedimentos mais finos que o da rocha hospedeira (Fig. 14C), apesar de ambos terem composição quartzosa, indica que o preenchimento foi ativo e que a redução granulométrica foi produto da atividade detritívora dos organismos produtores.

Skolithos são considerados tubos de habitação (*domichnia*) de organismos sedentários que se alimentam de material em suspensão como foronídeos e anelídeos poliquetas (OSGOOD, 1970). A densidade dos tubos está relacionada a variações na taxa de deposição (ALPERT, 1974). A densidade de traços fósseis do icnogênero *Skolithos* variando de baixa a moderada ($i_i = 3-4$) nos arenitos estudados sugere sedimentação rápida e contínua (MCILLORY; GARTON, 2004). O largo comprimento vertical dos *Skolithos* (~1m) indica que os organismos que produziram esses traços fósseis estavam constantemente fugindo do soterramento devido às altas taxas de sedimentação (*Fugichnia*). O preenchimento do tipo *downward advection* é gerado pelo colapso de material arenoso inconsolidado que se encontra na saída dos tubos (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

Nos depósitos estudados foram identificadas as icnofácies *Cruziana* e *Skolithos* que são comumente associadas a ambientes marinhos costeiros (MACEACHERN; PEMBERTON, 1992; PEMBERTON; FREY, 1984; PEMBERTON et al., 1992 SEILACHER, 1967;). A presença de camadas com abundantes traços fósseis do icnogênero *Skolithos* que são substituídos em direção ao topo por camadas densamente bioturbadas por *Planolites* indicam mudanças periódicas na energia do ambiente e na forma de disponibilidade de alimento (NETTO, 2001). Durante períodos de maior energia e alimento disponível em suspensão foram gerados os tubos de *Skolithos*, enquanto que durante pausas ou redução na sedimentação e disponibilidade de alimento no substrato foram gerados os traços de *Planolites*.

Estes traços ocorrem de forma regularmente heterogêneo distribuída (GINGRAS et al 2011), este tipo de distribuição sugere períodos de colonização do substrato intercalados com condições deposicionais menos favoráveis para os organismos infaunais, que pode estar associado à variação regular dos parâmetros físico-químicos do local (GINGRAS et al., 2011). Ambientes deposicionais que são caracterizados por

tais condições são geralmente influenciados por ciclos climáticos de longa duração e/ou mudanças sazonais/anuais (GINGRAS et al., 2011). Estas camadas apresentam um grau de bioturbação muito alto com pouca preservação das estruturas primárias, porém a icnodiversidade continua baixa. Esta associação permite interpretar as feições como uma mistura das icnofácies *Skolithos-Cruziana* sugerindo ambientes deposicionais estáveis de águas salobras que geralmente estão associados com ambientes de estuários (EKDALE et al., 1984; NETTO; ROSSETTI, 2003; PEMBERTON et al., 1992;). Contudo, características semelhantes também são encontradas em depósitos costeiros marinhos influenciados por águas de degelo, onde a mistura de água doce de degelo e marinha causam variações de salinidade e afetam a vida bentônica (ALONSO-MURUAGA et al., 2013; SARKAR et al., 2009).

8 DISCUSSÕES

8.1 Paleoambiente

Os depósitos do Arenito Guamá são tradicionalmente interpretados como o registro de ambientes costeiros, mas precisamente nas zonas de *foreshore* e *shoreface* (OLIVEIRA, 2007; TRUCKENBRODT; ALVES, 1982). As fácies deposicionais descritas com predominância de quartzo-arenitos, subarredondados a arredondados e bem selecionados com estruturas que indicam a ação de ondas e correntes sugerem alta maturidade textural e composicional associada a condições de alta a moderada energia em uma região costeira. Torres (1985) e Oliveira (2007) analisando amostras de testemunho de sondagem também interpretaram o Arenito Guamá como maturo em composição e textura.

Oliveira (2007) interpreta os arenitos com estratificações cruzadas como registro de ambientes de *shoreface* e os arenitos com estratificação plano-paralela como registro de *foreshore*. A presença de arenitos com laminações onduladas e planar com truncamentos de baixo ângulo e pouca bioturbação sugerem um ambiente de *foreshore*. Zonas de *foreshore* são geralmente caracterizadas pelas condições de alta energia e intenso processo de *swash-backwash*, nas quais são depositados sedimentos bem selecionados com grãos variando de médio a grosso. Devido à alta energia os depósitos de *foreshore* tendem a ser pouco bioturbados e apresentar baixa icnodiversidade (MACEACHERN; PEMBERTON, 1992; PEMBERTON et al., 2001). Localmente, zonas com intensa bioturbação por organismos detritívoros (*Planolites*), como as observadas nas fácies de arenitos maciços, são comuns (PEMBERTON et al., 2001). Estruturas verticais profundas utilizadas como moradia por organismos suspensívoros, como os *Skolithos* encontrados em abundância no Arenito Guamá, são elementos típicos da zona de *foreshore* principalmente por que refletem a abundância de alimento em suspensão e a constante sedimentação ocasionada pela ação de ondas e correntes (MACEARCHEN; PEMBERTON, 1992; PEMBERTON et al. 2001).

O registro de depósitos de *shoreface* no Arenito Guamá se restringem as fácies de arenito com estratificação cruzada tabular e com acamamento de megamarcas onduladas que indicam a migração dunas subaquosas pela ação de correntes e ondas. Estes depósitos não apresentam traços fósseis e isso pode estar relacionado a continua

migração das dunas que resulta em uma esparça colonização do substrato marinho por organismos bentônicos (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Depósitos de *shoreface* superior são comumente não bioturbados e semelhantes às icnoassembleias de *foreshore* (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

8.2 Correlação com as formações Ipu e Nhamundá

A idade do Arenito Guamá ainda é muito discutida, assim como o seu papel na evolução da Plataforma Bragantina e sua relação com as unidades sedimentares que ocorrem nas bacias do Amazonas e Parnaíba (CAPUTO, 1984; MARTINS et al., 2007; TRUCKENBRODT; ALVES, 1982;). Correlações com as formações Ipu da Bacia do Parnaíba e Nhamundá da Bacia do Amazonas, que são de idade siluriana, foram propostas por Caputo (1984). A Formação Ipu que é do Llandoveryano (Siluriano Inferior), pertencente à porção basal do Grupo Serra Grande, é caracterizada por arenitos grossos friáveis, conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos glaciais que indicam depósitos fluviais influenciados pela glaciação siluriana (CAPUTO, 1984). Em termos faciológicos, a Formação Ipu e o Arenito Guamá são completamente diferentes, apesar de poderem ser correlatos cronoestratigráficos. Segundo Caputo (1984), o Arenito Guamá poderia ser a porção distal dos depósitos glaciais da Formação Ipu.

A Formação Nhamundá (Llandoveryano ao Wenlockiano Inferior - Siluriano Inferior), pertencente ao Grupo Trombetas, é caracterizada por quartzo-arenitos finos a grossos, bem selecionados e arredondados com estratificações plano-paralelas com truncamentos de baixo ângulo, arenitos maciços e com estratificações cruzadas tabular e *hummocky* que são interpretados como depósitos costeiros, *foreshore* e *shoreface* (NOGUEIRA et al., 1997, 1999; SOARES et al., 2005). Diamictitos e quartzo-arenitos deformados são interpretados como depósitos glaciais de degelo e deslocamento da geleira (NOGUEIRA et al., 1997, 1999). Exceto pela presença de diamictitos e arenitos deformados, as fácies deposicionais da Formação Nhamundá são muito semelhantes as do Arenito Guamá, principalmente as do ambiente de *foreshore*. Através das fácies descritas por Soares et al. (2005) é possível fazer uma correlação direta com o Arenito Guamá, tais fácies são de caráter costeiro assim como as fácies descritas no Arenito Guamá. Além disso, apresentam também características petrográficas semelhantes, como a dissolução de sílica fortemente presente na Formação Nhamundá e que também

é observada nas camadas do Arenito Guamá. Outra semelhança importante são as paleocorrentes do Arenito Guamá que apontam para o Nordeste, assim como as paleocorrentes encontradas na Formação Nhamundá.

A presença das icnofácies *Cruziana-Skolithos* no Arenito do Guamá é semelhante ao que é observado nos arenitos da Formação Nhamundá e sugerem ambientes estressantes relacionados a águas salobras (SOARES; NOGUEIRA, 2006). Em ambientes influenciados por glaciações é comum a presença de águas salobras durante a fase de degelo, podendo ser correlacionada com as fácies da Formação Ipu, onde são também descritas fácies glaciais.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das características faciológicas e da icnofauna, foi possível a interpretação de um paleoambiente deposicional *foreshore/shoreface* para os depósitos do Arenito Guamá que ocorrem nas regiões de São Miguel do Guamá e Irituia. A presença de *Skolithos* sugere um ambiente altamente energético com abundante alimento em suspensão, enquanto que a presença de *Planolites* está relacionada a interrupções ou diminuição da taxa de sedimentação e energia que possibilitou a presença de nutrientes no fundo marinho.

A presença de icnofósseis das icnofácies Cruziana e Skolithos associada à baixa diversidade de traços sugere ambientes estressantes relacionados a águas salobras. Águas de degelo que se misturavam as águas marinhas nas regiões costeiras da Amazônia durante o Siluriano podem explicar estas variações de salinidade que são refletidas na assembleia icnofossilífera. Esta associação ocorre tanto no Arenito Guamá como na Formação Nhamundá e pode ser utilizada para correlacionar estas duas unidades.

REFERÊNCIAS

- ALONSO-MURUAGA, P. J.; BUATOIS, L. A.; LIMARINO, C. O. Ichnology of the late carboniferous Hoyada Verde Formations of western Argentina: Exploring postglacial shallow-marine ecosystems of Gondwana. **Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 2013.
- ALPERT, S.P. Systematic review of the genus *Skolithos*. **Journal of Paleontology**, v. 48, n. 4, p. 661-669, 1974.
- BAI, T.; MAERTEN, L.; GROSS, M.R.; AYDIN, A. Orthogonal cross-joints: do they imply a regional stress rotation? **Journal of Structural Geology**, v. ou n. 24, p. 77-88, 2002.
- BEARD, D.C.; WEYL, P.K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. **AAPG Bulletin**, v. 57, p.349–369, 1973.
- BROMLEY, R.G. **Trace fossilis: biology, taphonomy and applications**. 2nd ed. London: Chapman and Hall, 1996. p. 361.
- BUATOIS, L.; MÁNGANO, M.G. **Ichnology organism-substrate interactions in space and time**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2011.
- CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 583f. Thesis (PhD) - University of California, Santa Barbara, 1984. Unpublished.
- CAPUTO, M.V.; LIMA, E.C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande-Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG , 1984. v. 2, p. 740-753.
- DELLA FÁVERA, J.C. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.
- DROSER, M.L.; BOTTJER, D.J. A semiquantitative field classification of ichnofabric. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 56, p. 558-559, 1986.
- EKDALE, A.A.; BROMLEY, R.G.; PEMBERTON, S.G. **Ichnology: Trace Fossilis in Sedimentology and Stratigraphy**. [S.l.]: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1984. p. 317. (Short Course 15).
- FERNANDES, A.C.S.; BORGHI, L.; CARVALHO, I.S.; ABREU, C.J. **Guia dos Icnofósseis de Invertebrados do Brasil**. [S.l.]: Ed. Interciência, 2002. p. 260.
- FOLK, R.L. **Petrology of sedimentar rocks**. Austin, Hemphill, p. 186, 1974.
- FOSSEN, H. **Structural Geology**. Cambridge: The Endinburgh, 2010. 168p.
- GALEHOUSE, J.S. Point counting. In: CARVER, R. E. (Ed.). **Procedures in sedimentary petrology**. York: Wiley-Interscience, 1971. p. 385-407.

GINGRAS, M.K.; MACEARCHERN, J.A.; DASHTGARD, S.E. Process ichnology and the elucidation of physic-chemical stress. **Sedimentary Geology**, v. 237, p. 115-134, 2011.

HÄNTZSCHEL, W. Trace fossils and problematica. In: TEICHERT, C. (Ed.). **Treatise on Invertebrate paleontology**. Boulder, Colorado: Geological Society of America, University of Kansas Press, 1975. Part W, p. 177-243.

JENSEN, S. Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwitzia sandstone, south-central Sweden. **Fossils and Strata**, v. 42, p. 1-111, 1997.

KRAATZ-KOSCHLAU, K.A.; HUBER, J. Zwischen Ocean und Guamá: Beitrag zur Kenntnis des Staates Pará. **Mem. Museu Paraense**, v. 2, p.19-39,1900.

MACEACHERN, J.A.; PEMBERTON, S.G. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In: PEMBERTON, S.G. (Ed.). **Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: a Core Workshop**. [S.l.]: Society for Sedimentary Geology, 1992. v. 17, p. 57-84.

MACEARCHEN, J.A.; PEMBERTON, S.G.; GINGRAS M.K.; BANN, K.L. **Ichnology and Facies Models: Principles, Tools and Concepts**. [S.l. : s.n.], 2010.

MARTINS, P.S.; TRUCKENBRODT, W.; MOURA, C.A.V. Proveniência do Arenito Guamá (Siluriano Inferior) com base em petrografia e datação de grãos de zircão por evaporação de Pb. In: ROSA-COSTA, L.T., KLEIN, E.L., VIGLIO, E.P. (Ed.). **Contribuição à Geologia da Amazônia**. [S.l. : s.n.], 2007. v. 5, p. 39-48.

MARTINSSON, A. Toponymy of trace fossils. In: HARPER, J.C. **Trace Fossils**. [S.l. : s.n.], 1970. p. 323-330. (Geological Journal Special Issue, 3).

MCILROY, D.; GARTON, M. A worm's eye view of the Early Palaeozoic sea floor. **Geology Today**, v. 20, p. 224-230, 2004.

MIALL, A.D. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks and their relationship to sedimentation rate. In: MIALL, A.D.; TYLER, N. (Ed.). **The three dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery**. Tulsa: Society for Sedimentary Geology/SEPM, 1991. p. 6-12. (Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3).

MIALL, A.D. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, Utah. **Journal of Sedimentary Research**, B64, p. 146-158, 1994.

MILLER, M.F.; SMAIL, S.E. A Semiquantitative Field Method for Evaluating Bioturbation on Bedding Planes. **Palaios**, v. 12, p. 397-396, 1997.

NETTO, R.G., Icnologia e Estratigrafia de Sequências. In: H.J.P.S. RIBEIRO (ed.). **Estratigrafia de Sequências: Fundamentos e aplicações**. [S.l.]: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2001. p.219-259.

NETTO, R.G.; ROSSETTI, D.F. Ichnology and salinity fluctuations: a case study in the Early Miocene (Lower Barreiras Succession) of Sao Luis Basin, Maranhao, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 6, p. 5–18, 2003.

NOGUEIRA, A. C. R.; SOARES, E. A. A.; SOUZA, V.; TRUCKENBRODT, W.; CAPUTO, M. V. Estruturas glacioteclônicas na Formação Nhamundá, Siluriano da Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6., 1997, Pirenópolis. **Abstracts...** Pirenópolis: SBG Universidade de Brasília, 1997. v.1, p. 153-155.

NOGUEIRA, A. C. R.; TRUCKENBRODT, W.; SOARES, E. A. A. O icnogênero *Arthropycus* de depósitos sublitorâneos da Formação Nhamundá, (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, p. 135–140, 1999.

OLIVEIRA, R.S.D. **Estudos diagenético e de proveniência do Arenito Guamá, Siluriano, Nordeste do estado do Pará.** 2007. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

OSGOOD, R.G. Trace fossils of the Cincinnati area. **Palaeontographica Americana**, v. ou n. 6, 281–444, 1970.

PEMBERTON, S.G.; FREY, R.W. Ichnology of storm-influenced shallow marine sequence: Cardium Formation (Upper Cretaceous) at Seebe, Alberta. In: STOTT, D.F.; GLASS, D.J. (Ed.). **The Mesozoic of middle North America.** [S.l. : s.n.], 1984A. p. 281–304. (Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 9).

PEMBERTON, S.G. & FREY, R.W. Trace fossil nomenclature and the *Planolites–Palaeophycus* dilemma. **Journal of Paleontology**, v. 56, p. 843–881, 1982.

PEMBERTON, S.G.; MACEACHERN, J.A.; FREY, R.W. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. (Ed.). **Facies Models: response to sea level change.** [S.l.]: Geol. Assoc. Canadá, 1992. p. 47-70.

PEMBERTON, S.G.; SPILA, M.; PULHAM, A.J.; SAUNDERS, T.; MACEACHERN, J.A.; ROBBINS, D.; SINCLAIR, I.K. Ichnology & Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems. Bem Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne d’Arc Basin. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, v. 51, n. 2, p. 206-211, jun. 2001.

REINECK, H.-E.; SINGH, I.B. **Depositional sedimentary environments.** New York: Corrected reprint, 1975.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea-level changes. **Journal of South America Earth Science**, v. 14, n.1, p. 77–89, 2001.

ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; DOMINGUEZ, J.M.L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 123, p. 87-112, 2013.

SARKAR, S.; GHOSH, S. K.; CHAKRABORTY, C. Ichnology of a late palaeozoic ice-marginal shallow marine succession: Talchir Formation, Satpura Gondwana basin, central India. **Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 2009.

SEILACHER, A. Bathymetry of trace fossils. **Marine Geology**, v. 5, n. 5-6, p. 413-428, 1967.

SEILACHER, A. Biogenic sedimentary structures. In: IMBRIE, J.; NEWELL, N. (Ed.). **Approaches to paleoecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1964a. p. 296-316.

SOARES, E.A.A.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A.C.R. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. **Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ciências Naturais**, n. 2, p. 105-132, 2005.

SOARES, J. L.; NOGUEIRA, A.C.R. Traços fósseis siluriano-devoniano do Grupo Trombetas da Bacia do Amazonas na região de Presidente Figueiredo – AM. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém. **Resumos expandidos**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Seção Temática: Sedimentologia, estratigrafia, paleontologia, geologia marinha e do quaternário).

TORRES, A.M., **Caracterização paleoambiental e diagenético do arenito do Guamá, furo São Miguel do Guamá-PA**. 1985. 00f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1985.

TRUCKENBRODT, W.; ALVES, R.J. Sobre a petrologia do arenito Guamá, região de São Miguel do Guamá, NE do estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia**, Belém, n. 27, p. 1-22, 1982.

VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**: Sistemas de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008. p. 328. (Programa Geologia do Brasil-PGB, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil).

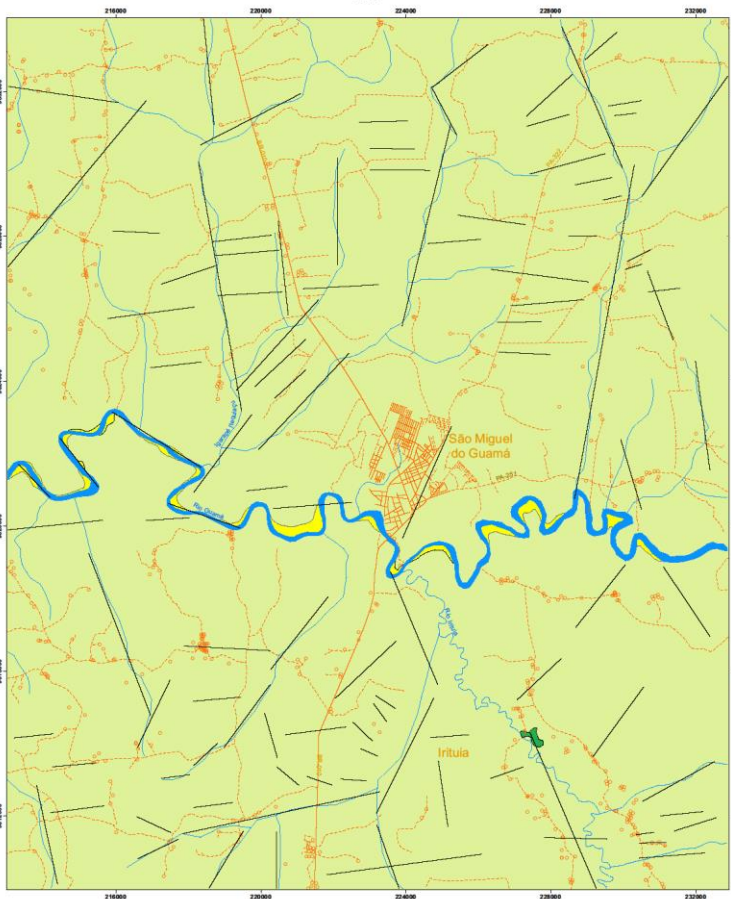
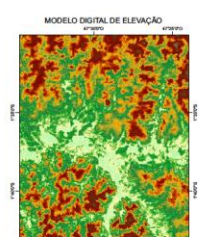
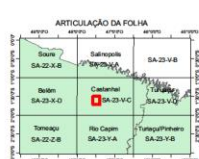
WALKER, R.G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. (Ed.). **Facies models: response to sea level change**. Ontario: Geological Association of Canada, 1992. p. 1-14.

WALKER, R.G. Facies Modelling and sequence stratigraphy. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, n. 5, p. 777-786, set. 1990.

ANEXOS

ANEXO A – MAPA GEOLÓGICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
 INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
 FACULDADE DE GEOLOGIA
 MAPA GEOLÓGICO
 REGIÃO DE SÃO MIGUEL E IRTUIA
 2016



Convenções Geológicas

- Lineamentos
- Depósitos aluvionares
- Pis-barrigas
- Arenito Guamá

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Localidades
- Estradas pavimentadas
- Viciais
- Águas / Drenagem biflora

Declinação magnética do centro da folha em 1972: 19 0 3' W.
 Cresce 6,7' anualmente

1:50.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum horizontal: SIRGAS2000
 Zona 25S. Origem da quilometragem UTM:
 equador e Meridiano Central 45°W. GR
 acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
 2016

Créditos da Base Cartográfica

Mapa geológico confeccionado com base no método Lógica e Sistemática (Soares e Fiori, 1976) por meio de imagens do satélite Geo Eye por meio do software Google Earth PRO e fotografias aéreas da região de Floresta na escala de 1:25.000 ortorectificadas e geométricas segundo o DATUM SIRGAS2000, por meio do software ArcGIS 10.2. Drenagem extraída com o auxílio de imagens de satélite. Este mapa foi confeccionado com base nas convenções cartográficas da Divisão de Cartografia (DICART) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

AUTORA
 Tainara Cristina Maia Martins



Fonte: Da autora.

ANEXO B - PONTOS DE ESTUDO

Pontos	Coordenadas	Toponímia
Irituia- 01	227397 9812568	Ramal para Vila da pedra Caída.
Irituia - 02	227251 9814066	Margens do Rio Guamá, local chamado Vila da pedra caída.
São Miguel do Guamá- 01	223556 9820017	Frente ao Colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias, escola da Igreja.
São Miguel do Guamá- 02	222487 9824626	Rio Taquiaçú, ramal da Pedreirinha.
São Miguel do Guamá- 03	218763 9828337	Balneário próximo a Br-010; na Vila Cachoeira seguir aproximadamente 2 km até a Cachoeira do Apôlonio.

Fonte: Da autora.

ANEXO C - CONTAGEM DE NO MÍNIMO 300 PONTOS EM LÂMINAS DELGADAS

Sigla da amostra	Quartzo Monocristalino	Quartzo Policristalino	Fragmento de rocha	Minerais pesados	Cimento de quartzo	Porosidade total	VI (Volume intergranular)
AG-1	59,5%	12,2%	2,3%	0,7%	1,5%	23,8%	25%
AG-02A	57%	9,33%	2,67%	1%	1,33%	28,67%	28,5%
AG-02B	46,8%	5,6%	2,6%	1%	1%	43%	35%

Sigla da amostra	Quartzo Mono	Quartzo Poli	Fragmento de rocha	Minerais pesados	Cimento de quartzo	Porosidade total	Número total de pontos contados
AG-1	183	37	9	2	4	73	308
AG-02A	171	28	8	3	4	86	300
AG-02B	142	17	8	3	3	130	303

Fonte: Da autora.

ANEXO D - MEDIDAS ESTRUTURAIS

IRITUIA	IRITUIA	SÃO MIGUEL DO GUAMÁ	SÃO MIGUEL DO GUAMÁ	SÃO MIGUEL DO GUAMÁ
PONTO 1 SEM ESTRUTURAL	PONTO 2 FRATURA	PONTO 1 FRATURA	PONTO 2 SEM ESTRUTURAL	PONTO 3 FRATURA
	80/020	88/070		88/012
	81/028	89/074		87/009
	80/025	87/261		86/020
	85/022	89/075		88/010
	86/201	84/252		87/352
	85/205	85/338		88/006
	88/023	87/315		87/009
	89/024	83/038		89/011
	87/030	82/040		88/001
	89/021	88/028		87/010
	88/031	88/028		87/007
	87/022	87/031		88/348
	85/021	89/206		
	88/028	86/286		
	86/032	87/292		
	87/035	88/286		
	82/285	87/281		
	88/095	86/279		
	85/121	88/290		
	88/291			
	89/284			
	88/282			
	86/289			
	88/287			
	86/110			
	87/040			
	88/028			
	87/028			
	89/022			
	88/198			
	87/204			
	88/018			
	87/212			
	88/021			
	87/030			
	86/027			
	88/021			
	88/030			
	89/029			