



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IGOR DE LIMA BASÍLIO DA SILVA

BRECHAS CARBONÁTICAS DA FORMAÇÃO SERRA DO
QUILOMBO, REGIÃO DE NOBRES (MT).

BELÉM
2012

IGOR DE LIMA BASÍLIO DA SILVA

**BRECHAS CARBONÁTICAS DA FORMAÇÃO SERRA DO
QUILOMBO, REGIÃO DE NOBRES (MT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia da Universidade Federal do
Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro

Belém
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S586b Silva, Igor de Lima Basílio da

Brechas carbonáticas da formação serra do quilombo, região de Nobres (MT) / Igor de Lima Basílio da Silva; Orientador: Roberto Vizeu Lima Pinheiro – 2012

52 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Geologia estrutural – Mato Grosso (MT). 2. Brecha carbonática. 3. Mecanismo de brechação. 4. Formação Serra do Quilombo. I. Pinheiro, Roberto Vizeu Lima, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22ª ed.: 551.8098172

IGOR DE LIMA BASÍLIO DA SILVA

**BRECHAS CARBONÁTICAS DA FORMAÇÃO SERRA DO
QUILOMBO, REGIÃO DE NOBRES (MT).**

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

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Vizeu Lima Pinheiro – Orientador
Doutor em Geologia Estrutural
Universidade Federal do Pará

Prof. Francisco de Assis Matos de Abreu – Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Carlos Marcello Dias Fernandes – Membro
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

Aos que tornaram possível este trabalho:
Profs. Afonso Nogueira e Roberto Vizeu e o
amigo Fabio Domingos.

AGRADECIMENTOS

Aos profissionais solícitos das minerações Cuiabá, Ecoplan, EMAL-Nobres e EMAL-Açúcar que permitiram o acesso às instalações e nos auxiliaram nos trabalhos com todos os recursos disponíveis. A cortesia dessas pessoas nos deixou a melhor das impressões sobre o Estado do Mato Grosso.

Ao Prof. Roberto Vizeu, paradigma da raça, baluarte da Geologia Estrutural, pela amizade e convivência, além da orientação acadêmica.

Aos amigos Eduardo e Fabio pelas discussões e orientações em campo. E também pelo companheirismo e convivência, agradecimentos que estendo aos amigos Flora, Iara e Robertinho; todos que agregaram ao Grupo, nos últimos dois anos, a camaradagem que fez daquela sala um ambiente agradável.

Ao Prof. Afonso Nogueira que contribuiu significativamente para este projeto desde o nascedouro até sua realização.

Aos amigos da turma 2007 com os quais aprendi os meandros da Geologia, que me escaparam durante as aulas, e me proporcionaram uma vivência acadêmica que não esperava ter.

Ao Prof. João Batista Corrêa da Silva por ter escrito o excelente livro *A dissertação clara e organizada*, que muito me auxiliou na elaboração deste trabalho e merece maior atenção da comunidade acadêmica.

À Agência Nacional do Petróleo por ter concedido bolsa de estudos para conduzir esta pesquisa.

Embora não seja o local adequado devo fazê-lo, pois talvez não haja outra ocasião que registre a permanência do agradecimento que devo a minha mãe, Ivete, pelo esforço contínuo que fez por mim para manter-me uma pessoa íntegra e responsável, esforço que sempre corresponderei com meu trabalho e formação.

Mas se a Geologia deve ser estudada com vantagem,
o seu estudo deverá ser feito no campo e sobre o terreno e
o seu assunto deverá torna-se real e tangível ao estudante.

John Casper Branner

RESUMO

Esta pesquisa caracterizou as brechas carbonáticas da Formação Serra Quilombo na região de Nobres (MT) em três tipos de brechas dolomíticas com características distintas e, sugeriu os possíveis mecanismos para a sua gênese. Aplicou-se durante a fase de campo o mapeamento geológico, com auxílio de GPS, na escala de 1:100 nas paredes de minas para descrição das feições brechóides. Na fase de laboratório, detalhou-se a descrição das texturas através de lâminas delgadas, confeccionadas a partir de amostras de mão, e tingidas com Alizarina para diferenciação dos minerais carbonáticos. A caracterização das rochas indicou a presença de brechas cimentadas, sinsedimentares e cársticas. O mecanismo de fraturamento hidráulico formou brechas cimentadas pelas variações na pressão de fluido que romperam a resistência da rocha original; a atuação cíclica de ondas de tempestades induziu a formação de brechas sinsedimentares, através do retrabalhamento *in situ* e desagregação do material dolomítico; a exposição dos dolomitos aos processos intempéricos produziu brechas cársticas, juntamente com feições de preenchimento de fissura. As brechas formam acumulações descontínuas e em geral atingem no máximo uma centena de metros de extensão. O preenchimento dos veios e vênulas por cimento nas brechas cimentadas obstruiu a porosidade criada durante o processo de fragmentação e selou esses condutos. Isso atribui à Formação Serra do Quilombo a função de selante no dito sistema Petrolífero Araras.

Palavras-chaves: Brecha carbonática. Mecanismo de brechação. Formação Serra do Quilombo.

ABSTRACT

This research characterized three types of dolomitic breccias in the Serra do Quilombo Formation in the Nobres region (MT) e suggested their possible development mechanism. During the field stage geologic mapping was applied at scale 1:100, with the aid of a GPS device, on mine walls to describe the breccia features. In the laboratory stage the textural description was detailed through thin sections of hand samples stained with Alizarin Red to distinguish the carbonate minerals. The rock characterization indicated the presence of cemented, synsedimentary and karst breccias. The hydraulic fracturing formed the cemented breccias as the fluid pressure variations bursted the rock tensile stress; cyclic activity of water-wave produced by storms induced synsedimentary brecciation through the *in situ* reworking and desegregation of the once cohesive material; as the dolomites were exposed to weathering processes, karst features were installed like karst breccias and fissure fills. The breccias display noncontinuous accumulations in general at most one hundred meters big. The veins and veinlets filling by cement in hydrothermal breccias obliterated the porosity created during the fragmentation process and sealed this pathways. This puts the Serra do Quilombo Formation as a sealing in so said Araras Petroliferous System.

Keywords: Carbonate breccia. Brecciation mechanism. Serra do Quilombo Formation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	A) Diagrama ternário mostrando os campos de classificação de brechas em relação à porcentagem dos clastos maiores (> 2 mm). B) Diagrama semelhante com a ilustração do ajuste entre os clastos em relação à proporção de cimento ou matriz.....	15
Figura 02	Mapa de localização da região de Nobres com destaque para as minas visitadas.....	17
Figura 03	À direita, disposição da Faixa Paraguai entre os blocos Cráton Amazônico, São Francisco e Paraná, com destaque para a área de trabalho. À esquerda, detalhamento da região de trabalho com localização das litologias presentes no segmento norte da Faixa Paraguai.....	18
Figura 04	Resumo litoestratigráfico da Formação Puga e grupos Araras e Alto Paraguai.....	21
Figura 05	Mapa geológico da região de Nobres com indicação das minas visitadas.....	23
Figura 06	Brecha cimentada com os fragmentos angulares (cinza) dispostos caoticamente sobre cimento (branco).....	24
Figura 07	Contato brusco entre dolomitos maciços e brechas cimentadas. Nos dolomitos maciços predominam as vênulas centimétricas a milimétricas.....	25
Figura 08	Estrato superior onde as brechas ocorrem de forma discreta, com menor quantidade de cimento e clastos maior dimensão.....	26
Figura 09	A) Estrutura de preenchimento de veio <i>crack-seal</i> , onde há duas gerações de preenchimento, a primeira maior e uma segunda de menor espessura. B) Rede de vênulas dolomíticas milimétricas junto a veios de maior espessura.....	27
Figura 10	A) Cristais alongados (<i>bladed</i>) de quartzo junto a cristais de dolomita em forma de bloco (<i>blocky</i>). B) Contato entre clasto de <i>mudstone</i> com oólitos (alguns preenchidos por quartzo) e cimento composto por cristais de quartzo em bloco.....	28
Figura 11	A) Quartzo microcristalino e cristais maiores preenchem veios e espaços interpartículas. B) Preenchimento de oóides por cristais de	

	quartzo e dolomita.....	28
Figura 12	A) Preenchimento de veio por <i>crack-seal</i> com duas gerações: uma antiga onde figuram os cristais maiores e uma posterior representada pela linha de cristais menores. Em zonas menos brechadas ocorrem mais veios e vênulas de menor espessura tanto preenchidos por quartzo quanto por dolomita (B e C).....	29
Figura 13	Clastos angulares sustentados por matriz dolomítica.....	30
Figura 14	A) Clastos com textura caótica sem ajustes entre os fragmentos adjacentes; proporção de matriz mais elevada em relação ao de clastos. B) Cavidade em dolomito maciço, preenchida por cristais de dolomita.	31
Figura 15	Os oóides ocorrem por vezes preenchidos por quartzo microcristalino (A). Ou truncados por vênulas, neste caso de quartzo (B). A maior presença de lama nos clastos (canto esquerdo) os diferencia da matriz nas brechas sinsedimentares (C).....	32
Figura 16	À esquerda, contato entre vênulas de cristais em forma de bloco de quartzo microcristalino e dolomita e a matriz da brecha. À direita contato entre uma acumulação de cristais de dolomita e a matriz.....	32
Figura 17	Bloco rolado de brecha cárstica, onde os clastos estão fraturados (parte inferior direita).....	33
Figura 18	Clastos de dolomito maciço envolvido em matriz arenosa.....	34
Figura 19	A) Dique arenoso limitado por brechas cársticas e B) feição de preenchimento em dolomitos com vênulas.....	35
Figura 20	O aumento de uma fratura acontece quando a tensão de abertura (σ_o), devida à pressão do fluido na fratura, excede a tensão de fechamento (σ_c), a qual é a soma de σ_{cp} , onde um poro está em contato com a fratura e σ_{cg} , a tensão de fechamento, onde um grão está em contato com a fratura.....	37
Figura 21	Seção esquemática de zonas brechadas – brechas hidrotermais – em acumulações dispersas. Em detalhe arranjo geométrico dessas zonas, onde clastos e cimento configuram uma textura caótica.....	38
Figura 22	A) Frente de mina onde predominam veios e vênulas, onde as brechas estão restritas ou ausentes. Veios e vênulas são aproximadamente	

	paralelos ao acamamento dos dolomitos maciços em foto e desenho esquemático (B e C).....	39
Figura 23	Mecanismo de preenchimento <i>crack-seal</i> . A) Desenho esquemático de veio preenchido com cristais em forma de bloco. B) Microfotografia de veio de quartzo em bloco com segunda geração de preenchimento representada em duas linhas paralelas de cristais menores. C) Em afloramento, veio com discreta linha interna que representa a segunda geração de preenchimento.....	40
Figura 24	Quatro estágios de desenvolvimento das brechas hidrotermais, que se iniciaram em uma condição de equilíbrio com a pressão do fluido é menor do que resistência mecânica da rocha. Com o aumento da pressão do fluido apareceram fraturas incipientes ao passo que a pressão do fluido se igualou à tensão de resistência dos dolomitos. O desenvolvimento das brechas ocorreu quando a pressão do fluido excedeu a resistência rúptil da rocha (hidrofraturamento) e produziu fragmentos angulares. O último estágio aconteceu com a diminuição da pressão do fluido que permitiu a precipitação dos cristais de dolomita e quartzo que selaram os veios.....	41
Figura 25	As brechas ocorrem em acumulações descontínuas e de pouca extensão, onde os clastos estão dispostos caoticamente sobre uma matriz fina.....	43
Figura 26	Modelo de evolução das brechas sinsedimentares segundo Bouchette ; Séguret e Moussine-Pouchkine (2001) . A) A influência cíclica das ondas (<i>water-wave loading</i>) mobiliza pequenos núcleos de <i>mudstone</i> coesos. B) O resultado é uma rede de fissuras e zonas de microclastos e sedimentos liquefeitos. C) Quando um número suficiente de fissuras se conecta, clastos de formas irregulares são gerados; se a intensidade das ondas é forte o material é retrabalhado e forma uma mistura feita de clastos, partículas carbonáticas e água. D) À medida que a influência das ondas diminui a mistura se deposita.....	44
Figura 27	Frente de mina com brechas cársticas e dique arenoso e sua representação esquemática (A e B). As brechas são compostas com fragmentos centimétricos a métricos tanto de brechas cimentadas quanto de dolomitos maciços (C e D). O dique arenoso está intercalado com as brechas cársticas e forma um contato abrupto com essas rochas (E).....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO.....	14
1.2	METODOLOGIA.....	14
1.3	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	17
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	18
2.1	CONTEXTO REGIONAL.....	18
2.2	CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	19
2.3	ROCHAS NO CONTEXTO REGIONAL.....	20
2.3.1	Grupo Araras	20
2.3.2	Formação Serra do Quilombo	21
2.4	CONTEXTO GEOLÓGICO NA REGIÃO DE NOBRES.....	22
3	BRECHAS	24
3.1	BRECHA CIMENTADA.....	24
3.1.1	Petrografia	27
3.2	BRECHA SINSEDIMENTAR.....	30
3.2.1	Petrografia	31
3.3	BRECHA CÁRSTICA.....	33
4	DISCUSSÃO	36
4.1	HIDROFRATURAMENTO.....	36
4.1.1	Modelo	40
4.2	BRECHAÇÃO INDUZIDA POR ONDAS.....	42
4.3	DISSOLUÇÃO CÁRSTICA.....	44
5	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	49
	ANEXO	51
	ANEXO A -	52

1 INTRODUÇÃO

O estudo das brechas e a compreensão dos processos que conduziram à brechação vão além da contribuição acadêmica, como o posicionamento de eventos no tempo geológico. Essas rochas têm importância econômica quando servem como condutos, até mesmo como barreiras, à migração de soluções mineralizadas ou de hidrocarbonetos. O estudo das brechas exige uma abordagem multidisciplinar para determinar sua gênese e desenvolvimento. Uma das formas de se entender essas rochas é através da identificação de suas características e contexto geológico.

Brechas têm sido definidas em ambos os campos da Sedimentologia e da Geologia Estrutural, ora evocando aspectos de granulometria e textura, ora remetendo ao seu mecanismo de formação, respectivamente. No primeiro caso o termo brecha é usado para conglomerados – clastos com tamanho entre 64 mm e 256 mm de diâmetro – que têm formato angular (NICHOLS, 2009), quando formadas na própria bacia de deposição por processos sinsedimentares – o retrabalhamento e a redeposição dos clastos são penecontemporâneos – são chamadas brechas intraformacionais (FLÜGEL, 2004). Quanto à abordagem estrutural, brechas são rochas incoesas, formadas por processos rúpteis, com fragmentos angulares orientados aleatoriamente, que compõem mais de 30% da massa rochosa (SIBSON, 1977). Essas definições abordam as brechas de um ponto de vista estritamente sedimentológico e estrutural, sem quaisquer considerações sobre o ambiente deposicional ou a litologia dessas rochas. Já Flügel (op. cit.) estabelece relações entre os contextos deposicionais e tectônicos com os processos que deram origem particularmente a brechas carbonáticas e, apresenta quatro grupos genéticos de brechas: deposicionais, não-deposicionais, tectônicas e diagenéticas.

As brechas são complexas e podem se formar em vários ambientes, assim como, há uma multiplicidade de processos associados ao seu desenvolvimento. Os mecanismos que levam à fragmentação de rochas podem ser de duas ordens segundo Jébrak (1997): química e física; o primeiro ocorre por dissolução do material e o último pela ruptura da resistência da rocha. O ambiente ao qual a brecha está relacionada contribui para se determinar sua gênese, como em uma plataforma carbonática, onde a brechação pode ocorrer *in situ* induzida por ondas de tempestade (BOUCHETTE; SÉGURET; MOUSSINE-POUCHKINE, 2001). Até mesmo condições intempéricas às quais um corpo carbonático foi exposto podem influir na sua fragmentação, caso das brechas cársticas (SIMMS, 2004).

Tomando-se em consideração as definições de brechas aqui apresentadas, essas são de caráter geral e carecem de um sentido específico onde se considere a litologia e a relação entre os elementos que compõem as brechas. Neste trabalho, usa-se uma definição composta para brechas carbonáticas, apoiada nos conceitos de três autores. Brechas carbonáticas são rochas sedimentares caracterizadas por fragmentos carbonáticos sobre uma matriz fina, ou cimento, com geralmente mais de 50% de clastos angulares (FLÜGEL, 2004) e têm ao menos 30% do seu volume composto por clastos maiores que 2 mm em diâmetro (WOODCOCK; MORT, 2008).

Define-se ainda matriz: qualquer material particulado fino ($< 0,1$ mm), produzido tanto pela fragmentação local de partículas maiores (> 2 mm), quanto pela introdução de sedimento exótico; e cimento: material cristalino desenvolvido *in situ* que preenche espaços vazios, ou substitui clastos ou matriz (WOODCOCK; MORT, op.cit.).

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a caracterização das brechas carbonáticas que ocorrem na Formação Serra do Quilombo, parte do Grupo Araras, na região de Nobres (MT), visando o melhor entendimento das brechas com as rochas adjacentes. Essa caracterização foi feita em campo através da descrição e mapeamento de bancadas de minas onde ocorrem essas rochas e, posteriormente em laboratório durante a descrição petrográfica de lâminas delgadas obtidas das amostras coletadas nos afloramentos.

1.2 METODOLOGIA

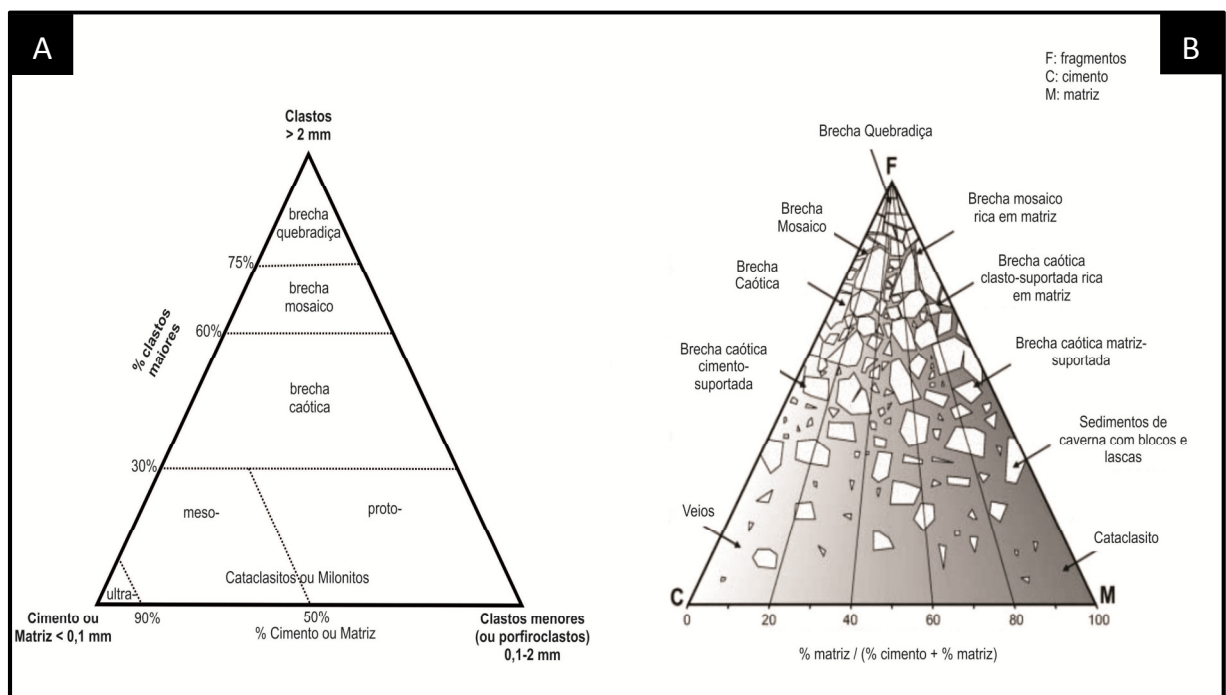
O enfoque nas brechas da Formação Serra do Quilombo foi baseado no estudo de Nogueira e Riccomini (2006) de redescritção e redefinição do Grupo Araras, o qual abrange a referida formação. Os autores dão conhecimento da ocorrência de diferentes horizontes brechados, aparentemente inerentes a esta formação, tanto no município de Cáceres – holoestratótipo da unidade –, quanto na cidade de Nobres, onde se encontram as seções de referência.

Os elementos que compõe as brechas: clastos, cimento e/ou matriz, se apresentam de diversas formas quanto ao tamanho, volume, proporção, mineralogia e arranjo geométrico.

Essas características fornecem informações a cerca da origem e desenvolvimento dos corpos brechados. A investigação das características texturais foi feita através do mapeamento de paredes de mina (onde se encontram as melhores exposições) na escala 1:100 e elaboração de representações esquemáticas ressaltando os elementos texturais das brechas e suas relações com a rocha maciça adjacente. Houve ainda o auxílio de um aparelho GPS com precisão de 5m para registro dos afloramentos visitados, delimitação e georreferenciamento do traçado das bancadas trabalhadas.

Os trabalhos de campo ocorreram entre os dias 21 e 31 de julho de 2011 na região de Nobres e as melhores exposições de brechas foram encontradas nas minerações Ecoplan, EMAL e Cuiabá, todas localizadas nos arredores da cidade de Nobres. Utilizou-se como base cartográfica os mapas logísticos e o mapa geológico da região na escala de 1:100.000 de Souza (2012) para a localização das brechas.

Figura 01 – A) Diagrama ternário mostrando os campos de classificação de brechas em relação à porcentagem dos clastos maiores (> 2 mm). B) Diagrama semelhante com a ilustração do ajuste entre os clastos em relação à proporção de cimento ou matriz.



Fonte: Modificado de Woodcock e Mort (2008) e Woodcock; Oma e Dickson (2006).

Embora haja uma definição de brecha carbonática precisa e ajustada aos propósitos desta pesquisa, é possível ainda se deparar com brechas formadas em um mesmo contexto geológico, ou por mecanismos semelhantes, que exibam diferentes arranjos geométricos entre

os seus elementos: clastos, cimento e matriz. Dessa forma usou-se como baliza a classificação geométrica adotada por Woodcock e Mort (2008), para categorizar brechas macroscopicamente.

A classificação foi baseada na literatura sobre colapso de cavernas e subdivide as brechas em três grupos: quebradiça, mosaico e caótica (*crackle*, *mosaic* e *chaotic*, respectivamente em tradução livre). Brechas quebradiças têm os clastos ligeiramente rotacionados, separados um do outro por vênulas de cimento ou matriz, e mantêm um ajuste (*fitting*) perfeito entre os fragmentos próximos; brechas mosaico mostram maior rotação e separação entres os clastos, mas permanece algum ajuste simétrico entre os fragmentos adjacentes; brechas caóticas têm os clastos intensamente rotacionados e já não possuem qualquer ajuste entre os clastos contíguos.

A classificação é disposta graficamente em um diagrama ternário, onde nos vértices estão: clastos maiores, clastos menores e matriz/cimento (Figura 01). As brechas são limitadas pelas linhas de 75%, 60% e 30%, de concentração de clastos com diâmetro maior ou igual a dois milímetros. Abaixo dos 30% está a série dos cataclasitos e milonitos.

Feições microscópicas além de guardarem semelhanças com as estruturas de afloramento detêm informações que estão restritas à análise de seções delgadas. Com o objetivo de obter maiores detalhes sobre a interação clasto-matriz e clasto-cimento foram feitas 13 lâminas delgadas a partir de 15 amostras de brechas coletadas em diferentes minas e em diferentes níveis topográficos. Todos os minerais carbonáticos têm propriedades ópticas similares, o que torna difícil diferenciá-los em lâmina delgada. Para se identificar a presença de dolomita as lâminas foram tingidas com Alizarina; à exceção da dolomita os outros carbonatos são tingidos de vermelho.

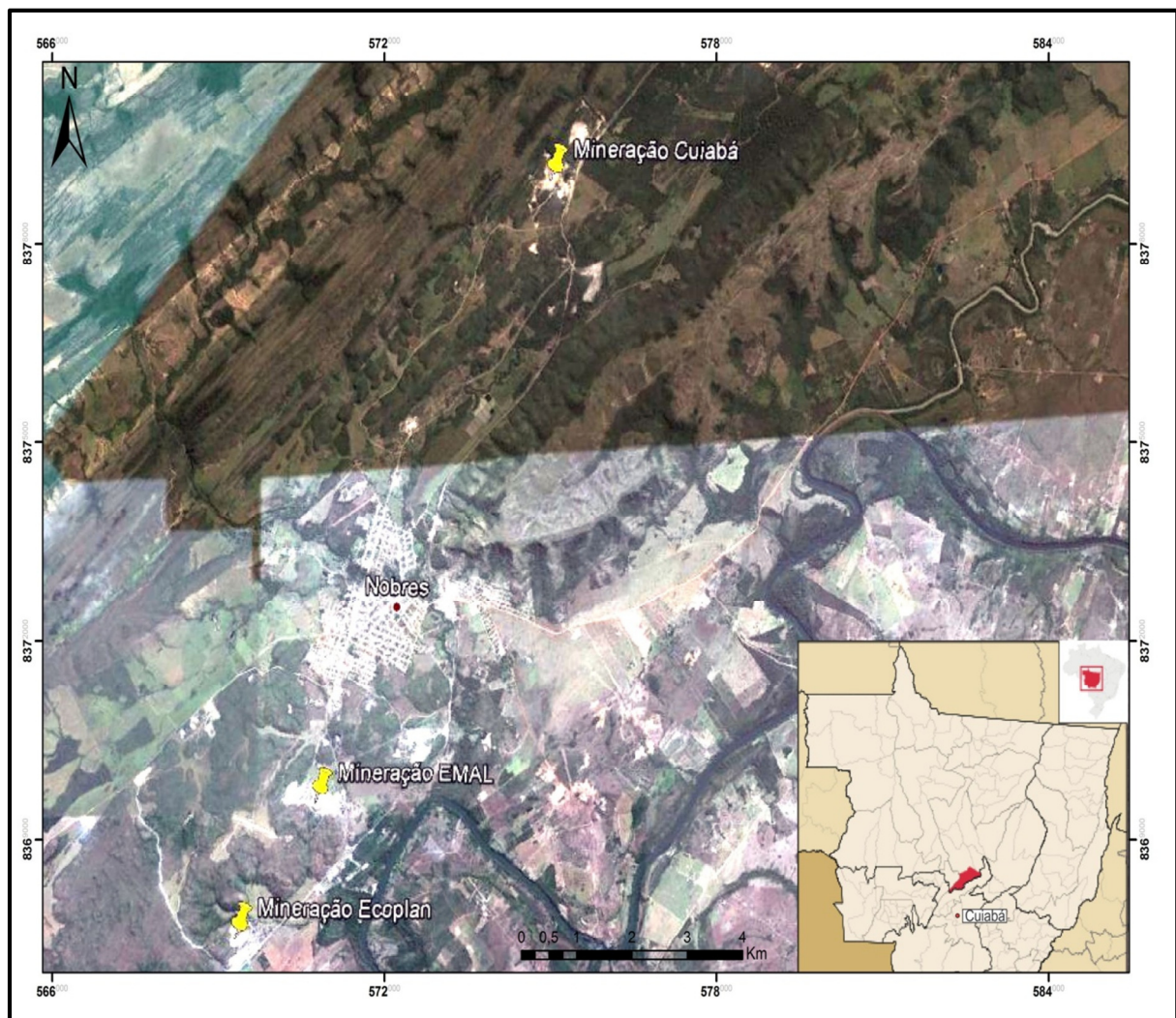
O *software* CorelDraw X5 foi utilizado para a confecção de figuras a partir de seções desenhadas e para o detalhamento de feições texturais sobre imagens. As modificações e inserções de dados cartográficos foram feitas com auxílio do programa ArcGis 9.3.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está situada na região do município de Nobres, parte central do Estado do Mato Grosso, distante 125 km de Cuiabá. O acesso à cidade a partir da capital é feito pela rodovia estadual MT-010 até a cidade de Rosário d'Oeste e a partir daí até Nobres trafegando pela rodovia federal BR-163.

As melhores exposições de brechas estão localizadas em três diferentes minerações: Mineração Ecoplan e Mineração EMAL-Nobres, ambas situadas a sudoeste da entrada da cidade de Nobres, e Mineração Cuiabá situada ao norte da sede do município. As três empresas estão às margens da rodovia BR-163 (Figura 02).

Figura 02 – Mapa de localização da região de Nobres com destaque para as minas visitadas.



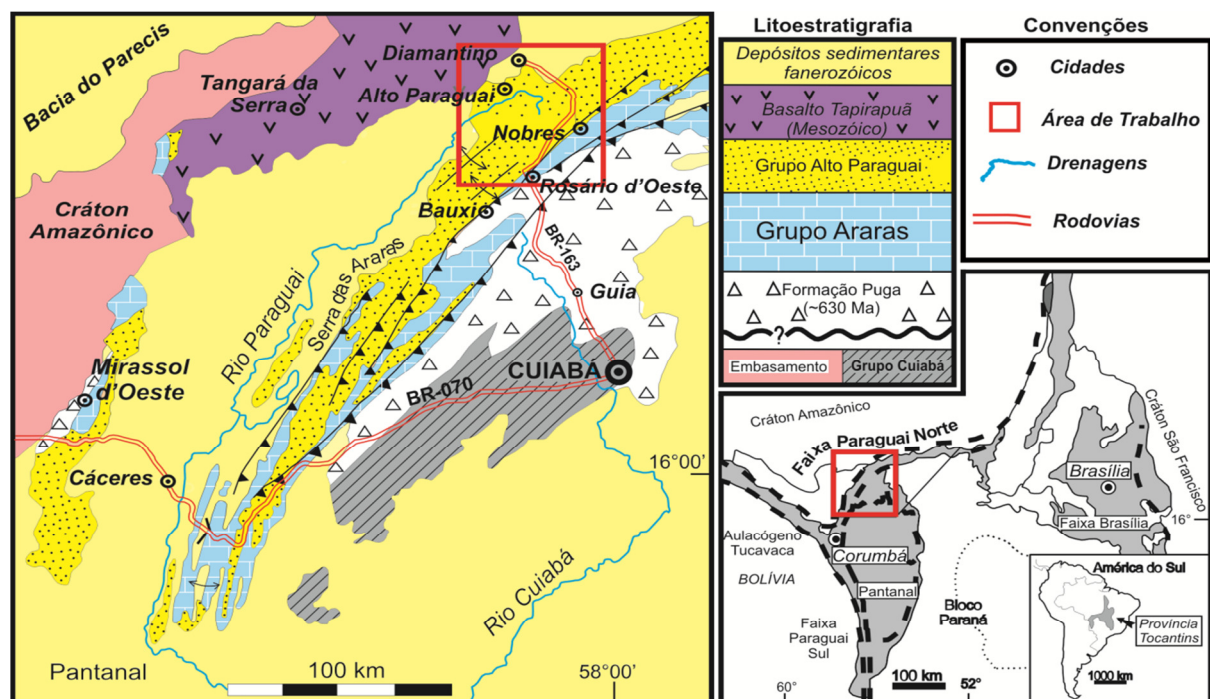
2 CONTEXTO GEOLÓGICO

As brechas carbonáticas em foco neste trabalho ocorrem na Formação Serra do Quilombo, unidade do Grupo Araras que está localizado no segmento norte da Faixa Paraguai.

2.1 CONTEXTO REGIONAL

A área de estudo está situada na parte norte da Faixa Paraguai; um orógeno composto na sua seção norte por rochas metassedimentares e sedimentares neoproterozóicas (Grupo Cuiabá, Formação Puga, Grupo Araras Grupo Alto Paraguai) e depósitos sedimentares fanerozóicos. A faixa seria o produto da colisão dos blocos Cráton Amazônico, São Francisco-Congo e Paraná (NOGUEIRA; RICCOMINI, 2006), apresenta forma de arco com concavidade pra SE e está orientada nas direções NE-SW (segmento norte) e N-S (segmento sul). Conta 1500 km de extensão e 300 km de largura (LACERDA FILHO et al., 2004) (Figura 03).

Figura 03 – À direita, disposição da Faixa Paraguai entre os blocos Cráton Amazônico, São Francisco e Paraná, com destaque para a área de trabalho. À esquerda, detalhamento da região de trabalho com localização das litologias presentes no segmento norte da Faixa Paraguai.



A Faixa Paraguai teria sido deformada ao final da Orogenia Brasileira entre 550 e 500 Ma., ao que se seguiu um magmatismo granítico pós-orogênico. As rochas neoproterozóicas constituintes da faixa foram separadas pelos sedimentos neógenos da Bacia do Pantanal e, ficaram subdivididas em uma porção norte e uma porção sul. As unidades mais antigas representariam uma margem passiva e as mais novas uma bacia antepaís (*foreland basin*), associada à Orogenia Brasileira (ALVARENGA et al., 2010).

2.2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A compartimentação e o contexto geotectônico da faixa ainda são objetos de divergências e, ao longo dos anos vários modelos têm sido propostos.

Almeida¹ (1984 apud LIMA et al., 2008) dividiu a faixa em três zonas estruturais: Brasilides Metamórficas (rochas sedimentares metamorfizadas mais antigas), Brasilides não-Metamórficas (rochas sedimentares dobradas não metamorfizadas), falhas de empurrão limitariam as duas zonas; e Coberturas Brasileiras de Antepaís.

Alvarenga e Trompette (1993) afirmaram que a faixa é composta por um sistema de dobramentos – quatro eventos sucessivos de deformação progressiva – que à medida que se tornaram mais intensos geraram dobras assimétricas a isoclinais. A deformação das rochas seria resultado ou de uma orogênese de colisão (reprodução de um ciclo de Wilson), ou do fechamento de um *rift* intracontinental com incipiente formação de oceano.

Lacerda Filho et al. (2004) dividiram a Faixa Paraguai (chamada pelos autores de *Faixa Alto Paraguai*) nos domínios: Margem Passiva e Bacia Ante-País e, porções de Crosta Oceânica que circundam o primeiro domínio. Os terrenos remanescentes de crosta oceânica registram o estágio inicial de *rift* com vulcânicas máficas e litotipos do Grupo Cuiabá, que indicariam uma suposta abertura de um oceano. A Margem Passiva corresponderia a um ambiente redutor e profundo, localizado no talude, distal à plataforma, correspondente ao Grupo Cuiabá; nas áreas proximais houve uma sedimentação de ambiente glacial. Após essa sequência houve uma deposição transgressiva que originou uma plataforma carbonática (Grupo Araras). A Bacia Ante-País representaria o fechamento oceânico e o surgimento de cadeias de montanhas dobradas que passaram a fornecer sedimentos siliciclásticos (Grupo Alto Paraguai), os quais afogaram a plataforma carbonática.

¹ ALMEIDA, F. F. M. Dobramentos da Faixa Paraguai na borda sudeste do Cráton Amazônico. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais, 7: 3258-3271.

Dados obtidos por Souza (2012) indicam que o processo de deformação que afetou as rochas componentes do segmento norte da Faixa Paraguai, ocorreu dentro de um sistema transpressivo com partição da deformação em diferentes escalas.

2.3 ROCHAS NO CONTEXTO REGIONAL

O Grupo Cuiabá corresponde a uma sequência de rochas metassedimentares dobradas e relacionada com o ciclo Pan-Africano/Brasilião (1.000-500 Ma.). É constituído por: filitos, margas, metaconglomerados, metarcósios, metarenitos, quartzitos, diamictitos, mármore, xistos, formações ferríferas e metavulcânicas (LACERDA FILHO et al., 2004).

A Formação Puga compreende diamictitos associados com conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos. O modelo de deposição dessa formação envolve três sistemas deposicionais glaciais: plataformais, talude proximal, talude distal. Sugere-se o Cráton Amazônico como principal área fonte de sedimentos, que foram retrabalhados durante evento glacial (635 Ma.) e formaram canais submarinos e turbiditos em taludes (ALVARENGA et al., 2010).

O Grupo Araras (Figura 04) é uma sequência de rochas carbonáticas colocada acima da Formação Puga, subdividida da base para o topo em quatro formações: Mirassol d'Oeste, Guia, Serra do Quilombo e Nobres (NOGUEIRA; RICCOMINI, 2006). Essas rochas ora refletem uma fácies mais rasa, na área cratônica (borda da bacia), ora uma fácies de águas mais profundas da porção distal de uma plataforma carbonática (ALVARENGA et al., op. cit.).

O Grupo Alto Paraguai é composto por duas formações siliciclásticas: Raizama – arenitos e conglomerados – e Diamantino – folhelho vermelho, siltito e arcósio. O contato transicional entre essas unidades consiste de intercalações de arenitos e folhelhos (ALVARENGA et al., op. cit.).

2.3.1 Grupo Araras

O Grupo Araras, redescrito e redefinido por Nogueira e Riccomini (op. cit.), comporta quatro formações da base para o topo, denominadas: Mirassol d'Oeste, Guia, Serra do Quilombo e Nobres. O ambiente de deposição do Grupo Araras foi de plataforma carbonática, cuja profundidade variou de profunda a rasa, com influência de eventos de tempestade; e

também de plataforma carbonática rasa, com ocorrência de ambiente de *sabkha* e planície de maré.

Figura 04 – Resumo litoestratigráfico da Formação Puga e grupos Araras e Alto Paraguai.

IDADE	LITOESTRATIGRAFIA			PALEOAMBIENTE	
Cambriano	542 Ma	Grupo Alto Paraguai	Formação Diamantino	Conglomerados, arenitos e pelitos.	Fluvial entrelaçado, delta e mar restrito/prodelta
			Formação Sepotuba	Pelitos, folhelhos e arenitos.	Plataforma marinha dominada por tempestade
			Formação Raizama	Arenitos e pelitos, carbonatos substituídos por sílex subordinados.	Plataforma rasa dominada por tempestade e maré
E D I A C R A N O	~630 Ma	Grupo Araras	Formação Nobres	Dolomitos arenosos, estromatólitos dômicos estratiformes e rugosos. Sílica secundária substituindo camadas de carbonato. Arenitos finos, ritmitos e pelitos subordinados. Moldes de cristais de evaporitos.	Planície de maré/sabkha
			Formação Serra do Quilombo	Brechas dolomíticas cimentada por dolomita espática, brechas dolomíticas de arcabouço aberto e dolomitos arenosos.	Plataforma moderadamente profunda dominada por tempestades e eventualmente por sismos
			Formação Guia	Calcários finos e folhelhos betuminosos. Subordinadamente calcários cristalinos ricos em crostas e cimento. Grãos terrígenos esporádicos.	Plataforma profunda anóxica
			Formação Mirassol d'Oeste	Capa carbonática Dolomitos finos rosados, laminados, peloidais e estromatólitos estratiformes.	Plataforma e supersaturada em CaCO ₃
			Formação Puga	Diamictitos e siltitos seixosos.	Plataforma profunda eufótica
Criogeniano					Glacial marinho

Dolomito betuminoso

Dolomito

Diamictito

Arenito dolomítico e brecha com matriz

Brecha cimentada com cimento dolomítico

Calcário/folhelho betuminoso

Sílex secundário

Carbonato silicificado

Dolomito/arenito

Pelito

Arenito

Estromatólito

Discordância erosiva

Descontinuidade regional

Fonte: Nogueira e Riccomini (2006).

2.3.2 Formação Serra do Quilombo

A Formação Serra do Quilombo foi definida por Nogueira e Riccomini (op. cit.) como uma sucessão de dolomitos finos, dolomitos arenosos, brechas com cimento de dolomita e brechas com matriz. O seu holoestratótipo (seção-tipo) está localizado na porção sudeste da Serra do Quilombo, região de Cáceres, e tem como seções de referência as exposições situadas na região de Nobres.

A base da formação, constituída por dolomitos finos, está em contato com os calcários finos da Formação Guia e associados com estes estão os pacotes descontínuos de brechas

cimentadas por dolomita, que por vezes se intercalam com os dolomitos finos laminados. Na porção superior se encontram os dolomitos grossos com estratificação plano-paralela associada com estratificação cruzada *hummocky*. Esses dolomitos grossos (arenosos) gradam através de camadas fraturadas para brechas (NOGUEIRA; RICCOMINI, 2006).

A deposição dos dolomitos finos teria acontecido em plataforma carbonática profunda de baixa energia, abaixo da base de ondas. Na parte superior da formação, onde estão os dolomitos grossos, é sugerida a atuação de tempestades em depósito de face litorânea superior, num ambiente de plataforma rasa. As brechas teriam sido formadas em *in situ* tanto por processos de tempestade como por eventos sísmicos (NOGUEIRA; RICCOMINI, 2006).

2.4 CONTEXTO GEOLÓGICO NA REGIÃO DE NOBRES

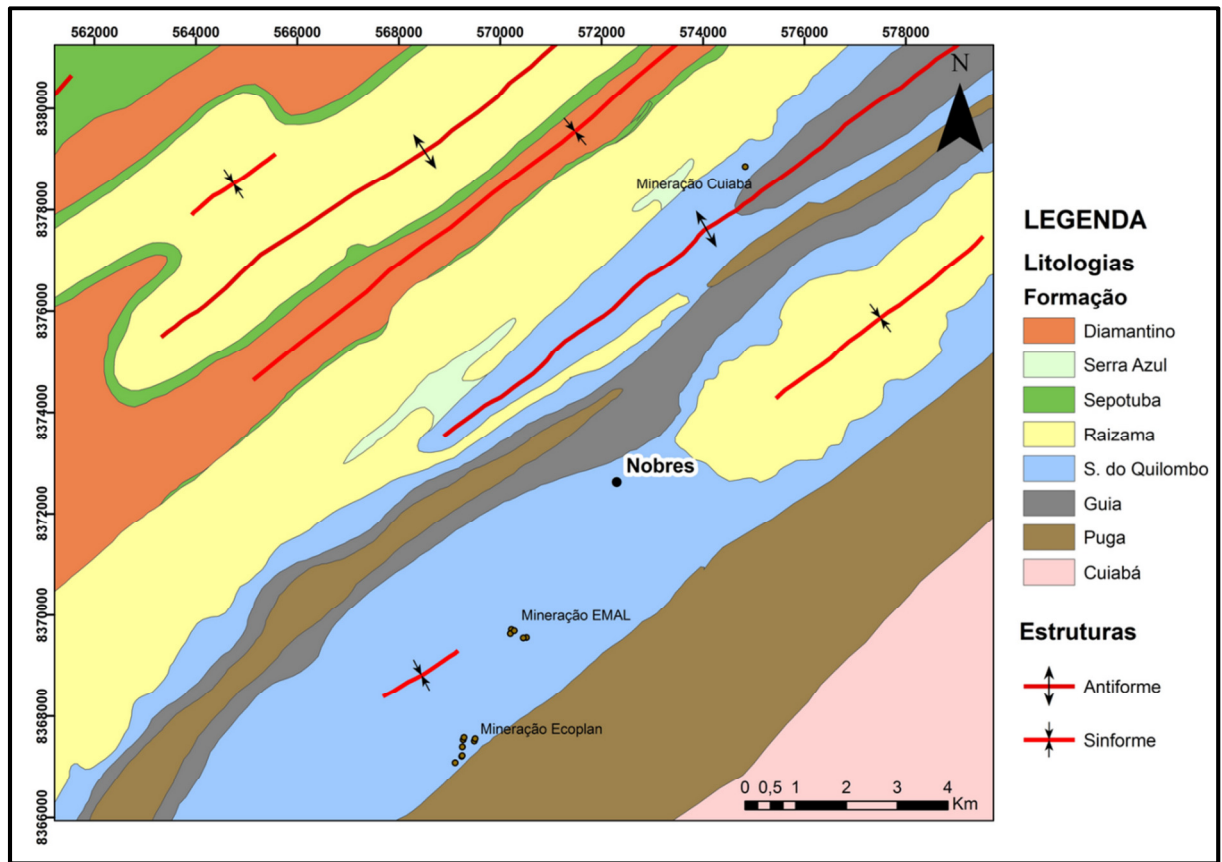
As brechas dolomíticas caracterizadas durante os trabalhos de campo estão todas compreendidas na porção superior da Formação Serra do Quilombo (Figura 5). Apesar de esta unidade se estender por uma área de aproximadamente 80 km², onde está situado o município de Nobres, não se encontra completamente brechada. As brechas são restritas acumulações distribuídas nos dolomitos maciços. Todas as observações de brechas foram feitas em bancadas de minas de carbonatos e nas suas adjacências. Exposições fora dessas áreas ou estão encobertas pela vegetação ou livres de brechas.

Os afloramentos de dolomitos visitados, sejam maciços ou brechados, estão em posição sub-horizontal. A atitude média das camadas é 04/020°. A superfície se encontra suavemente ondulada, o que faz a direção de mergulho variar ligeiramente.

A maioria dos afloramentos exibe fraturas pervasivas subverticais com direção de mergulho N-NE – S-SW. Essa mesma direção é acompanhada por parte dos veios e vênulas. Entretanto, alguns veios estão instalados sob a mesma direção do acamamento dos dolomitos.

Durante os trabalhos de campo não foram encontradas quaisquer evidências de falhamento, sejam falhas, movimentação de camadas, ou planos de falha. Igualmente não foram encontrados indícios de dobramentos expressivos.

Figura 05 – Mapa geológico da região de Nobres com indicação das minas visitadas.



Fonte: Souza (2012).

3 BRECHAS

A partir de observações texturais em campo, foram identificados três tipos de brechas dolomíticas na região de Nobres:

- Brecha cimentada;
- Brecha sinsedimentar;
- Brecha cárstica.

Nas minas visitadas ocorre ao menos um dos tipos de brecha. As feições texturais dessas rochas sugerem processos genéticos distintos, descritos no capítulo de mecanismo de brechação.

3.1 BRECHA CIMENTADA

As brechas cimentadas ocorrem nas minerações Ecoplan e EMAL e estão encaixadas nos dolomitos maciços da porção superior da Formação Serra do Quilombo. As camadas dolomíticas encontram-se sub-horizontais e ligeiramente onduladas com atitude média de 03/020°. São persistentes nos afloramentos fraturas sub-verticais.

Figura 06 – Brecha cimentada com os fragmentos angulares (cinza) dispostos caoticamente sobre cimento (branco). Mineração Ecoplan.



As brechas cimentadas são caracterizadas por feições semelhantes a peças de um quebra-cabeça, onde os fragmentos angulares estão rotacionados e separados por uma malha de cimento carbonático (Figura 06).

O contato entre as brechas e os dolomitos maciços ocorre de forma brusca (Figura 07). Os corpos de brechas estão colocados, na maioria das vezes, concordantemente com o plano de acamamento (sub-horizontal), embora se tenha observado brechas em posição vertical semelhantes a diques, em discordância com o acamamento dos dolomitos maciços. A maior concentração de brechas está restrita a um nível topográfico basal (215-230m), e em direção aos estratos superiores (280m) perde expressão gradativamente, restando somente vênulas disseminadas nos dolomitos maciços.

A extensão lateral desses corpos é limitada a no máximo uma centena de metros (130m na Mineração Ecoplan), com uma espessura de até 3 m, se localizados na porção basal do perfil de mina. As dimensões das brechas diminuem progressivamente em direção aos estratos mais elevados, onde estão restritas a lentes ou bolsões isolados de até 1,5 m de comprimento com 1 m de espessura.

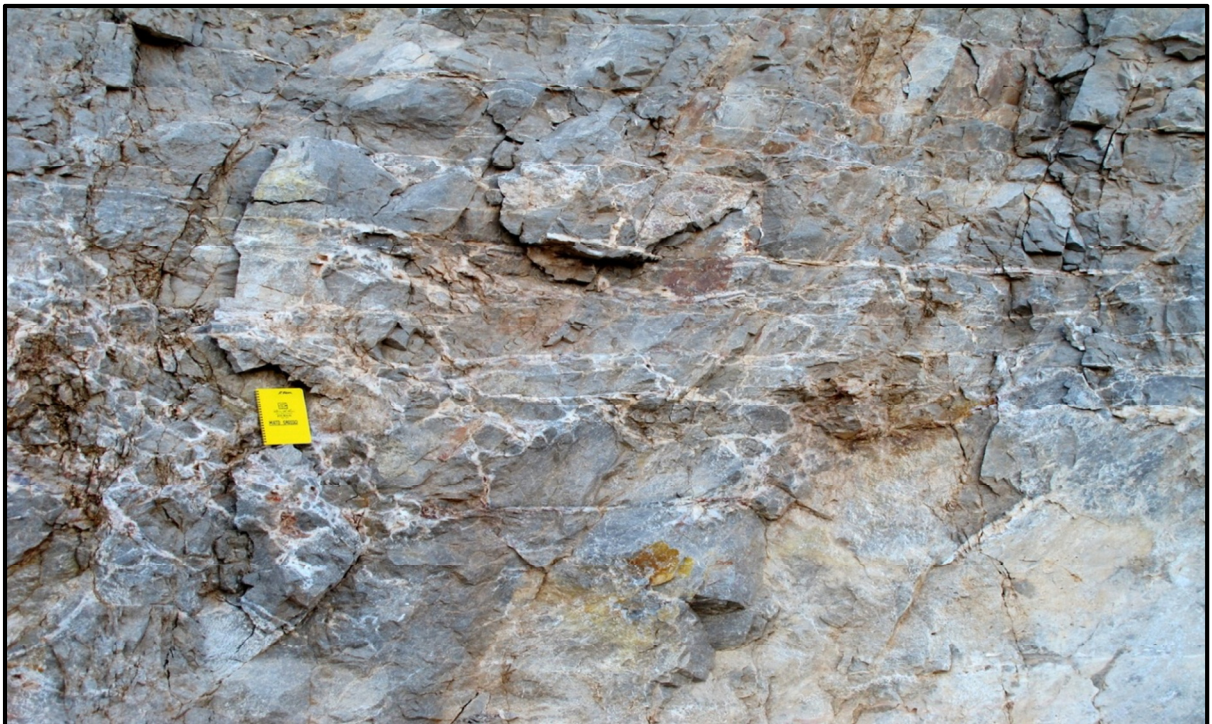
Figura 07 – Contato brusco entre dolomitos maciços e brechas cimentadas. Nos dolomitos maciços predominam as vênulas centimétricas a milimétricas. Mineração Ecoplan.



Há uma nítida diferença cromática entre os clastos e o cimento; a cor branca do cimento se destaca do tom cinza dos clastos, contraste nem sempre perceptível quando a rocha está coberta pela poeira das frentes de mina. O arcabouço das brechas na porção basal é cimento-suportado, sem nenhum ajuste entre os fragmentos adjacentes, com proporção de clastos entre 30-35% (cimento 65-75%), correspondente a uma brecha caótica, segundo os diagramas da Figura 01. Já na porção superior as brechas são clasto-suportadas com proporção de clastos em 70%, encaixando-se nas brechas mosaico (Figura 08).

A composição dos clastos é dolomítica, os fragmentos têm tamanho médio de cinco centímetros no maior eixo, são prismáticos e angulares e não têm orientação direcional. Clastos quando fraturados têm as aberturas preenchidas parcial ou totalmente por cimento. O cimento tem igualmente composição dolomítica e suporta os clastos quando forma uma massa coesa sobre a qual os fragmentos flutuam.

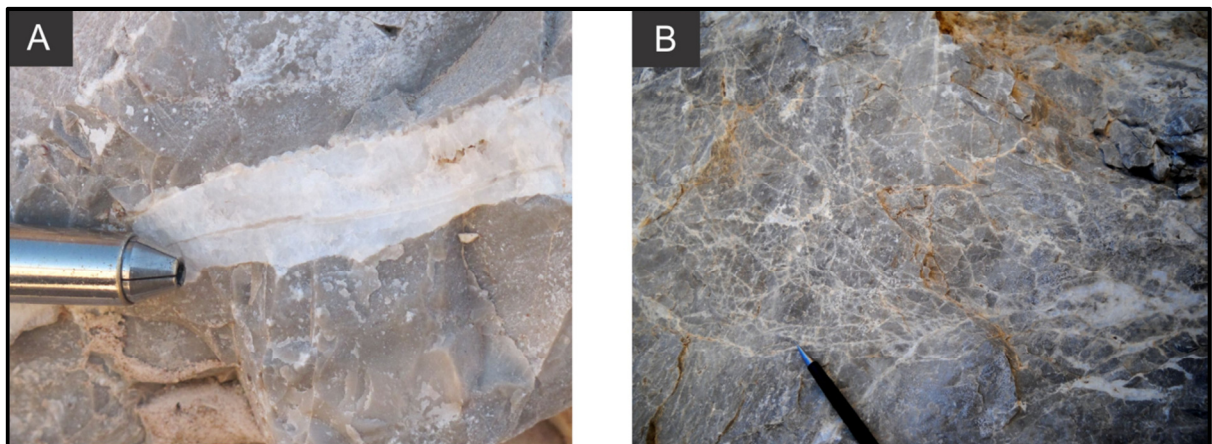
Figura 08 – Estrato superior onde as brechas ocorrem de forma discreta, com menor quantidade de cimento e clastos maior dimensão. Mineração Ecoplan.



Acompanham as brechas vênulas e veios colocados de forma sub-horizontal concordantes com o plano de acamamento dos dolomitos; muito embora e em contraste, tenham sido observados veios subverticais. Essas estruturas também estão distribuídas pelos dolomitos maciços e têm a mesma composição do cimento que envolve os clastos das

brechas. Os veios por vezes exibem a textura de preenchimento *crack-seal*, onde se nota a infiltração de vênulas diminutas nos veios de maior espessura (Figura 9A). Os veios têm até 4 cm de espessura e, assim como as brechas diminuem de dimensão, até se tornarem vênulas milimétricas, nas cotas topográficas mais elevadas.

Figura 09– A) Estrutura de preenchimento de veio *crack-seal*, onde há duas gerações de preenchimento, a primeira maior e uma segunda de menor espessura. Mineração Ecoplan. B) Rede de vênulas dolomíticas milimétricas junto a veios de maior espessura. Mineração Ecoplan.



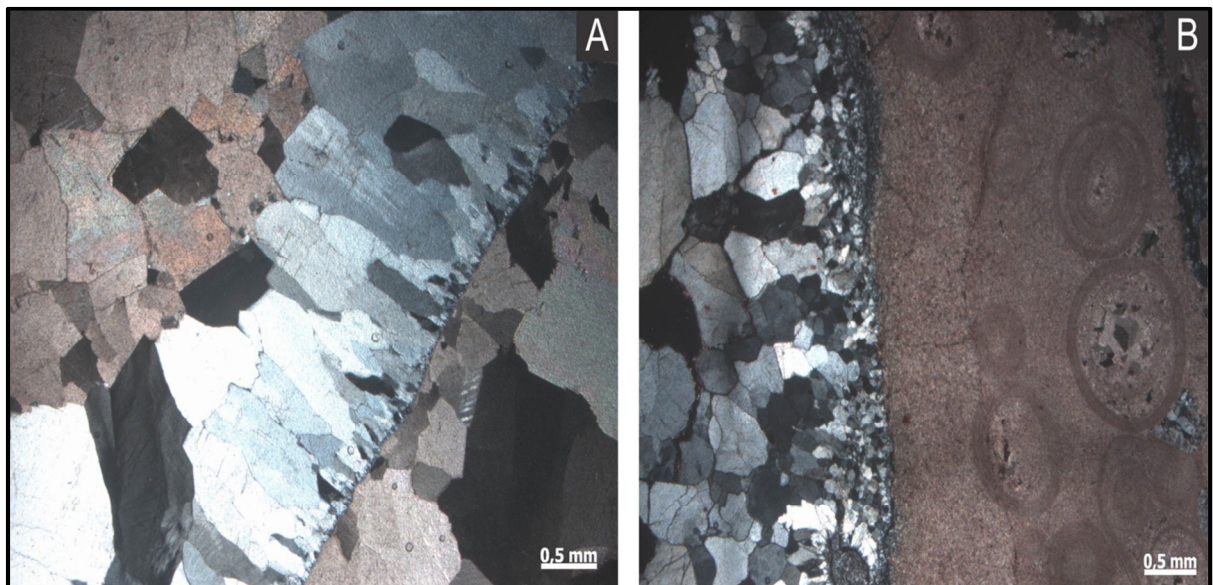
3.1.1 Petrografia

Foram coletas cinco amostras de mão de brechas cimentadas em diferentes bancadas da Mineração Ecoplan das quais se fizeram nove lâminas delgadas a partir de diferentes seções nas amostras. Ao microscópio as brechas cimentadas apresentam feições semelhantes àquelas encontradas em afloramento.

A mineralogia das brechas é composta por dolomita e quartzo, este último mais abundante nas zonas de brecha cimentada. O dolomito varia entre um arcabouço completamente sustentado por lama e esparsa presença de grãos e, um arcabouço sustentado por grãos com lama em seu conteúdo. Há ainda ocorrência de oóides.

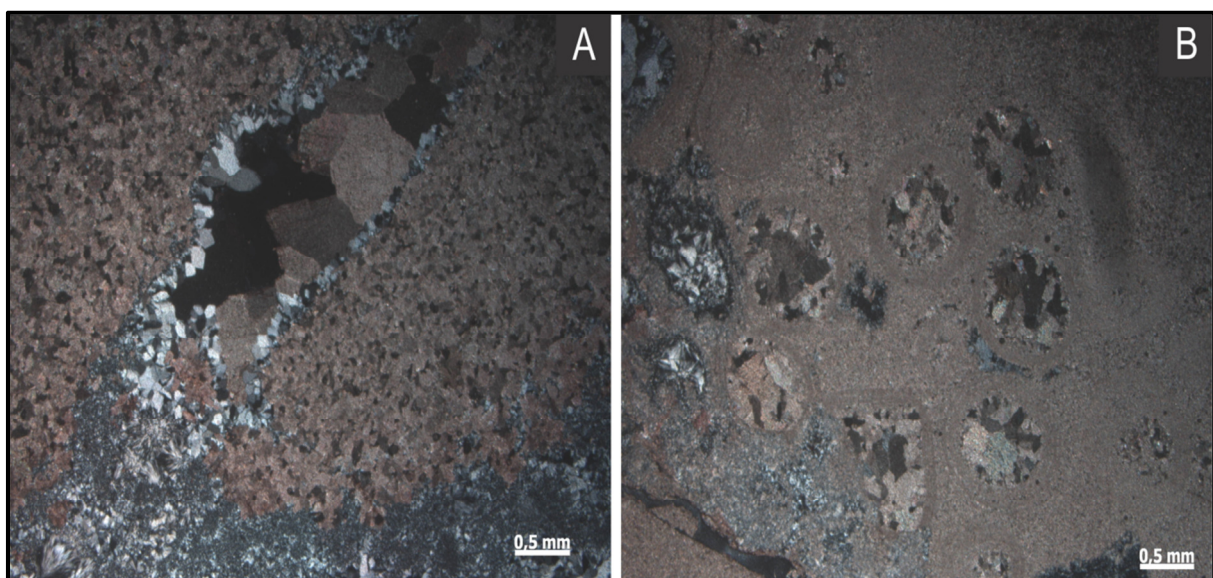
As brechas cimentadas são representadas com fidelidade em lâmina, os clastos de dolomita (*mudstones*, principalmente) estão separados por veios compostos por cristais de quartzo e dolomita relativamente equidimensionais, subédricos, que na maioria das vezes formam mosaicos granulares. Localmente esses cristais ocorrem sob três outras formas: esferulíticos, alongados (*bladed*) e em bloco (*blocky*), nesta última os cristais de dolomita são maiores ($>10\mu\text{m}$), não têm qualquer orientação direcional, seus limites externos são bem definidos e, por vezes formam um conjunto isolado fora dos veios (Figura 10).

Figura 10 A) Cristais alongados (*bladed*) de quartzo junto a cristais de dolomita em forma de bloco (*blocky*). B) Contato entre clasto de *mudstone* com oólitos (alguns preenchidos por quartzo) e cimento composto por cristais de quartzo em bloco.



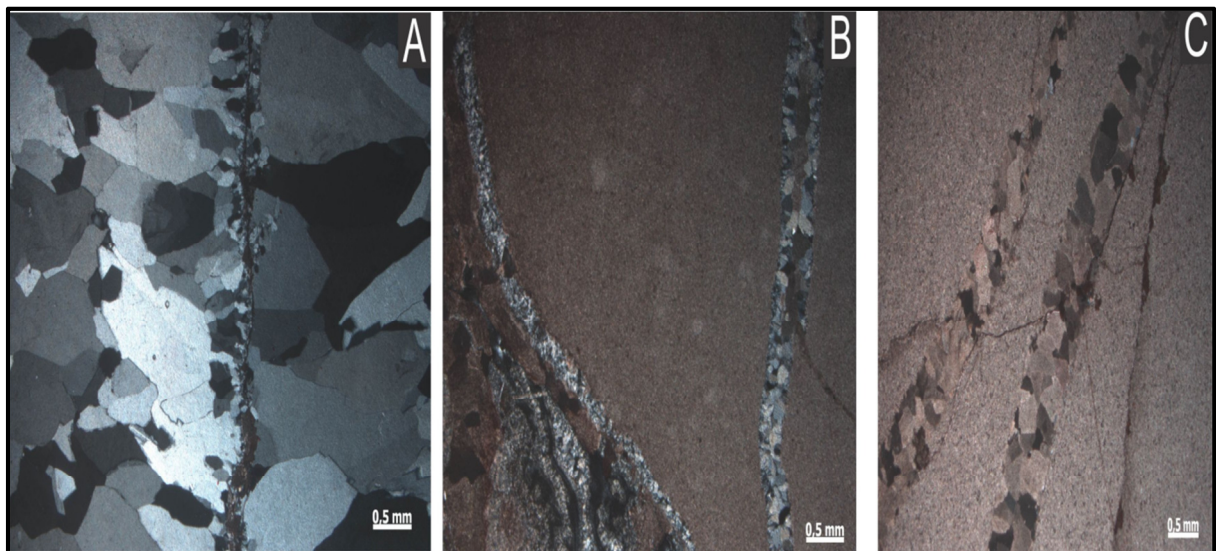
Foram observados sinais de silicificação como: o preenchimento dos espaços interpartículas entre cristais de dolomita e a substituição de parte da estrutura dos oóides por quartzo microcristalino (Figura 11B); a presença de cristais alongados de quartzo junto a cristais de dolomita nos veios; e feições esferulítica de cristais de quartzo em conjuntos isolados.

Figura 11. A) Quartzo microcristalino e cristais maiores preenchem veios e espaços interpartículas. B) Preenchimento de oóides por cristais de quartzo e dolomita.



Há uma nítida diferença entre zonas com brechas cimentadas e áreas somente venuladas (ausente de brechas) que se reflete em lâmina. Nas áreas de intensa brechação os veios são mais espessos (Figura 12A) e os cristais proeminentes, enquanto em zonas de menor fragmentação ou ausentes de brechas, os veios são delgados e seu preenchimento mais discreto, especialmente por quartzo microcristalino (Figura 12B). Nas bancadas da Mineração Ecoplan se observou uma transição gradativa das zonas brechadas para as áreas venuladas, justamente quando se passa das bancadas de menor cota topográfica (215m) às bancadas de maior cota (280m). Essa passagem tem correspondência igualmente em microscópio.

Figura 12. A) Preenchimento de veio por *crack-seal* com duas gerações: uma antiga onde figuram os cristais maiores e uma posterior representada pela linha de cristais menores. Em zonas menos brechadas ocorrem mais veios e vênulas de menor espessura tanto preenchidos por quartzo quanto por dolomita (B e C).



Ocorre somente nas amostras coletadas em cotas mais baixas (215-230m) o mecanismo de preenchimento de veio *crack-seal* (Figura 12A), onde um primeiro veio predominante de quartzo, mais espesso, abriga em seu interior um veio posterior, também de quartzo, de menor espessura. Esse tipo de estrutura está associado com as zonas de brechação mais intensa (Figura 07).

A maioria dos clastos se encontra fraturada, as fraturas quando preenchidas apresentam em seu interior quartzo microcristalino e cristais bloqueados de dolomita. Há maior fraturamento nos clastos presentes em zonas de maior brechação. Enquanto que o fraturamento é menor onde a brechação é discreta. Por vezes as bordas dos clastos estão circundadas por cristais de quartzo e dolomita do cimento.

3.2 BRECHA SINSEDIMENTAR

As brechas sinsedimentares ocorrem somente na Mineração EMAL e, assim como as brechas cimentadas, estão encaixada na porção superior da Formação Serra do Quilombo; entretanto ficam restritas nas maiores cotas topográficas (250m) daquela mina. Assim como nos estratos onde se verificou as brechas cimentadas, as camadas estão sub-horizontais, suavemente onduladas, com atitude média de 05/025°. As fraturas igualmente se apresentam aqui subverticais.

As estruturas associadas mais notórias são as estratificações cruzadas *hummocky* com até 3 m de comprimento, geralmente acima dos bolsões de brechas sinsedimentares. Ocasionalmente ocorrem cavidades nos dolomitos maciços preenchidas por drusas de dolomita.

Figura 13 – Clastos angulares sustentados por matriz dolomítica. Mineração EMAL-Nobres.



As brechas sinsedimentares são caracterizadas por clastos carbonáticos angulares dispersos em matriz fina igualmente carbonática (Figura 13).

Esses corpos brechados formam bolsões irregulares, isolados, sem continuidade lateral, com no máximo 2 m de comprimento e 70 cm de espessura. Estão relacionados com

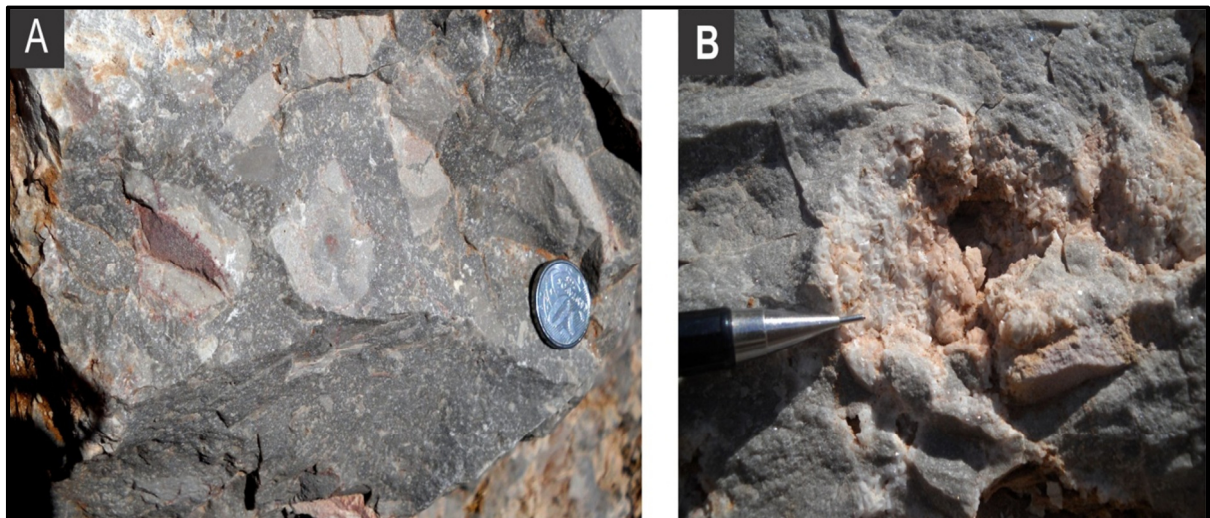
os estratos superiores dos dolomito maciço, acima das brechas cimentadas, e exibem esparsas vênulas de cimento carbonático.

O contato entre as brechas e o dolomito maciço é brusco, há uma nítida diferença entre as zonas brechadas, onde há concentração dos fragmentos angulares e as áreas maciças sem a presença de clastos.

A cor cinza é comum tanto aos clastos quanto a matriz, nesta última com um tom mais escuro em relação aos fragmentos. O arcabouço das brechas é matriz-suportado, com a proporção de 55% de matriz e 45% de clastos, sem qualquer ajuste entre os fragmentos adjacentes, caracterizando uma brecha caótica (Figura 14).

Os clastos são compostos por dolomita, têm tamanho médio de 2,5 cm no eixo maior, são prismáticos e angulares e não têm qualquer orientação preferencial. A matriz é composta por material dolomítico fino menor ($< 0,1$ mm), em princípio chamado de lama dolomítica.

Figura 14 – A) Clastos com textura caótica sem ajustes entre os fragmentos adjacentes; proporção de matriz mais elevada em relação ao de clastos. B) Cavidade em dolomito maciço, preenchida por cristais de dolomita. Mineração EMAL-Nobres.



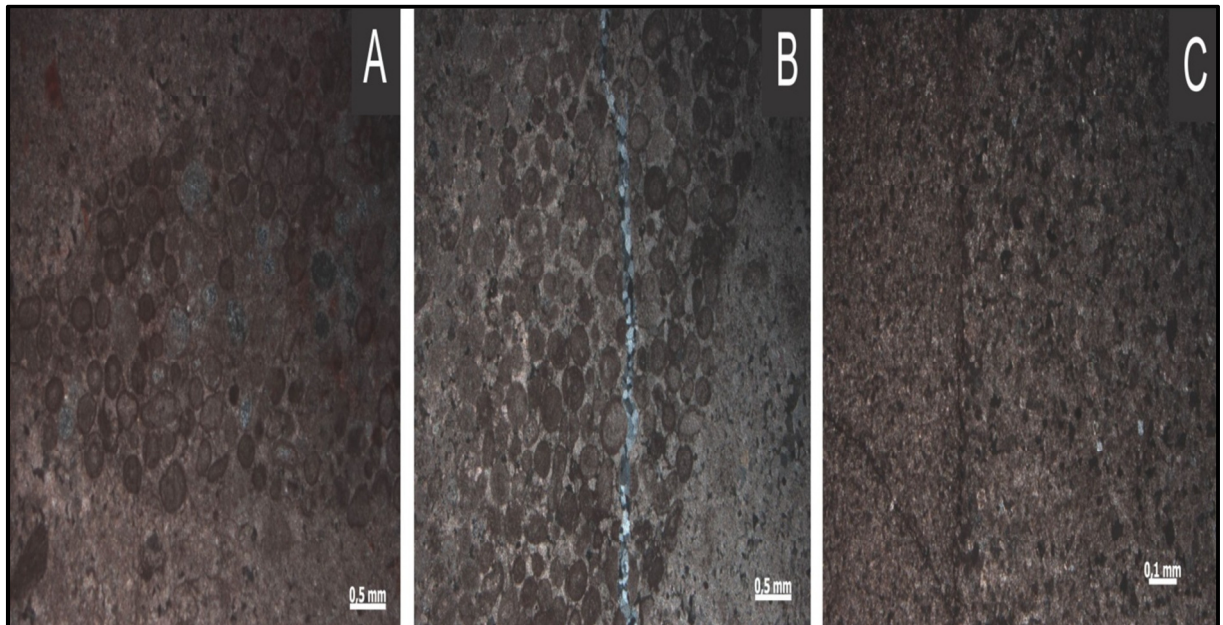
3.2.1 Petrografia

Foram coletadas duas amostras de mão de brechas sinsedimentares na Mineração EMAL, das quais se fizeram duas lâminas delgadas.

A composição mineralógica é dada por dolomita presente nos clastos e na matriz e, por quartzo (microcristalino) nas esparsas vênulas que permeiam as brechas sinsedimentares.

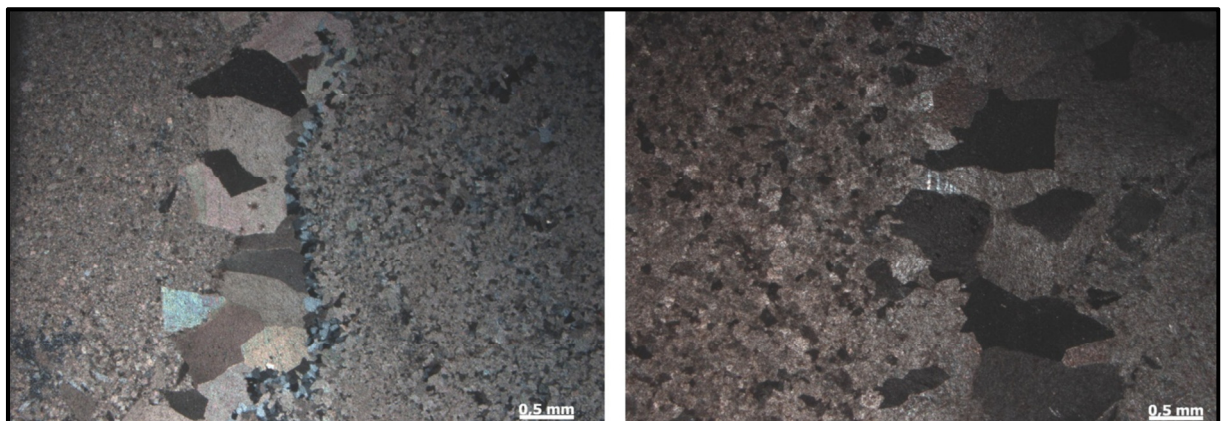
O arcabouço da rocha é suportado por lama com presença de grãos. Há uma diferença textural sutil entre os clastos (com maior conteúdo de lama) e a matriz por ambos serem compostos por dolomita.

Figura 15. Os oóides ocorrem por vezes preenchidos por quartzo microcristalino (A). Ou truncados por vênulas, neste caso de quartzo (B). A maior presença de lama nos clastos (canto esquerdo) os diferencia da matriz nas brechas sinsedimentares (C).



Há abundância de oóides nessas brechas que ocorrem tanto preenchidos por quartzo microcristalino quanto sem preenchimento. Essas estruturas formam níveis entremeados com lama dolomítica. Estão presentes oóides conjugados com dolomitos cujo arcabouço é suportado por lama (Figura 15).

Figura 16. À esquerda, contato entre vênulas de cristais em forma de bloco de quartzo microcristalino e dolomita e a matriz da brecha. À direita contato entre uma acumulação de cristais de dolomita e a matriz.

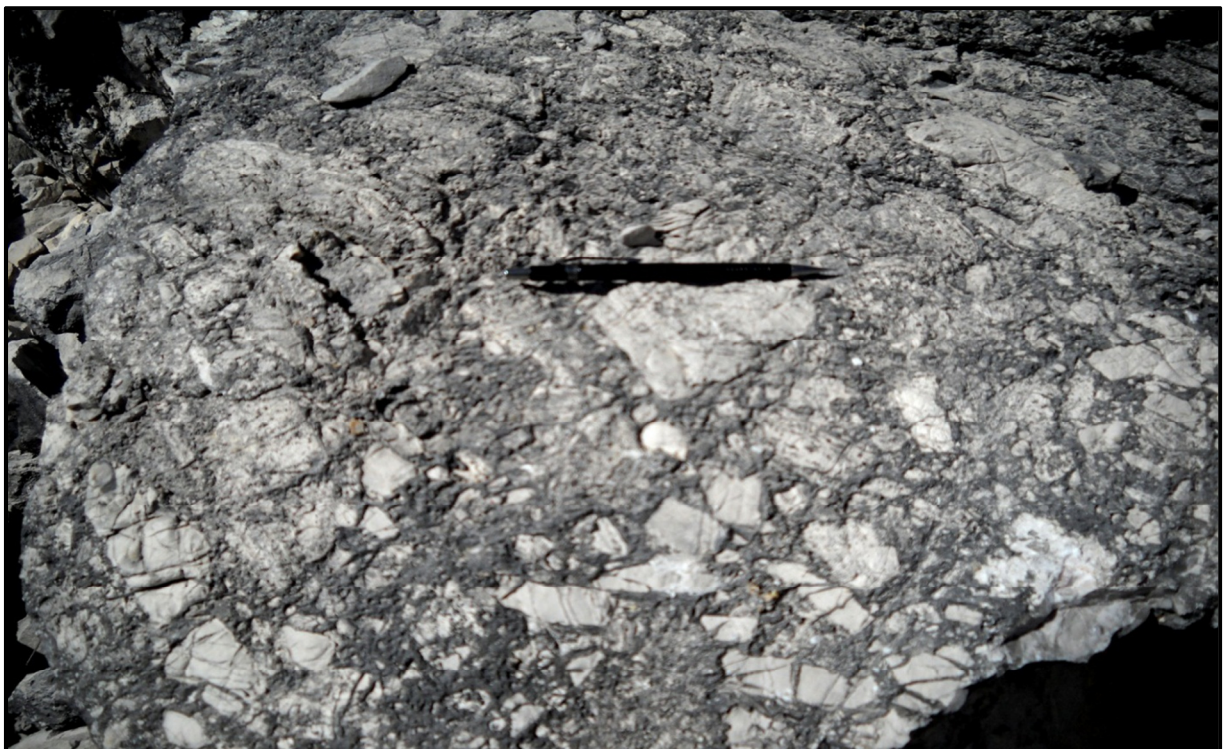


Vênulas compostas por cristais em forma de blocos de dolomita e quartzo são bastante esparsas nessas brechas e contam com uma espessura milimétrica; são semelhantes às vênulas que ocorrem nas áreas de maior cota topográfica da Mineração Ecoplan, onde as brechas cimentadas estão ausentes e ocorrem somente veios e vênulas (Figura 16).

3.3 BRECHA CÁRSTICA

As brechas cársticas ocorrem nas minerações Cuiabá e Ecoplan. Na primeira ocorrem como megabrechas na forma de blocos rolados. Na segunda estão localizadas em duas frentes de mina já abandonadas, com atitude média de $02/025^\circ$, onde estão associadas com fragmentos de brecha cimentada. Os afloramentos exibem fraturas pervasivas subverticais. Esse tipo de brecha ainda não havia sido descrito em trabalhos anteriores sobre a área.

Figura 17 – Bloco rolado de brecha cárstica, onde os clastos estão fraturados (parte inferior direita). Mineração Ecoplan.



As brechas cársticas são caracterizadas por uma matriz arenosa envolvendo clastos de dolomito maciços ou de fragmentos de brecha cimentada (Figura 17).

Os corpos cársticos ocorrem geralmente em cavidades (quando desenham uma geometria irregular, como bolsões) ou fraturas que estão perpendiculares ou oblíquas ao plano de acamamento de dolomito maciços. Esses dolomitos por vezes contem fragmentos de brechas cimentadas. Os blocos de brecha sucedem em variadas dimensões, têm extensão máxima de 1,5 m e até 8 m de espessura, a depender da abertura das fraturas; aparecem também como blocos rolados com até 1 m de diâmetro.

O contato entre os corpos cársticos e os dolomitos é brusco e por as fraturas estarem, na maioria das vezes, dispostas paralelamente umas às outras há uma intercalação entre as fraturas preenchidas por brechas e os dolomitos maciços.

O arcabouço da brecha cárstica é suportado pela matriz na proporção de 40% de clastos e 60% de matriz, classificada como brechas caótica. Ambos, clastos e matriz têm cor cinza clara, embora seja notável um tom de cinza mais escuro nos clastos, referente à capa de alteração intempérica superficial.

Figura 18 – Clastos de dolomito maciço envolvido em matriz arenosa. Mineração Ecoplan.

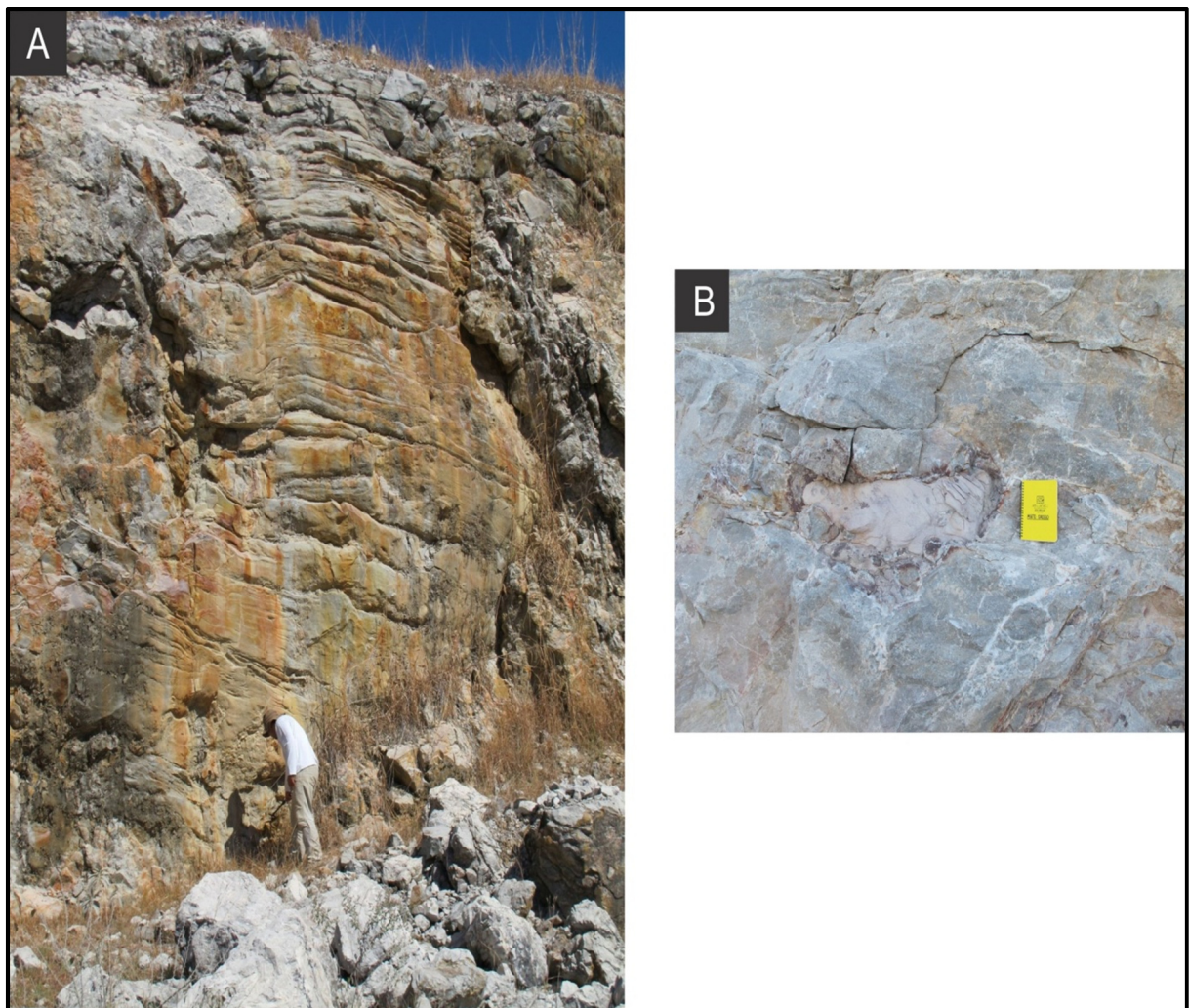


Os clastos ocorrem de duas formas: A) são fragmentos de brecha cimentada (onde se observam os clastos dolomíticos ainda cimentados) cujo tamanho dos clastos varia de pequenos blocos centimétricos até blocos métricos (megabrecha); B) são clastos dolomíticos, medindo em média quatro centímetros, com baixa seleção, prismáticos e angulares, e estão

fraturados. A matriz das brechas cársticas é arenosa, composta por grãos de quartzo de granulometria fina, bem selecionados, bem arredondados (Figura 18).

Associados às brechas cársticas estão fissuras e cavidades preenchidas por arenito. Ressalta-se a presença de dique arenoso em um dos afloramentos onde as brechas cársticas são mais proeminentes. Mede aproximadamente 1,5m de comprimento e 8 m de espessura, essa estrutura é composta por arenito de granulação fina, semelhante àquele presente como matriz nas brechas cársticas. Internamente ao dique ocorrem feições de sobrecarga, onde os estratos exibem um aspecto “amarrotado” (Figura 19).

Figura 19 – A) Dique arenoso limitado por brechas cársticas e B) feição de preenchimento em dolomitos com vênulas. Mineração Ecoplan.



4. DISCUSSÃO

As diferentes brechas carbonáticas identificadas na região de Nobres comportam três gêneses distintas: A) Hidrofraturamento, que atingiu as brechas cimentadas, após a litificação dos dolomitos; B) Brechação induzida por ondas, restrita às brechas com matriz, penecontemporânea à sedimentação e C) Dissolução cárstica, causa das brechas cársticas.

4.1 HIDROFRATURAMENTO

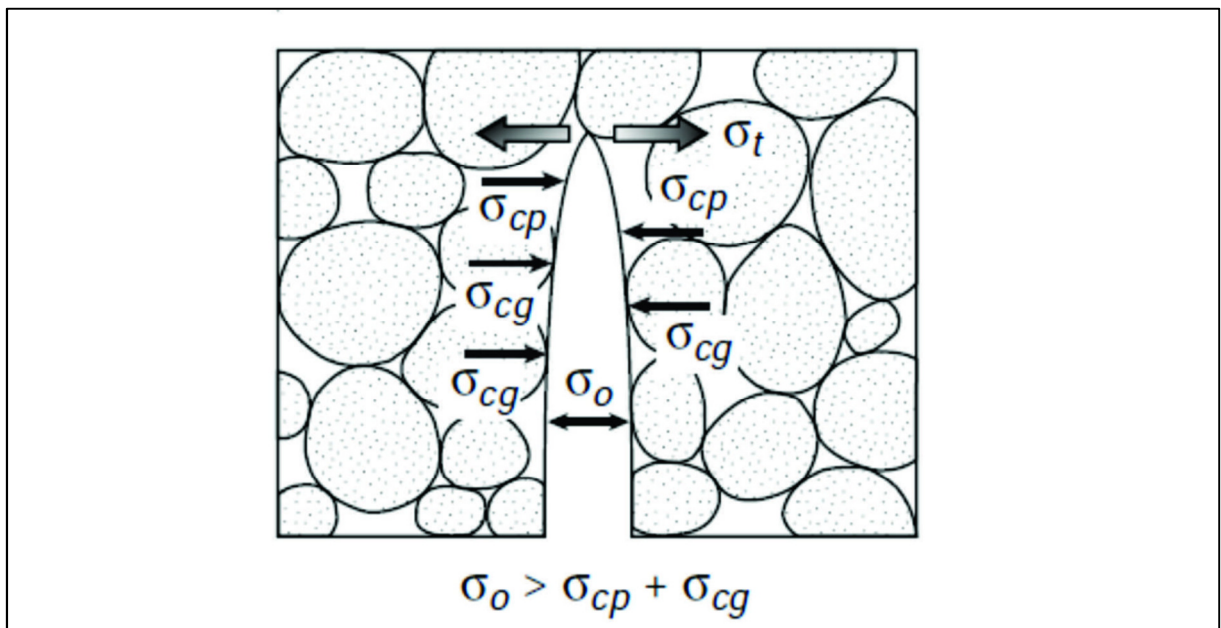
Sugere-se que o mecanismo de formação dessas brechas é o fraturamento hidráulico, onde variações temporais na pressão do fluido hidrotermal levaram à fragmentação dos dolomitos e geração de zonas brechadas.

As evidências de que a origem das brechas cimentadas é hidrotermal provém de dados isotópicos (análises de isótopos C e O) obtidos por Alves (2010) no cimento que envolve as brechas cimentadas da Formação Serra do Quilombo. As análises apontaram para um sinal isotópico de fluido gerador secundário, decorrente da percolação de solução hidrotermal. Os valores dos isótopos de O, característicos de dolomitas hidrotermais, sugerem fluido com temperatura superior a 150°C.

A presença de brechas hidrotermais conjugada com uma profusão de veios é associada por Jébrak (1997) a uma brechação assistida por fluido (*fluid-assisted brecciation*). A formação das fraturas e a movimentação dos fragmentos podem ser divididas em dois processos: *fraturamento hidráulico* e *fraturamento crítico*.

O fraturamento hidráulico está relacionado com o aumento da pressão de um sistema de fluidos em subsuperfície (Figura 20). A elevação da pressão supera a resistência da rocha encaixante e a componente de tensão mínima do regime litostático. O fluido se distribui por um sistema de fraturas que se propaga antes de a resistência da rocha ser totalmente rompida. Há então o quebramento rúptil devido à sobrepressão do fluido e a redução da pressão efetiva na rocha. Grande parte dos fraturamentos hidráulicos é gerada em regime extensional, muito embora possam ocorrer em sistema compressivo (JÉBRAK, op. cit.).

Figura 20 – O aumento de uma fratura acontece quando a tensão de abertura (σ_o), devida à pressão do fluido na fratura, excede a tensão de fechamento (σ_c), a qual é a soma de σ_{cp} , onde um poro está em contato com a fratura e σ_{cg} , a tensão de fechamento, onde um grão está em contato com a fratura.



Fonte: Pluijm e Marshak (2004).

O fraturamento crítico ocorre após o equilíbrio entre a pressão do fluido e a tensão da rocha, e pode ser destruído pelo fraturamento hidráulico. Há diminuição na pressão do fluido devido ao aumento da conectividade entre as fraturas durante o fraturamento hidráulico. Qualquer aumento na porosidade do sistema provocará a descompressão e instabilidade na rocha encaixante (JÉBRAK, 1997).

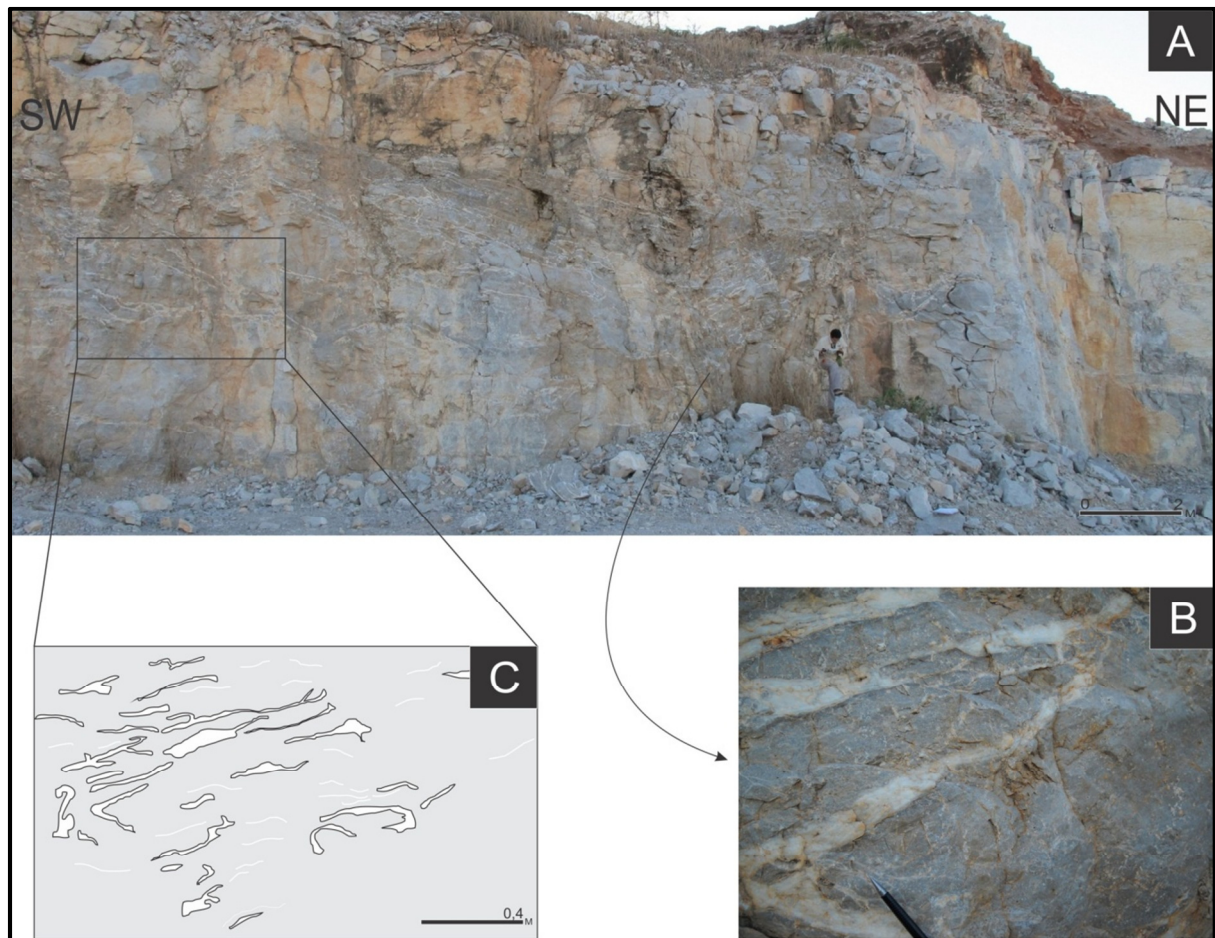
As texturas caótica (onde não há qualquer ajuste entre os clastos adjacentes) e mosaico (pouca rotação dos fragmentos, com algum ajuste entre eles) que ocorrem nas bancadas da Mineração Ecoplan estão intimamente ligadas aos dois processos de fraturamento. Ambos geram texturas de fragmentação (Figura 21) *in situ* com pouca rotação dos fragmentos (brecha mosaico), no entanto o fraturamento crítico comporta uma maior mobilidade dos clastos, porque geralmente os fragmentos colapsam imediatamente após a fragmentação (brecha caótica). A ausência de rotação indica que o fraturamento crítico não ocorreu intensivamente; o pulso que injetou o fluido foi efêmero e insuficiente para abrir espaço através da rocha (JÉBRAK, op. cit.).

Figura 21 – Seção esquemática de zonas brechadas – brechas hidrotermais – em acumulações dispersas. Em detalhe arranjo geométrico dessas zonas, onde clastos e cimento configuram uma textura caótica.



Os veios e as zonas brechadas na maioria das vezes seguem o plano de acamamento dos dolomitos (sub-horizontal) semelhante a *sills*. Segundo Jébrak (1997) essa é uma característica da brechação assistida por fluido: a percolação por planos de discontinuidades pré-existent, devido à relativa baixa quantidade de energia necessária para provocar o hidrofraturamento. Isso pode explicar a maior quantidade de zonas brechadas (Figura 21) nas cotas topográficas mais baixas da Mineração Ecoplan e EMAL, onde há maior dissipação de energia para provocar quebramentos, enquanto que nos estratos mais elevados predominam vênulas impulsionadas por energia residual (Figura 22). Essa particularidade também influi na angularidade dos clastos, o maior arredondamento das bordas dos fragmentos implica em uma maior energia de brechação. Aydin (2000) afirma que fraturas formadas por fraturamento hidráulico podem ser verticais (diques) ou horizontais (*sills*), ou a combinação dos dois tipos, a depender da interação entre o estado de tensão e a pressão de fluido que conduz ao fraturamento.

Figura 22 – A) Frente de mina onde predominam veios e vênulas, onde as brechas estão restritas ou ausentes. Veios e vênulas são aproximadamente paralelos ao acamamento dos dolomitos maciços em foto e desenho esquemático (B e C). Mineração Ecoplan.



Os veios e vênulas (Figura 22) que ocorrem conjuntamente com as brechas, tanto na Mineração Ecoplan quanto EMAL, foram preenchidos pelo mesmo material que compõe o cimento daquelas rochas – dolomita e quartzo. Em lâmina delgada esses minerais apresentam-se como um mosaico granular e, também com uma configuração em forma de blocos (*blocky*), típica de cimento tardio que preenche cavidades (FLÜGEL, 2004). A ocorrência de cristais com essas características indica que antes da precipitação mineral o veio era uma cavidade aberta (fratura). Isso denota que a pressão do fluido foi grande o suficiente para manter a fratura aberta e permitir a deposição dos minerais precipitados do fluido (PLUIJM; MARSHAK, 2004).

Em algumas das zonas brechadas situadas na Mineração Ecoplan foram observados microveios internos e ao longo de veios mais espessos. Isso indica um processo de

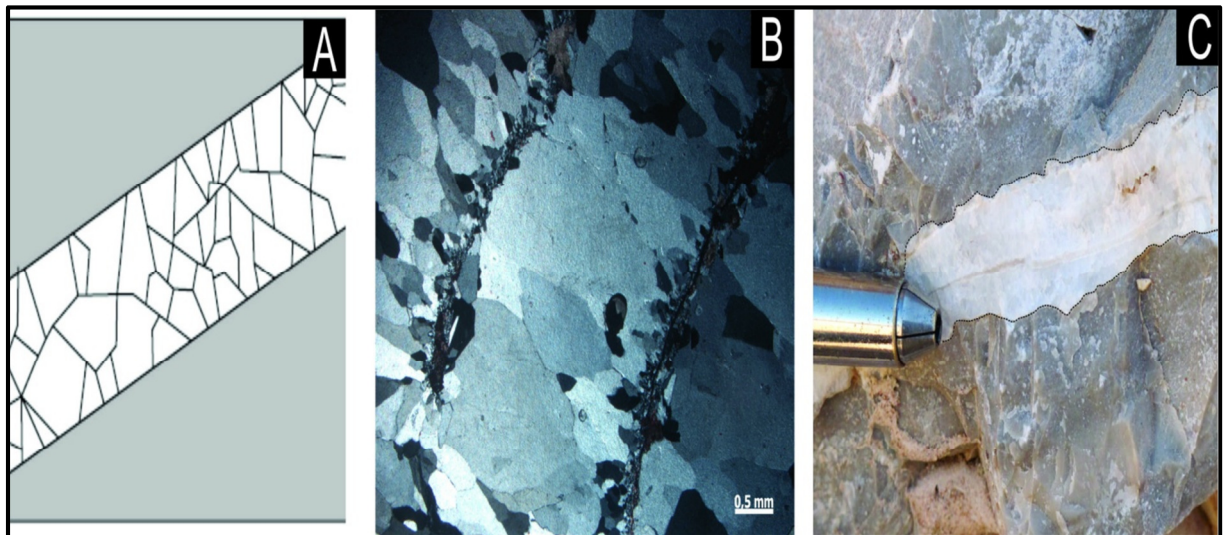
preenchimento de veios por *crack-seal*. São duas gerações de veios, ou diferentes pulsos de injeção de fluido (Figura 23).

A primeira geração, de maior espessura, percolou através de fraturas nos dolomitos pelo processo de fraturamento hidráulico. Quando houve a diminuição da pressão do fluido, a pressão exercida pelos dolomitos encaixantes fez diminuir a solubilidade da solução percolante, composta de quartzo e dolomita, de forma que esta precipitou e selou as fissuras.

A segunda geração, de menor espessura, indica que após o selamento do primeiro veio permaneceram tensões no interior deste. Quando se atingiu uma tensão crítica houve um fissuramento e uma nova infiltração de fluido composto por quartzo. Mais uma vez a solução precipitou e selou as fissuras.

Ramsey (1980) afirma que a periodicidade no mecanismo *crack-seal* sugere um processo de venulação induzido por fraturamento hidráulico, sob mudanças cíclicas na pressão da solução.

Figura 23 – Mecanismo de preenchimento *crack-seal*. A) Desenho esquemático de veio preenchido com cristais em forma de bloco B) Microfotografia de veio de quartzo em bloco com segunda geração de preenchimento representada em duas linhas paralelas de cristais menores. C) Em afloramento, veio com discreta linha interna que representa a segunda geração de preenchimento.



Fonte: Figura 23 -A) Pluijm e Marshak (2004).

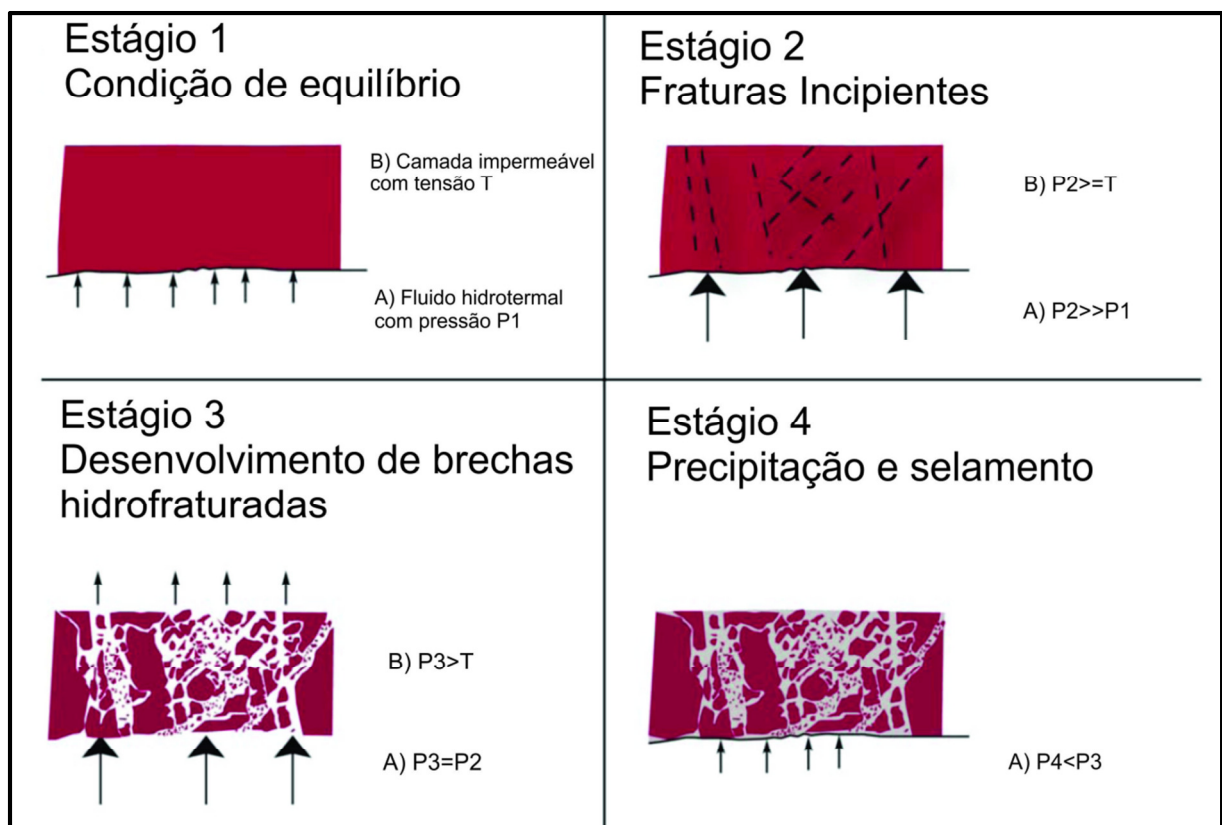
4.1.1 Modelo

A evolução das brechas cimentadas guarda em si um comportamento cíclico – compreendido tanto dos mecanismos de fraturamento hidráulico e crítico, quanto do processo de preenchimento *crack-seal* – que pode ter sido iniciado com a obstrução de fraturas pela

precipitação de minerais do fluido hidrotermal. Isso causou o acúmulo da pressão do fluido e iniciou uma nova fase de fraturamento hidráulico. No que toca ao preenchimento dos veios, o processo *crack-seal* tem mecanismo semelhante aos de fraturamento, porém opera em uma magnitude menor.

O modelo aqui sugerido para as brechas cimentadas que ocorrem nas minerações Ecoplan e EMAL comporta quatro estágios de desenvolvimento, que podem se repetir ciclicamente, onde se pressupõe que havia um gradiente de pressão de fluido vertical, consistente com a direção de fraturas e parte dos veios e vênulas, posteriormente o fluido se infiltrou pelos planos de acamamento da rocha encaixante (sub-horizontal) (Figura 24).

Figura 24 – Quatro estágios de desenvolvimento das brechas hidrotermais, que se iniciaram em uma condição de equilíbrio com a pressão do fluido é menor do que resistência mecânica da rocha. Com o aumento da pressão do fluido apareceram fraturas incipientes ao passo que a pressão do fluido se igualou à tensão de resistência dos dolomitos. O desenvolvimento das brechas ocorreu quando a pressão do fluido excedeu a resistência rúptil da rocha (hidrofraturamento) e produziu fragmentos angulares. O último estágio aconteceu com a diminuição da pressão do fluido que permitiu a precipitação dos cristais de dolomita e quartzo que selaram os veios.



Fonte: Modificado de Cas *et al.* (2011).

Estágio 1 – uma determinada pressão do fluido (P_1) de intensidade menor do que a resistência dolomitos maciços entrou em contato com essa rocha.

Estágio 2 – a pressão do fluido (P_2) aumentou até igualar ou exceder a resistência dos dolomitos maciços, o aumento da pressão do fluido pode ser relacionado ao aumento da atividade hidrotermal.

Estágio 3 – zonas de brechas hidrotermais e uma profusão de veios foram gerados por fraturamento hidráulico e crítico, ao longo de fraturas e dos planos de acamamento dos dolomitos, quando a pressão (P_3) excedeu a resistência da rocha. Com isso houve maior conectividade das fraturas e aumento da permeabilidade na rocha o que causou uma queda na pressão do fluido.

Estágio 4 – a diminuição da pressão do fluido (P_4) permitiu a precipitação dos cristais em forma de bloco de quartzo e dolomita que conduziram ao selamento das fraturas e à diminuição da porosidade das brechas (*crack-seal*).

4.2 BRECHAÇÃO INDUZIDA POR ONDAS

Os esparsos pacotes de brechas sinsedimentares identificados na Mineração EMAL, ocorrem somente na maior cota topográfica dessa mina (250 m), onde veios e vênulas quartzo-dolomíticos são escassos e predominam os dolomitos maciços. A passagem dos dolomitos maciços para as brechas com matriz é brusca, sem qualquer zona de transição.

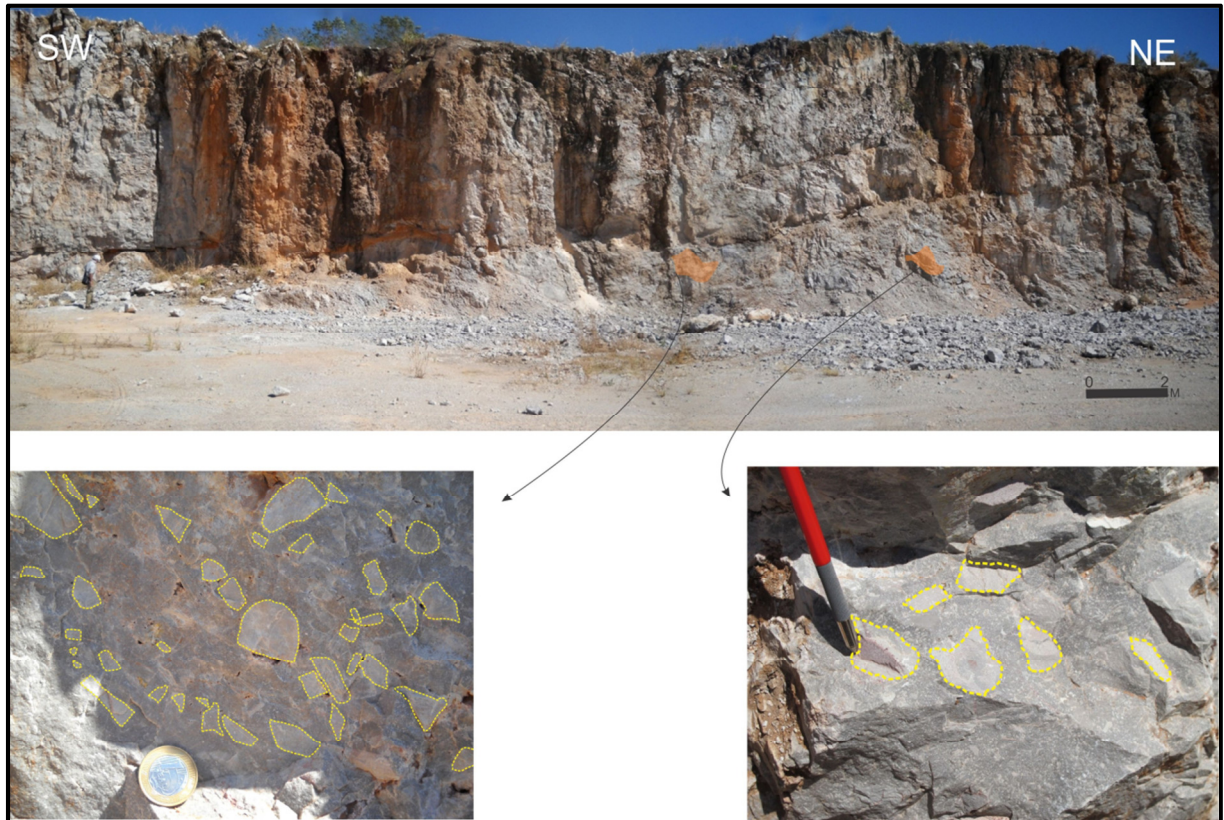
Nessas brechas ocorrem por vezes oóides juntamente com a matriz, algo incomum, pois oóides representam ambiente de alta energia e a lama o oposto, ambientes de baixa energia. Uma possível explicação para isso seria a ação de tempestades em um ambiente de baixa energia (SCHOLE; ULME-SCHOLE, 2003). Essa possibilidade é considerada, pois a porção superior da Formação do Quilombo, onde estão as brechas sinsedimentares, sofreu a influência de tempestades (NOGUEIRA; RICCOMINI, 2006).

A transição brusca entre dolomitos maciços e as brechas é indicativa de brechação *in situ*. Este fato foi atestado por Alves (2010) através da análise isotópica de C e O nas brechas com matriz da Formação Serra do Quilombo, cujo sinal apontou um caráter primário, ou seja, clasto e matriz foram depositados conjuntamente.

Sugere-se que houve brechação *in situ* induzida por ondas (*water-wave induced deformation*) que retrabalharam o fundo oceânico e consequentemente deformaram os dolomitos maciços (Figura 25). Tempestades são os prováveis agentes responsáveis por ondas de superfície atingirem sedimentos depositados em regiões profundas da plataforma

carbonática. O retrabalhamento e a redeposição dos clastos foram penecontemporâneos, daí a denominação brecha sinsedimentar (FLÜGEL, 2004).

Figura 25 – As brechas ocorrem em acumulações descontínuas e de pouca extensão, onde os clastos estão dispostos caoticamente sobre uma matriz fina.



Eventos de tempestade produzem ondas de grandes dimensões que afetam regiões profundas da plataforma e estão associados a estruturas como estratificações cruzadas *hummocky*. Essa estrutura foi identificada nas proximidades do afloramento onde estão os bolsões de brecha sinsedimentar; têm até 3m de comprimento com e amplitude de 0,5m. Nogueira e Riccomini (2006) descreveram essa estrutura na região de Cáceres associada a brechas com matriz da formação Serra do Quilombo, confirmando a influência de tempestades em uma plataforma carbonática com conexão oceânica.

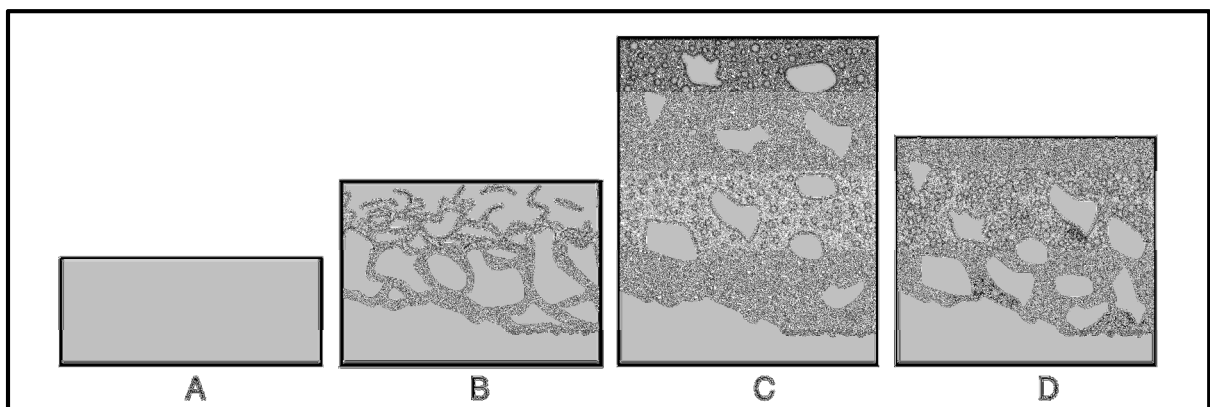
As ondas de tempestade provocaram uma movimentação lateral na interface água-sedimento e, também, abaixo desta superfície; a cada ciclo de onda, a movimentação lateral provocou uma deformação no arcabouço do sedimento carbonático e variação no seu volume. Os grãos foram rotacionados e movimentados. Com a atividade cíclica das ondas a pressão da água sobre os poros (*pore pressure*) se igualou à pressão confinante e o sedimento

carbonático perdeu a coesão. Essa perda de coesão resultou na liquefação localizada do sedimento, representada pelos clastos na brecha (Figura 26).

A deformação de sedimentos por carga induzida (*induced loading*) pode ser iniciada tanto pela indução de ondas quanto pela indução sísmica (BOUCHETTE; SÉGURET; MOUSSINE-POUCHKINE, 2001). Nos dois casos, a fragmentação da rocha é causada pela tensão cisalhante cíclica, que aumenta progressivamente a pressão do fluido nos sedimentos abaixo do fundo oceânico. No entanto, não foram encontradas estruturas que resultassem de indução sísmica, nem em campo, nem na literatura sobre a área.

Os resultados do modelamento mecânico de Bouchette; Séguret e Moussine-Pouchkine (op. cit.) do processo de brechação indicaram que fortes cargas induzidas por onda podem provocar o retrabalhamento de um pacote de 40m de sedimentos durante um único evento.

Figura 26. Modelo de evolução das brechas sinsedimentares segundo Bouchette ; Séguret e Moussine-Pouchkine (2001) . A) A influência cíclica das ondas (*water-wave loading*) mobiliza pequenos núcleos de *mudstone* coesos. B) O resultado é uma rede de fissuras e zonas de microclastos e sedimentos liquefeitos. C) Quando um número suficiente de fissuras se conecta, clastos de formas irregulares são gerados; se a intensidade das ondas é forte o material é retrabalhado e forma uma mistura feita de clastos, partículas carbonáticas e água. D) À medida que a influência das ondas diminui a mistura se deposita.



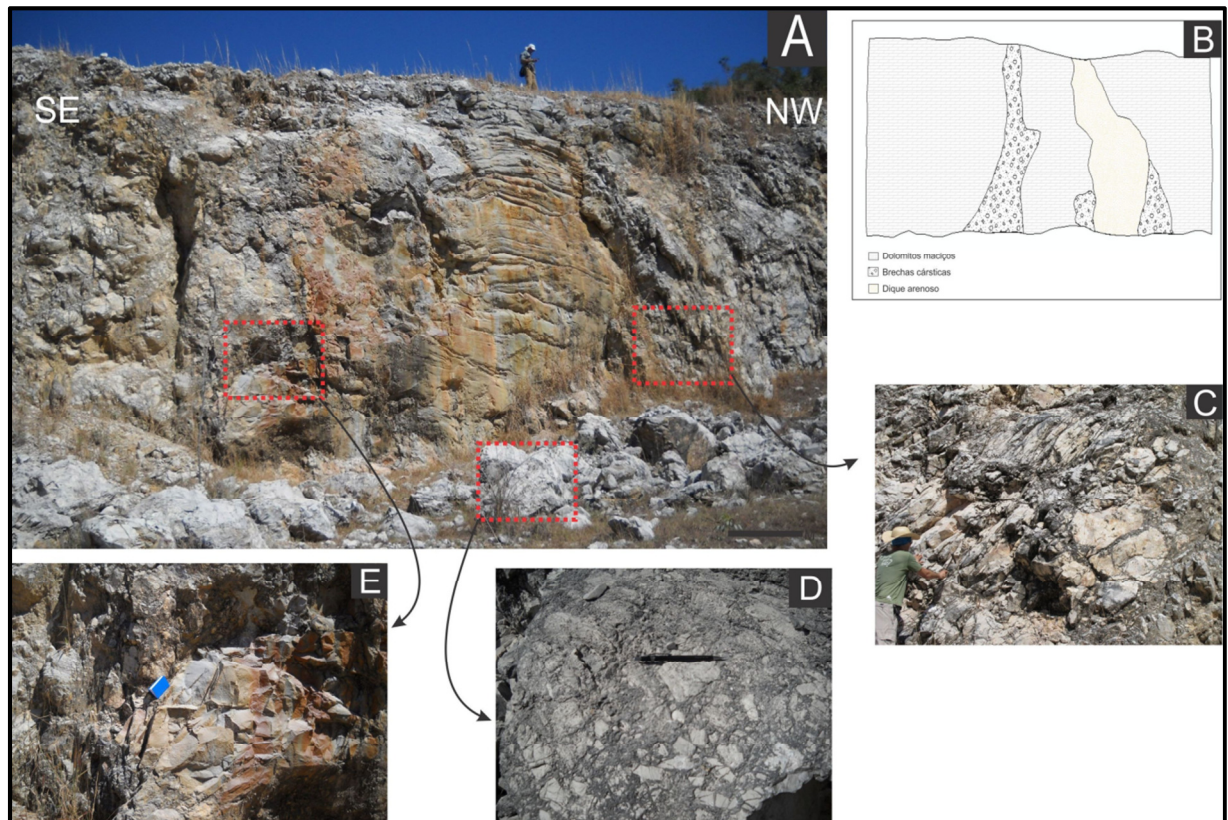
Fonte: Bouchette; Séguret; Moussine-Pouchkine (2001).

4.3 DISSOLUÇÃO CÁRSTICA

As brechas cársticas que ocorrem nas minerações Ecoplan e Cuiabá apresentam uma matriz arenosa que une clastos tanto de dolomitos maciços quanto de fragmentos de brecha cimentada; isso atesta que a formação desse tipo de brecha foi posterior ao das brechas

cimentadas. Associada às feições brechóides estão fissuras preenchidas por arenito. Com esse panorama, inferiu-se que as brechas foram formadas por processos cársticos (Figura 27).

Figura 27 – Frente de mina com brechas cársticas e dique arenoso e sua representação esquemática (A e B). As brechas são compostas com fragmentos centimétricos a métricos tanto de brechas cimentadas quanto de dolomitos maciços (C e D). O dique arenoso está intercalado com as brechas cársticas e forma um contato abrupto com essas rochas (E). Mineração Ecoplan.



Carste é um termo aplicado a terrenos com formas de relevo distintas e sistemas de drenagem subterrâneos, que se formam através da dissolução de certos tipos de rocha em água, especialmente carbonatos.

O grau de solubilidade da rocha e abundância de água são os fatores principais para o desenvolvimento de carstes. Rochas altamente porosas raramente suportam feições cársticas, que são favorecidas por baixa porosidade e permeabilidade secundária, na forma de fraturas, que servem de condutos para a drenagem. O processo básico de dissolução cárstica envolve a dissociação iônica. A adição de íons H^+ aumenta a taxa de dissociação de carbonato e até mesmo ácidos fracos se tornam solventes eficientes (SIMMS, 2004).

O clima úmido favorece a dissolução de plataformas carbonáticas expostas durante o recuo do mar. Água da chuva carregada com CO_3 penetra em fissuras e espaços vazios

criando uma paisagem cárstica, com marmitas, cavernas, dolinas e drenagem subterrânea. Duas das feições indicativas de exposição subaérea de carbonatos são: brechas cársticas intraformacionais e preenchimentos de fissuras (FLÜGEL, 2004).

O processo de dissolução de carbonato leva a formação de cavidades que podem ser preenchidas por fragmentos das paredes da rocha dissolvida, ou por sedimentos exóticos. Quando fragmentos da parede colapsam em uma cavidade, eles podem ser unidos por material trazido pela água – carbonático ou siliciclástico – formando uma brecha cárstica intraformacional. As brechas cársticas que ocorrem na Mineração Ecoplan têm como características: matriz arenosa, clastos angulares de dolomitos maciços e brechas cimentadas e seleção pobre; além da geometria irregular de preenchimento, são compatíveis com as brechas de colapso que formaram desde microbrechas a megabrechas. Blocos rolados de megabrechas foram encontrados também na Mineração Cuiabá.

Na mineração Ecoplan foram identificadas várias fissuras preenchidas que formam intercalações com o dolomito maciço. Os preenchimentos são por brechas cársticas como descritas anteriormente e o mais significativa é o dique de arenito limitado por pacotes de brechas cársticas. Fissuras de preenchimento são formadas pelo preenchimento passivo de cima para baixo de fissuras e fraturas. Essa feição ocorre onde fraturas se formaram devido à atividade sísmica ou onde a dissolução possibilitou a abertura de fraturas durante o processo de intemperismo cárstico (NICHOLS, 2009).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho caracterizou as brechas dolomíticas da Formação Serra do Quilombo, baseado nos seus atributos texturais, classificando-as quanto a sua gênese e propôs possíveis mecanismos que levaram ao desenvolvimento dessas rochas.

A partir do mapeamento das brechas aflorantes em bancadas de mina e sua correspondente descrição petrográfica foi possível indicar a natureza de cada tipo de brecha. Com o suporte da literatura sobre mecanismos de formação de corpos brechados e das informações geológicas da região, se considerou os diferentes processos geológicos aos quais essas rochas foram submetidas e se sugeriu três modos pelos quais as brechas podem ter se originado.

Foram identificados três tipos de brechas dolomíticas: cimentada ou hidrotermal, sinsedimentar e cárstica.

As **brechas cimentadas** são compostas por clastos dolomíticos e cimento quartzo-dolomítico, têm origem hidrotermal e apresentam graus variáveis de brechação. Nas cotas topográficas mais baixas as zonas brechadas são mais intensas e acompanhadas de veios, há maior quantidade de clastos pequenos envolvidos pelo cimento; aqui a textura caótica é dominante. À medida que aumenta a cota topográfica, diminui a intensidade da brechação. Os clastos se tornam maiores, predomina a textura mosaico e há abundância de vênulas.

Sugere-se como mecanismo de formação das brechas hidrotermais o fraturamento hidráulico. O aumento da pressão de fluidos hidrotermais que estavam em contato com os dolomitos maciços fez com essa se igualasse a resistência rúptil da rocha, isso provocou a propagação de fraturas abaixo do limite de resistência da rocha. Quando essa pressão de fluido excedeu a resistência do dolomito houve o quebramento rúptil da rocha e geração de brechas. Com a diminuição da pressão do fluido, os minerais contidos na solução precipitaram e selaram os veios e cimentaram os clastos.

As **brechas sinsedimentares** formam um conjunto composto por matriz e clastos dolomíticos, suportados pela matriz. Supõe-se sua origem a partir do retrabalhamento do fundo oceânico por ondas de tempestade. A movimentação lateral gerada a cada ciclo de ondas provou uma deformação no arcabouço do sedimento e variação no seu volume. Essa atividade cíclica acabou por se igualar a pressão do fluido à pressão confinante do sedimento, até que os contatos entre os grãos foram perdidos e o arcabouço original destruído.

As **brechas cársticas** são compostas por uma matriz arenosa com clastos que ou são fragmentos de brecha cimentada ou de dolomito maciço. Sua gênese possivelmente está

relacionada com a exposição dos dolomitos, brechados ou não, a agentes intempéricos. A dissolução da rocha originou cavidades e fraturas que foram preenchidas por: brechas cársticas formadas por dolomitos maciços ou blocos de brecha cimentada, ambos envolvidos em uma matriz arenosa; e por sedimentos siliciclásticos.

A condição das brechas hidrotermais como condutos de migração de fluidos não foi satisfeita. O mecanismo de *crack-seal* acabou por selar com minerais contidos na solução hidrotermal os possíveis caminhos por onde os fluidos migrariam. No entanto, em um sistema petrolífero a Formação Serra do Quilombo poderia se posicionar como rocha selante desde que nas rochas subjacentes haja geradoras, bem como rochas reservatório.

Recomenda-se a investigação da dinâmica de migração do fluido que originou o cimento, veios e vênulas da brecha cimentada. Isso esclareceria as causas que levaram ao aumento da pressão do fluido responsável pelo mecanismo de fraturamento hidráulico.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. J. et al. The Amazonia palaeocontinent. *Developments in Precambrian Geology*, Hungary: Elsevier, v. 16, p. 15-28, 2010.
- ALVARENGA, C. J. S.; TROMPETTE, R. Evolução tectônica brasileira da Faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, v. 1, n. 23, p. 18-30, mar. 1993.
- ALVES, I. H. C. *Classificação e origem de brechas carbonáticas: implicação na acumulação de hidrocarbonetos*. 2010. (Relatório Técnico-Científico).
- AYDIN, A. Fracture, faults and hydrocarbons entrapment, migration and flow. *Marine and Petroleum Geology*, v. 17, p. 797-814, 2000.
- BOUCHETTE, F; SÉGURET, M.; MOUSSINE-POUCHKINE, A. Coarse carbonate breccias as a result of water-wave cyclic loading (uppermost Jurassic – South East Basin, France). *Sedimentology*, v. 48, p. 767-789. 2001.
- CAS, R. et al. Hydrothermal breccia textures and processes: Lisca Bianca Islet, Panarea Volcano, Aeolian Islands, Italy. *Economic Geology*, v. 106, p. 437-450, 2011.
- FLÜGEL, E. *Microfacies of carbonate rocks*. Germany: Springer, 2004.
- JÉBRAK, M. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, v. 12, p. 111-134. 1997.
- LACERDA FILHO et al. (Org.). *Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso*. Goiania: CPRM, 2004.
- LIMA, T. M. et al. *Avaliação de rochas calcárias e fosfatadas para insumos agrícolas do Estado de Mato Grosso*. Cuiabá: CRPM, 2008.
- NICHOLS, G. *Sedimentology and stratigraphy*. 2nd Ed. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009.
- NOGUEIRA, A. C. R.; RICCOMINI, C. O Grupo Araras (Neoproterozóico) na parte norte da Faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 4, n. 36, p. 576-587, dez. 2006.
- PLUIJM, B. A.; MARSHAK, S. *Earth Structure*. 2nd Ed. USA: W.W. Norton & Company, 2004.
- RAMSEY, J. G. *The techniques of modern Structural Geology*. Oxford: Academic Press, 1980. v. 2, folds and fractures.
- SCHOLE, P. A.; ULME-SCHOLE, D. S. *A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis*. Canada: APPG, 2003.

SIBSON, R. H. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society*, v. 133, p. 191-213. 1977.

SIMMS, M. J. Karst and palaeokarst. In: SELLEY, R. C.; COCKS, R.; PLIMER, I (Eds.). *Encyclopedia of geology*. Oxford: Academic Press, 2004. p. 675-676.

SOUZA, E. J. *Tectônica e Estratigrafia da porção central da Faixa Paraguai Norte, Neoproterozóico da Região*. 2012. Dissertação – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

WOODCOCK, N. H.; MORT, K. Classification of fault breccia and related fault rocks. *Geological Magazine*, v. 3, n. 145, p. 435-440, 2008.

WOODCOCK, N. H.; OMMA, J. E.; DICKSON, J. A. D. Chaotic breccia along the Dent Fault, NW England: implosion or collapse of a fault void?. *Journal of the Geological Society*, v. 163, p. 431-446, 2006.

ANEXO

ANEXO A

Coordenadas	Ponto	Mineração	Brecha
569271 / 8367517	PCH-01	ECOPLAN	CIMENTADA
574833 / 8378855	PCH-02	CUIABÁ	CÁRSTICA
569253 / 8367232	PCH-03	ECOPLAN	CIMENTADA
569255 / 8367401	PCH-04	ECOPLAN	CIMENTADA
569273 / 8367540	PCH-05	ECOPLAN	CIMENTADA
569490 / 8367516	PCH-06	ECOPLAN	CIMENTADA
569490 / 8367516	PCH-07	ECOPLAN	CÁRSTICA
569506 / 8367561	PCH-08	ECOPLAN	CÁRSTICA
569112 / 83637093	PCH-09	ECOPLAN	CIMENTADA
570224 / 8369633	PCH-10	EMAL	SINSEDIMENTAR
570280 / 8369633	PCH-11	EMAL	CIMENTADA
570280 / 8369690	PCH-12	EMAL	CIMENTADA
570517 / 8369553	PCH-13	EMAL	CIMENTADA
570559 / 8369547	PCH-14	EMAL	CIMENTADA