

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE FACIOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DA BRECHA POLIMÍTICA BASAL  
DA FORMAÇÃO TAMENGO (GRUPO CORUMBÁ – EDIACARANO)**

Monografia

TF – 20/10

Henrique Albuquerque Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Boggiani

Coorientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Stipp Basei

SÃO PAULO  
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP. Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a) via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação: Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Fernandes, Henrique Albuquerque

Análise faciológica e estratigráfica da brecha polimítica basal da Formação Tamengo (Grupo Corumbá - Ediacarano) / Henrique Albuquerque Fernandes - São Paulo, 2020.

47 p.: il.

Trabalho de formatura : IGc/USP

Orient.: Boggiani, Paulo César

Co-orient: Basei, Miguel Ângelo Stipp

1. Brechas sedimentares 2. Caracterização estratigráfica e faciológica 3. Formação Tamengo  
I. Título

*Dedico este trabalho aos meus pais, Cláudio e Andréa*

*“A ciência é mais que um corpo de conhecimento. É uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana”.*

Carl Sagan

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado das ações e contribuições de muitas pessoas que, mesmo não sabendo, tornaram-no possível. Dessa forma, gostaria de agradecer:

Em primeiro lugar, aos meus pais Cláudio e Andréa, pelo carinho incondicional, por me proporcionarem tudo que precisei para viver e por sempre terem me mostrado que os estudos e o conhecimento são objetivos dignos de serem almejados. Ao meu irmão Bruno, pelo apoio emocional e intelectual, além, claro, das caronas.

Ao meu orientador Paulo Boggiani, que, além de me orientar por mais de dois anos, sempre ressaltou o lado humano do convívio acadêmico e contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço também a todos os professores que tive e me mostraram como a geologia é uma ciência magnífica.

A todos os membros do GGeo (Grupo da Geo de Espeleologia), o melhor grupo de toda a USP, no qual eu vivi momentos inesquecíveis e fui capaz de crescer como geólogo e espeleólogo. Agradeço especialmente ao veterano e companheiro Tom Morita, ao amigo de longa data Daniel Goldner e à Futrykah.

A todos os funcionários do Instituto de Geociências USP, que ao longo desses cinco anos mostraram a excelência do trabalho que desempenham, sobretudo ao Paulo Augusto Morgato, da laminação, pela confecção das seções delgadas em plena pandemia de COVID-19 para que eu pudesse finalizar o trabalho. Agradecimentos especiais ao geólogo Ideval Costa, por ter me mostrado o que é a geologia e me inspirado fortemente a seguir essa carreira.

Aos funcionários da mineração EDEM, em Bodoquena, e do Grupo Votorantim, na Mina Laginha, em Corumbá, pelo apoio durante os trabalhos de campo.

À FAPESP, pelo financiamento da pesquisa e bolsa de iniciação científica (processo 2018/17854-6) e ao professor Ricardo Trindade, coordenador do Projeto Temático no qual este trabalho se insere. Agradeço também ao John Lopes e à Kamilla Amorim, pelas contribuições e por me introduzirem à questão principal deste trabalho.

Por fim, aos muitos amigos da turma 59. Com um carinho especial, meus sinceros agradecimentos a Bibifa, Sizu, Kiwi, Lilo, Nit, Brisão, Ocotô, Miss, Jura, Grosa, Dino, Bariri, Provisório, Ricochete, Trevas e Pinguim. Como é feliz aquele que pode contar com tantos amigos e compartilhar tantas memórias boas!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. TRABALHOS PRÉVIOS .....	3
3.1. Contexto geológico .....	3
3.1.1. A Faixa Paraguai e o Grupo Corumbá.....	3
3.1.2. A Formação Tamengo.....	6
3.1.3. Correlações da brecha basal da Formação Tamengo .....	8
3.2. Brechas sedimentares .....	9
3.3. Brechas tectônicas.....	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
4.1. Trabalhos de campo .....	11
4.2. Análise de imagens.....	12
4.3. Análise petrográfica .....	14
5. RESULTADOS OBTIDOS .....	15
5.1. Descrição de fácies e microfácies .....	15
5.1.1. Região da Serra da Bodoquena.....	15
5.1.2. Região de Corumbá .....	22
5.2. Análises de imagens.....	27
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO.....	30
6.1. Brechas tectônicas.....	31
6.2. Brecha basal da Formação Tamengo .....	32
6.2.1. Gênese .....	32
6.2.2. Proveniência e contexto geotectônico .....	35
7. CONCLUSÕES .....	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

## RESUMO

As rochas do Grupo Corumbá apresentam importante registro das mudanças globais que ocorreram ao final do Neoproterozoico na porção ocidental do Gondwana. A Formação Tamengo, unidade carbonática superior, com idades da sedimentação entre 555 e 541Ma, interpretadas através de datações U-Pb de zircões de cinzas vulcânicas, é particularmente importante, por apresentar fósseis de organismos biomineralizadores aliados à boa preservação dos valores geoquímicos primários. Interpretações paleoambientais vêm sendo formuladas, posicionando a parte médio-superior da Formação Tamengo como depositada em rampa carbonática dominada por tempestades. Porém, expressiva brecha polimítica que ocorre na base da unidade tem seu enquadramento, nesse modelo de rampa, ainda não bem definido. O presente trabalho é focado nessa brecha sedimentar basal, sotoposta à Formação Bocaina, com estudos de detalhe na Serra da Bodoquena e Corumbá. Uma questão também aprofundada foi o estudo de brechas cataclásticas associadas a falhas, no contexto do *fold-thrust belt* Paraguai, por serem eventualmente interpretadas como de origem sedimentar. Foram realizados trabalhos de campo, com levantamento de seções colunares e contagem de clastos, petrografia e análises de fotografias das brechas de falha. As brechas sedimentares possuem significativa variedade de clastos, inclusive do embasamento cristalino, e a composição da matriz varia de calcítica a dolomítica, com considerável proporção de quartzo na fração areia. Essas rochas apresentam acamamento incipiente e estrutura de afinamento para o topo em alguns afloramentos. As brechas tectônicas apresentam diferentes características dependendo da região da falha em que se encontram, se mais próximas ou mais distantes da zona de dano, com a proporção de matriz aumentando em direção ao núcleo. Os fragmentos são majoritariamente de *dolomudstone* e a matriz é calcítica intensamente foliada. A brecha sedimentar do limite Bocaina-Tamengo teria sido formada a partir de fluxos gravitacionais submarinos (*slumps*, *slides* e *debris flows*) em taludes íngremes, retrabalhando unidades subjacentes, notadamente a Formação Bocaina e o embasamento cristalino. Esses movimentos de massa podem ter sido proporcionados por queda do nível relativo do mar e/ou pelo contexto geotectônico da bacia. Neste caso, a origem da brecha pode estar relacionada à inversão da bacia, sendo, portanto depositada em bacias *thrust-tops* em contexto compressional, ou em grabens locais, em contexto extensional. As brechas tectônicas desenvolveram-se por cataclase e milonitização na Falha Veneza, truncando rochas do Grupo Corumbá, com típica evolução de rochas carbonáticas de falha. Adicionalmente, teria ocorrido dedolomitização e foliação da matriz devido à intensa deformação. A distinção dessa brecha como tectônica é importante a fim de se evitar a inclusão da mesma em interpretações paleoambientais do Grupo Corumbá.

## ABSTRACT

The rocks of the Corumbá Group are important records of the global changes that occurred during the late Neoproterozoic in Western Gondwana. The Tamengo Formation, upper carbonate unit, present sedimentation ages between 555 and 541My, interpreted through U-Pb zircon dating of ash beds, and is particularly significant due to its fossil content of biomineralized organisms and conservation of primary geochemical data. Paleoenvironmental interpretations have been formulated, placing the upper-middle Tamengo Formation as deposited in storm-dominated carbonate ramp. However, its basal polymictic breccia does not have its genesis well understood in this context. This work focuses on this basal breccia superior to the Bocaina Formation, with detailed studies in the Serra da Bodoquena and Corumbá regions. Moreover, cataclastic breccias associated to faults of the Paraguay fold-thrust belt were also studied, once these rocks are occasionally interpreted as sedimentary breccias. Field work, with elaboration of columnar sections and clasts counting, petrography and image analysis were carried out. The sedimentary breccias bear considerable diversity of clasts, including clasts of the crystalline basement, and their matrix vary between calcitic and dolomitic, with substantial amount of quartz sand grains. These rocks also present incipient bedding and fining-upward structures in some outcrops. The tectonic breccias contain different characteristics depending of the fault region they are, if closer or further to the damage zone, with matrix proportion increasing to the fault core. The fragments are mainly dolomudstone and the matrix is calcitic greatly foliated. The sedimentary breccia at the Bocaina-Tamengo limit was formed by submarine gravitational flows (such as slumps, slides and debris flows) on steep slopes, reworking underlying units, namely the Bocaina Formation and the crystalline basement. These mass flows may be caused by relative sea-level fall and/or by the basin geotectonic context. In the last case, the breccia origin may be related either to the basin inversion, thus being deposited in thrust-top basins in compressional context, or in local grabens, in extensional context. The tectonic breccias were developed by cataclasis and milonitization in the Veneza Fault, truncating rocks of the Corumbá Group, following the typical evolution of carbonate fault rocks. Additionally, dedolomitization and matrix foliation occurred due to intense shear. The definition of this breccia as tectonic is important in order to avoid including it in the paleoenvironmental interpretations of the Corumbá Group.

## 1. INTRODUÇÃO

A Era Neoproterozoica é marcada por profundas mudanças nas condições climáticas e geotectônicas da Terra, com drásticas modificações nas interações do Sistema Terra. Tais mudanças são relacionadas à evolução biológica, geológica e geoquímica, que provavelmente estão interligadas. A Explosão Cambriana (Marshall, 2006; Zhang et al., 2014), a Revolução Agronômica (Seilacher e Plüger, 1994) e o surgimento de fósseis macroscópicos (Glaessner, 1971; Wood et al., 2019) correspondem às inovações desse crucial intervalo de tempo na evolução biológica. Dentre os eventos geológicos, destacam-se glaciações globais (Kirschvink, 1992; Hoffman et al., 1998; Hoffman e Schrag, 2002; Hoffman e Li, 2009) com formação de capas carbonáticas e início de processos geotectônicos antes não ainda reconhecidos (Cordani et al., 2020). Quanto às mudanças geoquímicas, as variações na química oceânica (Wood et al., 2017), o Evento de Oxigenação do Neoproterozoico (NOE; Och e Shields-Zhou, 2012), e anomalias no registro de  $\delta^{13}\text{C}$  (Halverson et al., 2005; Grotzinger et al., 2011) são marcados como importantes eventos ambientais de extensão global. A soma de todas essas mudanças provavelmente ditou os rumos para a evolução ao longo do Fanerozoico.

Trabalhos anteriores sobre evolução neoproterozoica enfatizam as relações sistêmicas das glaciações globais, no contexto da Hipótese Snowball Earth, e investigações das capas carbonáticas. Ultimamente, porém, os estudos vêm sendo focados no entendimento das mudanças globais do final do Ediacarano (Knoll et al., 2004; Guerroué, 2006; Zhou e Xiao, 2007), com ênfase nas assinaturas isotópicas e na paleontologia, que permitem realizar correlações globais entre as unidades e melhor caracterizar as mudanças biológicas que antecederam a Explosão Cambriana. Muda-se, assim, o enfoque dos estudos de evolução neoproterozoica, antes voltados para os registros glaciais e pós-glaciais, direcionados agora a unidades ediacaranas, como a Formação Tamengo, em parte estudada no presente trabalho.

A Formação Tamengo (Almeida, 1945), inserida no Grupo Corumbá (MS), corresponde a uma das mais importantes unidades ediacaranas para estudo desse período no Brasil. Seu registro contempla a presença dos fósseis *Cloudina* e *Corumbella* (Hahn et al. 1982; Zaine e Fairchild, 1985, 1987; Hahn e Pflug, 1985; Adorno et al., 2017; Becker-Kerber et al., 2017), bem como icnofósseis escavadores (Parry et al., 2017). Além disso, a Formação Tamengo possui relativamente boa amarração geocronológica, através de datações obtidas de zircões de intercalações de cinzas vulcânicas no topo da unidade e no topo da unidade subjacente, a Formação Bocaina, o que possibilita estabelecer o intervalo

de sedimentação entre  $555,18 \pm 0,30 \text{Ma}$  e  $541,85 \pm 0,75 \text{Ma}$  (Babinski et al., 2008, Parry et al., 2017).

Na base da Formação Tamengo, ocorre expressivo corpo de brecha polimítica, identificada inicialmente por Boggiani (1998), cujas caracterizações faciológica e estratigráfica, bem como estudos de proveniência, são os principais objetivos do presente Trabalho de Formatura. Essa caracterização é essencial para se compreender o contexto dessa brecha polimítica dentro da evolução tectônica da Bacia Corumbá. Na região da Serra da Bodoquena, a brecha basal da Formação Tamengo ocorre conjuntamente a brechas cataclásticas associadas a falhas inversas. Essas rochas de falha também são caracterizadas no presente estudo com o intuito de serem diferenciadas das brechas sedimentares, fornecerem informações adicionais para a evolução da bacia e evitar que sejam inseridas no contexto sedimentar e em interpretações paleoambientais.

## 2. OBJETIVOS

O presente Trabalho de Formatura tem como principal objetivo a caracterização estratigráfica e faciológica da brecha basal da Formação Tamengo, inserida no Grupo Corumbá (MS), através dos seguintes objetivos específicos:

- a) individualização e descrição das fácies e microfácies sedimentares e interpretação dos processos sedimentares associados;
- b) análise e diferenciação dos diferentes tipos de brechas presentes na área de estudo, com ênfase para a separação entre brechas sedimentares e tectônicas;
- c) elaboração do modelo genético para as brechas tectônicas, investigando a ação progressiva da cataclase; e
- d) investigação da relação da brecha basal da Formação Tamengo com possível inversão tectônica, relacionada ao modelo de *foreland* para o Grupo Corumbá Superior.

Em virtude da pandemia de COVID-19, não foi possível realizar as análises de isótopos estáveis de C e O e geocronológicas, originalmente planejadas para este trabalho.

### 3. TRABALHOS PRÉVIOS

#### 3.1. Contexto geológico

##### 3.1.1. A Faixa Paraguai e o Grupo Corumbá

A Faixa Paraguai corresponde a uma faixa de dobramentos Pan-africano-Brasília da porção ocidental do Gondwana. Encontra-se a sudeste do Cráton Amazônico e a leste do Terreno Cratônico Rio Apa, sendo caracterizada por seu formato convexo, na forma de arco. A Faixa é dividida entre as porções norte e sul, que possuem diferenças litoestratigráficas notáveis (Boggiani e Alvarenga, 2004; Alvarenga et al., 2009) (Figura 3.1). Trabalhos recentes apontam que as duas porções provavelmente tiveram seu desenvolvimento de modo diacrônico (Babinski et al., 2018), de tal forma que a única unidade consensualmente presente em ambas as faixas é a Formação Puga, diamictitos localmente cobertos por capas carbonáticas com valores negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  (Boggiani et al., 2003; Trindade et al., 2003). Porém, estudos mais detalhados são necessários no sentido de identificar se os diamictitos, nas duas partes da faixa, seriam correspondentes a único evento ou a eventos distintos no tempo.

Na Faixa Paraguai Sul, as rochas possuem idade neoproterozoica e evoluíram como um típico *fold-thrust belt*, com a deformação e metamorfismo aumentando para leste (Campanha et al., 2011). Tal deformação é associada aos eventos finais da evolução do Orógeno Brasileiro (Trompette, 1994).

Na região de Corumbá, extremo Norte da porção Meridional da Faixa Paraguai, ocorrem os grupos Jacadigo e Corumbá (Figura 3.2). O Grupo Jacadigo é constituído pelas formações Urucum, Córrego das Pedras e Banda Alta, com presença de formações ferríferas bandadas e expressivos depósitos de ferro e manganês (Trompette et al., 1998; Freitas, 2010). A sedimentação dessas unidades teria ocorrido em sistemas de pequenos grabens isolados evoluindo para uma bacia maior limitada por falhas (Freitas et al., 2011), o que poderia ter ocorrido em contexto de *back-arc* (Angerer et al., 2016). Os depósitos de ferro e manganês foram formados por condições geoquímicas específicas da água, bem como por ação microbiana, compondo uma das ocorrências de BIFs neoproterozoicos (Angerer et al., 2016).

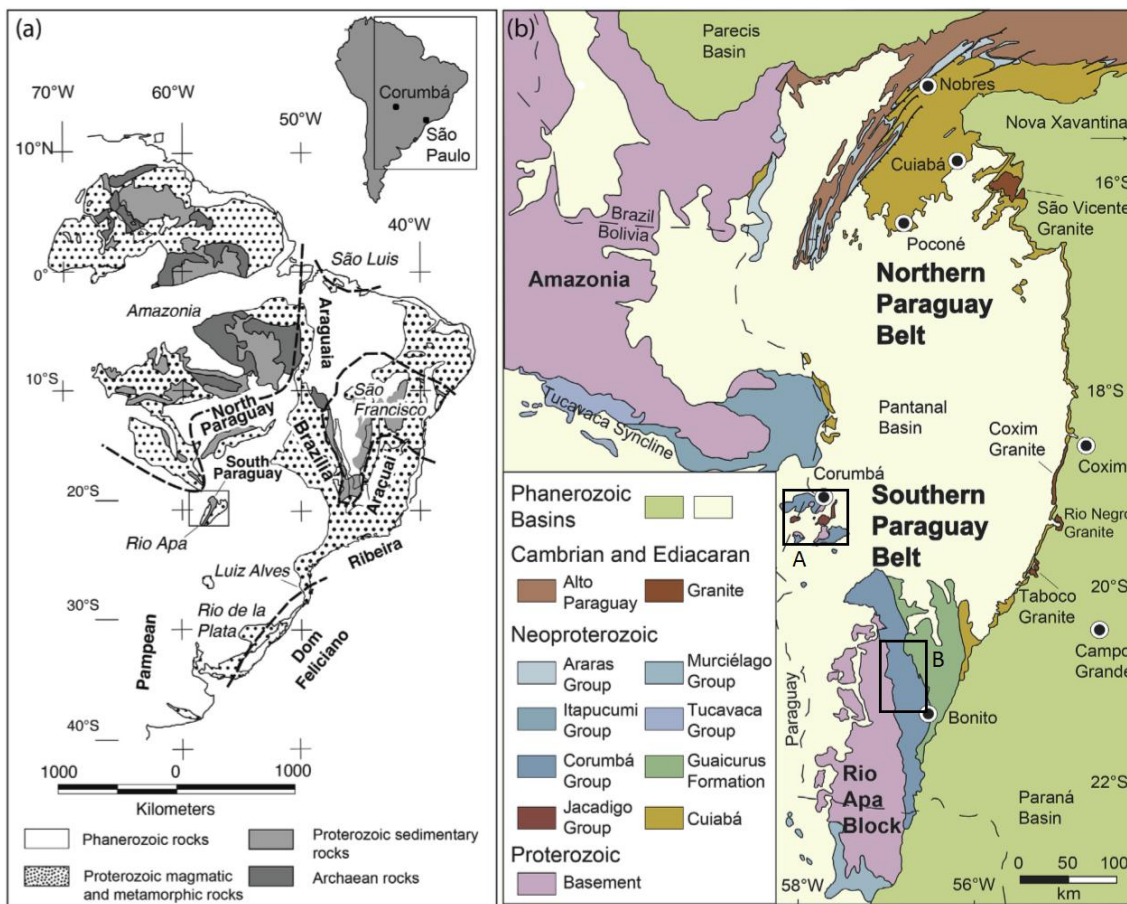


Figura 3.1 – (a) Mapa da porção oriental da América do Sul indicando em itálico os fragmentos cratônicos e, em negrito, as faixas orogênicas proterozoicas. (b) Mapa geológico da Faixa Paraguai com destaque para as regiões de estudo detalhadas na Figura 3.2 (modificado de Babinski et al., 2018).

O Grupo Corumbá é representado por rochas sedimentares e metassedimentares aflorantes na porção oeste do Estado do Mato Grosso do Sul. Foi subdividido por Almeida (1945; 1965a), inicialmente, em quatro formações: Cerradinho, Bocaina, Tamengo e Guaicurus, da base para o topo. Posteriormente, a Formação Cadiueus, definida por Almeida (1965a), foi posicionada na base do Grupo Corumbá (Boggiani et al., 1993; Boggiani, 1998) (Figura 3.3).

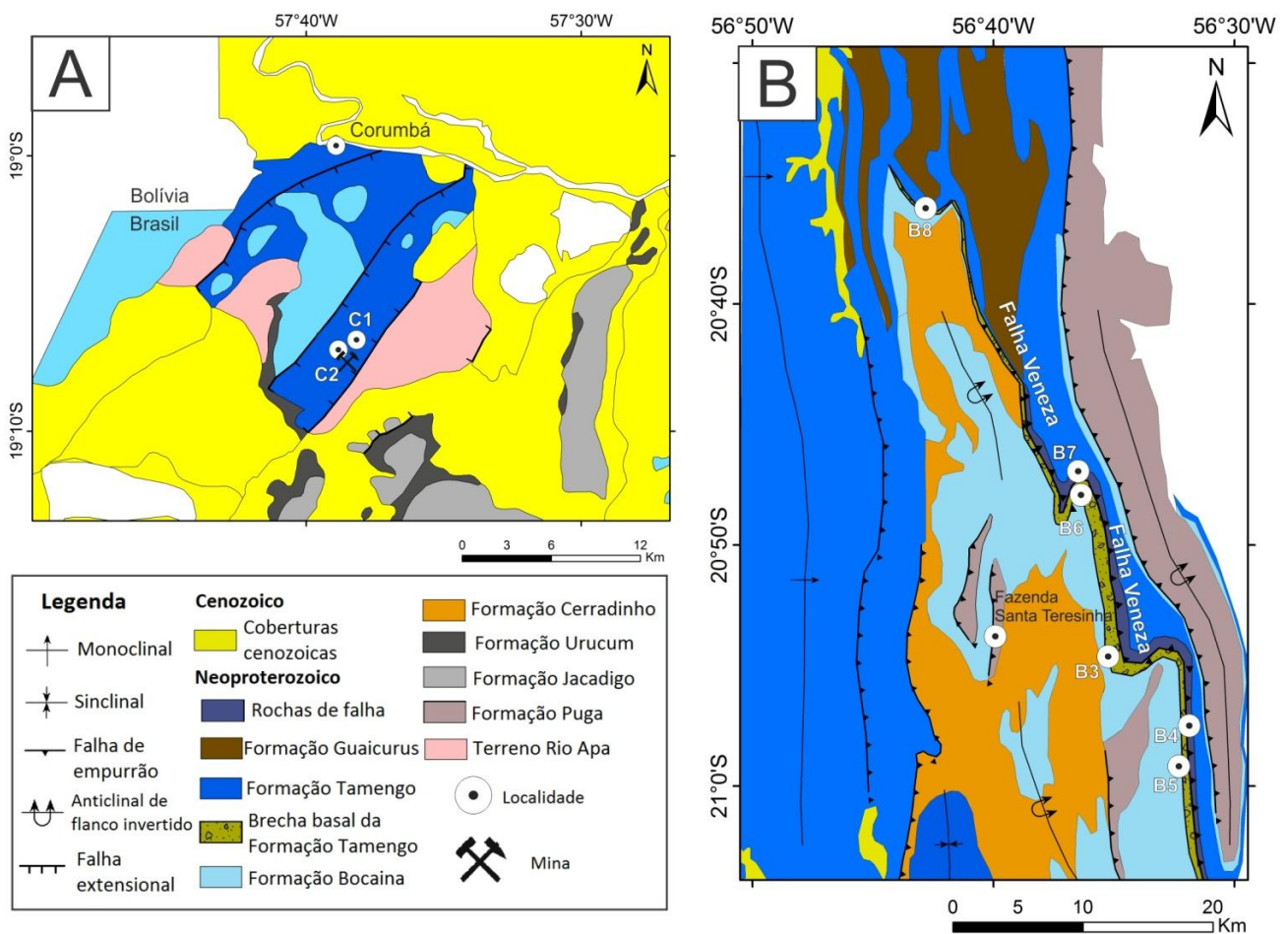


Figura 3.2 - A – Mapa geológico da região de Corumbá (realizado com os dados da CPRM do mapa geológico do Estado do Mato Grosso do Sul 1:1.000.000). C – Mapa geológico da região da Serra da Bodoquena com a brecha da Formação Tamengo e Falha Veneza. Os círculos indicam localidades e afloramentos visitados (modificado de Campanha et al., 2011).

As formações Cadiueus e Cerradinho possuem natureza terrígena, sendo compostas essencialmente por conglomerados e arenitos arcoseanos, respectivamente. A Formação Bocaina apresenta fácies de dolomitos estromatolíticos e rochas fosfáticas no topo. A Formação Tamengo, detalhada no tópico a seguir, é caracterizada por calcários calcíticos (*grainstones*) de cor escura com intercalações de pelitos. A Formação Guaicurus corresponde a espesso pacote de folhelhos e siltitos de cor cinza, que após a definição original de Almeida (1965) foram identificados como Grupo Cuiabá e, recentemente, identificadas novamente como Formação Guaicurus (Boggiani, 1998; Alvarenga et al., 2009; Boggiani et al., 2010; Campanha et al., 2011; Oliveira et al., 2019).

A sedimentação do Grupo Corumbá teria se dado por processo de rifteamento durante a tafrogênese do supercontinente Rodínia, evoluindo como uma bacia *rift-to-drift*

(Boggiani, 1998; Boggiani et al., 2010). No entanto, Campanha et al. (2011) discutem a possibilidade do Grupo Corumbá ter sido depositado primeiramente em uma bacia tipo rifte e, posteriormente, em uma bacia tipo *foreland*, fase que corresponderia à deposição das formações Bocaina, Tamengo e Guaicurus, conforme houve a migração do orógeno para oeste. Recentemente, McGee et al. (2018) demonstraram que houve mudança da proveniência sedimentar na Formação Guaicurus, com o aporte de zircões mais jovens (ca. 540Ma), o que reforça essa segunda interpretação para a evolução da Bacia Corumbá.

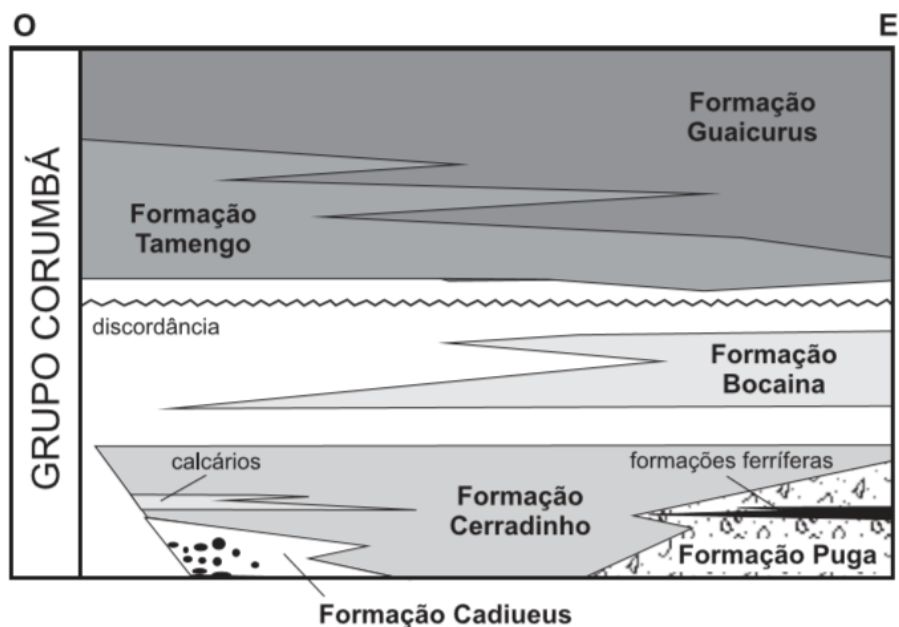


Figura 3.3 – Carta estratigráfica do Grupo Corumbá e Formação Puga (extraído de Campanha et al., 2011).

A deformação das rochas do Grupo Corumbá está associada à formação da Faixa Paraguai, dentro do contexto da amalgamação da porção oeste do Gondwana, que teria ocorrido no início do Cambriano (McGee et al., 2018). Campanha et al. (2011) interpretam falhas inversas e de empurrão, presentes no domínio do *fold-thrust belt*, como reativação de falhas lítricas da fase rifte. No presente trabalho, utiliza-se a nomenclatura “Falha Veneza” como referência à falha inversa estudada na região da Serra da Bodoquena, onde ocorrem brechas cataclásticas (Figura 3.2 B).

### 3.1.2. A Formação Tamengo

A Formação Tamengo apresenta espessura aproximada de 550m e é caracterizada por calcários calcíticos cinza escuros a pretos, com piratas na forma de framboides em proporções variáveis, com intercalações de pelitos (Boggiani et al., 2010; Campanha et al.

2011). Essa unidade recobre diretamente o embasamento a oeste, na Serra da Bodoquena, e compreende, em sua base, a brecha polimítica, que é o principal objeto de estudo do presente trabalho.

A brecha aflora tanto na Serra da Bodoquena quanto em Corumbá, e apresenta variação expressiva do arcabouço e da matriz. Os clastos possuem diferentes formatos, tamanhos e litologias, sendo dolomito, calcário e sillexito os tipos mais comuns. Grande parte dos clastos é proveniente da Formação Bocaina subjacente, porém a brecha se destaca pela presença de clastos do embasamento cristalino.

Hipóteses variadas acerca da gênese da brecha foram formuladas. Boggiani (1998) sustenta que a brecha teria se depositado por rebaixamento expressivo do nível relativo do mar, com exposição da Formação Bocaina, onde os processos de ressedimentação teriam predominado, uma vez que os locais de exposição da brecha ocorrem ao longo do limite entre a cobertura cratônica e a faixa de dobramentos. Ainda haveria a possibilidade de tal regressão ser correlacionada a depósitos de ruditos, descritos por Poiré e Gaucher (2009), nos grupos Arroyo Del Soldado e Sierras Bayas, conforme indicado por Boggiani et al. (2010).

Por outro lado, outra hipótese é a de que a brecha corresponde a uma resposta de fenômenos locais de ressedimentação, associados à evolução de rampa carbonática sob a ação de ondas normais e de tempestades, o que representaria processo local, sem valor estratigráfico (Oliveira et al., 2019). Amorim et al. (2020), por outro lado, utilizam a brecha como datum estratigráfico, mas fora do contexto de rampa, a qual teria se estabelecido na parte superior da Formação Tamengo. Ramos (2019) interpreta que a brecha teria se formado a partir de erosão do embasamento com declividade proporcionada por falhas normais, em contexto de grabens, ressaltando a diferença entre as minas Laginha, onde a brecha é exposta, e Corcal, onde a brecha não é identificada (Figura 3.4).

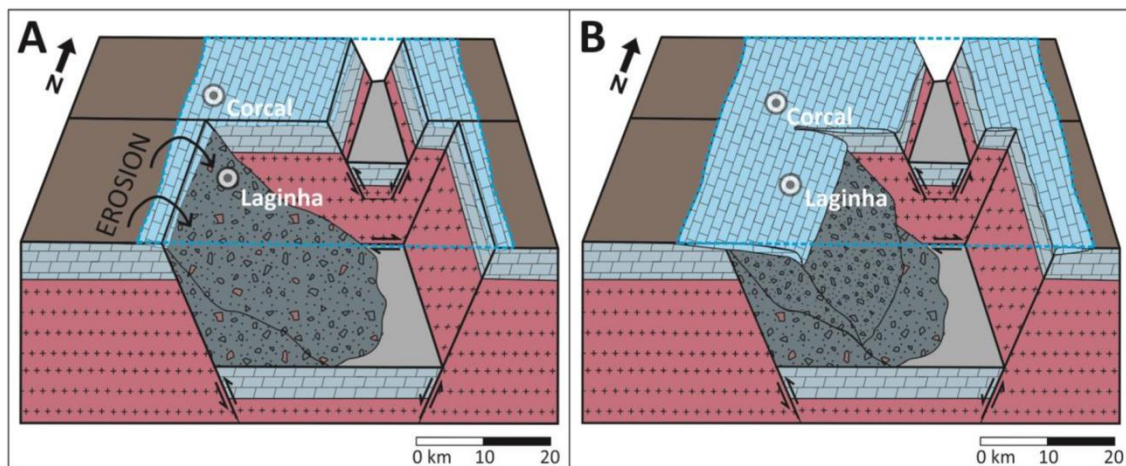


Figura 3.4 – Contexto tectônico e modelo deposicional da Formação Tamengo. A – A brecha da base da Formação Tamengo, na Mina Laginha, teria se depositado no gráben com aporte de sedimentos terrígenos devido ao declive gerado. B – Com o aumento do nível do mar, ambas as seções levantadas (Corcal e Laginha), teria-se o registro da rampa carbonática (extraído de Ramos, 2019).

### 3.1.3. Correlações da brecha basal da Formação Tamengo

A brecha basal da Formação Tamengo pode ser relacionada a eventos globais e ser correlacionável a outras brechas de idade ediacarana. Considerando-se a possível origem da brecha em contexto de água profunda, ressalta-se que modelos de variação do nível eustático baseados em isótopos de Sr também apontam queda do nível do mar global entre 540 e 560Ma (Van der Meer et al., 2017).

A Formação Barriga Negra, pertencente ao Grupo Arroyo del Soldado (Uruguai) é essencialmente composta por fácies de brechas e conglomerados e sua origem é associada a leques aluviais em contexto de queda do nível eustático. Boggiani et al. (2010) sugerem correlação entre a Formação Barriga Negra e a brecha basal da Formação Tamengo. Gaucher et al. (2003) sugerem que ambas as unidades poderiam ter se depositado em margens com direção norte-sul de um mesmo paleocontinente. No entanto, Demarco et al. (2019) afirmam que a Formação Barriga Negra não possui associação com qualquer unidade do Grupo Arroyo del Soldado e, portanto, não estaria correlacionada ao Grupo Corumbá. O membro basal da Formação Barriga Negra apresenta rochas vulcânicas com idades U-Pb de  $633 \pm 3,4$ Ma, indicando que essa seria a idade inicial de deposição (Demarco et al., 2019). Análise de zircões detríticos em posições dessa unidade no Uruguai indicam zircão mais jovem com idade de  $539 \pm 30$ Ma, sendo a idade máxima de deposição para esses membros (Pecoits et al., 2016). Portanto, o amplo intervalo de sedimentação da Formação Barriga Negra é compatível com o intervalo de sedimentação da brecha basal da Formação Tamengo, de tal forma que não se pode descartar a possibilidade de correlação temporal de ambas as brechas ao possível rebaixamento eustático.

As formações Las Aguilas e Cerro Negro, correlatas e inseridas no Grupo Sierras Bayas (Argentina) apresentam em sua base expressiva brecha calcária silicificada. Seu ambiente de formação é interpretado como águas rasas com influência de marés (Peral et al., 2007; Bagnoud-Velásquez et al., 2013). Dada a escassez de dados geocronológicos para essas rochas, não é possível afirmar que essas unidades e a brecha basal da Formação Tamengo tenham sido formadas a partir do mesmo evento.

Ressalta-se que o intervalo de deposição da brecha basal da Formação Tamengo (555 - 541Ma) coincide com a ocorrência da Excursão Shuram-Wonoka, a maior anomalia de  $\delta^{13}\text{C}$  do Neoproterozoico, como registrado em outras unidades pelo mundo (e.g. Guerroué, 2010; Grotzinger et al., 2011; Husson et al., 2015). Wood et al. (2017) apontam para modificações no quimismo das águas oceânicas e consequente mineralogia das rochas carbonáticas formadas, ou seja, de “mares aragoníticos-dolomíticos”, passando por “mares aragoníticos” até “mares calcíticos” por volta de 545Ma, indicando alteração global da química marinha, que foi registrada nos cimentos carbonáticos e pode ter facilitado o surgimento da biomineralização animal. No Grupo Corumbá, a Formação Bocaina é composta predominantemente por dolomitos, enquanto a Formação Tamengo apresenta calcários calcíticos. Portanto, a brecha, que se situa no limite entre as duas unidades, pode marcar a transição entre “mares aragoníticos-dolomíticos” e “mares calcíticos” com clastos de dolomito e matriz calcítica, conforme observado em alguns afloramentos, ressaltando que nos *grainstones* e *packstones* superiores à brecha, há as primeiras ocorrências de fósseis com esqueleto (biomineralização), *Cloudina* e *Corumbella*.

### 3.2. Brechas sedimentares

Brechas sedimentares podem ter origens diversas e têm o potencial de fornecer informações importantes quanto à evolução da bacia na qual estão inseridas (Laznicka, 1988; Madden et al., 2017), podendo representar marcos estratigráficos e sendo objeto para interpretações paleoambientais (Shukla e Sharma, 2018). Dentre os processos geradores de brechas sedimentares, destacam-se:

- a) Colapso (paleocarste);
- b) Fluxos gravitacionais submarinos (*slump*, *slide*, *drebbis flow* e correntes de turbidez);
- c) Fluxos gravitacionais subaéreos;
- d) Deposição glacial;
- e) Fraturamento de intraclastos;
- f) Formação de megabrechas e olistostromas;

A diferenciação entre os tipos mencionados deve ser baseada em análises petrográficas e faciológicas.

Petrograficamente, brechas e conglomerados sedimentares podem possuir três constituintes: clastos, matriz e cimento. Os clastos correspondem aos fragmentos não finos da rocha, normalmente do tamanho de cascalho (>2mm). Podem ter diversas naturezas litológicas (Boggs, 2013) e geralmente são arredondados em conglomerados e angulosos em brechas. Ressalta-se que “fragmento” corresponde a uma denominação genérica, sendo que o termo “clasto”, amplamente utilizado, principalmente no caso de brechas sedimentares, possui implicação genética. Portanto, no presente trabalho, foi utilizado o termo “fragmento” ao se tratar das brechas cataclásticas. A matriz é constituída pelas partículas finas, abrangendo as frações granulométricas areia, silte e argila (<2mm), possuindo origem clástica. O cimento corresponde à porção depositada quimicamente entre os fragmentos. Destaca-se que também pode haver espaços não preenchidos (poros) entre os constituintes da rocha.

### **3.3. Brechas tectônicas**

Comumente, falhas são subdivididas nos domínios zona de dano e núcleo (Sibson, 1977). A zona de dano corresponde à porção onde predomina a rocha hospedeira, com relativamente pouca deformação, enquanto que o núcleo corresponde à porção onde a deformação foi concentrada, onde predominam rochas mais alteradas pelo cisalhamento, como ultracataclasitos e ultramilonitos (Sibson, 1977; Woodcock e Mort, 2008).

Brechas tectônicas estão inseridas no contexto de rochas de falhas geradas por cataclase (fraturamento e rotação) de fragmentos de uma rocha hospedeira (Billi, 2010; Ferraro et al., 2018). Podem localizar-se tanto na zona de dano quanto mais próximas ao núcleo da falha, frequentemente ocorrendo na transição entre os dois domínios.

A cataclase, por sua vez, atua por meio de micro-mecanismos de deformação em grãos, como fraturamento intragranular extensional (IEF) e *chipping*, e macro-mecanismos, como fraturamento de fragmentos. Esses processos ocorrem em profundidades relativamente baixas, de pelo menos 5km (Billi, 2010; Ferraro et al., 2018). É esperada, portanto, a redução do tamanho dos fragmentos e o aumento da proporção de matriz saindo da zona de dano em direção ao núcleo da falha. Para rochas carbonáticas, a cataclase pode gerar fragmentos rotacionados, matriz fitada, veios de calcita espática, estilólitos (Madden et al., 2017), foliação da matriz e borda de cristais da matriz suturados (Chester et al., 1985; Erickson, 1994).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Trabalhos de campo

O primeiro trabalho de campo foi realizado em 21 de junho de 2019, durante o 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia em Bonito, para primeiro reconhecimento das fácies de brecha na Serra da Bodoquena. Entre 26 de setembro e 02 de outubro de 2019, foi realizado o segundo trabalho de campo, na região da Serra da Bodoquena e Corumbá, Mato Grosso do Sul (Figura 3.2). O trabalho consistiu na descrição de fácies das brechas estudadas, contagem de clastos, coleta de amostras para descrição petrográfica e coleta de amostras para análises geoquímicas.

Na região da Serra da Bodoquena, foram levantadas duas seções colunares, na Fazenda Veneza, próximo à estrada Bonito-Bodoquena, e no morro da Mina Horii, em Bodoquena. Nos demais pontos da região, as fácies de brecha foram estudadas pontualmente. Em Corumbá, também foram levantadas duas seções colunares, uma na Ferrovia Noroeste do Brasil e outra na Mina Laginha. Nestas, estudou-se detalhadamente as fácies de brechas e seus contatos. As descrições seguiram individualizações em fácies segundo os conceitos apresentados por Walker e James (1992), considerando litologia, textura, estrutura e conteúdo fossilífero como características diagnósticas. Uma vez que o enfoque foi dado às fácies de brechas, foram utilizados os parâmetros (i) composição da matriz, (ii) composição do arcabouço e (iii) estrutura para diferenciação e interpretação de processos (Tabela 6.1). A nomenclatura de carbonatos seguiu a tradicional classificação proposta por Dunham (1962), com modificações de Embry e Klovan (1971), considerando a textura deposicional.

Para apresentação da distribuição relativa, em porcentagem, das diferentes litologias da brecha polimítica basal da Formação Tamengo, foram realizadas contagens de clastos na Mina Laginha (Corumbá – MS). A exposição da mina, em função da frente de lavra, é o principal local para estudo dessa brecha, juntamente com o corte da ferrovia em sua proximidade. A contagem foi feita em quatro posições estratigráficas (inferior, inferior médio, superior médio e superior). A contagem se deu considerando todos os clastos com diâmetro maior que 0,5cm em um quadrado 1m x 1m em exposição de rocha *in situ* (Figura 4.1). No total, foram contados 538 clastos e anotadas as respectivas litologias. Dessa forma, obteve-se a frequência relativa de clastos estratigraficamente com maior confiabilidade estatística.



Figura 4.1 – Exemplo de quadrado 1m x 1m montado em exposição *in situ* na Mina Laginha, onde foi realizada contagem de clastos.

#### 4.2. Análise de imagens

Foram conduzidas análises de fotografias exclusivamente das brechas tectônicas, a fim de se obter quantitativamente seus parâmetros texturais, permitindo a diferenciação clara entre a zona de dano e o núcleo da Falha Veneza.

Primeiramente, foram vetorizados os contornos dos fragmentos em fotografias representativas de afloramentos das brechas no *software* AutoCAD. Em seguida, as imagens vetorizadas foram analisadas através do *software* ImageJ, sendo convertidas em imagens binárias 8-bit com a área dos fragmentos em preto e a matriz em branco (Figura 4.3), considerando-se fragmentos com área maior que 0,1cm<sup>2</sup>.

O *software* ImageJ fornece automaticamente os parâmetros de área, perímetro, arredondamento e comprimento do eixo maior. Para cada fragmento, o arredondamento é calculado como

$$Round = \frac{4A}{\pi m^2} \quad (1)$$

onde A e m correspondem à área e comprimento do eixo maior do fragmento, respectivamente. No total, foram analisados 934 fragmentos em 6 fotografias (TEC-1 a TEC-6) de brechas tectônicas em diferentes zonas da Falha Veneza (Figura 4.3).

Diversos estudos indicam que a distribuição de tamanho de fragmentos pode ser descrito por leis fractais (e.g. Blekinsop, 1991; Sammis e Biegel, 1989; Billi e Storti, 2004). Portanto, também foi processado o parâmetro dimensional de contagem de caixas (*box-counting parameter*),  $D_0$ , que está associado à organização fractal de partículas. Este parâmetro tem sido amplamente utilizado para análise de organização de brechas tectônicas e rochas de falha no geral (e.g. Mort e Woodcock, 2008; Laurita et al., 2016; Ferraro et al., 2018) e é definido através do método de contagem de caixas. Este método corresponde à subdivisão de uma determinada imagem em quadrados de tamanho variável (Figura 4.2). Em seguida, conta-se a quantidade e tamanho de cada elemento dentro dos quadrados. As variáveis seguem uma função do tipo

$$\log(y) = -D_0 \log(x) + A \quad (2)$$

onde  $D_0$  corresponde à dimensão fractal, ou seja, a inclinação da reta de tendência dos pontos plotados em um gráfico ln-ln (Billi e Storti, 2004). O *software* ImageJ apresenta automaticamente o gráfico e o valor de  $D_0$  para uma dada imagem binária.

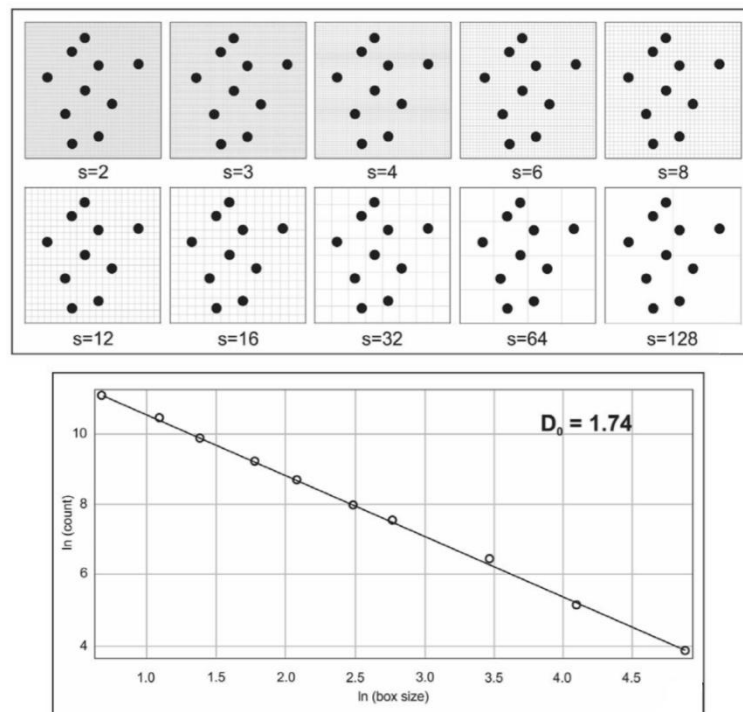


Figura 4.2 - Diagrama esquemático do método de contagem de caixas e exemplo de gráfico ln-ln de tamanho de caixas por contagem.  $D_0$  corresponde ao coeficiente angular da reta ajustada (extraído de Ferraro et al., 2018).

O resultado da proporção de matriz em cada fotografia foi correlacionado ao parâmetro  $D_0$  e utilizado para a classificação das brechas tectônicas segundo a

nomenclatura proposta por Woodcock e Mort (2008). Também se investigou correlação entre  $D_0$ , o diâmetro médio dos fragmentos para cada fotografia e o arredondamento médio.

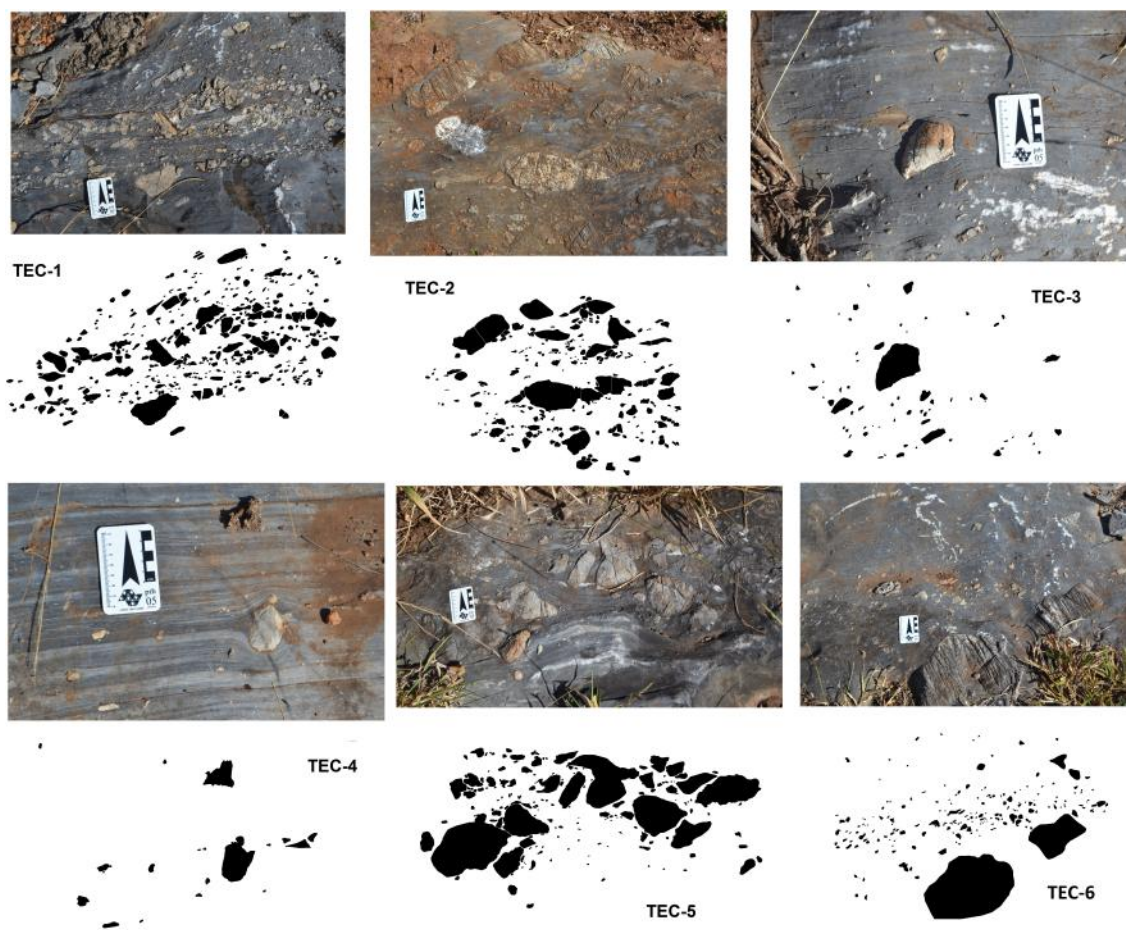


Figura 4.3 - Fotografias de brechas tectônicas e a correspondente imagem binária gerada para análise textural. Os clastos estão em preto e a matriz e o fundo em branco.

### 4.3. Análise petrográfica

Foram conduzidas análises petrográficas de 23 seções delgadas das fácies de brecha, clastos e rochas adjacentes com o intuito de se caracterizar as fácies e microfácies com maior detalhamento. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo em microscópio petrográfico binocular Olympus BXP-40.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1. Descrição de fácies e microfácies

#### 5.1.1. Região da Serra da Bodoquena

##### Brecha basal da Formação Tamengo

A brecha basal da Formação Tamengo, na região da Serra da Bodoquena, foi estudada nos pontos B3, B5, B6 e B7 e B8, correspondente ao Morro da Mina Horii (Figura 3.2 B). A estratigrafia pôde ser melhor verificada nos pontos B7 e B8.

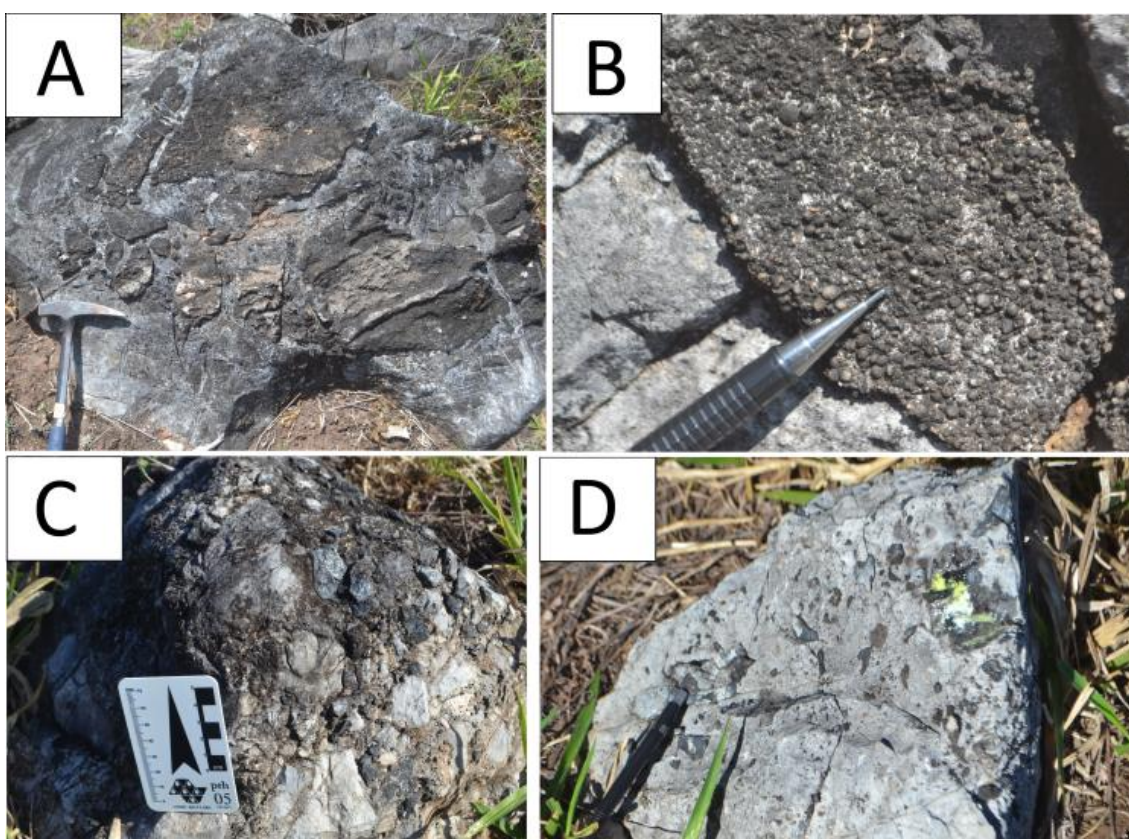


Figura 5.1 – Brecha basal da Formação Tamengo na região da Serra da Bodoquena. A – clastos angulosos de silexito de tamanhos diversos (ponto B7). B – clasto de *ooid grainstone* silicificado (ponto B7). C – ortobrecha com clastos de silexito e dolomito (ponto B5). D – brecha com alteração amarela de molibdato de amônio, indicando presença de fosfato na rocha (ponto B3).

Na Fazenda Veneza (pontos B6 e B7), há duas fácies distintas da brecha da Formação Tamengo (Figura 5.2), ambas com aproximadamente 30m de espessura. As duas camadas são separadas por níveis de dolomito cristalino fino, com cristais equigranulares de 0,1mm, e *ooid wackestone* com recristalização local da matriz (Figura 5.3 C e D).

A fácies de brecha inferior possui matriz dolomítica amplamente recristalizada na base e localmente no topo (Figura 5.3 A e B, respectivamente), com alguns cristais de quartzo angulosos dispersos. Os clastos são de dolomito, silexito, *oid grainstone* e fosforito (Figura 5.1 A e B e Figura 5.3 E). A fácies superior, acima da camada de dolomito, também possui matriz dolomítica, e seu arcabouço é composto por clastos de dolomito e arenito arcoseano de matriz carbonática, conforme verificado em seção delgada (Figura 5.3 F). Essa fácies encontra-se em contato tectônico no topo com as rochas da Falha Veneza.

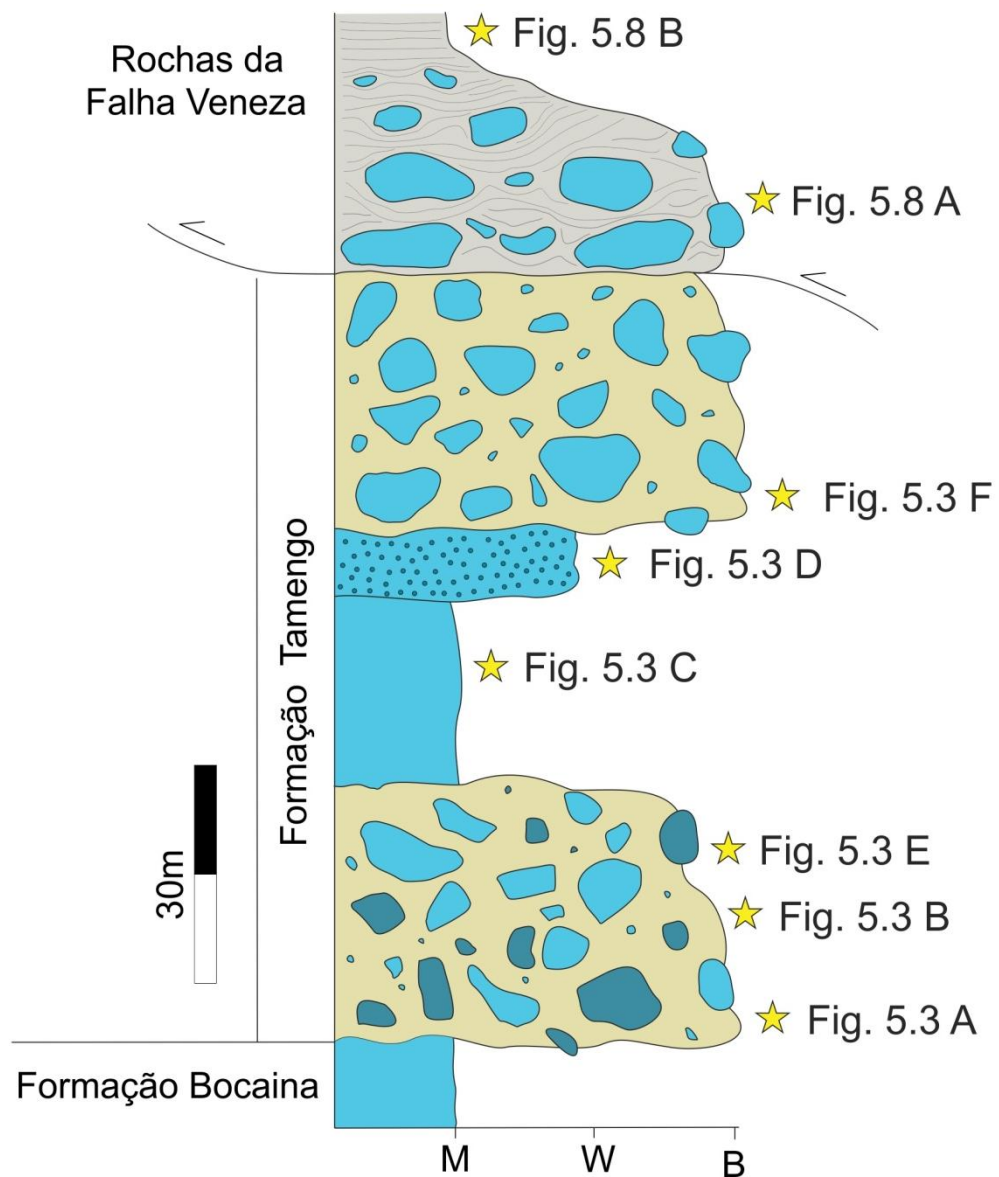


Figura 5.2 – Seção colunar do limite Bocaina – Tamengo e Falha Veneza na Fazenda Veneza (pontos B6 e B7), na região da Serra da Bodoquena. M=dolomudstone, W=wackestone e B=brecha. Estrelas indicam a figura da fotomicrografia de cada posição.

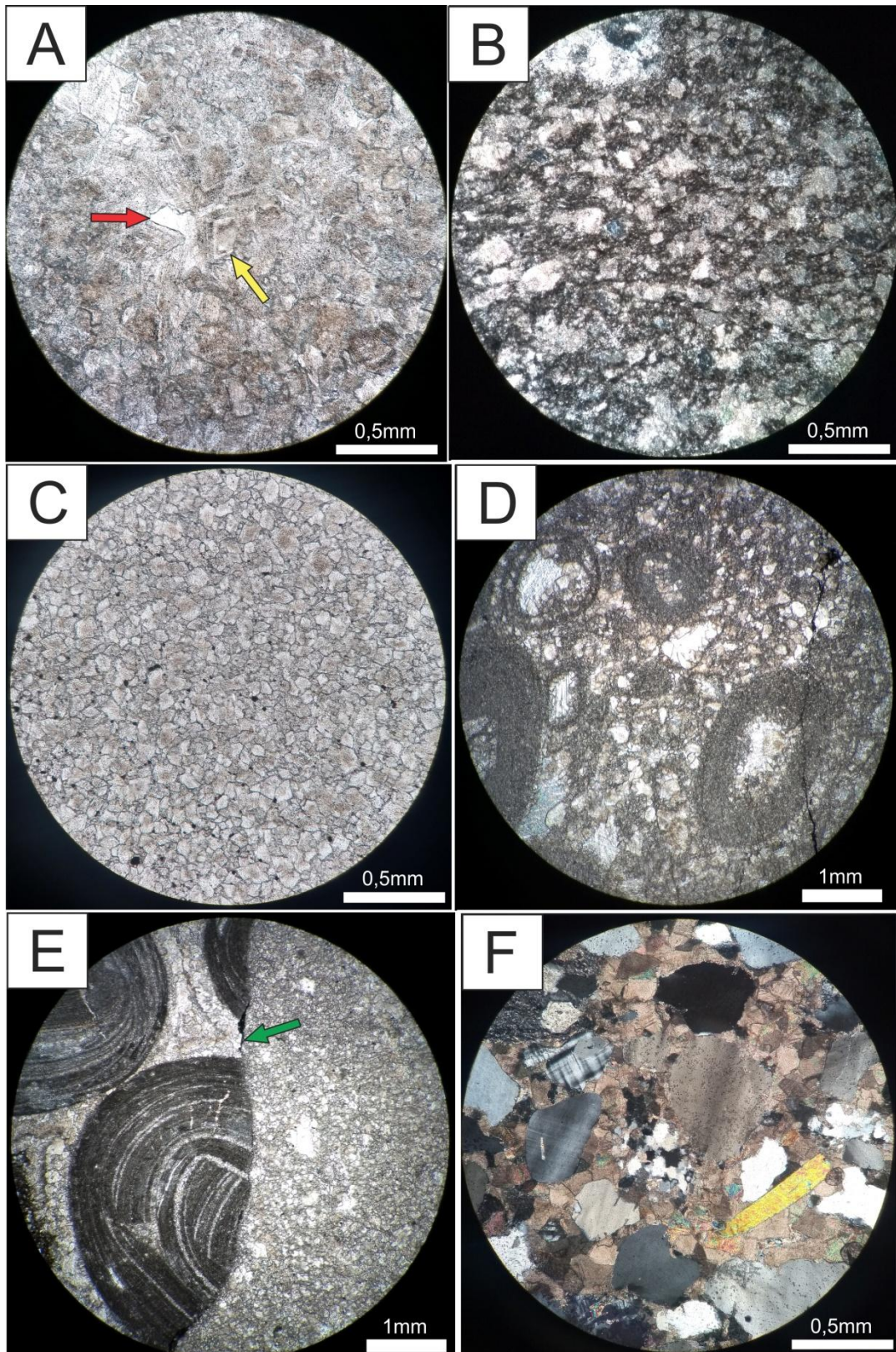


Figura 5.3 – Fotomicrografias de seções delgadas das rochas estudadas no perfil da Fazenda Veneza (pontos B6 e B7). A – matriz da base da brecha sedimentar recrystalizada com cristais de dolomita espática zonados (seta amarela) e quartzo (seta vermelha). B – matriz do topo da brecha sedimentar localmente recrystalizada, com cristais de dolomita espática e dolomicrita. C – dolomito cristalino fino. D – *oid wackestone* com matriz recrystalizada. E – contato abrupto (seta verde) entre um clasto de *oid grainstone* e a matriz de brecha sedimentar. F – arenito arcoseano que ocorre como clasto na brecha sedimentar (polarizadores cruzados).

Nos pontos B3 e B5, a brecha sedimentar é semelhante à descrita no ponto B7, porém os tipos litológicos do arcabouço variam. No ponto B3 (Chácara Nova Alegria), predominam clastos de fosforito e *dolomudstone*, com arenito em menor proporção. No ponto B5 (Fazenda Guajuvira), os clastos são majoritariamente de silexito e *dolomudstone* (Figura 5.1 C), com aproximadamente 10% de arenito e *oid grainstone*. Observando-se a frequência de clastos por ponto (Figura 5.4), nota-se que há correlação local de tipos litológicos, notadamente de clastos de fosforitos (Figura 5.1 D), restritos aos pontos B3, e B6/B7. Em todos os afloramentos, a brecha possui acamamento incipiente, podendo ser localmente maciça e os clastos são distribuídos de modo caótico, sem imbricação ou orientação geral.

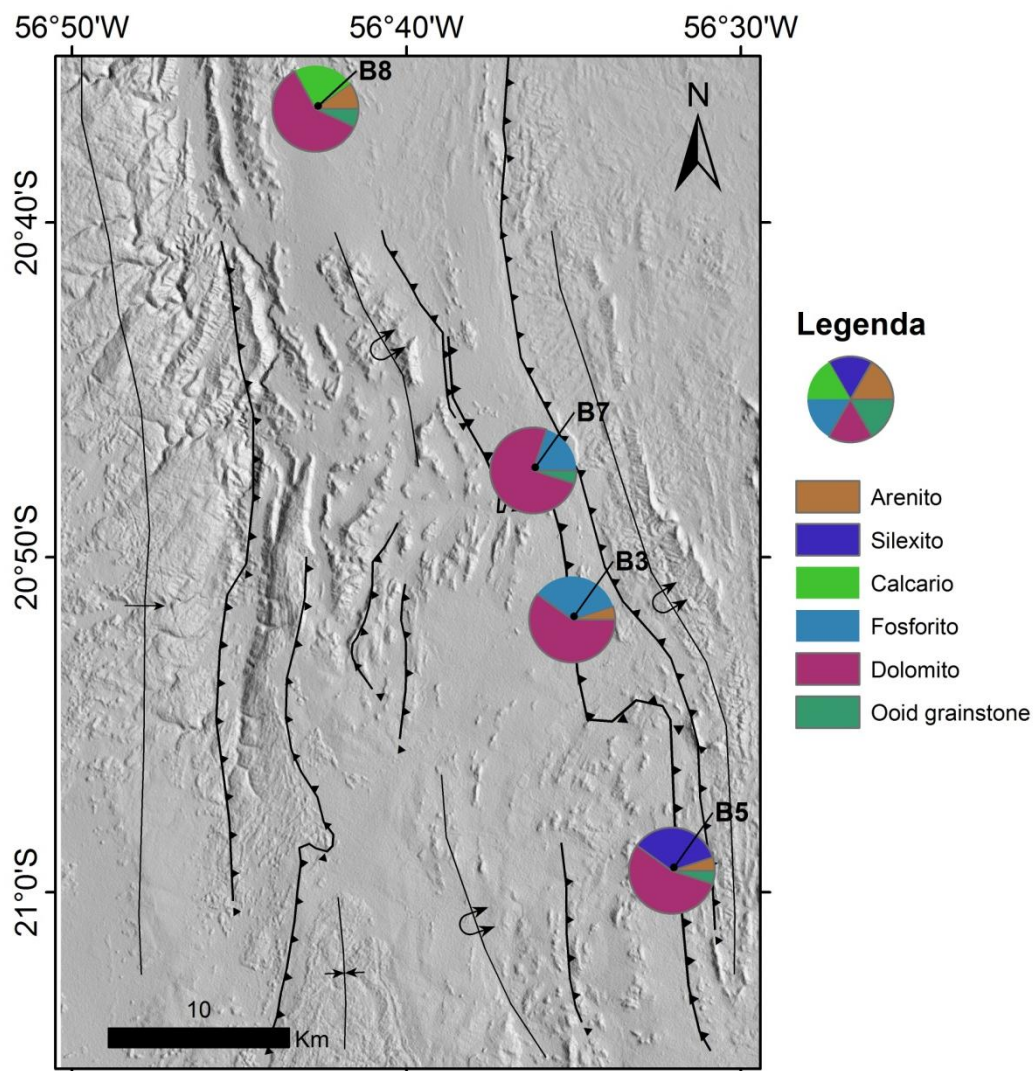


Figura 5.4 – Mapa sombreado da região da Serra da Bodoquena com gráficos mostrando a frequência relativa de clastos em cada ponto estudado. Dada a proximidade entre os pontos B6 e B7, foram considerados os dados de B7 (fácies inferior).

No morro da Mina Horii (ponto B8), a brecha e seu contato inferior com a Formação Bocaina foram identificados (Figura 5.5). Neste caso, a brecha possui clastos de *oid*

*grainstone* silicificado, *dolomudstone*, calcário calcítico e quartzo-arenito (Figura 5.6). A matriz é calcítica com alguns cristais de calcita rosados chegando até 0,5cm e quartzo na fração areia fina (Figura 5.6). A proporção de matriz varia consideravelmente, de 15% a 55%, ocorrendo como orto e parabrecha. Não foram observados clastos de fosforito ou do embasamento. Também não foram identificadas rochas de falha nesse ponto, onde parece que há preservação da estratigrafia original, com a brecha no limite entre as formações Bocaina e Tamengo e, acima dos calcários, a Formação Guaicurus, segundo o mapa geológico apresentado por Campanha et al. (2011).

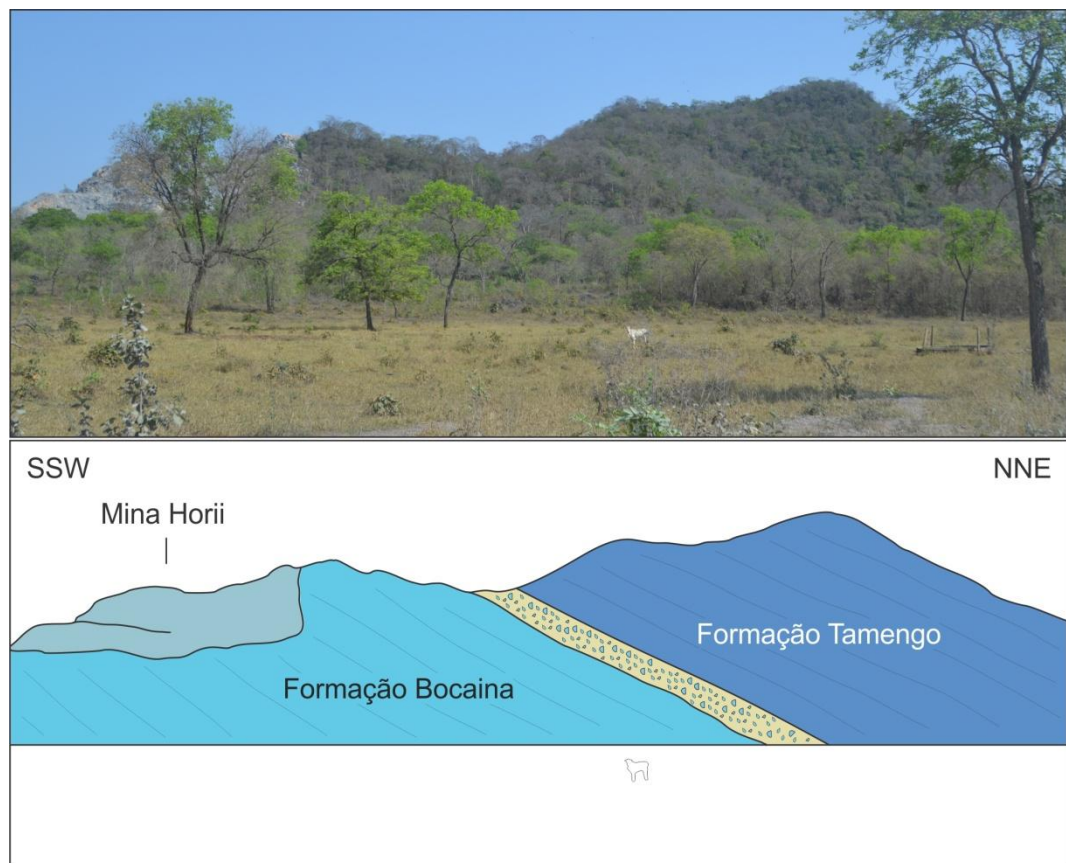


Figura 5.5 – Morro da Mina Horii (ponto B8) com representação aproximada da estratigrafia, indicando a brecha basal da Formação Tamengo no contato com a Formação Bocaina.

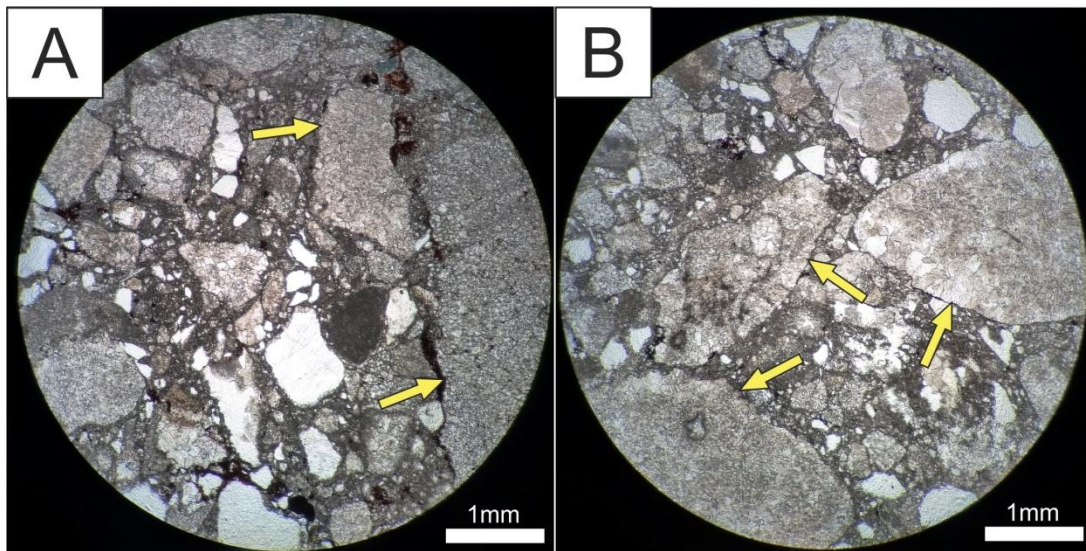


Figura 5.6 – Fotomicrografias de seções delgadas da brecha basal da Formação Tamengo no morro da Mina Horii (ponto B8). A – clastos de *dolomudstone* (setas amarelas) subangulosos e matriz areno-argilosa composta por micrita e quartzo. B – clastos de *dolomudstone* subarredondados maiores que 2mm.

#### Brechas Cataclásticas

Conforme mencionado no item anterior, as brechas tectônicas devem ser discutidas dentro do contexto das rochas cataclásticas da Falha Veneza, cujas melhores exposições se encontram na Fazenda Veneza e na Fazenda Rio Bonito (pontos B4 e B6; Figura 5.2). Há nítida mudança textural saindo da zona de dano em direção ao núcleo da falha, apesar de esses limites não serem claramente marcados e de haver frequentes variações locais. A Falha Veneza possui orientação NNW-SSE com mergulho médio de 55° para ENE.

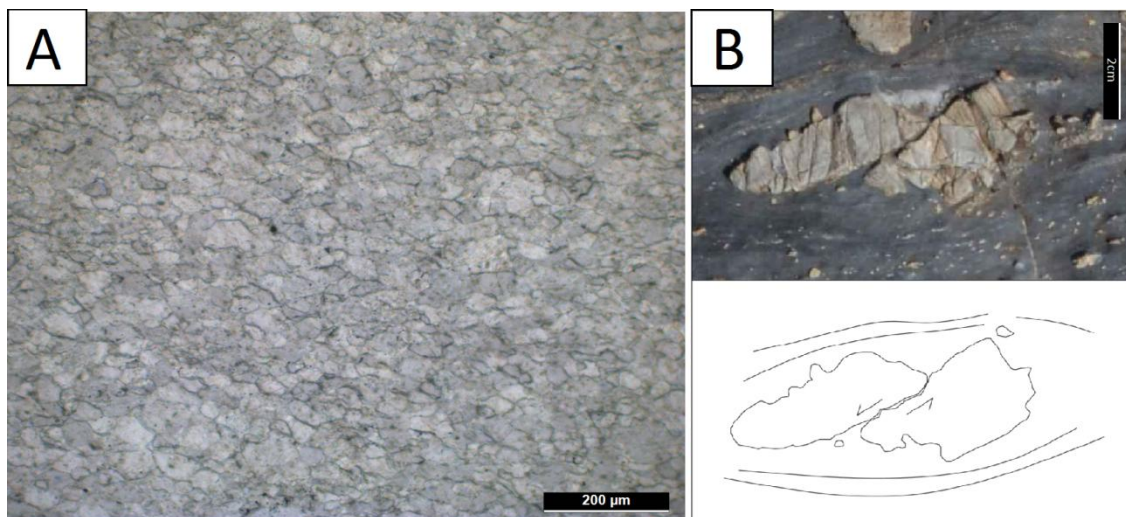


Figura 5.7 – A – fotomicrografia da matriz da brecha tectônica da Falha Veneza na Fazenda Rio Bonito (ponto B4), com cristais de calcita orientados. Polarizadores descruzados. B – fragmento de *dolomudstone* com indicação de falha, sugerindo que o fragmento sofreu fraturamento e rotação (ponto B6).

A porção mais próxima à rocha hospedeira corresponde à zona de dano, onde se observam fragmentos de *dolomudstone* angulosos e fraturados (Figura 5.9 A e B). Nessa porção, os fragmentos possuem contato entre si e há incipiente foliação da matriz calcítica. A litologia dos fragmentos é essencialmente *dolomudstone*, mas também foram identificados fragmentos de arenito e *ooid grainstone* (Figura 5.9 C).

Na transição entre a zona de dano e o núcleo da falha, a brecha possui proporção de matriz maior que 60%. A matriz é intensamente foliada, com cristais de calcita orientados (Figura 5.7 A). Há frequente deflexão da foliação ao redor dos fragmentos de *dolomudstone* (Figura 5.9 D e G e Figura 5.8 A), que localmente apresentam falhas, indicando componente rotacional e cisalhamento (Figura 5.7 B). Nessa porção, são raros os contatos entre fragmentos (Figura 5.9 D e E).

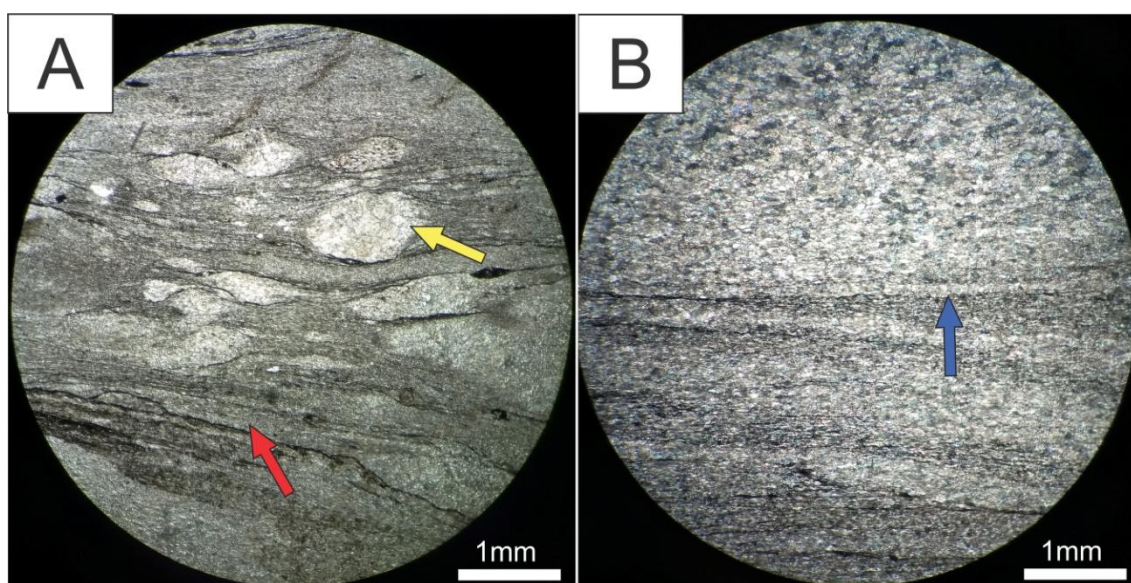


Figura 5.8 – Fotomicrografias de seções delgadas de rochas da Falha Veneza (ponto B7). A – brecha cataclástica com fragmentos de *dolomudstone* (seta amarela) e matriz calcítica com cristais orientados (seta vermelha). B – contato (seta azul) entre ultracataclasito composto por cristais de calcita fortemente orientados e veio de calcita com granulação ligeiramente mais grossa (polarizadores cruzados).

O núcleo da falha possui proporção de matriz maior que 90%. Nele, a matriz também se encontra intensamente foliada (Figura 5.8 B) e os fragmentos sobreviventes tendem a ser mais arredondados do que nos outros dois domínios, podendo ser alongados. Na zona de transição e no núcleo, são frequentes veios de calcita espática, que ocorrem discordante da foliação e também presentes em fraturas nos fragmentos (Figura 5.9 F).

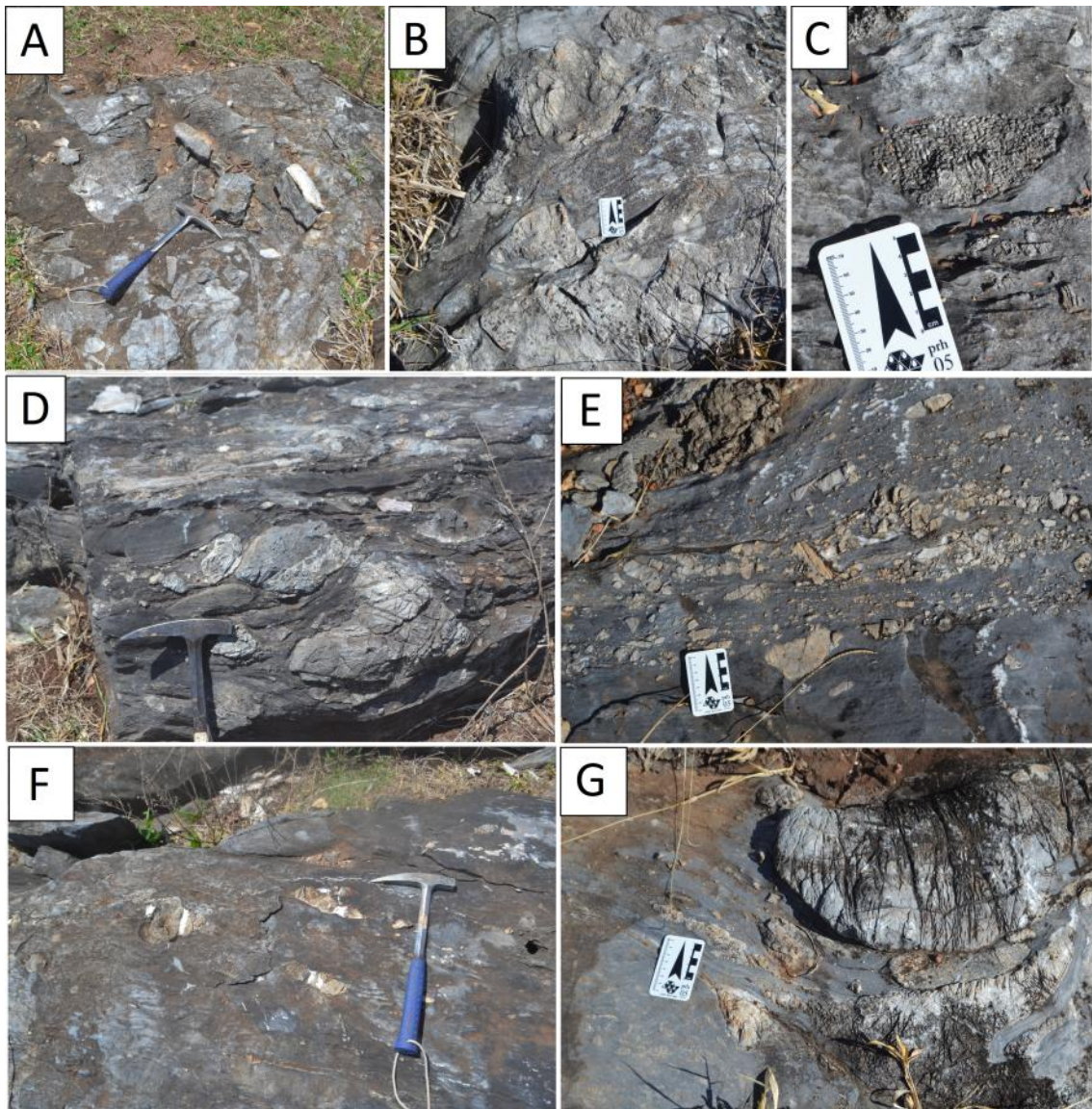


Figura 5.9 – Brechas tectônicas da Falha Veneza (pontos B7, B6 e B3). A – zona de dano com fraturamento do dolomito. B – formação de fragmentos de dolomito na zona de dano. C – fragmento de *ooid grainstone*. D – zona de transição com matriz foliada. E – zona de transição com fragmentos de diferentes tamanhos. F – núcleo da falha com fragmentos de *dolomudstone* alongados e calcita espática preenchendo fraturas nos fragmentos. G – deflexão da foliação e dos fragmentos ao redor de um fragmento de *dolomudstone* maior.

### 5.1.2. Região de Corumbá

Na região de Corumbá, a brecha sedimentar basal da Formação Tamengo foi analisada em detalhe na Ferrovia Noroeste do Brasil e na Mina Laginha.

A Figura 5.10 apresenta a seção colunar levantada na Ferrovia Noroeste do Brasil (ponto C1). A camada apresenta aproximadamente 22m de espessura e possui 5 tipos distintos de clastos identificados em campo (arenito, dolomito, silexito, quartzito e gnaisse). A análise de seção delgada permitiu a identificação de clastos de *ooid grainstone* silicificados (Figura 5.11 A e B). A proporção de clastos de arenito aumenta

significativamente para o topo, acompanhada de diminuição da proporção clasto:matriz (de 70 para 30%) e do tamanho do maior clasto (de 50 para 5cm). Esses dados indicam uma diminuição de energia em direção ao topo, para onde passam a predominar clastos de arenito e deixam de ocorrer clastos do embasamento cristalino (gnaisse e quartzito). O acamamento possui atitude média N355/65NE e são frequentes lentes e camadas centimétricas de arenito intercaladas, por vezes em dobras abertas ou sigmoidais.

A matriz da brecha é argilo-arenosa na base, passando para areno-argilosa no topo, com quartzo nas frações areia fina a média, micrita e peloides (Figura 5.11 C). A proporção de cristais de quartzo na matriz diminui da base para o topo do corpo de brecha, de 60% para 8%. No topo da camada, situa-se o contato com *oid wackestones* e *packestones* da Formação Tamengo (Figura 5.11 D). Essas rochas possuem razoável grau de recristalização da matriz e oóides elípticos, sugerindo compactação durante a diagênese.

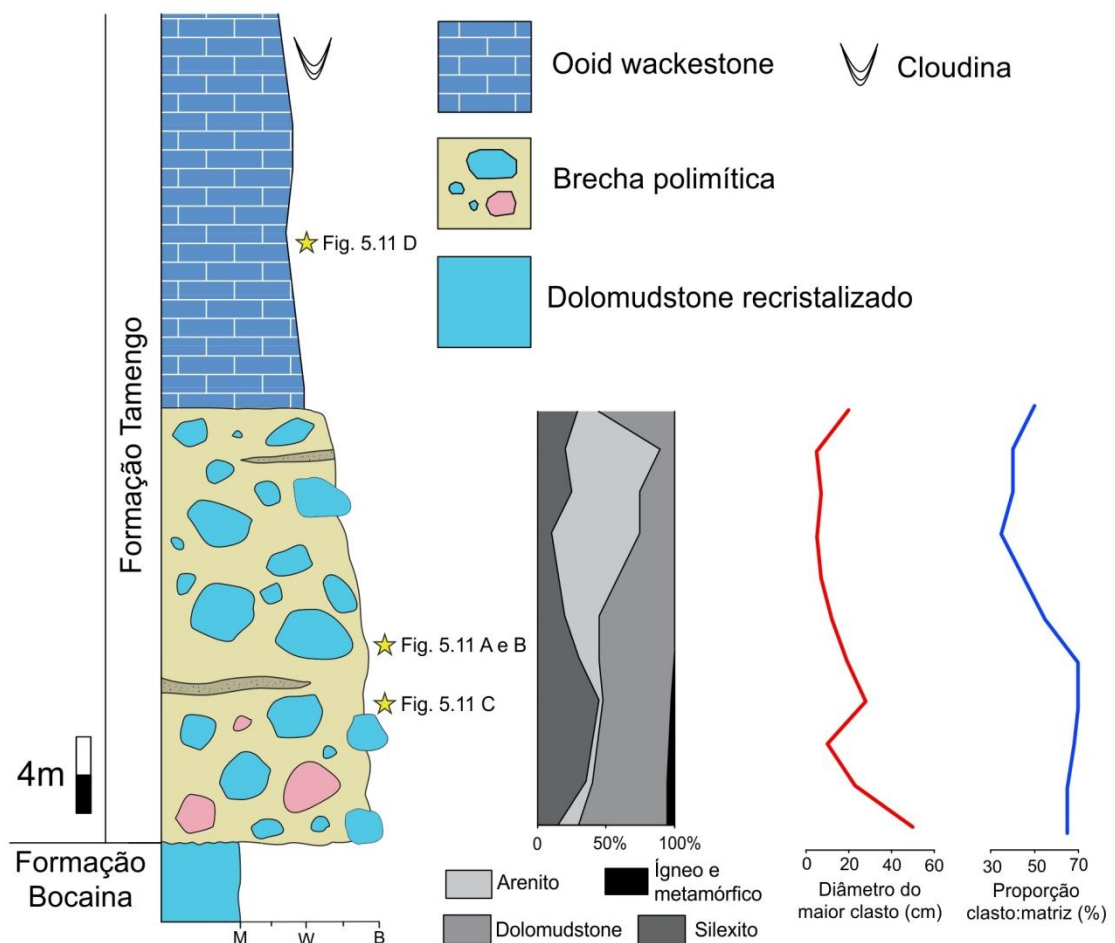


Figura 5.10 – Seção colunar do limite Bocaina-Tamengo na Ferrovia NW do Brasil, Corumbá (ponto C1), com gráficos de frequência relativa de clastos, tamanho do maior clasto e proporção clasto:matriz. M= *mudstone*, W=*wackestone* e B = brecha. Estrelas indicam as figuras das fotomicrografias de cada posição.

Na Mina Laginha (ponto C2), é possível ver de modo claro os contatos abruptos do corpo de brecha com os dolomitos da Formação Bocaina inferior e com *packestones* e *wackestones* da Formação Tamengo superior (Figura 5.12). A brecha possui matriz calcítica-dolomítica localmente recrystalizada. Gómez-Gutiérrez (2019) aponta, na mesma seção, dissolução em estilólitos.

Nessa seção, observou-se expressiva variedade de litologias no arcabouço da brecha. Os clastos correspondem a dolomito, silexito, quartzito, arenito com pirita, metarenito, filito, metaconglomerado, granito, gnaiss, pelito e calcário calcítico, em diferentes proporções (Figura 5.13).

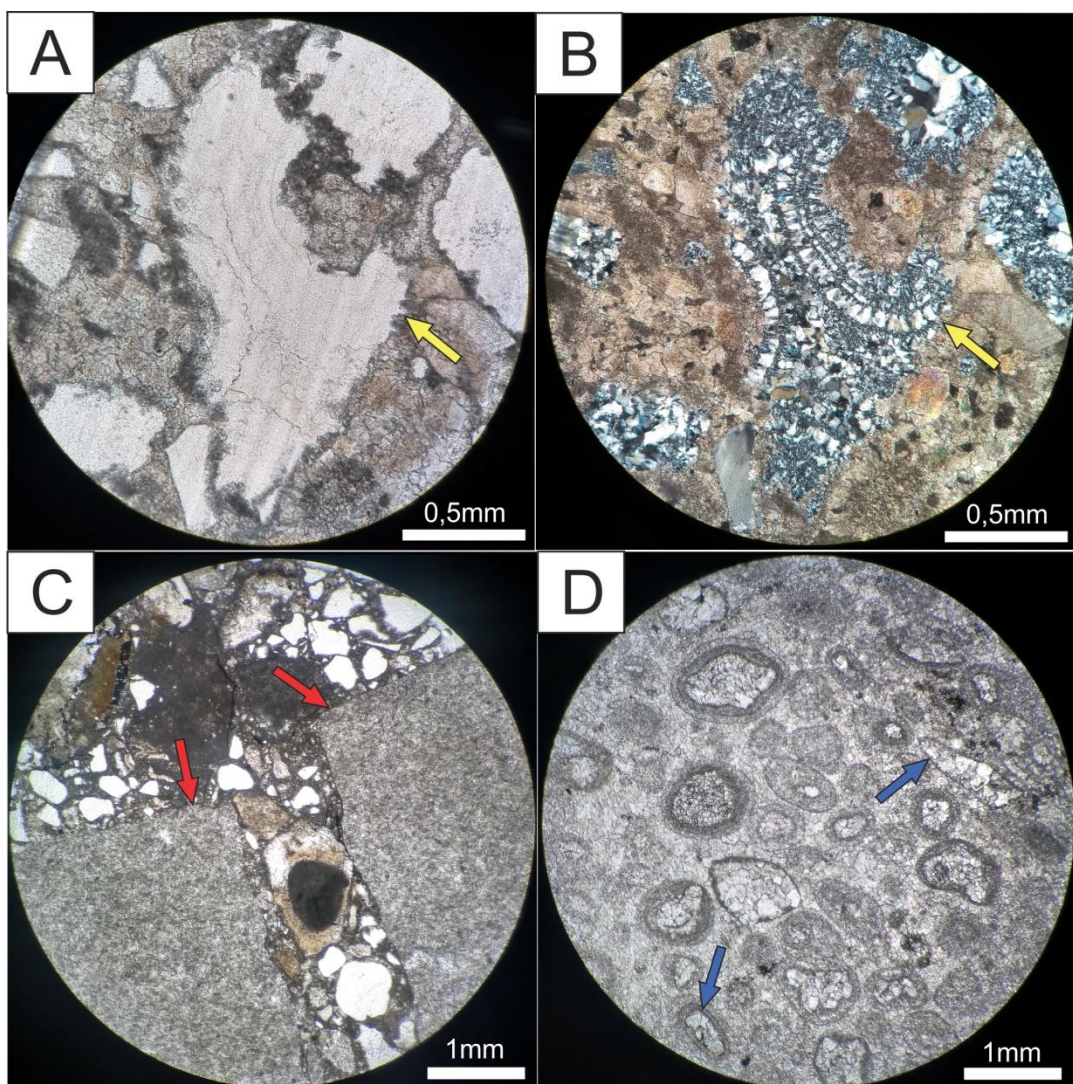


Figura 5.11 – Fotomicrografias de seções delgadas de rochas estudadas na seção da Ferrovia NW do Brasil (ponto C1). A - brecha basal da Formação Tamengo com indicação de um clasto de *oid grainstone* silicificado como quartzo policristalino (seta amarela) no qual há preservação de formas dos oóides (B com os polarizadores cruzados). C – destaque para clastos de *dolomudstone* (setas vermelhas) em meio a matriz argilo-arenosa composta por micrita e quartzo. D – *oid wackestone* com matriz recrystalizada e oóides elípticos (setas azuis), sugerindo compactação durante a diagênese.

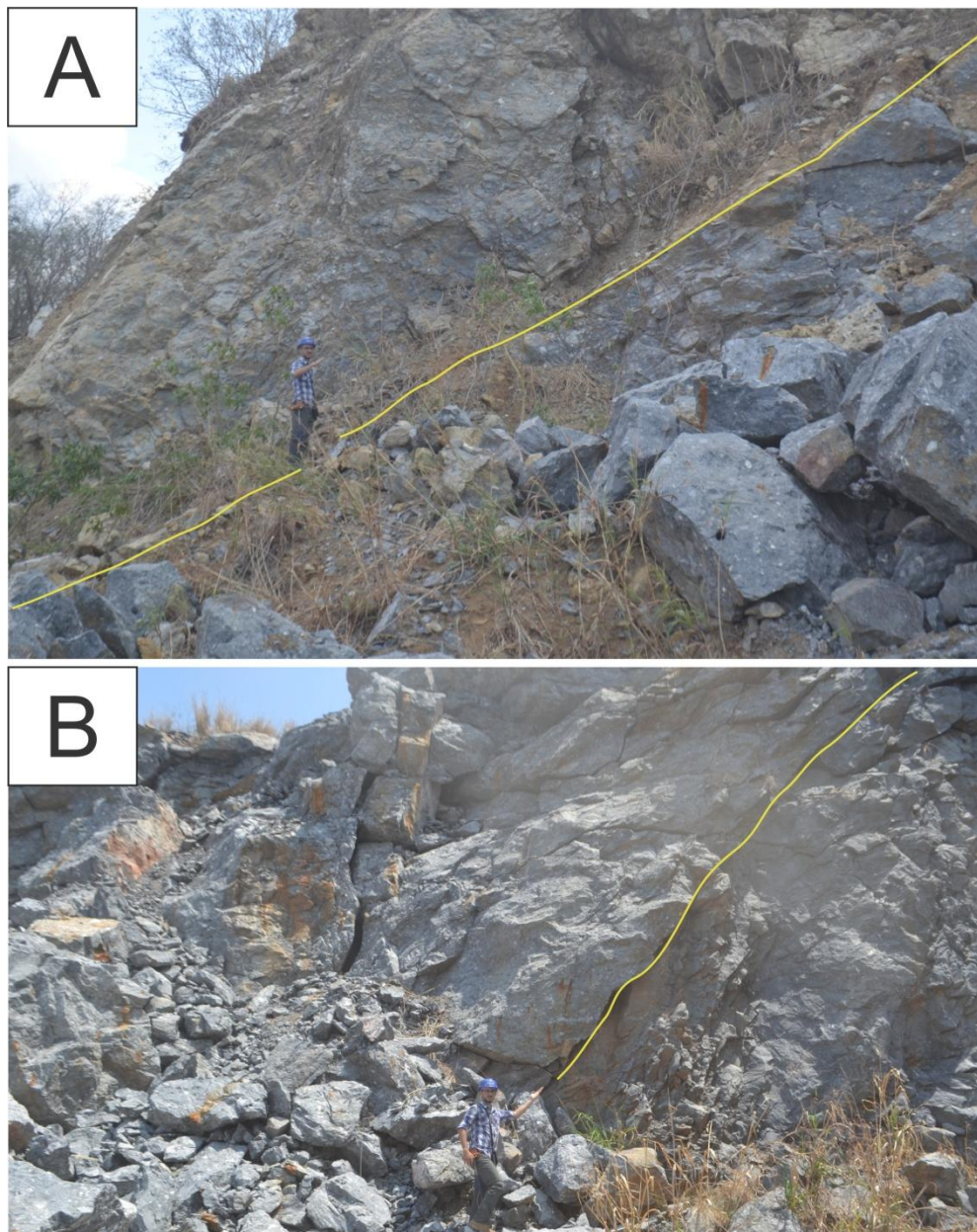


Figura 5.12 – Contatos da brecha basal da Formação Tamengo na Mina Laginha. A – contato superior com *packstones* da Formação Tamengo. B – contato inferior com dolomitos da Formação Bocaina.

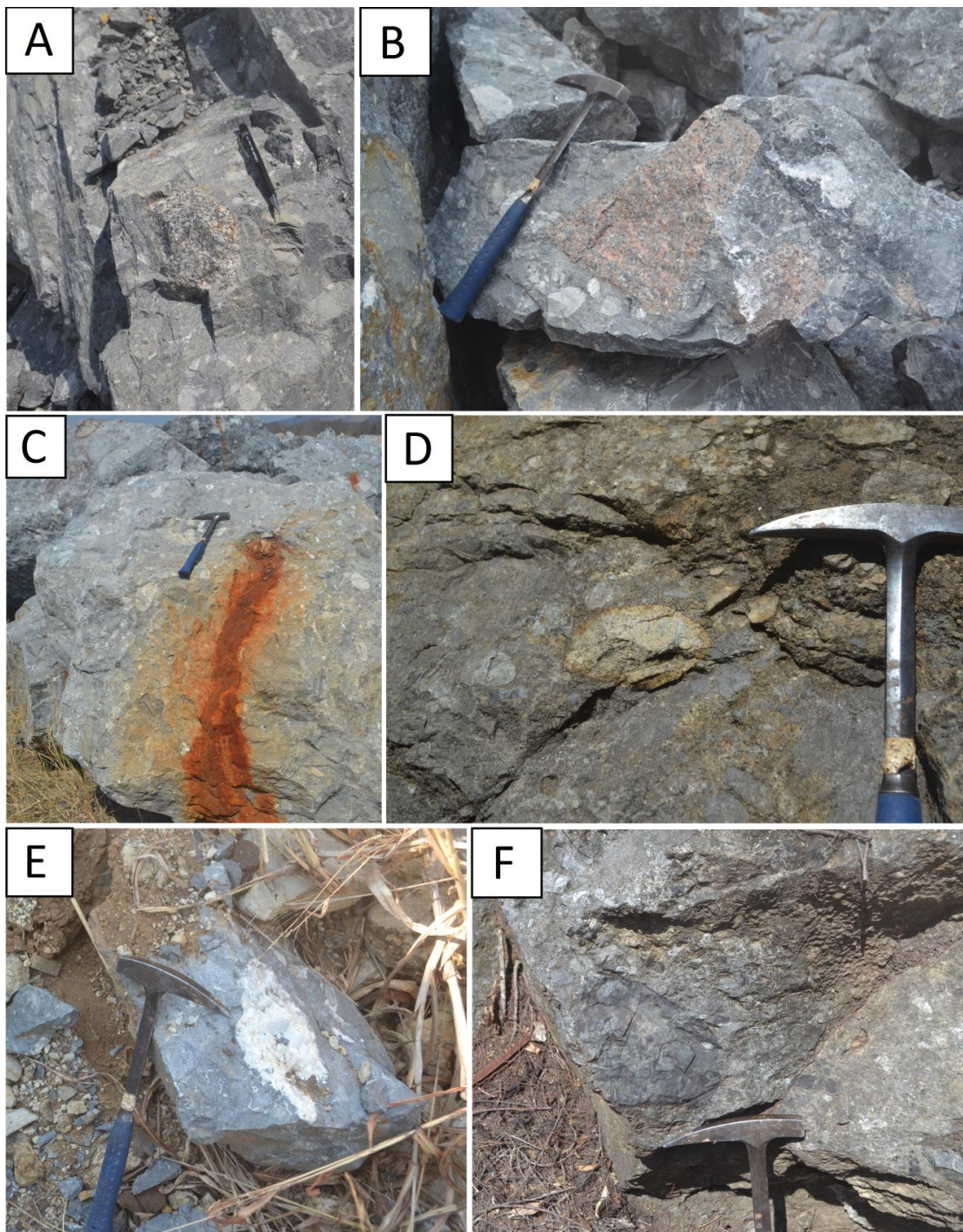


Figura 5.13 - Brecha basal da Formação Tamengo e diferentes tipos de clastos (pontos C1 e C2). A – clasto de gnaíse. B – clasto de granito. C – clasto de arenito com pirita alterado. D – clasto de quartzito. E – porção com calcita espática pura. F – clasto de silexito.

A Figura 5.14 indica a frequência relativa dos tipos de clastos nas quatro posições estratigráficas analisadas. Pode-se observar que predominam clastos de calcário calcítico, dolomito e silexito. As diferenças de frequência ao longo da seção também não são tão acentuadas, em comparação com a seção da ferrovia, de tal forma que a notável diversidade do arcabouço pode ser verificada em toda a camada. Apenas nas posições médio inferior e superior que há o destaque para os clastos de arenito com pirita e pelito,

respectivamente. Na mina, clastos do embasamento cristalino ocorrem ao longo de toda a camada de brecha, inclusive com clastos de granito de até 50cm de diâmetro.

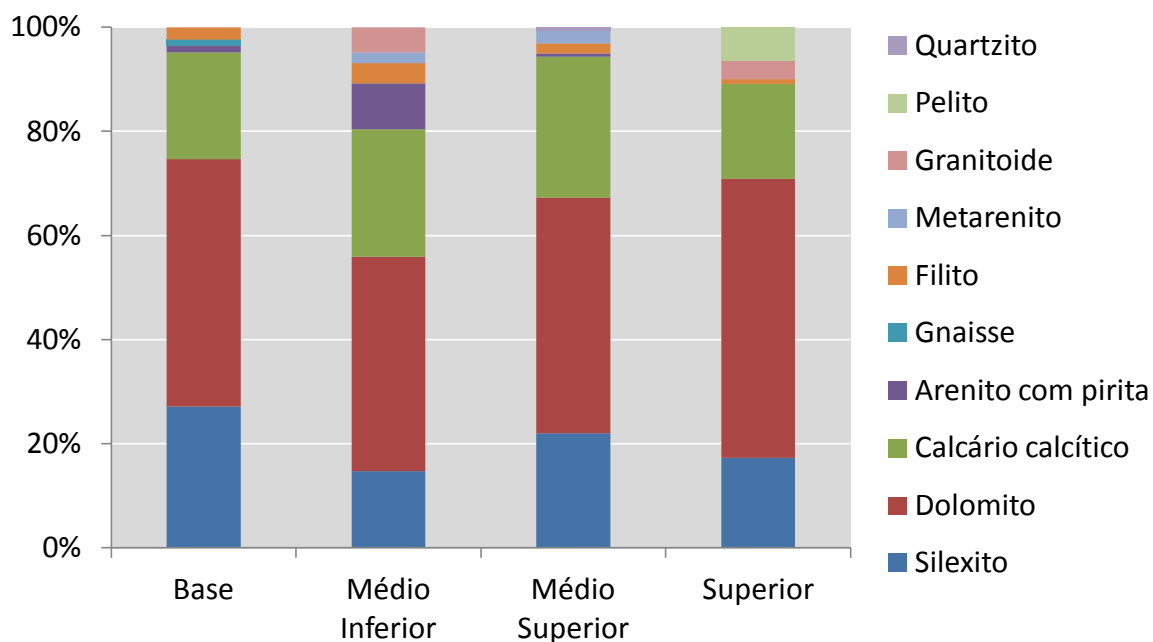


Figura 5.14 – Frequência relativa das litologias de clastos na brecha da Formação Tamengo na exposição da Mina Laginha (ponto C2).

## 5.2. Análises de imagens

As análises de imagens, referentes às brechas tectônicas da Falha Veneza, mostram mudança de alguns parâmetros em diferentes zonas da falha. Os dados obtidos estão resumidos na Tabela 5.1. Na Figura 5.16 A, nota-se que há forte correlação linear negativa entre a dimensão de contagem de caixas  $D_0$  e a porcentagem de matriz nas rochas. Essa proporção é próxima da proposta por Ferraro et al. (2018) para rochas de falhas em diferentes domínios. Por outro lado, nota-se correlação linear positiva entre  $D_0$  e o tamanho médio dos fragmentos (Figura 5.16 B). O arredondamento médio dos fragmentos não sofre variações notáveis em distintas porções da falha, permanecendo por volta de 0,60 – subarredondados (Figura 5.16 C).

Tabela 5.1 – Resultado dos parâmetros analisados nas fotografias de brechas de falha.

Fotografia	D <sub>0</sub>	% Matriz	Tamanho médio dos fragmentos (cm)	Arredondamento médio
TEC-1	1,588	79,0	1,54	0,59
TEC-2	1,633	73,4	3,12	0,60
TEC-3	1,430	95,3	1,14	0,60
TEC-4	1,521	96,3	1,71	0,58
TEC-5	1,742	65,2	2,49	0,61
TEC-6	1,598	82,2	1,74	0,62

Dados da proporção de matriz e de fragmentos entre 0,1 e 2mm permitiu classificar as fotografias segundo a nomenclatura de Woodcock e Mort (2008) proposta para rochas de falhas. As fotografias TEC-1, TEC-2, TEC-5 e TEC-6 localizam-se no campo de meso-cataclasitos, enquanto as fotografias TEC-3 e TEC-4, no campo dos ultra-cataclasitos (Figura 5.15). A nomenclatura de cataclasitos foi utilizada uma vez que a cataclase foi o principal mecanismo de deformação dessas rochas. Observa-se, portanto, correlação clara entre a proporção de matriz, D<sub>0</sub>, tamanho médio dos fragmentos e a nomenclatura.

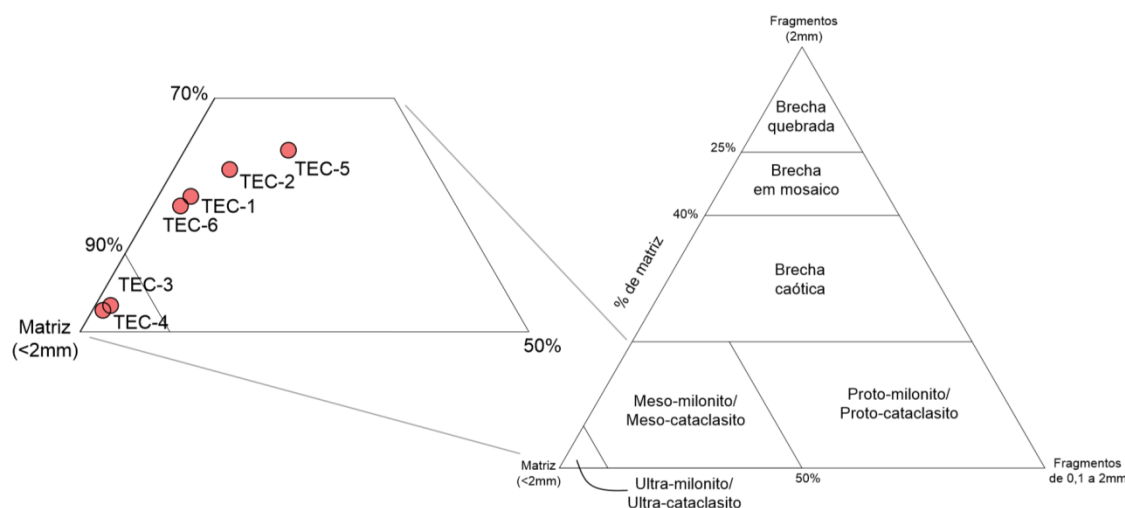


Figura 5.15 – Classificação das fotografias de brechas tectônicas segundo nomenclatura de Woodcock e Mort (2008).

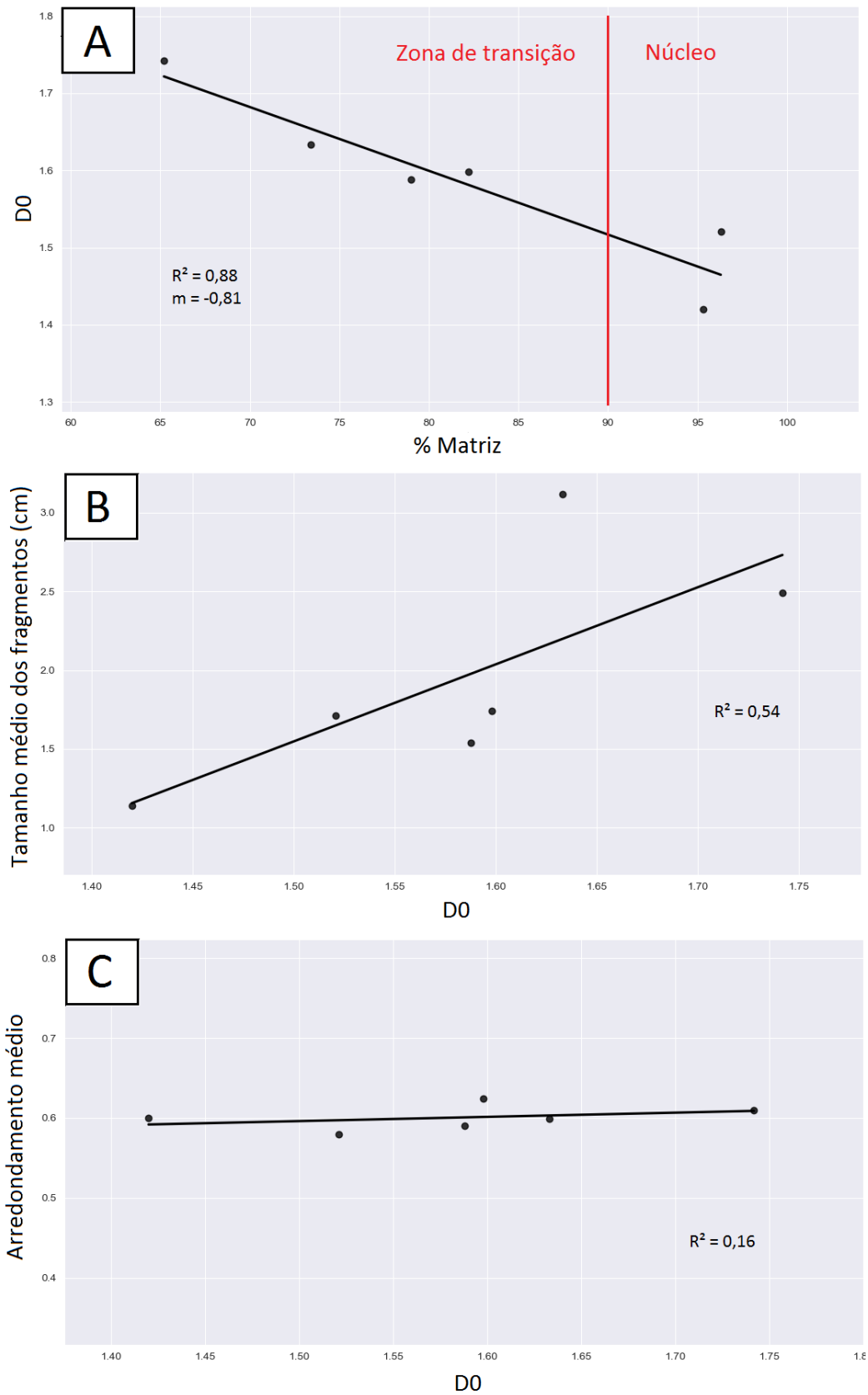


Figura 5.16 – Resultados das relações entre os parâmetros estudados nas fotografias de brechas de falha. A – gráfico % Matriz x  $D_0$ . B – gráfico  $D_0$  x tamanho médio dos fragmentos. C – gráfico  $D_0$  x arredondamento médio dos fragmentos.

## 6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

Os dados disponíveis e coletados das diferentes brechas (sedimentares e tectônicas) foram analisados para se inferir os processos e ambientes de formação de cada tipo. A Tabela 6.1 compila as descrições faciológicas, considerando-se os critérios (i) composição da matriz, (ii) composição do arcabouço e (iii) estruturas, com a interpretação dos processos de formação para cada ponto. Em seguida, são apresentadas interpretações detalhadas.

Tabela 6.1 - Descrição e interpretação dos processos de formação das brechas nos pontos de afloramento.

Ponto	Composição da matriz	Composição do arcabouço	Estrutura	Tipo de brecha	Processo de formação
B3	Dolomítica	<i>Fosfomudstone, dolomudstone</i> e arenito	Acamamento incipiente	Ortobrecha a parabrecha sedimentar	Fluxos gravitacionais
B4	Calcítica	<i>Dolomudstone</i> e <i>oid grainstone</i>	Matriz foliada e fragmentos rotacionados	Brecha tectônica cataclástica	Cataclase em zona de falha
B5	Dolomítica com cristais de quartzo	<i>Dolomudstone</i> , arenito, <i>oid grainstone</i> silicificado e silexito	Acamamento incipiente	Parabrecha sedimentar	Fluxos gravitacionais
B6	Dolomítica	<i>Fosfomudstone</i> e <i>dolomudstone</i>	Acamamento incipiente	Parabrecha sedimentar	Fluxos gravitacionais
B7	Dolomítica	<i>Fosfomudstone, dolomudstone</i> e <i>oid grainstone</i>	Acamamento incipiente	Parabrecha sedimentar	Fluxos gravitacionais
B7	Calcítica	<i>Dolomudstone</i> e <i>oid grainstone</i>	Matriz foliada e fragmentos rotacionados	Brecha tectônica cataclástica	Cataclase em zona de falha
B8 Morro Mina Horii	Calcítica localmente recristalizada	<i>Ooid grainstone</i> silicificado, <i>dolomudstone</i> , calcário calcítico e arenito	Maciça/ acamamento incipiente	Ortobrecha a parabrecha sedimentar	Fluxos gravitacionais
C1	Calcítica e dolomítica	Arenito, <i>dolomudstone</i> , granitoide, gnaiss, quartzito e silexito	Afinamento para o topo sutil. Lentes de arenito intercaladas apresentam dobras/ sigmoides	Ortobrecha a parabrecha sedimentar	Fluxo gravitacional em único pulso com erosão do embasamento
C2 Mina Laginha	Calcítica e dolomítica localmente recristalizada	(Ver Figura 5.13)	Acamamento incipiente	Ortobrecha a parabrecha sedimentar	Fluxo gravitacional em único pulso com erosão do embasamento

## 6.1. Brechas tectônicas

As brechas tectônicas ocorrem associadas à Falha Veneza, como resultado de cataclase de camadas de dolomito e/ou brechas sedimentares dolomíticas como descritas na Fazenda Veneza (Figura 5.2). Três processos principais relacionados à cataclase foram identificados, sendo (i) fraturamento da rocha hospedeira e dos fragmentos, (ii) rotação dos fragmentos e (iii) foliação da matriz.

Os resultados das análises de imagem mostram que as brechas tectônicas na zona de transição entre a zona de dano e o núcleo da falha apresentam maiores valores de  $D_0$  e de tamanho médio dos fragmentos do que as brechas presentes no núcleo (Figura 5.16 A). A dimensão de organização fractal  $D_0$  está diretamente relacionada ao grau de cominuição dos fragmentos (Blekingsop, 1991; Billi e Storti, 2004), que é mais intenso próximo à zona de dano da falha. Valores menores de  $D_0$  ocorrem em direção ao núcleo, pois a maior parte dos fragmentos foi cominuída com tal intensidade que seu tamanho foi reduzido para  $<0,1\text{mm}$  e passou a compor a matriz. O arredondamento médio dos fragmentos não possui variação estatística significativa (Figura 5.16 C), sugerindo que a cataclase atua tanto para arredondar bordas de fragmentos quanto para fraturá-los, gerando fragmentos menores e mais angulosos. Dessa forma, o arredondamento é estabilizado próximo a 0,60.

Modelos de desenvolvimento espacial-temporal de rochas de falha carbonáticas são propostos na literatura (e.g. Billi e Storti, 2004; Billi, 2010; Ferraro et al., 2018), apesar de serem escassos os modelos que consideram a matriz foliada. Normalmente, parte-se da rocha hospedeira fraturada. O fraturamento intenso, aliado à cominuição de fragmentos menores, inicia o desenvolvimento da matriz. Então, os fragmentos, cada vez menores e mais arredondados, são rotacionados e fraturados. Os membros finais de rochas de falha desenvolvidas nesses modelos são ultracataclasitos. A Falha Veneza segue essa forma de evolução, com o acréscimo de ter gerado matriz foliada a partir da deformação intensa nas zonas de transição e de dano (Figura 6.1). Ressalta-se, no entanto, que a foliação da matriz e os fragmentos alongados são características que indicam deformação também em regime dúctil, posicionando a formação dessas rochas de falha na transição rúptil-dúctil, onde, além da cataclase, a milonitização atuaria na deformação.

Além disso, as rochas da Falha Veneza possivelmente sofreram dedolomitização (ou calcitização) da matriz, processo no qual há substituição de dolomita por calcita. Essa inferência é feita visto que somente a cominuição física dos grãos não alterariam sua composição mineralógica. Rochas de falha carbonáticas com dedolomitização são descritas na literatura (e.g. Tapp, 1988, Erickson, 1994; Hajri e Abdallah, 2020). Nas rochas da Falha Veneza, a ocorrência de veios de calcita espática sugere que a falha atuou como uma zona

de percolação preferencial de fluidos de composição calcítica. Portanto, uma vez que a calcita está restrita aos veios e à matriz das brechas tectônicas, ou a granulação fina proporcionou a dedolomitização, ou a calcita foi precipitada já em granulação fina, de modo semelhante ao proposto por Erickson (1994).

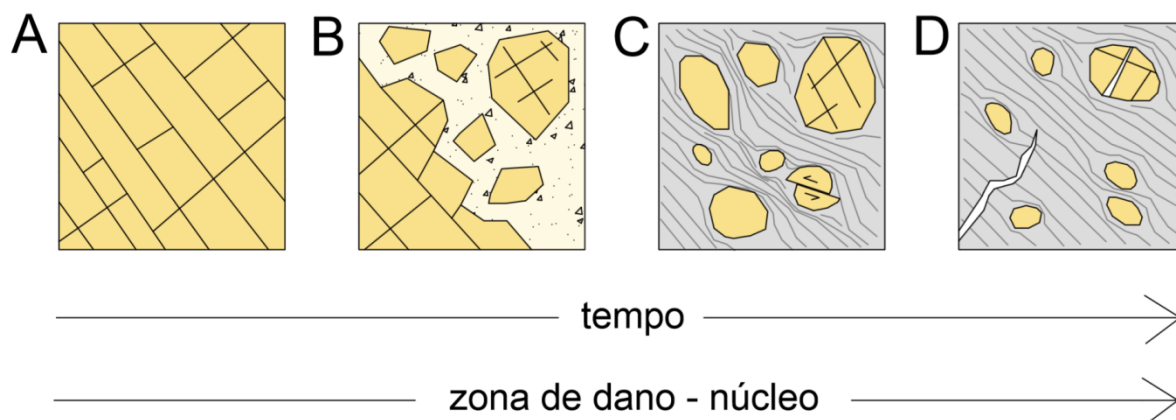


Figura 6.1 – Modelo de evolução temporal-espacial das rochas da Falha Veneza. A – zona de dano afetada por fraturas ortogonais no dolomito. B – início da brechagem e cominuição de fragmentos. C – fragmentação, rotação e arredondamento dos fragmentos. É também nesta etapa que ocorre a dedolomitização e a geração de matriz calcítica foliada. D – próximo ao núcleo da falha, onde os fragmentos são menores, arredondados e orientados segundo a foliação. Há a deposição de calcita espática em veios na matriz e preenchendo fraturas em fragmentos.

## 6.2. Brecha basal da Formação Tamengo

A brecha basal da Formação Tamengo marca o limite entre as formações Bocaina e Tamengo e apresenta significado local e regional, conforme se discute a seguir. A relevância local consiste na brecha como registro de um expressivo rebaixamento eustático que a formou. A importância regional diz respeito à proveniência da brecha e sua relação com a evolução tectônica da bacia.

### 6.2.1. Gênese

Todos os modelos genéticos de brechas sedimentares (e.g. fluxos de massa subaéreos, colapso de carste, fraturamento de intraclastos, deposição glacial) foram considerados na etapa de interpretação da origem da brecha basal. Não foram encontradas, no entanto, evidências de glaciação, paleocarste, impacto de meteorito e exposição subaérea, de modo que os processos gravitacionais são os que melhor explicam a origem da brecha em estudo. Brechas formadas a partir de fluxos de massa submarinos, como *slumps*, *slides* e *debris flows*, geralmente apresentam estrutura caótica, clastos de formas e

tamanhos variados, contatos irregulares e tendem a ser matriz-suportadas. A natureza polimítica reflete a complexidade da área-fonte (McIlreath e James, 1978). Essas brechas são formadas em fluxos viscosos com abundância de lama, onde os clastos “flutuam” e são pouco retrabalhados durante o transporte. Fluxos desse tipo ocorrem em margens íngremes de plataformas carbonáticas e são pobremente canalizados (Nichols, 2009). Portanto, esses processos teriam sido alimentados linearmente em *slope aprons*, e não por fontes discretas, como em leques submarinos, o que explicaria a expressiva continuidade lateral observada.

Brechas polimíticas carbonáticas intercaladas com arenitos também podem ser associadas a fluxos gravitacionais submarinos em porções proximais de sistemas turbidíticos de água profunda (Mutti, 1985). No caso da brecha basal da Formação Tamengo, as intercalações com arenitos são frequentes e há considerável presença de quartzo na matriz, mas não há qualquer registro de arenitos associados que possam corresponder à porção distal do sistema de turbiditos. O quartzo presente na matriz pode ser proveniente de rochas carbonáticas silicificadas, visto que foram encontrados clastos de quartzo policristalino que preservaram a estrutura de oóides (Figura 5.11 A e B) e clastos de *ooid grainstone* como silicificação parcial.

Oliveira et al. (2019) defendem o modelo de rampa carbonática para a Formação Tamengo, no qual a brecha seria formada em contexto de rampa interior, a partir de retrabalhamento por ondas. Nesse modelo, a abundância de matriz e de clastos do embasamento cristalino, alguns chegando a mais de 1m, não é explicada. Além disso, rampas carbonáticas homoclinais tendem a não desenvolver depósitos de ressedimentação por queda do nível do mar (Burchette e Wright, 1992). No caso de deposição a partir de *slumps*, *slides* e *debris flows* submarinos, esses processos requerem taludes com altos ângulos, de até 30° (Wright e Burchette, 1996). Amorim et al. (2020) e Gómez-Gutiérrez (2019), por outro lado, admitem o modelo de rampa somente para as sucessões carbonáticas superiores à brecha. Portanto, dessa forma, a brecha marcaria a mudança de sistema deposicional, de plataforma barrada por estromatólitos (Formação Bocaina) para rampa carbonática dominada por tempestades, com aparecimento de fósseis de *Cloudina* e *Corumbella* (Formação Tamengo).

Os processos gravitacionais, portanto, são os mais compatíveis com as características observadas para a brecha da Formação Tamengo. Neste caso, a exposição das rochas das formações Bocaina e Cerradinho, bem como do embasamento cristalino, teria se dado por mudança do contexto tectônico da bacia, conforme discutido no próximo item, e/ou por expressivo rebaixamento eustático, proporcionando a instabilidade dos sedimentos e a ativação de processos de *slumps*, *slides* e *debris flows* submarinos no talude (Figura 6.2). Na região de Corumbá, as seções colunares levantadas sugerem que a

deposição teria ocorrido em um único pulso, enquanto que na região da Serra da Bodoquena, ao menos dois pulsos são admitidos, com um intervalo de sedimentação dolomítica entre eles, indicando a heterogeneidade dos processos. A posição estratigráfica das brechas, ambas situadas no topo da Formação Bocaina e na base da Formação Tamengo, indica que as rochas podem ser relacionadas e foram formadas a partir de um evento único cuja extensão foi de, no mínimo, 250km. No entanto, a distribuição relativa das litologias no arcabouço ao longo dos pontos estudados (Figura 5.4) indica que há mais semelhança entre pontos próximos, sendo este mais um indício de que predominaram processos de ressedimentação locais com baixa distância de transporte.

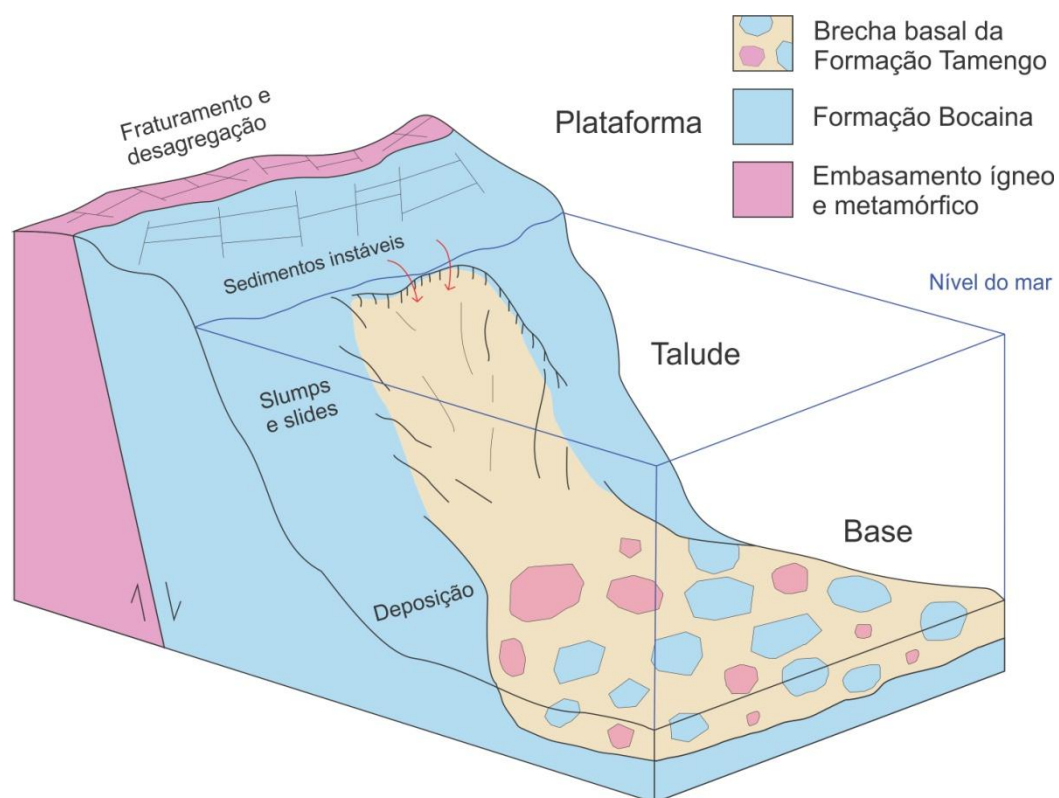


Figura 6.2 – Modelo de formação da brecha basal da Formação Tamengo a partir dos processos de (i) fraturamento e desagregação de fragmentos de unidades subjacentes, (ii) *slumps* e *slides* submarinos proporcionados pela queda de nível eustático e ativados pela instabilidade de sedimentos e (iii) deposição de clastos juntamente com matriz micrítica/dolomítica.

Os processos diagenéticos que atuaram na brecha basal da Formação Tamengo correspondem à recristalização, cimentação e dissolução por pressão. Cristais de calcita e dolomita espáticas indicam recristalização da matriz micrítica/dolomítica. A cimentação ocorreu através da precipitação de calcita espática em porções restritas (Figura 5.13 E), principalmente veios e fraturas. A dissolução por pressão pode ser inferida através dos níveis de estilólitos presentes na matriz.

### 6.2.2. Proveniência e contexto geotectônico

Um modo de se inferir a proveniência de um rudito é analisando as litologias de seu arcabouço (Lindsey et al., 2007). A brecha basal da Formação Tamengo apresenta notável diversidade litológica dos clastos. A Tabela 6.2 apresenta a relação entre essas litologias e as unidades que provavelmente atuaram como rocha-fonte.

Tabela 6.2– Correspondência entre as litologias do arcabouço da brecha basal da Formação Tamengo e a provável fonte.

	<b>Litologia dos clastos</b>	<b>Fonte provável</b>
<b>Unidades do Grupo Corumbá</b>	Calcário calcítico	Hidrotermal
	Dolomito	Formação Bocaina
	Fosforito	Formação Bocaina
	Silexito	Formação Bocaina
	Ooid grainstone	Formação Bocaina
	Metarenito	Form. Cerradinho
	Arenito com pirita	Form. Cerradinho
	Pelito	Form. Cerradinho/ contemporâneo
	Filito	Formação Cerradinho
	Metaconglomerado	Formação Cadiueus (?)
<b>Embasamento Cristalino</b>	Granito	Embasamento em Corumbá/ Suíte Baía das Garças/ Granito Alumiador
	Quartzito	Embasamento em Corumbá/ Formação Alto Tererê/ Formação Cerradinho (?)
	Gnaisse	Embasamento em Corumbá/ Suíte Baía das Garças/ Gnaisse Morraria/ Gnaisse Caracol

Os dolomitos e fosforitos, tipos frequentes como clastos na brecha, foram associados à Formação Bocaina, uma vez que esses são litotipos comuns da unidade. Os clastos de silexito também foram associados à Formação Bocaina, dado que a ocorrência de *oid grainstones* com diferentes graus de silicificação mostrou-se comum em análise petrográfica. Clastos de metarenito, arenito, pelito e filito foram correspondidos à Formação Cerradinho, também por corresponderem a rochas dessa unidade. Nota-se que houve identificação de arenitos arcoseanos e sub-arcoseanos (como da Figura 5.3 F) na base da brecha tanto na Serra da Bodoquena, quanto em Corumbá, onde a Formação Cerradinho não aflora. Por fim, os clastos de granito, quartzito e gnaisse foram associados ao embasamento cristalino em Corumbá.

A partir dessa correlação e da frequência relativa de cada tipo litológico, foi realizada análise de proveniência preliminar para a brecha basal da Formação Tamengo. A Formação Bocaina, unidade subjacente, atuou como principal rocha-fonte, tanto na Serra da Bodoquena quanto em Corumbá, com contribuição de mais de 85%. Houve retrabalhamento também da Formação Cerradinho, embora pouco expressivo em ambas as localidades. Neste modelo, apenas a região de Corumbá apresentou aporte direto do embasamento cristalino.

As rochas do embasamento cristalino na região de Corumbá são consideradas a parte mais setentrional do Terreno Cratônico Rio Apa e até agora foram pobremente estudadas (Faleiros et al., 2015). Essas rochas apresentam idades K-Ar (biotita) de  $1730\pm 22$ Ma e K-Ar (K-feldspato) de  $889\pm 44$ Ma para granitos (Hasui e Almeida, 1970) e U-Pb de  $1808\pm 7$ Ma para gnaisses félsicos (McGee et al., 2018). Essas idades são compatíveis com as idades de zircões detríticos entre 900 e 1900Ma (Babinski et al., 2008) obtidas na Formação Tamengo. Alternativamente, outra possível fonte de rochas graníticas são intrusões geradas no Cinturão Paraguai, a leste, associadas à migração do orógeno. Godoy et al. (2007) descreve os maciços graníticos Taboco, Rio Negro, Coxim e Sonora, expostos no contraforte erosivo da Serra de Maracaju. Esses granitoides são do tipo-I, cálcio-alcálicos e gerados em contexto sin-colisional de arco continental (Godoy et al., 2007). Idades entre 542 e 549Ma foram obtidas para esses granitoides (Ferreira, 2009). É provável que esses e outros batólitos tenham atuado como rocha-fonte para unidades superiores do Grupo Corumbá, notadamente para a Formação Guaicurus, para a qual McGee et al. (2018) dataram zircões detríticos de  $543\pm 11$ Ma. No entanto, a ocorrência conjunta de granitoides e gnaisses como clastos da brecha da Formação Tamengo, aliada à ausência de zircões detríticos de ca. 540Ma para essa unidade evidenciam que o embasamento cristalino do Rio Apa na região de Corumbá atuou como principal fonte de granitoides para a brecha.

Bosence (2005) correlaciona os tipos de plataformas carbonáticas com o contexto geotectônico das bacias nas quais estão inseridas. O autor relaciona plataformas carbonáticas barradas como desenvolvidas especialmente em bacias de margem passiva, enquanto rampas carbonáticas são desenvolvidas na maioria das bacias de *foreland*, inclusive sendo o contexto ótimo para seu estabelecimento (Burchette e Wright, 1992). Bacias do tipo *thrust-top* evoluem em contextos colisionais, sobre o substrato crescente por empurrões, com a tendência de terem poucos metros de espessura, apresentarem registros de fluxos de massa submarinos, erodirem estratos subjacentes e possuírem clastos do embasamento. Essas bacias constituem-se como elementos importantes e comuns em sistemas de *foreland* e são frequentemente negligenciadas (Clevis et al., 2004).

Portanto, o modelo de evolução de bacias *margem passiva – thrust-top – foreland*, de Bosence (2005), é compatível com as recentes interpretações da evolução das unidades *Bocaina – brecha – Tamengo*, permitindo posicionar a brecha como a transição entre a plataforma carbonática barrada por estromatólitos da Formação Bocaina, em contexto de margem passiva, e a rampa carbonática dominada por tempestades em bacia do tipo *foreland* da Formação Tamengo (Figura 6.3). Campanha et al. (2011) e McGee et al. (2018) defendem a deposição das unidades superiores do Grupo Corumbá em contexto de *foreland*, a partir de dados estruturais e geocronológicos. Neste caso, com a brecha relacionada à inversão da bacia, e com o estabelecimento da rampa carbonática sobre o *forebulge* a oeste, espera-se que a proveniência sedimentar para a brecha e Formação Tamengo seja das unidades subjacentes e do embasamento cristalino, o que está em concordância com a análise feita neste trabalho e com as idades de zircões detríticos disponíveis.

Alternativamente, a deposição da brecha pode ter ocorrido em contexto extensional, como defendido por Ramos (2019). Neste caso, houve o preenchimento rápido em talude gerado por sistemas de grabens locais. Ramos (2019) ainda aponta a diferença entre as minas Laginha e Corcal – ambas situadas em Corumbá – a primeira com a ocorrência da brecha, e a segunda sem, pois estaria localizada em área mais alta e estável (Figura 3.4). A proveniência sedimentar também seria majoritariamente das unidades subjacentes e do embasamento cristalino. No entanto, neste modelo, a camada de brecha não apresentaria grande continuidade lateral, o que é o oposto do observado em campo.

A deposição da brecha basal da Formação Tamengo, se em contexto colisional ou extensional, pode ser verificada a partir de diversos métodos que investiguem a inversão da Bacia Corumbá, como análises de  $\epsilon\text{Nd}$ , da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e datações de zircões detríticos obtidos nas fácies da brecha.

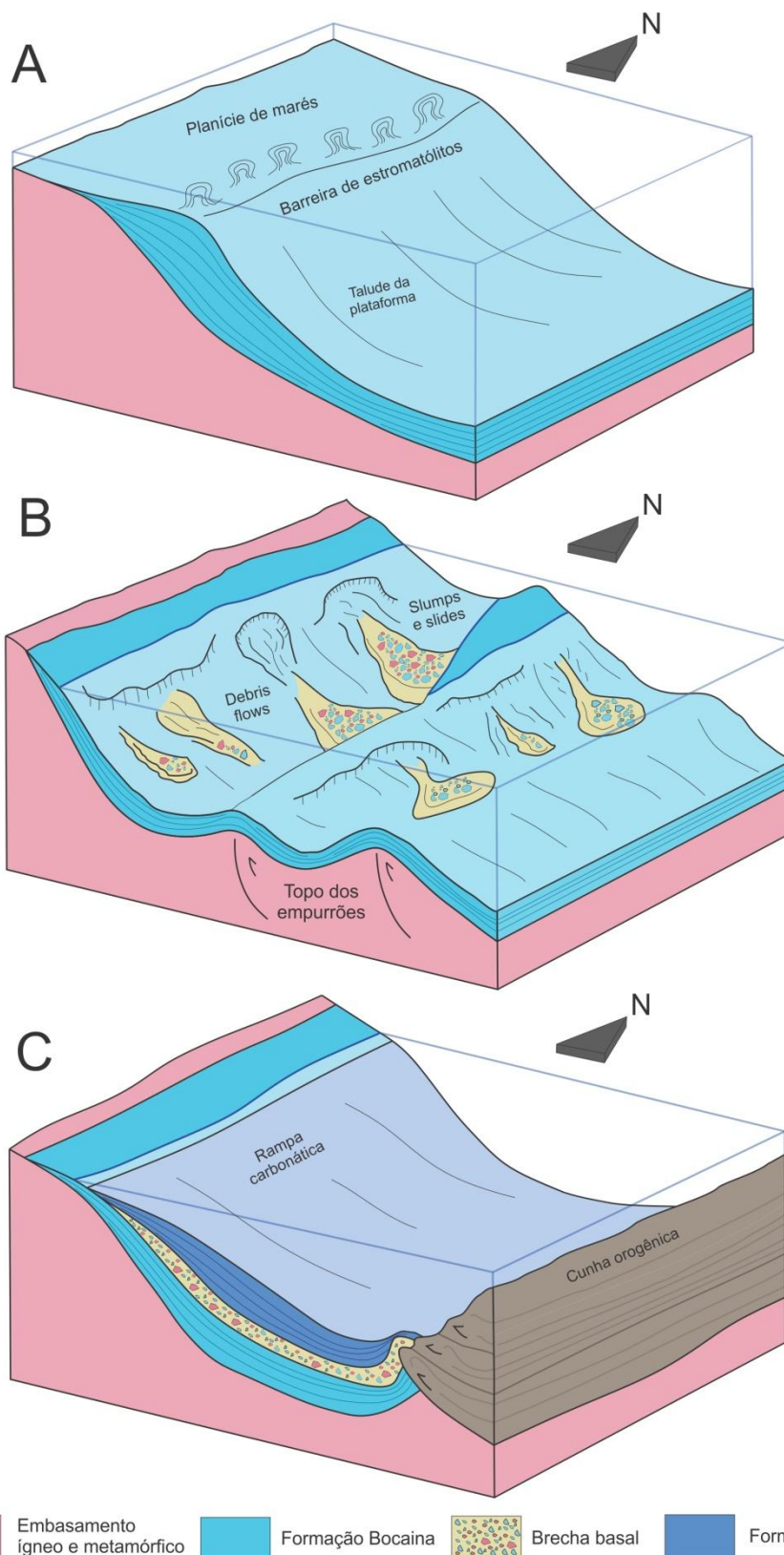


Figura 6.3 - Evolução das formações Bocaina e Tamengo segundo tipo de sedimentação e contexto geotectónico. A – deposição da Formação Bocaina em plataforma carbonática barrada por estromatólitos em contexto de margem passiva. B – deposição da brecha basal da Formação Tamengo a partir de fluxos de massa submarinos em contexto de bacia *thrust-top*. C – deposição da Formação Tamengo em rampa carbonática em contexto de bacia de *foreland*.

## 7. CONCLUSÕES

Na Serra da Bodoquena, ocorrem conjuntamente brechas sedimentares do Grupo Corumbá e brechas tectônicas, associadas aos falhamentos de empurrão da Faixa Paraguai, como a Falha Veneza. Essas brechas podem ser diferenciadas pela estrutura da matriz e disposição dos clastos/fragmentos.

As brechas tectônicas foram formadas a partir de cataclase e milonitização em zona de falha, apresentando diferentes aspectos texturais nas zonas de dano, transição e núcleo da falha. O aumento da proporção de matriz e a diminuição do parâmetro fractal  $D_0$  e do tamanho médio dos fragmentos indicam que a cataclase atuou fraturando e fragmentando a rocha hospedeira. Ademais, devido à diferenciação mineralógica entre a matriz foliada e os fragmentos, a rocha provavelmente sofreu dedolomitização na matriz, também em profundidades rasas.

A brecha sedimentar basal da Formação Tamengo apresenta diferentes características na Serra da Bodoquena e em Corumbá, porém mantendo a sua posição estratigráfica no limite Bocaina-Tamengo, representando limite de sequência e marco estratigráfico regional. Os processos gravitacionais (*slumps*, *slides* e *debris flows*) são os que melhor explicam a deposição da brecha. Neste caso, o contexto tectônico e/ou rebaixamento do nível do mar teriam exposto as unidades inferiores, bem como sedimentos inconsolidados, causando o retrabalhamento de rochas das formações Bocaina e Cerradinho, bem como do embasamento cristalino, e ativando os processos gravitacionais. A proveniência sedimentar para a brecha, portanto, corresponde às unidades sedimentares inferiores e ao embasamento cristalino da região de Corumbá.

A brecha sedimentar basal da Formação Tamengo pode ter seu significado relacionado à inversão da Bacia Corumbá, com deposição em contexto de *thrust-top*, posterior à fase de margem passiva Bocaina e anterior à fase de *foreland* Tamengo, depositada em modelo de rampa carbonática. Alternativamente, também se pode assumir a deposição da brecha em contexto extensional, ligado a formação de taludes a partir de grabens locais.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adorno, R.R., do Carmo, D.A., Germs, G., Walde, D.H., Denezine, M., Boggiani, P.C., Sousa e Silva, S.C., Vasconcelos, J.R., Tobias, T.C., Guimarães, E.M., Vieira, L.C., Figueiredo, M.F., Moraes, R., Caminha, S.A., Suarez, P.A.Z., Rodrigues, C.V., Caixeta, G.M., Pinho, D., Schneider, G., Muyambag, R., 2017, Cloudina lucianoï (Beurlen and Sommer, 1957), Tamengo Formation, Ediacaran, Brazil: taxonomy, analysis of stratigraphic distribution and biostratigraphy. *Precambrian Research*, v. 301, p. 19–35.

Almeida, F.F.M., 1945, Geologia do sudoeste Mato-Grossense, Brasil: Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, v. 116, p. 9-115.

Almeida, F.F.M., 1965, Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil: Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, v. 219, p. 1-96.

Alvarenga, C.J.S., Boggiani, P.C., Babinski, M., Dardenne, M.A., Figueiredo, M.F., Santos, R.V., Dantas, E.L., 2009, The Amazonian Paleocontinent, *in* Gaucher, C., Sial, A.N., Halverson, G.P., Frimmel, H.E., org., Neoproterozoic-Cambrian tectonics, global change and evolution: a focus on southwest Gondwana: *Developments in Precambrian Geology*, Amsterdam, Elsevier, v. 16, p. 15-28.

Amorim, K.B., Afonso, J.W.L., Leme, J.M., Diniz, C.Q.C., Riveira, L.C.M., Gómez-Gutiérrez, J.C., Boggiani, P.C., Trindade, R.I.F., 2020, Sedimentary facies, fossil distribution and depositional setting of the late Ediacaran Tamengo Formation (Brazil): *Sedimentology*, (in press).

Angerer, T., Hagemann, S.G., Walde, D.H.G., Halverson, G.P., Boyce, A.J., 2016, Multiple metal sources in the glaciomarine facies of the Neoproterozoic Jacadigo iron formation in the “Santa Cruz deposit”, Corumbá, Brazil: *Precambrian Research*, v. 275, p. 369-393.

Babinski, M., Boggiani, P.C., Fanning, C.M., Fairchild, T.R., Simon, C.M., Sial, A.N., 2008, U-Pb shrimp geochronology and isotope chemostratigraphy (C, O, Sr) of the Tamengo Formation, southern Paraguay belt, Brazil, *in* Book of Abstracts, South American Symposium on Isotope Geology, Buenos Aires.

Babinski, M., McGee, B., Tokashiki, C.C., Tassinari, C.C.G., Saes, G.S., Pinho, F.E.C., 2018, Comparing two arms of an orogenic belt during Gondwana amalgamation: Age and provenance of the Cuiabá Group, northern Paraguay Belt, Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 85, p. 6-42.

Bagnoud-Velásquez, M., Spangenberg, J.E., Poiré, D.G., Peral, L.E.G., 2013, Stable isotope (S, C) chemostratigraphy and hydrocarbon biomarkers in the Ediacaran upper section of Sierras Bayas Group, Argentina: *Precambrian Research*, v. 231, p. 388-400.

Becker-Kerber, B., Pacheco, M.L.A.F., Rudnitzki, I.D., Galante, D., Rodrigues, F., de Moraes Leme, J., 2017, Ecological interactions in Cloudina from the Ediacaran of Brazil: implications for the rise of animal biomineralization, *Scientific Reports*, v. 7.

Billi, A., Storti, F., 2004, Fractal distribution of particle size in carbonate cataclastic rocks from the core of a regional strike-slip fault zone: *Tectonophysics*, v. 384, p. 115-128.

Billi, A., 2010, Microtectonics of low-P low-T carbonate fault rocks: *Journal of Structural Geology*, v. 32, p. 1392-1402.

Blekinsop, T.G., 1991, Cataclasis and Processes of Particle Size Reduction: *Pageoph*, v. 136, no. 1, p. 59-86.

Boggiani, P.C., Fairchild, T.R., Coimbra, A.M., 1993, The Corumbá group (neoproterozoic-cambrian) central part of the Serra da Bodoquena (Paraguai fold belt), Mato Grosso do Sul: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 23, p. 301-305.

Boggiani, P.C., Ferreira, V.P., Sial, A.N., Babinski, M., Trindade, R.I.F., Aceñolaza, G., Toselli, A.J., Parada, M. A., 2003, The cap carbonate of the Puga Hill (Central South America) in the context of the post-Varanger Glaciation. In IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Brasil, v. 1.

Boggiani, P.C., Alvarenga, C.J.S, 2004, Faixa Paraguai. In: Virgínio Mantesso-Neto; Andrea Bartorelli; Celso Dal Ré Carneiro e Benamin Bley de Brito-Neves. (Org.). *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo, SP: BECA, v. 1, p. 113-118.

Boggiani, P.C., 1998, Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozoico) – Mato Grosso do Sul [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

Boggiani, P.C., Gaucher, C., Sial, A.N., Babinski, M., Simon, C.M., Riccomini, C., Ferreira, V.P., Fairchild, T.R., 2010, Chemostratigraphy of the Tamengo Formation (Corumbá Group, Brazil): a contribution to the calibration of the Ediacaran carbon-isotope curve: *Precambrian Research*, no. 182(4), p. 382-401.

Boggs Jr., S., 2013, *Petrology of Sedimentary Rocks, Second Edition*, Cambridge University Press.

Bosence, D., 2005, A genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic: *Sedimentary Geology*, v. 175, p. 49-72.

Burchette, T.P., Wright, V.P., 1992, Carbonate ramp depositional systems: *Sedimentary Geology*, v. 79, p. 3-57.

Campanha, G.A.C., Boggiani, P.C., Sallun Filho, W., de Sá, F.A., Zuquim, M.P.A., Piacentini, T., 2011, A Faixa de Dobramento Paraguai na Serra da Bodoquena e Depressão do Rio Miranda, Mato Grosso do Sul: *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, v. 11, no. 3, p. 79-96.

Chester, F., Friedman, M., Logan, J.M., 1985, Foliated cataclasites: *Tectonophysics*, v. 111, no. 139-146.

Clevis, Q., Jager, G., Nijman, W., Boer, P.L., 2004, Stratigraphic signatures of translation of thrust-sheet top basins over low-angle detachment faults: *Basin Research*, v. 16, p. 145-163.

Cordani, U.G., Fairchild, T.R., Ganade, C.E., Babinski, M., Leme, J.M., 2020, Dawn of metazoans: to what extent was this influenced by the onset of “modern-type plate tectonics”? *Brazilian Journal of Geology*, (in press).

Demarco, P.N., Masquelin, H., Peel, E., Bettucci, L.S., 2019, Stratigraphy and tectonic setting of the Barriga Negra Formation in Uruguay: an update: *Brazilian Journal of Geology*, v. 49, no. 1.

Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture: classification of carbonate rocks.

Embry III, A.F., Klovan, J.E., 1971, A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT: *Bulletin of Canadian petroleum geology*, v. 19, no. 4, p. 730-781.

Erickson, S.G., 1994, Deformation of shale and dolomite in the Lewis thrust fault zone, northwest Montana, U.S.A.: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 31, p. 1440-1447.

Faleiros, F.M., Pavan, M., Remédio, M.J., Rodrigues, J.B., Almeida, V.V., Caltabeloti, F.P., Pinto, L.G.R., Oliveira, A.A., Pinto de Azevedo, E.J., Costa, V.S., 2015, Zircon U-Pb ages of rocks from the Rio Apa Cratonic Terrane (Mato Grosso do Sul, Brazil): New insights for its connection with the Amazonian Craton in pre-Gondwana times: *Gondwana Research*, v. 34, p. 187-204.

Ferraro, F., Grieco, D.S., Agosta, F., Prosser, G., 2018, Space-time evolution of cataclasis in carbonate fault zones: *Journal of Structural Geology*, no. 110, p. 45-64.

Ferreira, C.O., 2009, Constraints of the Neoproterozoic-Cambrian magmatism along the Transbrasiliano Lineament, central Brazil, Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

Freitas, B.T., 2010, Tectônica e sedimentação do Grupo Jacadigo (Neoproterozoico, MS) [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

Freitas, B.T., Warren, L.V., Boggiani, P.C., Almeida, R.P., Piacentini, T., 2011, Tectono-sedimentary evolution of the Neoproterozoic BIF-bearing Jacadigo Group, SW-Brazil: *Sedimentary Geology*, v. 238, no. 1-2, p. 48-70.

Gaucher, C., Boggiani, P.C., Sprechmann, P., Sial, A.N., Fairchild, T.R., 2003, Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and Brazil): palaeogeographic, palaeoclimatic and palaeobiologic implications: *Precambrian Research*, no. 120, p. 241-278.

Glaessner, M.F., 1971, Geographic distribution and time range of the Ediacara Precambrian fauna: *Geological Society of America Bulletin*, v. 82, no. 2, p. 509-514.

Godoy, A.M., Ruiz, A.S., Manzano, J.C., Araújo-Ruiz, L.M.B., 2007, Os Granitóides Brasileiros da Faixa de Dobramentos Paraguai, MS e MT: *Geologia USP Série Científica*, v. 7, no. 1, p. 29-44.

Gómez-Gutiérrez, J.C., 2019, Fácies sedimentares e assinatura isotópica de C-O-Sr da Formação Tamengo na mina Laginha, Faixa Paraguai Sul [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

Grotzinger, J.P., Fike, D.A., Fischer, W.W., 2011, Enigmatic origin of the largest-known carbon isotope excursion in Earth's history: *Nature Geoscience*, v. 4, p. 285-292.

Guerroué, E.L., 2006, Sedimentology and Chemostratigraphy of the Ediacaran Shuram Formation, Nafun Group, Oman [Tese de Doutorado]: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich.

Guerroué, E.L., 2010, Duration and synchronicity of the largest negative carbon isotope excursion on Earth: The Shuram/Wonoka anomaly: *Comptes Rendus Geoscience*, no. 342, p. 204-214.

Hahn, G., Pflug, H.D., 1985, Die Cloudinidae n. fam., Kalk-Röhren aus dem Vendium und Unter-Kambrium. *Senckenb. Lethaea* v. 65, p. 413-431.

Hahn, G., Hahn, R., Leonardos, O.H., Pflug, H.D., Walde, D.H.-G., 1982, Körperlich erhaltene Scyphozoen-Reste aus dem Jungpräkambrum Brasiliens. *Geologica et Palaeontologica* v. 16, p. 1–18.

Hajri, H., Abdallah, H., 2020, Fluid flow and late diagenesis of fault-infill carbonates in the Aptian dolostones at Jabel Semmama, Kasserine área, western-central Tunisia: *Marine and Petroleum Geology*, v. 111, p. 1-20.

Halverson, G.P., Hoffman, P.F., Schrag, D.P., Maloof, A.C., Rice, A.H.N., 2005, Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record: *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, no. 9-10, p. 1181-1207.

Hasui, Y., Almeida, F.F.A., 1970, Geocronologia do Centro-Oeste Brasileiro. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 19, p. 5-26.

Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., Schrag, D.P., 1998, A Neoproterozoic Snowball Earth: *Science*, no. 281, p. 1342-1346.

Hoffman, P.F., Schrag, D.P., 2002, The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change: *Terra Nova*, no. 14, p. 129-155.

Hoffman, P.F., Li, Z., 2009, A palaeogeographic context for Neoproterozoic glaciations: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, no. 277, p. 158-172.

Husson, J.M., Maloof, A.C., Schoene, B., Chen, C.Y., Higgins, J.A., 2015, Stratigraphic expression of Earth's deepest  $\delta^{13}\text{C}$  excursion in the Wonoka Formation of South Australia: *American Journal of Science*, v. 315, p. 1-45.

Kirschvink, J.L., 1992, Late Proterozoic Low-latitude Global Glaciation: the Snowball Earth: *The Proterozoic Biosphere: a multidisciplinary study*. Cambridge University Press, New York, p. 51-52.

Knoll, A.H., Walter, M.R., Narbone. G.M., Christie-Blick, N., 2004, A new period for the geological time scale: *Science*, v. 305, p. 621-622.

Laurita, S., Agosta, F., Cavalcante, F., Rustichelli, A., Giorgioni, M., 2016, Shearing of syn-sedimentary carbonate breccia along strike-slip faults, Altamura Fm., Southern Italy: *Italian Journal of Geosciences*, v. 135, no. 1, p. 41-54.

Laznicka, P., 1988, Breccias and Coarse Fragmentites: Petrology, Environments, Associations, Ores. Elsevier Science Ltd.

Lindsey, D.A., Langer, W.H., Van Gosen, B.S., 2007, Using pebble lithology and roundness to interpret gravel provenance in piedmont fluvial systems of the Rocky Mountains, USA: *Sedimentary Geology*, v. 199, p. 223-232.

Madden, R.H., Wilson, M.E., Mihaljevic, M., Pandolfi, J.M., Welsh, K., 2017, Unravelling the depositional origins and diagenetic alteration of carbonate breccias: *Sedimentary Geology*, no. 357, p. 33-52.

Marshall, C., 2006, Explaining the Cambrian “explosion” of animals: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 34, no. 1, p. 355-384.

McGee, B., Babinski, M., Trindade, R., Collins, A.S., 2018, Tracing final Gondwana assembly: Age and provenance of key stratigraphic units in the southern Paraguay Belt, Brazil: *Precambrian Research*, no. 307, p. 1-33.

McIlreath, I.A., James, N.P., 1978, Facies Models 13. Carbonate Slopes: *Geoscience Canada*, v. 5, no. 4, p. 189-199.

Mort, K., Woodcock, N.H., 2008, Quantifying fault breccia geometry: Dent Fault, NW England: *Journal of Structural Geology*, no. 30, p. 701-709.

Mutti, E., 1985, Turbidite Systems and their relations to depositional sequences: Provenance of Arenites, p. 65-93.

Nichols, G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy*: UK, John Wiley & Sons.

Och, L.M., Shields-Zhou, G.A., 2012, The Neoproterozoic oxygenation event: Environmental perturbations and biogeochemical cycling: *Earth-Science Reviews*: v. 110, p. 26-57.

Oliveira, R.S., Nogueira, A.C.R., Romero, G.R., Truckenbrodt, W., Bandeira, J.C.S., 2019, Ediacaran ramp depositional model of the Tamengo Formation, Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, no. 96, (in press).

Parry, L., Boggiani, P.C., Condon, D.J., Garwood, R.J., Leme, J.M., McIlroy, D., Brasier, M.D., Trindade, R., Campanha, G.A.C., Pacheco, M.L.A.F., Diniz, C.Q.C., Liu, A.G., 2017, Ichnological evidence of meiofaunal bilaterians from the terminal Ediacaran and earliest Cambrian of Brazil: *Nature Ecology and Evolutions*, v. 9, no. 1, p. 1455-1464.

Peral, L.E.G., Poiré, D.G., Strauss, H., Zimmermann, U., 2007, Chemostratigraphy and diagenetic constraints on Neoproterozoic carbonate successions from the Sierras Bayas Group, Tandilia System, Argentina: *Chemical Geology*, v. 237, p. 109-128.

Pecoits, E., Aubet, N.R., Heaman, L.M., Philippot, P., Rosière, C.A., Veroslavsky, G., Konhäuser, K.O., 2016, U Pb detrital zircon ages from some Neoproterozoic successions of Uruguay: Provenance, stratigraphy and tectonic evolution: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 71, p. 108-130.

Poiré, D.G., Gaucher, C., *Lithostratigraphy: Developments in Precambrian Geology*, v. 16, p. 87-101.

Ramos, M.E.F., 2019, Sedimentological, petrographic, and geochemical characterization of Ediacaran platform carbonates (Tamengo Formation, Corumbá Group): [Tese de Doutorado], Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

Sammis, C.G., Biegel, R., 1989, Fractals, fault gouge, and friction: *Pure and Applied Geophysics*, v. 131, p. 256-271.

Seilacher, A., Plüger, F., 1994, From biomats to benthic agriculture: a biohistoric revolution, *in* Krumbein, W.E., Paterson, D.M., Stal, L.J., org., *Biostabilization of sediments*, Oldenburg, Germany, p. 97-105.

Shukla, M.K., Sharma, A., 2018, A brief review on breccia: it's contrasting origin and diagnostic signatures: *Solid Earth Sciences*, no. 3, p. 50-59.

Sibson, R.H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms: *Journal of the Geological Society*, v. 133, no. 3, p. 191-213.

Tapp, B., 1988, Fabric development in carbonate shear zones, Virginia Great Valley, central Appalachians, U.S.A. *Eos: Transactions of the American Geophysical Union*, v. 69, p. 1434.

Trindade, R.I.F., Font, E., D'agrella Filho, M.S., Nogueira, A.C.R., Riccomini, C., 2003, Low-latitude and multiple geomagnetic reversals in the Neoproterozoic Puga cap carbonate, Amazon Craton: *Terra Nova*, no. 15, p. 441-446.

Trompette, R., 1994, *Geology of western Gondwana (2000–500 Ma): Pan-Africa-Brasiliano aggregation of South America and Africa: Balkema*, no. 55.

Trompette, R., Alvarenga, C.J.S., Walde, D., 1998, Geological evolution of the Neoproterozoic Corumbá graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe

and Mn ores of the Jacadigo Group: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, no. 6, p. 587-597.

Van der Meer, D.G., van den Berg van Saparoea, A.P.H., van Hinsenberg, D.J.J., van de Weg, R.M.B., Godderis, Y., Le Hir, G., Donnadieu, Y., 2017, Reconstructing first-order changes in sea level during the Phanerozoic and Neoproterozoic using strontium isotopes? *Gondwana Research*, v. 44, p. 22-34.

Walker, R.G., James, N.P., 1992, *Facies Models – Response to sea level change*: Geological Association of Canada, Ontario, Canada.

Wood, R., Liu, A.G., Bowyer, F., Wilby, P.R., Dunn, F.S., Kenchington, C.G., Cuthill, J.F.H., Mitchell, E.G., Penny, A., 2019, Integrated records of environmental change and evolution challenge the Cambrian Explosion: *Nature Ecology & Evolution*, v. 3, no. 4, p. 528-538.

Wood, R.A., Zhuravlev, A.Y., Sukhov, S.S., Zhu, M., Zhao, F., 2017, Demise of Ediacaran dolomitic seas marks widespread biomineralization on the Siberian Platform: *Geobiology*, v. 45, no. 1, p. 27-30.

Woodcock, N.H., Mort, K., 2008, Classification of fault breccias and related fault rocks: *Geology Magazine*, v. 145, no. 3, p. 435-440.

Wright, V.P., Burchette, T.P., 1996, *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*: Blackwell Science, Oxford.

Zaine, M.F., Fairchild, T.R., 1987, Novas considerações sobre os fósseis da Formação Tamengo, Grupo Corumbá, SW do Brasil. *In: X Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Rio de Janeiro, p. 797–807.

Zaine, M.F., Fairchild, T.R., 1985, Comparison of *Aulophycus luciano* Beurlen & Sommer from Ladário (MS) and the genus *Cloudina* Germs, Ediacaran of Namibia. *An. Acad. Bras. Ciências* 57, 130.

Zhang, X., Shu, D., Han, J., Zhang Z., Liu, J., Fu, D., 2014, Triggers for the Cambrian Explosion: hypotheses and problems: *Gondwana Research*, v. 25, no. 3, p. 896-909.

Zhou, C., Xiao, S., 2007, Ediacaran  $\delta^{13}\text{C}$  chemostratigraphy of South China: *Chemical Geology*, v. 237, p. 89-108.