



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA – CT

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – CCET

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
PETRÓLEO - PPGCEP



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PETROLOGIA DAS FRATURAS ASSOCIADAS A FEIÇÕES TÍPICAS DE
DISSOLUÇÃO HIPOGÊNICA NA FORMAÇÃO SALITRE, BACIA DE IRECÊ,
BAHIA-BRASIL**

Cristiane Paulino de Menezes Santos

Orientadora: Prof. Dra. Marcela Marques Vieira

Natal / RN, julho de 2015

**PETROLOGIA DAS FRATURAS ASSOCIADAS A FEIÇÕES TÍPICAS DE
DISSOLUÇÃO HIPOGÊNICA NA FORMAÇÃO SALITRE, BACIA DE IRECÊ,
BAHIA-BRASIL**

Cristiane Paulino de Menezes Santos

Natal / RN, julho de 2015

Seção de Informação e Referência
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Cristiane Paulino de Menezes.

Petrologia das fraturas associadas a feições típicas de dissolução hipogênica na Formação Salitre, Bacia de Irecê, Bahia, Brasil / Cristiane Paulino de Menezes Santos. – Natal, RN, 2015.

469 f.

Orientadora: Marcela Marques Vieira

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo.

1. Rochas Carbonáticas – Dissertação. 2. Reservatórios Carbonáticos – Dissertação. 3. Diagênese – Dissertação. 4. Fraturas em Carbonatos – Dissertação. I. Vieira, Marcela Marques. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 552.54

Cristiane Paulino de Menezes Santos

**PETROLOGIA DAS FRATURAS ASSOCIADAS A FEIÇÕES TÍPICAS DE
DISSOLUÇÃO HIPOGÊNICA NA FORMAÇÃO SALITRE, BACIA DE IRECÊ,
BAHIA BRASIL.**

Dissertação de Mestrado
apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Petróleo
PPGCEP, da Universidade
Federal do Rio Grande do
Norte, como requisito disciplinar
obrigatório.

Aprovado em 05 de maio de 2015.

Prof^a. Dra. Marcela Marques Vieira
Orientadora – UFRN

Prof^a. Dra Maria Osvalneide Lucena
Membro Interno - UFRN

Prof. Dr. Narendra Kumar Srivastava
Membro Externo ao Programa - UFRN

MENEZES, C. P. - Petrologia Das Fraturas Associadas A Feições Típicas De Dissolução Hipogênica Na Formação Salitre, Bacia De Irecê, Bahia-Brasil. Exame de qualificação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Área de Concentração: Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo. Linha de Pesquisa: Engenharia e Geologia de Reservatórios de Exploração de Petróleo e Gás Natural, Natal – RN, Brasil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Marcela Marques Vieira

RESUMO

O reconhecimento dos reservatórios cársticos em rochas carbonáticas tornou-se cada vez mais comum. No entanto, a maioria das feições cársticas são pequenas para serem reconhecidas em seções sísmicas ou maiores do que o esperado para serem investigadas com os dados de poços. Um caminho a seguir tem sido o estudo de afloramentos análogos e cavernas. O presente estudo investiga litofácies e processos cársticos, que levaram à geração do maior sistema de cavernas da América do Sul. A área de estudo situa-se no norte do Município de Campo Formoso-BA, no contexto geológico da Formação Salitre, Grupo Una, que corresponde às coberturas neoproterozoicas da Bacia de Irecê. Esta unidade dispõe de um sistema de cavernas, em rochas carbonáticas, que incluem as cavernas da Toca da Boa Vista e Toca da Barriguda, consideradas as maiores cavernas da América do Sul. Estas cavernas foram formadas principalmente em dolomitos da Formação Salitre, que foram depositados em um mar epicontinental raso. A Formação Salitre na área da caverna compreende camadas de *mudstones/wackestones*, *grainstones* intraclásticos, *grainstones* oncolíticos, *grainstones* oolíticos, laminitos microbiais, estromatólitos colunares, trombolitos e rochas siliciclásticas finas (margas, folhelhos e siltitos). Uma camada fina e nódulos de sílex também ocorrem na parte superior da unidade de carbonato. Os dados preliminares indicam que as dobras e as juntas associadas controlam o principal evento de carstificação, teriam ocorrido no final da Orogenia Brasileira (740-540 Ma). Foram reconhecidas cinco litofácies principais no sistema de cavernas: (1) camadas inferiores de *grainstone* com estratificação cruzada, as quais constituem a principal unidade afetada pela espeleogênese, (2) *grainstone* fino com intercalações de siltito, (3) laminito microbiano, (4) estromatólitos colunares, e (5) camada superior composta por siltito. Os níveis de (1) a (3) são os mais afetados pelo intenso fraturamento, enquanto os níveis (4) e (5) apresentam comportamento selante, constituindo o teto da caverna e sofrendo menos fraturamento. Veios preenchidos por chert e calcita atravessam as unidades carbonáticas e desempenham um papel importante na diagênese. Nosso estudo preliminar indica que a espelogenese hipogênica é o principal processo de desenvolvimento cárstico. O estudo das fraturas, sua distribuição em cada litofácies, o material que preenche essas fraturas e sua interação com a rocha encaixante, é muito importante para se entender que tipo de fluido atuou na espeleogênese e como esse processo contribuiu significativamente para a geração de porosidade e permeabilidade secundárias nas unidades de carbonatos.

Palavras-Chaves: Fraturas, Carbonatos, Carste hipogênico, Formação Salitre

ABSTRACT

The recognition of karst reservoirs in carbonate rocks has become increasingly common. However, most karst features are small to be recognized in seismic sections or larger than expected to be investigated with borehole data. One way forward has been the study of analogue outcrops and caves. The present study investigates lithofacies and karst processes, which lead to the generation of the largest system of caves in South America. The study area is located in the Neoproterozoic Una Group in central-eastern Brazil. This province comprises several systems of carbonate caves (Karmann and Sánchez, 1979), which include the Toca da Boa Vista and Barriguda caves, considered the largest caves in South America (Auler and Smart, 2003). These caves were formed mainly in dolomites of the Salitre Formation, which was deposited in a shallow marine environment in an epicontinental sea (Medeiros and Pereira, 1994). The Salitre Formation in the cave area comprises laminated mud/wackestones, intraclastic grainstones, oncogenic grainstones, oolitic grainstones, microbial laminites, columnar stromatolites, thrombolites and fine siliciclastic rocks (marls, shales, and siltites). A thin layer and chert nodules also occur at the top of the carbonate unit. Phosphate deposits are also found. Our preliminary data indicate that folds and associated joints control the main karstification event at the end of the Brasiliano orogeny (740-540 Ma). We recognized five lithofacies in the cave system: (1) Bottom layers of grainstone with cross bedding comprise the main unit affected by speleogenesis, (2) thin grainstone layers with thin siltite layers, (3) microbial laminites layers, (4) layers of columnar stromatolites, and a (5) top layer of siltite. Levels (1) to (3) are affected by intense fracturing, whereas levels (4) and (5) seal the caves and have little fracturing. Chert, calcite and gipsite veins cut across the carbonate units and play a major role in diagenesis. Our preliminary study indicate that hypogenic speleogenesis is the main process of karst development and contributed significantly to the generation of secondary porosity and permeability in the carbonate units.

Keywords: Fractures, Carbonates, Hypogenic Karst, Salitre Formation

SUMÁRIO

Resumo	iv
<i>Abstract</i>	v
Lista de figuras	vii
Agradecimentos.....	x
1 INTRODUÇÃO	
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Localização e Vias de Acesso.....	3
1.4 Metodologia.....	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
2.1 Conceitos.....	12
2.2 Padrões de Cavernas.....	14
2.3 Feições Morfológicas.....	16
2.4 Mecanismos de dissolução.....	17
2.5 Entendimento.....	19
3 ESTADO DA ARTE	
3.1 Contexto.....	21
3.2 Conceito de Diagênese Estrutural.....	21
3.3 Exemplos em Processos Diagenéticos.....	22
3.4 Conclusões.....	26
4 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS	
4.1 Cráton São Francisco.....	27
4.2 Coberturas Meso e Neoproterozóicas.....	28
4.3 Bacia de Irecê.....	29
4.4 Formação Salitre.....	33
5 RESULTADOS	
5.1 Petrografia.....	43
5.2 Petrologia e Evolução Diagenética.....	52
5.3 Análise das Fraturas.....	58
5.4 Petrofísica.....	65
6 CONCLUSÕES	
Conclusões.....	71
Referências bibliográficas	73
7 ANEXOS	81

Índice de Figuras

Figura 1.1	Mapa de localização e contexto geológico da área de estudo.	04
Figura 1.2	Mapa de localização dos pontos visitados na Toca da Boa Vista.	05
Figura 1.3	Mapa de localização dos pontos na Toca da Barriguda.	06
Figura 1.3	Coleta de amostra por meio de plugadeira.	07
Figura 1.4	Amostragem em fratura associada a uma cúpula hipogênica.	08
Figura 1.5	Equipe realizando medidas de diferentes níveis faciológicos.	09
Figura 1.6	Fluxograma com metodologia adotada.	11
Figura 2.1	Principais padrões de cavernas hipogênicas.	14
Figura 2.2	Suíte morfológica de fluxo ascendente.	16
Figura 3.1	Imagem obtida por catodoluminescência exibindo rocha hospedeira e bandas de deformação.	23
Figura 3.2	Imagem exibindo deposição de cimento de quartzo em arenitos.	25
Figura 4.1	Domínios geotectônicos e principais estruturas do Cráton São Francisco.	28
Figura 4.2	Mapa e estratigrafia propostos para a Bacia de Irecê.	30
Figura 4.3	Esquema de um mar epicontinental, contexto em que a Fm Salitre foi depositada.	34
Figura 4.4	Empilhamento estratigráfico proposto por Misi, 1979 para a Fm. Salitre.	35
Figura 4.5	Divisão proposta por Bonfim <i>et al</i> (1985) para a Fm. Salitre.	37
Figura 4.6	Comparativo entre as três principais subdivisões propostas na literatura para a Fm. Salitre.	46
Figura 5.1	Mapa de Localização dos pontos em superfície	43
Figura 5.2	Aspecto dos carbonatos encontrados em superfície (pedreira), onde observam-se feições de retrabalhamento, estilólitos e feições de dissolução.	44
Figura 5.3	Seção colunar tipo proposta para as Tocas da Boa Vista e da barriguda.	45
Figura 5.4	Galeria formada a partir da dissolução em um plano axial de megadobra, indicando controle estrural para a formação da caverna.	46
Figura 5.5	Principais estruturas frágeis observadas nas cavernas	48
Figura 5.6	Feições morfológicas típicas de dissolução hipogênica.	49
Figura 5.7	Localização das zonas correspondentes a cada estágio diagenético.	52

Figura 5.8	Oóides e oncóides micritizados. Na segunda figura, já é possível ver início da recristalização da micrita.	53
Figura 5.9	Figura 5.8 – Resquílios de cimento de calcita fibrosa.	54
Figura 5.10	Neomorfismo evidenciado através da recristalização da micrita presente nos aloquímicos. Observe-se na primeira figura, relíquias de oólitos e na segunda figura, uma imagem obtida por MEV mostrando cristais de calcita.	54
Figura 5.11	Fotomicrografia exibindo estilólito à esquerda e estilólito em imagem obtida por MEV à direita.	55
Figura 5.12	Imagem obtida por MEV, exibindo dissolução através de fratura e de vugs. A última imagem exibe fotomicrografia de um vug começando a ser preenchido por dolomita.	56
Figura 5.13	Processo de dolomitização e em detalhe, cristal de dolomita em sela.	57
Figura 5.14	Cimento de quartzo preenchendo fratura.	57
Figura 5.15	Cimento de calcita e de óxido de ferro preenchendo fratura.	58
Figura 5.16	Fraturas associadas a cúpulas de dissolução hipogênica.	59
Figura 5.17	Amostra coletada em fratura, exibindo grainstone oolítico com intraclastos, grãos ortoquímicos de quartzo. É possível identificar porosidade interpartícula, intrapartícula e vugular. A fratura encontra-se preenchida por opala.	60
Figura 5.18	Fratura com preenchimento removido dissolução telodiagenética e bordas alteradas por óxido de ferro e matéria orgânica.	60
Figura 5.19	Fratura apresentando intenso processo dissolucional. Porosidade interpartícula, móldica e vugular. Borda de fratura alterada por matéria orgânica e óxido de ferro.	61
Figura 5.20	Grainstone oolítico com fratura alterada por matéria orgânica. Grande quantidade de quartzo nas bordas da fratura e um posterior cimento calcítico sendo dissolvido. Intenso processo de dissolução observado.	61
Figura 5.21	Imagem obtida por MEV exibindo desenvolvimento de cristais de dolomita em uma fratura.	62
Figura 5.22	Gráficos produzidos pelos resultados de fluorescência de raios x, mostrando o comportamento de óxidos como CaO, MgO e SiO nas três regiões da fratura.	63
Figura 5.23	Gráfico referente a composição química por cada região da fratura.	64
Figura 5.24	Gráfico exibindo os valores de porosidade distribuídos por fácies.	67

Figura 5.25	Gráfico exibindo valores de porosidade e permeabilidade associadas a zonas de fraturas.	68
Figura 5.26	Gráfico exibindo os tipos de porosidade identificados e sua porcentagem em ocorrência.	68
Figura 5.27	Fotomicrografias exibindo tipos de poros vistos em lâminas delgadas.	69
Figura 5.28	Poros vistos através do MEV. Vuggs, fraturas e interpartícula.	69

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sua misericórdia que se renova diariamente em minha vida. Pois é pela misericórdia dele que o desejo do nosso coração se torna realidade.

Em segundo lugar agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e à Petrobras pela parceria que resultou no desenvolvimento do projeto Porocarste, através do qual este trabalho foi realizado, em que destaco o esforço, organização e dedicação de Maria Osvalneide Lucena Sousa para que as atividades do projeto fossem plenamente desenvolvidas e a simpatia, gentileza e boa vontade de Juliana Rabelo; ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo por todo conhecimento fornecido por seu corpo docente e por todo suporte que recebi por parte da coordenação e secretaria, destacando meu amigo Carlos Macedo por toda gentileza e dedicação. À Capes pelo provimento da bolsa de mestrado;

Agradeço especialmente à figura do professor Francisco Hilário Rego Bezerra, pela oportunidade de desenvolver meu trabalho em seu projeto de pesquisa, por acreditar e apostar na minha competência; agradeço ao professor Narendra Kumar Srivastava, que esteve ao meu lado durante todo este trabalho, me conduzindo no interessante universo das rochas carbonáticas. Por toda sua atenção, boa vontade, sensibilidade e apoio nas mais diversas circunstâncias, meu muitíssimo obrigada!

Quão maravilhoso é quando encontramos uma amiga, mãe, psicóloga, irmã na fé, exemplo profissional, tudo isso na mesma pessoa! E quando além de tudo isso, ela é sua orientadora! Me sinto imensamente feliz por poder contar com a orientação da professora Marcela Marques Vieira. Meu muito obrigada por acreditar em mim, quando eu não acreditava, por me mostrar atributos que eu não enxergava, por me dar suporte acadêmico e emocional em diversos momentos ao longo do mestrado. Obrigada por partilhar seus conhecimentos comigo, por todas as grandes lições, meus eternos agradecimentos!

Agradeço aos amigos que fiz no programa de pós graduação que foram e sempre serão motivos de muita alegria: Agassiel Alves, Carlos Henrique, Sérgio Vieira, Brenna Karolyna, Ana Carla, Ali Dehghan, Larissa Sobral, Andresa Jaciane, Hena Lissa, Flávia Melo, Camila Carvalho, Jhon Morón e ao

Magnata do Petróleo. “Por que todo lindo e toda linda que se preze não esquece dos companheiros de jornada”.

Agradeço ao Departamento de Geologia, em especial a Jean Michel Legrand, eterno orientador, por toda contribuição no campo da petrologia, desde a graduação. Meu muito obrigada por tudo! Agradeço a Emanuel (Bombeiro) pela confecção das lâminas, amizade e gentileza de sempre; À “companheira” Fátima Barbosa junto aos alunos Emiliana e Waltemberg pela ajuda na preparação das amostras. Agradeço de coração a Sr. Pedro Marreiro e a Fernando Feitosa, pela companhia durante as longas viagens, pela amizade de Sr. Pedro e pelos muitos momentos de boas risadas com as resenhas de Feitosa!

Ao Departamento de Engenharia de Materiais, principalmente ao LABMAT pelas análises lá realizadas; Ao CTGÁS por realização de análises também. Agradeço ao Laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande-PB em especial ao professor César Nogueira e seus alunos pela coleta dos plugues em campo, pelos ensaios realizados e por toda consideração a mim ofertada.

Agradeço ao Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, na pessoa de Augusto Auler, pelas informações cedidas em relação às cavernas visitadas e por toda orientação; Ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, que através de Uilson Paulo Campos, José Carlos Ribeiro Reino e André Afonso Figueiredo, nos prestou apoio, orientação e proteção dentro das cavernas;

Aos amigos de agora e aos de sempre, meu muitíssimo obrigada pela força que vocês me dão!

Às minhas avós Zefinha (*in memoriam*) e Nina, por todo amor que encontrei em vocês! Vocês sempre farão parte de todas as minhas conquistas! Aos tios e primos; à minha sogra Maria de Lourdes e minha cunhada Larissa; ao meu sobrinho Humberto Lucas e sua mãe Jane, minha comadre e amiga.

Aos meus pais Humberto e Lúcia por absolutamente tudo que fizeram e fazem de bom por mim e para mim, até hoje! Aos meus irmãos Cleyton, Larissa e minha cunhada Girlany. Obrigada por todo apoio!

Ao meu digníssimo esposo Luciano, pela amizade, companheirismo e dedicação!

Não só agradeço, mas dedico este trabalho, ao melhor e maior presente que já recebi em toda minha vida! Minha filha, minha força, minha motivação, minha renovação e minha alegria! Trazê-la ao mundo, ouvi-la falar, acompanhar seu crescimento são sem dúvidas, as melhores experiências da minha vida! Obrigada por me permitir desfrutar do maior e melhor amor do mundo! Minha Marina Menezes dos Santos, te agradeço pela felicidade que você trouxe à minha vida! Todas as minhas conquistas são suas!!! Te amo imensamente!

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Atualmente, metade das reservas mundiais de óleo e gás, encontram-se em reservatórios carbonáticos. Este tipo de reservatório tem exercido ao longo do tempo, grande importância na indústria petrolífera devido ao grande volume de óleo e gás encontrados em diversas bacias sedimentares ao redor do mundo. Nos últimos anos o interesse em estudos nesse tipo de reservatório tem crescido muito devido a maturidade dos reservatórios mais rasos e a grande necessidade de se explorar reservatórios mais profundos.

A porosidade constitui a mais importante propriedade de uma rocha reservatório, uma vez que ela mede a capacidade de armazenamento de fluidos. A permeabilidade, por sua vez, mede a capacidade de transmissão de fluidos em um meio poroso. Para tanto, é necessário não apenas a existência de espaços porosos e sim, presença de espaços porosos conectados. Enquanto as rochas siliciclásticas tendem a perder suas características de reservatório (porosidade e permeabilidade) a altas profundidades, os reservatórios carbonáticos conseguem manter-se efetivos nestas condições, além de poderem apresentar poros maiores conferindo-lhe maior permeabilidade. A porosidade em rochas carbonáticas pode ser primária, gerada durante a deposição dos grãos, ou secundária, geradas posteriormente à consolidação da rocha. No entanto, a porosidade em um reservatório carbonáticos é, na maioria das vezes, secundária, devido a processos de dissolução, dolomitização e faturamento. Entre esses processos, o mais importante é a dissolução, onde a calcita ou dolomita é lixiviada por fluidos, resultando em cavidades com dimensões que vão de um minúsculo poro até uma caverna gigante (Rosa *et al*, 2006).

A dissolução é responsável pela geração do carste e da espeleogênese, sendo esta última vista como “a criação e evolução de estruturas de permeabilidade que evoluíram como resultado do alargamento por dissolução de uma porosidade primária em uma rocha (Klimchouck, 2007). A literatura atual define o carste ou espeleogênese formados pela dissolução através de um fluido meteórico ou descendente, como carste ou espeleogênese epigênicos e dissolução por meio de um fluido ascendente, como carste ou espeleogênese hipogênicos.

O Brasil possui dois importantes exemplos de rochas carbonáticas, afetadas pelos dois tipos de carste mencionados. A Formação Jandaíra, na bacia Potiguar (RN-CE), que constitui a maior exposição de rochas carbonáticas não alteradas do Brasil, apresenta-se na forma de um platô erodido e carstificado. O Carste da Formação Jandaíra é epigênico, formado por ação de fluidos com fluxo descendente ou meteórico. A Formação Salitre, na Bacia de Irecê (BA), representa uma extensa sucessão carbonática de idade Neoproterozoica. Esses carbonatos hospedam sistemas de cavernas onde encontra-se a maior caverna da América Latina, a Toca da Boa Vista. Juntamente com a vizinha Toca da Barriguda, essas cavernas constituem importantes exemplos de espeleogênese hipogênica (Auler, 2000).

O carste hipogênico tem como principal característica, a ausência de relação com a recarga de água subterrânea vinda da superfície sobrejacente. Desta forma, um sistema hipogênico é independente do clima e pode não se manifestar na superfície. Muitos estudos vêm sendo realizados, nas últimas duas décadas, visando entender os mecanismos que atuam na formação desse tipo de carste. Um sistema hipogênico é definido, principalmente, através de feições morfológicas específicas que caracterizam a passagem de um fluxo ascendente. Entre diversas feições, tem-se os *feeders* e as cúpulas como principais feições hipogênicas (Klimchouck, 2007).

A área definida como objeto deste trabalho compreende as cavernas da Toca da Boa Vista e da Barriguda e visa estudar os mecanismos envolvidos no processo de dissolução que gerou as cavernas. Em visitas realizadas, observou-se que todas as feições hipogênicas características, apresentam fraturas e veios demonstrando que o fluido responsável pela dissolução desses carbonatos fez uso do sistema de fraturamento atuante, demonstrando assim um controle tectônico na formação da caverna.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a análise petrológica do material que preenche esses veios e fraturas e as interações desse material com a rocha encaixante. Ensaio petrofísicos, determinações mineralógicas e químicas serviram como ferramentas para compreensão dos mecanismos de dissolução envolvidos neste sistema e dessa forma contribuir para evolução do conhecimento a cerca da

geração de porosidade secundária através de dissolução e fraturamento em rochas carbonáticas .

1.3 Localização da Área de Trabalho

A área proposta para este trabalho encontra-se no contexto geológico da Formação Salitre pertencente ao Grupo Una. O Grupo Una, por sua vez, representa as Coberturas Neoproterozoicas da Bacia de Irecê (BA). Geograficamente a área de estudo está localizada no Município de Campo Formoso, norte do estado da Bahia, mais precisamente na região de Laje dos Negros.

A área de estudo localiza-se a 1080 km de Natal/RN, sendo 930 km de Natal/RN a Petrolina/PE, cujo percurso parte de Natal/RN pela BR-101 até a Cidade de Santa Rita/PB; pela BR-230 de Santa Rita/PB a Campina Grande/PB; pela BR-104 de Campina Grande/PB até Caruaru/PE. De Caruaru/PE a Salgueiro/PE através da BR-232; de Salgueiro/PE a Cabrobó/PE pela BR-116 e de Cabrobó/PE a Petrolina/PE através da BR-428. De Petrolina ao Povoado de Laje dos Negros são percorridos mais 150km. A partir de Petrolina/PE o acesso até a região de Lage dos Negros se dá por meio de rodovia não pavimentada a sul de Juazeiro/BA (Figura 1.1).

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada na realização deste trabalho foi dividida em etapas conforme a Figura 1.7.

1.4.1 – Definição da área de estudo

A escolha da Formação Salitre como área-alvo deste trabalho, deu-se em razão de a mesma constituir importante exemplo de carste hipogênico e por ser hospedeira de um sistema de cavernas, no qual se inserem as maiores cavernas da América Latina, Toca da Boa Vista e Toca da Barriguda (Figura 1.2 e 1.3).

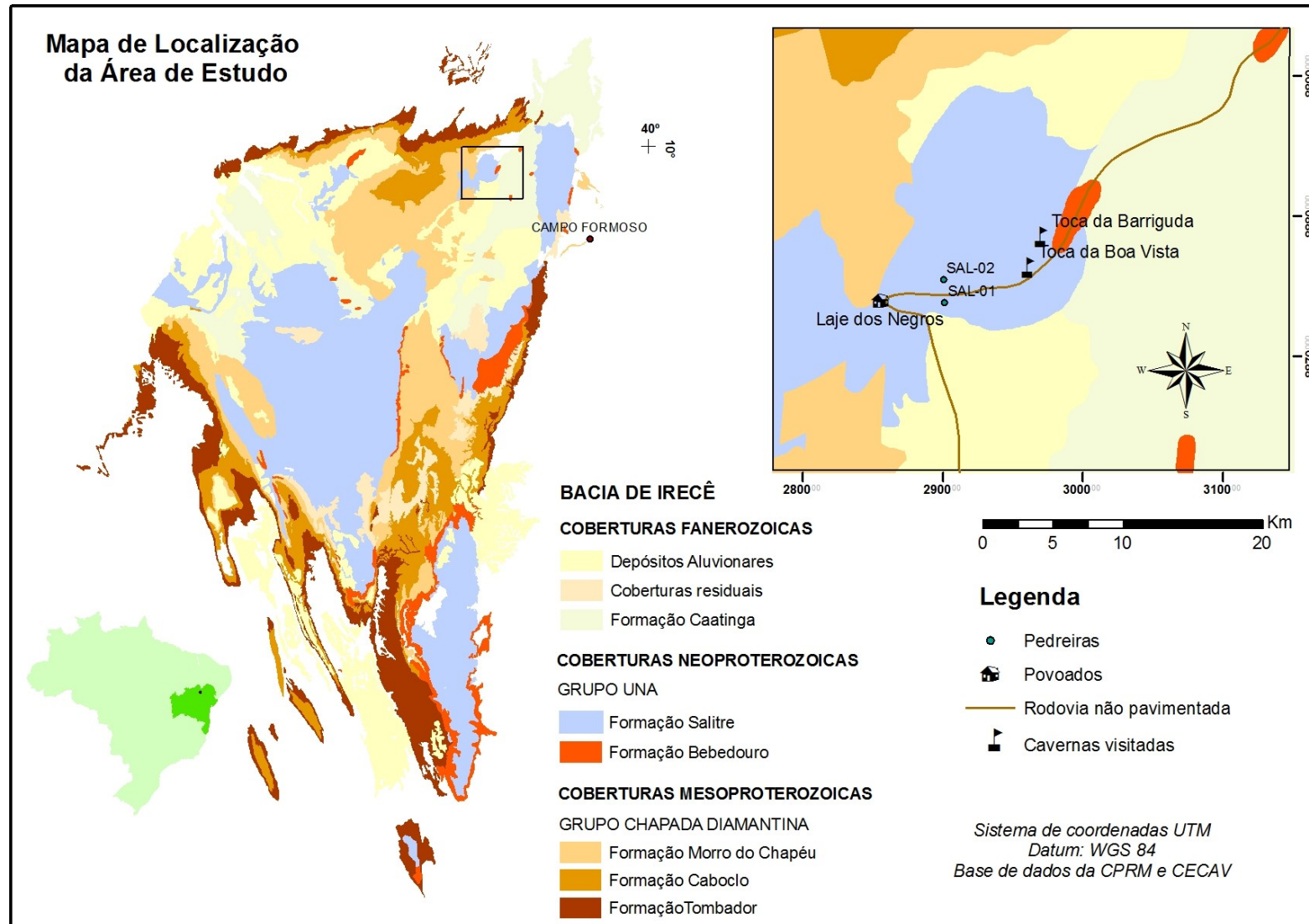


Figura 1.1 – Contexto geológico em que a área de estudo encontra-se inserida e mapa com localização das cavernas e afloramentos visitados.

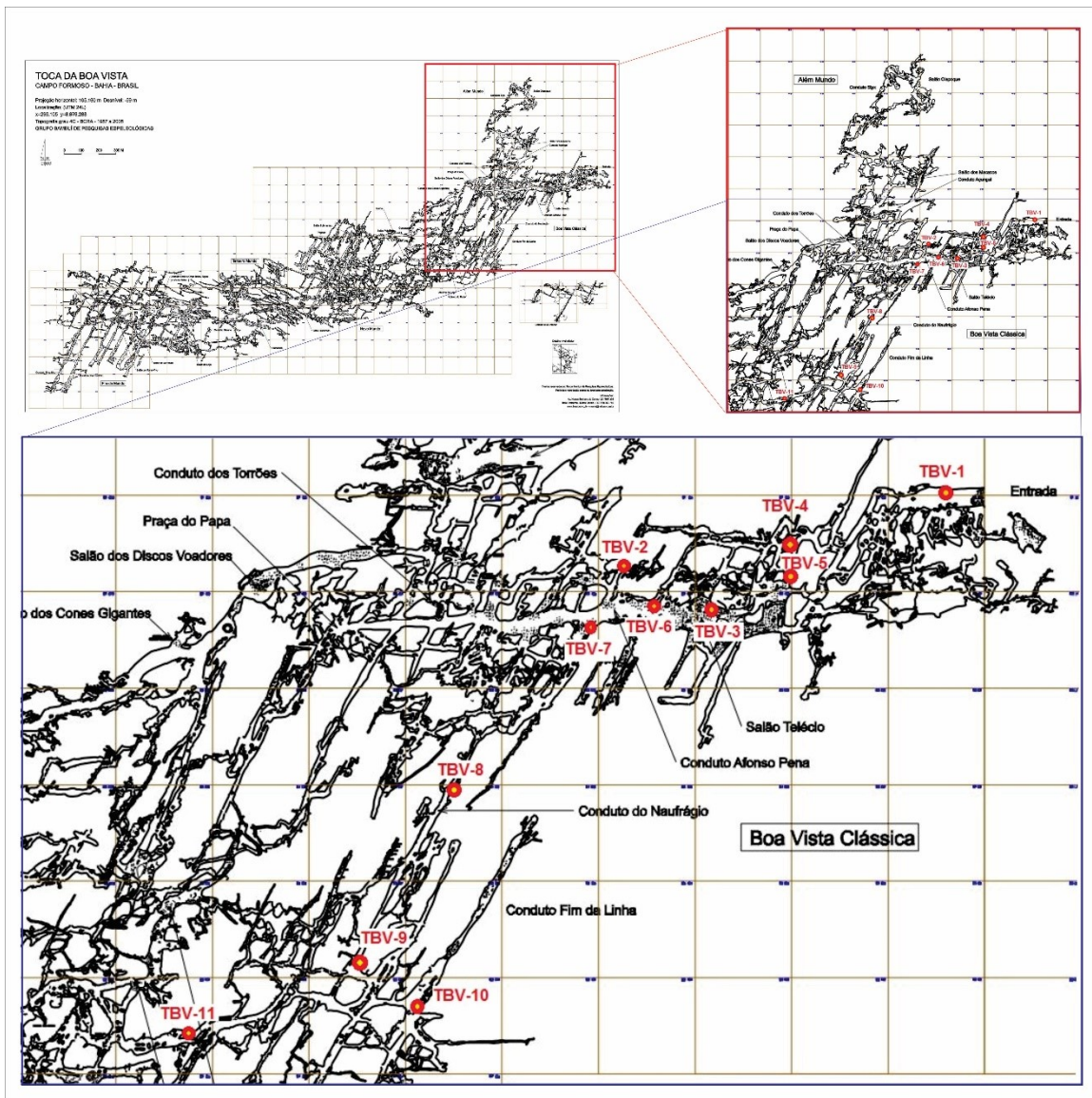


Figura 1.2 – Mapa da Toca da Boa Vista exibindo pontos com amostras coletadas. Imagem cedida pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

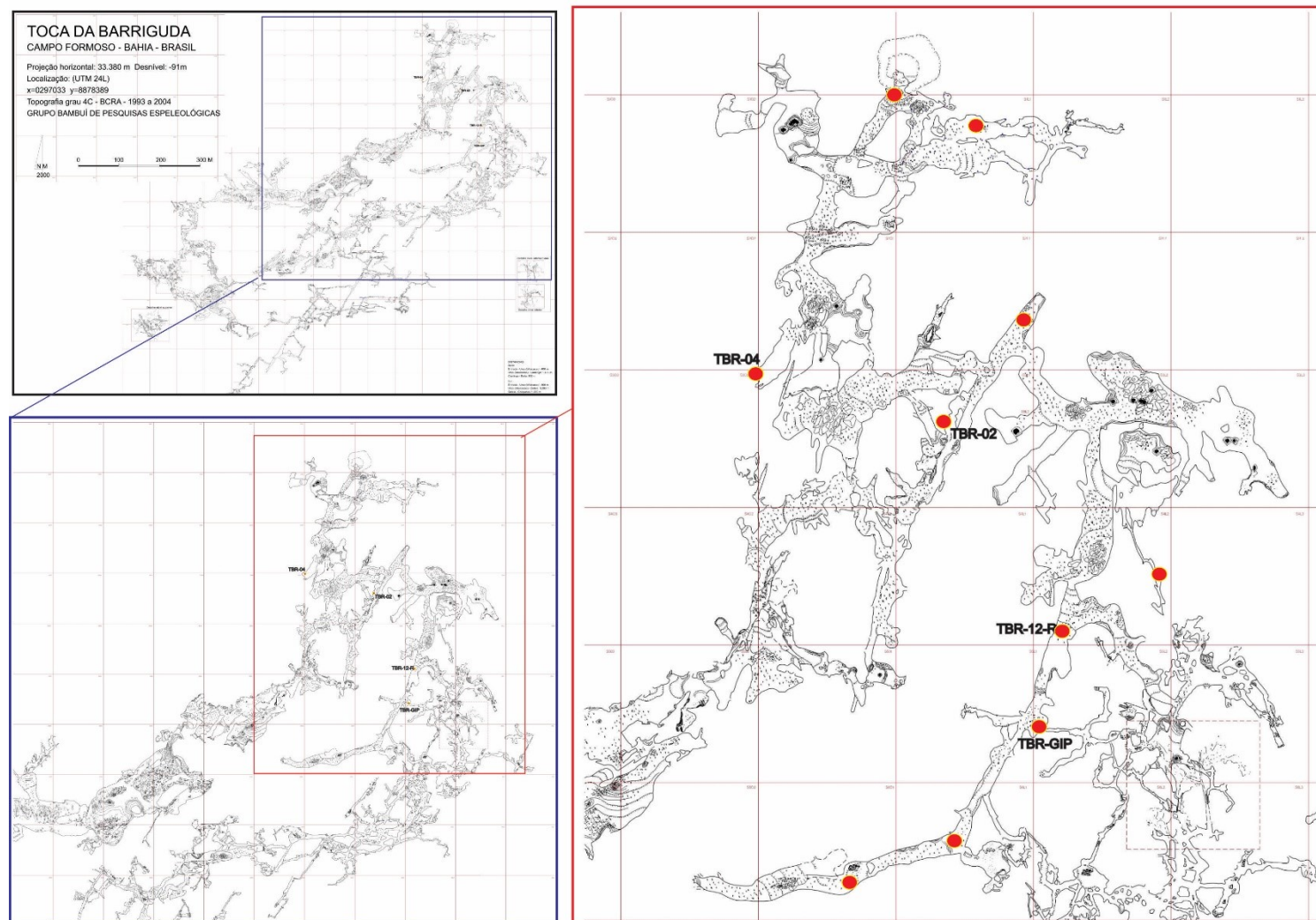


Figura 1.3 – Mapa da Toca da Barriguda exibindo pontos com amostras coletadas. Imagem cedida pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

1.4.1- Pesquisa Bibliográfica

Com o objetivo de aprimorar o embasamento teórico sobre os temas a serem abordados durante o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada pesquisa bibliográfica acerca dos seguintes temas: estudo dos reservatórios carbonáticos no Brasil e em outros países; rochas carbonáticas: textura, composição, processos diagenéticos, ambientes deposicionais e conteúdo fossilífero presente; petrofísica: porosidade e permeabilidade; estruturas tectônicas: estilólitos, falhas e fraturas; processos de carstificação, incluindo material de falhas e preenchimento de cavernas; espelogênese hipogênica; petrologia do preenchimento de falhas e fraturas; emprego de técnicas analíticas como FRX e DRX (Fluorescência e Difractometria de raios-X, respectivamente), MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) e ensaios petrofísicos.

1.4.2- Etapas de Campo

Duas etapas de campo foram realizadas. A primeira em julho de 2013 e a segunda em janeiro de 2014. Na primeira etapa, foram realizadas medidas de parâmetros estruturais, identificação de padrões morfológicos típicos de cavernas desenvolvidas por carste ou espeleogenese hipogênica e amostragem por meio de plugadeira (figura 1.4) nas fraturas associadas a cúpulas hipogênicas (figura 1.5), bem como nas encaixantes das fraturas.

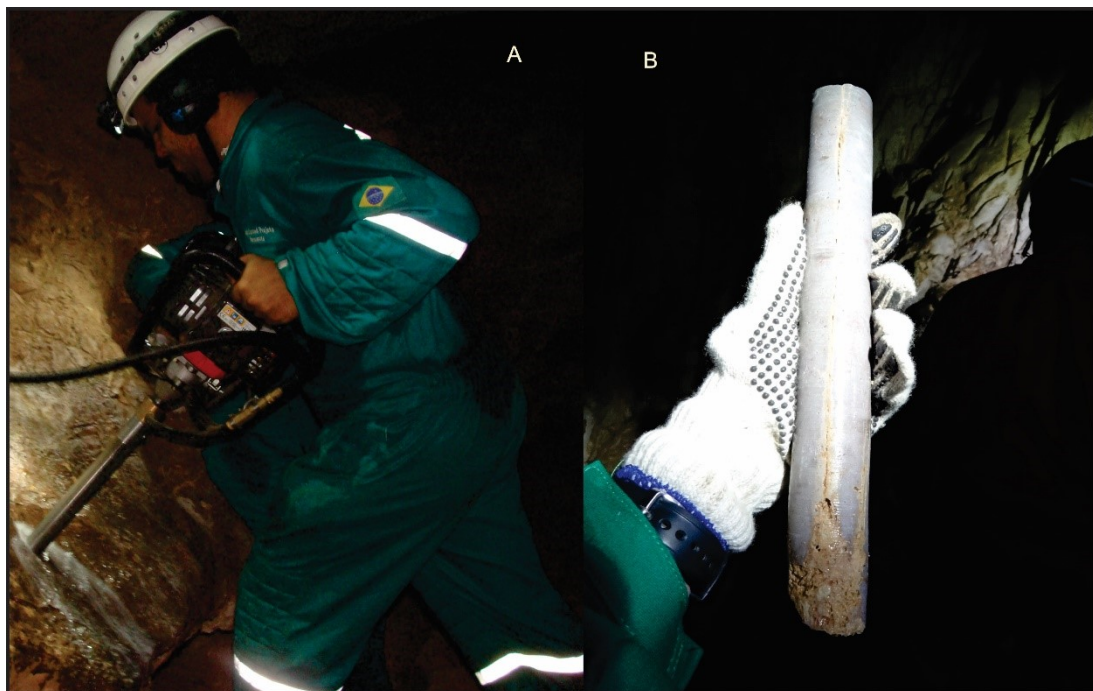


Figura 1.4 – Coleta de amostra por meio de plugadeira manual (A) e amostra coletada em (B).

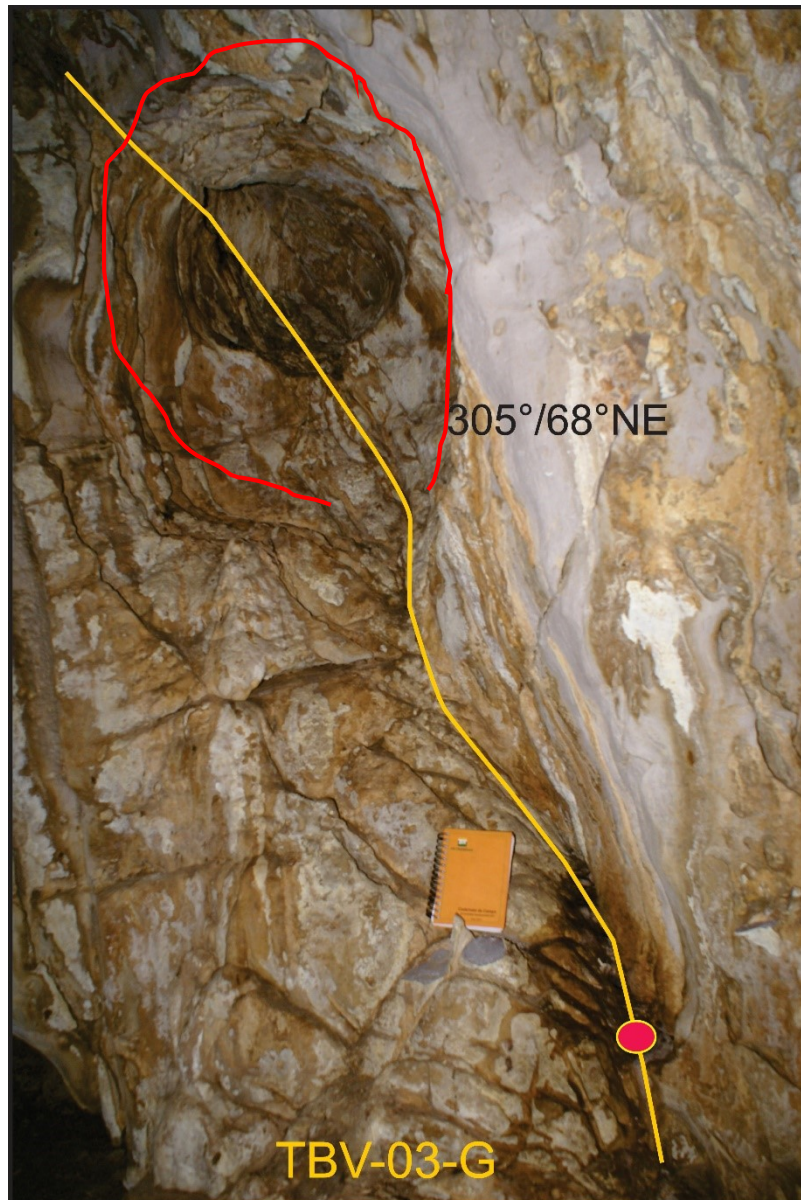


Figura 1.5 – Fratura (traço amarelo) associada a uma cúpula, feição morfológica típica de carste hipogênico (traço vermelho). O círculo com preenchimento em vermelho indica o local exato onde a amostra foi coletada.

Na segunda etapa de campo, realizou-se confecção de seção colunar onde foram identificadas variações de fácies distintas dentro da caverna, bem como medidas de parâmetros estruturais em cada nível faciológico (Figura 1.6). Foram coletadas amostras por meio de plugadeira em cada nível faciológico mapeado.



Figura 1.6 – Equipe realizando medidas de parâmetros estruturais nos diferentes níveis faciológicos presentes nas cavernas.

1.4.3- Análises Petrográficas

Foram confeccionadas um total de 47 lâminas delgadas, descritas por meio de microscópio ótico onde puderam ser identificados aspectos texturais, constituintes carbonáticos, microestruturas, porosidade, aspectos diagenéticos que possibilitaram a distinção de fácies e sistemas deposicionais envolvidos. Para a classificação das litofacies, foi atribuída a nomenclatura definida por Dunham (1962).

1.4.4- Análises Especiais

- Fluorescência de Raios-X

A espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX) constitui técnica analítica utilizada para a avaliação, tanto qualitativa quanto quantitativa da composição química em vários tipos de amostras. Esta técnica não é destrutiva, permitindo a análise de vários elementos, simultaneamente, de modo rápido e com baixo custo.

Neste trabalho, 28 amostras foram selecionadas e pulverizadas por meio de almofariz, de modo que a fração menor que 200 mesh foi encaminhada ao laboratório do CTGAS (Centro de Tecnologias do Gás), onde foram analisadas.

- Difratomia de raios-X

A difratometria de raios-X (DRX) constitui um método rápido, confiável e relativamente barato para determinar a mineralogia de rochas carbonáticas (aragonita, calcita, dolomita, siderita, etc).

As mesmas 28 amostras selecionadas e pulverizadas, utilizadas para fluorescência de raios-X, foram analisadas por meio de difratometria de raios-X.

- Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) – *Energy Dispersive Scanning* (EDS)

A utilização do microscópio eletrônico de varredura (MEV) tem sido vista no estudo de objetos muito pequenos e grãos tridimensionais. No entanto, quando equipado com microscópio de energia dispersiva (EDS), pode ser utilizado para identificação mineral e análise química semi-quantitativa. Quinze amostras envolvendo preenchimento de falha, zona de dano de fraturamento, bem como da rocha encaixante, foram analisadas por meio de MEV e EDS. As amostras foram visualizadas no laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DEMAT-UFRN) bem como no CTGAS (Centro de Tecnologias do Gás).

- Ensaios petrofísicos

Visando-se obter valores de porosidade (em porcentagem) e de permeabilidade (em mili-Darcy) foram realizados ensaios petrofísicos em 27 amostras de plugues extraídos por meio de plugadeira manual, de diversas partes das cavernas estudadas. Os ensaios foram realizados nas dependências do Laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), cujo uso dos equipamentos exige uma preparação prévia, de modo que as amostras tenham forma cilíndrica, com dimensões de 1,5 polegada de diâmetro e aproximadamente de 5 centímetros de altura.

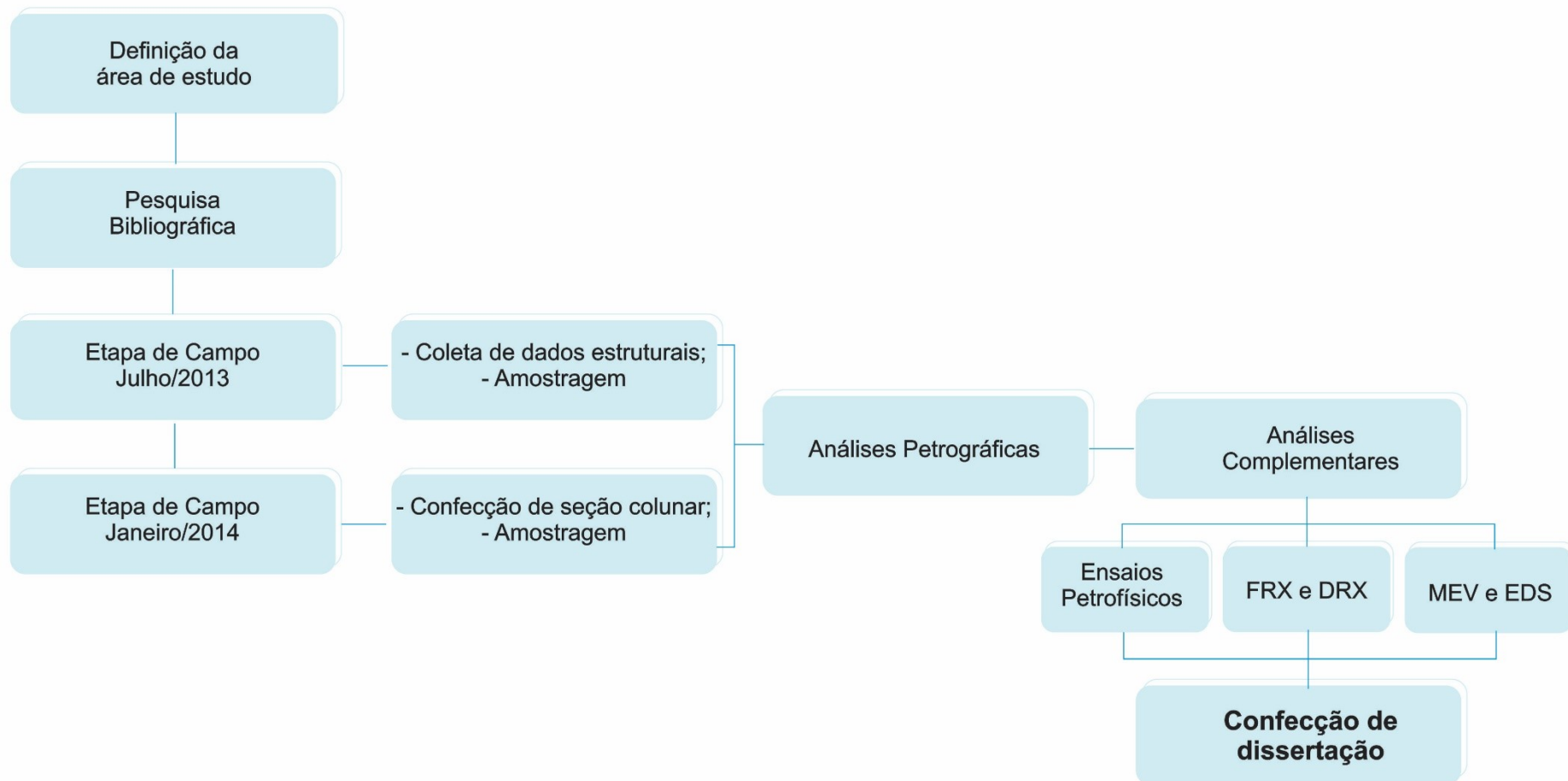


Figura 1.7 – Fluxograma exibindo as etapas envolvidas na metodologia deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos

Os textos mais modernos definem carste por uma perspectiva amplamente geomorfológica. É comum o conceito de carste como um terreno com hidrologia distinta e relevo decorrente da combinação de rochas com alta solubilidade e canais de porosidade bem desenvolvidos (Ford & Williams, 1989; Ford, 2004). Porém, tais características não seriam suficientes para o conceito de carste hipogênico. Outra visão fortemente enraizada ao longo do tempo e que se manifesta em publicações atuais é de que o verdadeiro carste está atribuído apenas às feições cársticas em rochas carbonáticas, como por exemplo: “Feições cársticas ocorrem principalmente em rochas carbonáticas, calcários e dolomitos, as quais são considerados como verdadeiro carste” (Bakalowicz, 2005); “Carste: Relevo que tem sido modificado por dissolução de rochas solúveis (calcários e dolomitos)” (Poucher & Copeland, 2006); “Carste é definido como relevo calcário com drenagem subterrânea” (Luhr, 2003).

Três configurações genéticas básicas são amplamente reconhecidas atualmente para dissolução de cavernas (Klimchouk et al, 2000; Gunn, 2004; Ford, 2006; Ford & Williams, 2007; Palmer 2007): 1) singenético/eogenético (costeira e oceânica), que ocorre em pequenas rochas com elevada matriz de porosidade e permeabilidade, onde as cavernas são formadas na zona de mistura de água do mar e meteórica; 2) hipogênicos, predominantemente confinado (semi-confinado), que ocorre quando a água ascendente penetra a formação solúvel, e 3) hipergênica (epigênica), que ocorre em condições não confinantes, onde a água é recarregada a partir da superfície que se sobrepõe.

Embora grande parte das maiores cavernas do mundo tenham sido desenvolvidas através do carste hipogênico, esse conceito ainda é pouco abordado na literatura. Uma abordagem emergente hidrogeológica para o carste, é mais integrada e universal, abrangendo toda a gama de processos e fenômenos cársticos. No seguimento das propostas de Huntoon (1995) e Klimchouk e Ford (2000), carste é definido como "um sistema de transferência de massa integrada em rochas solúveis com uma estrutura de permeabilidade dominado por condutos dissolvidos na rocha e dispostas a facilitar a circulação de fluidos." Se o carste é expresso na superfície, é irrelevante. Um sistema

cárstico pode operar apenas em subsuperfície sem que haja nenhuma relação aparente com a superfície.

A espeleogênese por sua vez, tem sido vista como “a criação e evolução de estruturas de permeabilidade que evoluíram como resultado do alargamento por dissolução de uma porosidade anterior disposta em uma rocha” (Klimchouk & Ford, 2000, p.47).

Cavernas hipogênicas são consideradas o oposto das comuns cavernas epigênicas que são formadas por águas recarregadas a partir da superfície sobrejacente ou imediatamente adjacente devido à dissolução por ácido carbônico. Tem sido visto um aumento no uso do termo e do conceito de espeleogênese hipogênica nas duas últimas décadas, embora, ainda carreguem incertezas em seu significado. Ford & Williams, (1989) e Worthington e Ford, (1995) definiram cavernas hipogênicas como as formadas por águas hidrotermais ou por águas contendo sulfeto de hidrogênio. Hill (2000a) tende a restringir a noção de carste e espeleogênese hipogênicos a processos e formas relacionadas ao H₂S. Palmer (1991) definiu cavernas hipogênicas como formadas por ácidos de origem profunda ou por ácidos epigênicos rejuvenescidos por processos profundos. Depois disso, Palmer (2000a), apresentou um conceito ainda mais amplo, no qual cavernas hipogênicas seriam formadas por águas nas quais a agressividade tem sido produzida em profundidade abaixo da superfície, independente da superfície ou do CO₂ do solo ou outras fontes de ácido próximas à superfície. A definição de Palmer (2000a) por mais ampla que seja, torna o carste hipogênico dependente da agressividade, que vem a ser um atributo transitório da água. Seguindo a sugestão de Ford (2006), Klimchouk (2007) define espeleogênese hipogênica como a formação de cavernas por águas que recarregam as formações solúveis de forma ascendente, conduzidas por pressão hidrostática ou outras fontes de energia, independente da recarga de uma superfície sobrejacente ou imediatamente adjacente.

A espeleogênese hipogênica não depende de um mecanismo de dissolução específico, uma vez que vários processos de dissolução e fontes de agressividade podem estar envolvidos. Sua principal característica é a ausência de relação com a recarga de água subterrânea vinda da superfície sobrejacente.

Desta forma, um sistema hipogênico é independente do clima e pode não se manifestar na superfície (Klimchouk, 2007).

2.2 Padrões de Cavernas

Padrões elementares típicos de cavernas hipogênicas são redes de labirintos, labirintos espongiiformes, câmaras irregulares, passagens isoladas ou conjunto de passagens rudes e aumento dos eixos. Muitas vezes eles se combinam para formar padrões compostos, incluindo complexas estruturas 3-D (Figura 2.1).

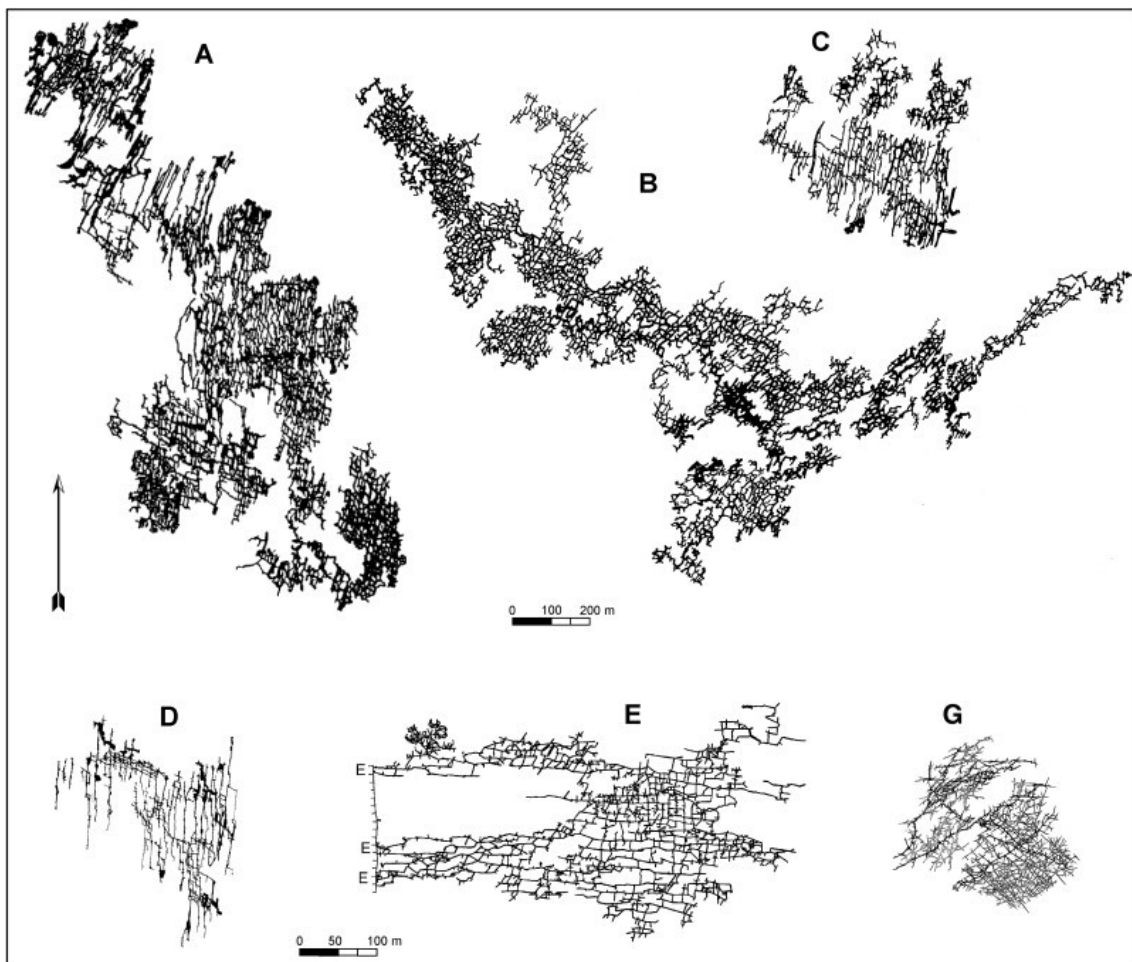


Figura 2.1 - Exemplos de padrões de redes de labirintos. De A a C são cavernas em gesso do Neógeno. Cavernas em calcário Triássico (D); em calcário Ordoviciano (E) e G em calcário Cretáceo (Klimchouk, 2009).

Redes de labirintos são os tipos mais comuns para cavernas hipogênicas. As passagens são fortemente controladas por fraturas e na forma de redes mais ou menos uniformes, o que pode mostrar tanto padrões sistemáticos ou poligonais, dependendo da natureza das redes de fratura. Os padrões sistemáticos, muitas vezes retilíneos, são os mais comuns, refletindo influência

tectônica sobre a formação de redes de fratura. Padrões poligonais são guiados por descontinuidades de origem sindeposicional ou diagenética.

Labirintos espongiiformes são menos comuns que o de redes. Compreendem passagens altamente irregulares desenvolvidas através do alargamento e coalescência da porosidade inicial de tipo *vuggy*, nos horizontes da formação da caverna que não têm grandes fraturas, mas poros interconectados. Níveis de cavidades tipo espongiiformes são geralmente combinados com outros padrões em horizontes adjacentes para formar complexas estruturas de caverna.

Câmaras irregulares podem ser cavidades isoladas, ou composta de partes de outros padrões. Nas configurações hipogênicos formam-se em duas situações: 1) por dissolução flutuante na parte inferior da formação da caverna, comumente em evaporitos, onde um grande aquífero está imediatamente subjacente; 2) onde a recarga vinda de baixo é localizada e o fluxo vertical é orientado por fraturas proeminentes. Neste último caso, o desenvolvimento da câmara é normalmente induzido pela interseção da linha de fluxo vertical com um fluxo de horizonte condutor lateral (sistema permeabilidade estratiforme) que melhora a dissolução através de mecanismos de mistura. Câmaras irregulares em carste hipogênico pode atingir grandes dimensões.

Passagens isoladas ou conjunto de passagens rudes também formam-se em dois casos: 1) de uma maneira semelhante para as câmaras, por dissolução flutuante na parte inferior da formação da caverna, onde existe alguma orientação linear inicial (por fraturas ou outros tipos de descontinuidades) mas pouco ou nenhum fluxo forçado através da formação, 2) pelo fluxo forçado ou misturado em uma camada fina, onde a fratura é escassa.

Estruturas 3-D de cavernas hipogênicas são controladas principalmente pela distribuição das estruturas iniciais de permeabilidade através da formação da caverna e formações adjacentes, a interação de diferentes estruturas de permeabilidade a vários níveis, e as condições gerais de recarga/descarga . Interação geoquímica de sistemas de fluxo guiados por caminhos de permeabilidade transversal e lateral também podem desempenhar um papel significativo. Efeitos de flutuação em convecção livre e sistemas mistos também podem ser importantes na criação de cavernas de estruturas complexas.

2.3 Feições Morfológicas

Cavernas hipogênicas podem ser formadas por uma série de mecanismos de dissolução, ocorrer em várias condições geológicas e estruturais e podem ter diferentes padrões. Apesar dessa variação, características meso-morfológicas das cavernas hipogênicas apresentam notável semelhança, geralmente indicando condições de fluxo lento. Ocorrências individuais de algumas destas características também são encontradas em cavernas epigênicas, formadas em condições freáticas ou sub-aéreas.

Especificamente para espeleogênese hipogênica, as cavernas geralmente ocorrem em suítes relacionadas aos caminhos de fluxo de fluido. Esta combinação especial foi chamada de suíte morfológica de fluxo ascendente (MSRF) e fornece provas para diagnóstico de cavernas hipogênicas (Figura 2.2). A suíte morfológica de fluxo ascendente consiste em três principais componentes: Canais de entrada (*Feeders*); Paredes transicionais e feições de teto (Calhas ascendentes, Cúpulas em teto) e Canais de saída (cúpulas e tubos verticais). Uma ampla discussão sobre a morfologia de cavernas hipogênicas é fornecida por Klimchouk (2007, 2008).

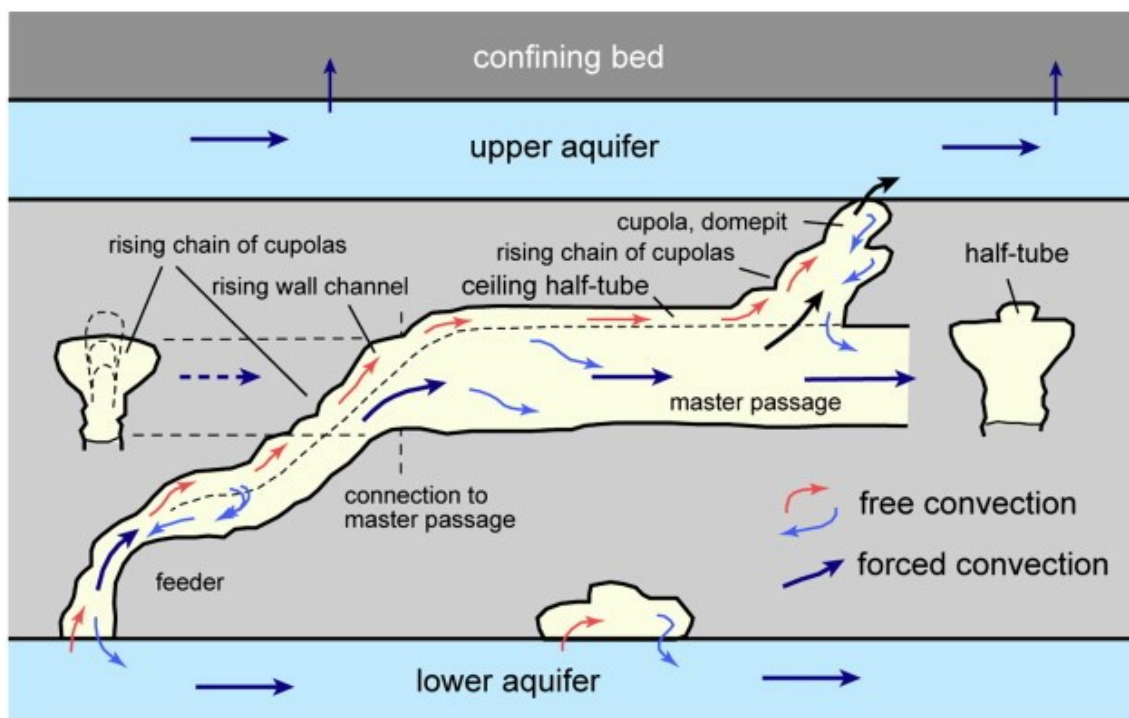


Figura 2.2 – Suíte morfológica de fluxo ascendente, diagnóstica de cavernas hipogênicas (Klimchouk, 2009).

O arranjo das formas vai se repetir em cada história, e as relações funcionais entre as formas permanecerão as mesmas. Cavernas hipogênicas podem consistir em alguns segmentos elementares, ou combinar centenas e milhares deles em um único sistema (Klimchouk, 2007).

2.4 Mecanismos de dissolução

Uma visão comum de que condições confinadas oferecem potencial limitado para carstificação, está baseada no conceito simplista e inadequado do fluido lateral através de formações solúveis. Por outro lado, a comunicação hidráulica transversal através de diferentes porosidades e contatos litológicos, onde ocorrem grandes contrastes na composição química dos fluidos, além de alterações de temperatura, é especialmente potente na condução de vários desequilíbrios e mecanismos de reação – dissolução (Klimchouk, 2007).

A agressividade pode representar uma subsaturação da água em relação à fase sólida a ser introduzida, tal como no caso de águas com baixo sulfato, provenientes de calcários e arenitos sobrejacentes introduzidas numa camada de gesso. A solubilidade do gesso é bastante elevada, comparando-se com os carbonatos, e é reforçada por fatores comuns em ambientes profundos (Klimchouk, 2007).

Esses processos também afetam a origem da porosidade em carbonatos, de modo que evaporitos intercalados em carbonatos, um arranjo estratigráfico comum em muitas bacias, são particularmente favoráveis ao carste hipogênico (Palmer, 1995, 2000a).

A dissolução por ácido carbônico, que domina em maioria esmagadora no carste epigênico, também funciona como um agente hipogênico, embora a origem da acidez seja diferente. O CO₂ pode ser gerado por processos ígneos, por metamorfismo de contato em carbonatos, ou por degradação térmica e oxidação de compostos orgânicos. Este último fator é comum em campos de hidrocarbonetos, onde as águas caracteristicamente contêm altas concentrações de CO₂ (Kaveev, 1963).

O sulfeto de hidrogênio é outra fonte comum de acidez hipogênica, onde existem fontes suficientes de sulfatos dissolvidos para redução e onde o H₂S gerados, pode escapar das zonas redutoras. No entanto, acredita-se que a geração significativa de cavernas por meio desses ácidos como mecanismo de

dissolução, dependa principalmente do rejuvenescimento da agressividade através da mistura ou arrefecimento. Essa condição é satisfeita quando o fluxo ascendente interage com sistemas de fluxo mais rasos.

Agressividade no carste hipogênico pode também refletir a aquisição de novas fontes ácidas ao longo da própria formação solúvel, quando flui transversalmente através de águas subterrâneas, ou podendo ser atribuída a uma série de mecanismos que rejuvenescem a capacidade de dissolução de fluidos, tais como o arrefecimento de água, a mistura de águas subterrâneas com química contrastante, e redução do sulfato e dolomitização.

Em condições mais rasas, a dissolução por ácido sulfúrico pode ser um forte agente gerador de carste. É reconhecido como o principal processo para certas cavernas grandes (por exemplo, cavernas no complexo do recife Guadalupe, nos EUA e Frasassi, na Itália) e muitas cavernas menores. Com base nisso, alguns pesquisadores tratam o ácido sulfúrico como um tipo peculiar de carste/espeleogênese (Hill, 1996; 2000, 2003). Substancial dissolução de ácido sulfúrico, também pode ser causada por oxidação de sulfetos de ferro, tais como pirita e marcassita (Bottrell *et al*, 2000). Lowe (1992) sugeriu que a oxidação da pirita ao longo de certos horizontes ou planos de acamamento em carbonatos poderia criar caminhos preferenciais de fluxos.

O aumento da solubilidade da calcita juntamente com águas aquecidas pode causar dissolução por fluxo ascendente. Este mecanismo é chamado de espeleogênese hidrotermal, ocorrendo em zonas de alto gradiente, onde o fluxo ascendente está localizado ao longo de caminhos permeáveis (Malinin, 1979; Dublyansky, 1980; Dubljansky, 1990, 2000; Ford & Williams, 1989; Palmer, 1991; André & Rajaram, 2005). A agressividade da solução pode ser renovada ou reforçada através da mistura das águas, do contraste químico e conteúdo de gás dissolvido (Laptev, 1939; Bogli, 1964; Palmer, 1991), efeito citado na literatura de carste como “corrosão de mistura”.

Há um número crescente de argumentos e provas sugerindo que mais de um processo poderia estar envolvido na maioria dos casos, funcionando tanto em combinação quanto sequencialmente. Fluxo cruzando as formações é o principal mecanismo para espeleogênese hipogênica, que pode integrar e provocar muitos processos geradores de cavernas. O ácido carbônico ou dissolução por H₂S pode operar em sistemas hidrotérmicos, que são

essencialmente fenômenos ascendentes transversais comuns em muitas bacias. A mistura de águas contrastantes também encontra-se envolvida na espeleogênese hipogênica. Isto, mais uma vez, sugere que a rotulagem de tipos de carste e espeleogênese por um único mecanismo de dissolução é enganadora e deve ser evitada.

2.5 Entendimento

O conceito de carste tem sido ligado, durante os últimos anos, a uma perspectiva geomorfológica cujas características não atendem ao conceito de carste hipogênico. Outra ideia equivocada que vem sendo fortemente difundida em trabalhos modernos, é que o carste seja uma feição comum às rochas carbonáticas e não a qualquer formação rochosa solúvel. Três configurações genéticas básicas são amplamente reconhecidas atualmente para dissolução de cavernas: Singenético/eogenético (costeira e oceânica), Hipogênicos, (predominantemente confinado) e Hipergênico (epigênico).

Apesar de grande parte das maiores cavernas do mundo ser hipogênica, este conceito ainda é pouco abordado na literatura. A definição mais precisa define espeleogênese hipogênica como a formação de cavernas por águas que regarregam as formações solúveis de forma ascendente, conduzidas por pressão hidrostática ou outras fontes de energia, independente da recarga de uma superfície sobrejacente ou imediatamente adjacente. Desta forma, um sistema hipogênico é independente do clima e pode não se manifestar na superfície.

Os padrões elementares típicos de cavernas hipogênicos são redes de labirintos, labirintos espongiiformes, câmaras irregulares, passagens isoladas ou conjunto de passagens rudes e aumento dos eixos. Muitas vezes eles se combinam para formar padrões compostos, incluindo complexas estruturas 3-D.

As feições morfológicas diagnósticas para cavernas hipogênicas são conhecidas na literatura como suíte morfológica de fluxo ascendente e consiste em três principais componentes: Canais de entrada (*Feeders*); Paredes transicionais e feições de teto (Calhas ascendentes, Cúpulas em teto) e Canais de saída (cúpulas e tubos verticais, ou *outlets*).

Os mecanismos de dissolução responsáveis pela formação das cavernas hipogênicas não estão completamente descritos na literatura. As principais

ideias defendidas são: Agressividade pode representar uma sub-saturação da água em relação à fase sólida a ser introduzida (fonte redutora). A dissolução por ácido carbônico, que pode estar relacionado com o CO₂ gerado por processos ígneos, por metamorfismo de contato em carbonatos, ou por degradação térmica e oxidação de compostos orgânicos. O sulfeto de hidrogênio é outra fonte comum de acidez hipogênica. Em condições mais rasas, a dissolução por ácido sulfúrico pode ser um forte agente gerador de carste. Agressividade no carste hipogênico pode também refletir a aquisição de novas fontes ácidas ao longo da própria formação solúvel, quando flui transversalmente através de águas subterrâneas, ou pode ser devido a uma série de mecanismos que rejuvenescem a capacidade de dissolução de fluidos, tais como o arrefecimento de água, a mistura de águas subterrâneas com química contrastante, e redução do sulfato.

Os trabalhos onde estes mecanismos são citados não demonstram o uso de análises químicas ou petrográficas que possam comprovar o tipo de fluido responsável pela dissolução da rocha. É certo que mais de um mecanismo de dissolução atuem em um sistema hipogênico, no entanto, caracterizar a atuação desses mecanismos constitui uma importante base para compreensão do carste hipogênico.

3. ESTADO DA ARTE

3.1 Contexto

Em Klimchouk (2007) são apresentadas feições morfológicas relacionadas à passagem de um fluxo ascendente onde tem-se como estruturas mais marcantes os *feeders* (canais de entrada de fluxo) e as cúpulas (canais de saída de fluxo). Os canais que possibilitam a passagem do fluxo (*feeders* ou cúpulas) encontram-se associados a fraturas, fato confirmado por Klimchouk (2012) que diz, ainda, que em rochas carbonáticas, especialmente aquelas com alta porosidade primária, a interação entre o fluxo ascendente originado em profundidade, através de condutos controlados por fraturas subverticais, pode provocar mistura de corrosão e resultar em efeitos de espeleogênese proeminentes. Dessa forma, as fraturas passam a exercer um papel ainda mais importante no desenvolvimento do carste, de maneira que, estudar os fenômenos ligados ao fraturamento e manifestações na rocha encaixante torna-se essencial para compreensão dos mecanismos envolvidos na formação do carste hipogênico.

3.2 Conceito da Diagênese Estrutural

A compreensão das interações entre estruturas e diagênese é cada vez mais importante em uma ampla gama de aplicações, que vão desde a previsão do destino de fluidos injetados no subsolo até a extração de hidrocarbonetos em reservatórios profundos não convencionais. Em alta temperatura, no domínio do metamorfismo, essas interações são tão importantes que a petrologia metamórfica encontra-se comumente associada à geologia estrutural. De modo que, estudos no campo do metamorfismo são essenciais para o sucesso da investigação estrutural, assim como também contribuições frequentes de geólogos estruturais para a literatura da petrologia metamórfica.

Contudo, na outra extremidade do espectro de temperatura, no campo de baixa temperatura, na diagênese (abaixo de cerca de 300°C), estudos sistemáticos cruzando petrologia sedimentar e geologia estrutural são raros. A diagênese estrutural consiste no estudo das relações entre a deformação ou estruturas deformacionais e as mudanças químicas nos sedimentos. Embora a diagênese, tal como definida, inclui tanto processos mecânicos quanto químicos

que afetam sedimentos antes do início de metamorfismo. A maior parte da literatura sobre a alteração do sedimento pós-deposicional concentra-se em processos químicos sem referência à estrutura mecânica (Milliken, 2003).

Para Laubach *et al.* (2010) a intensão da diagênese estrutural é promover um estudo focado nos processos químicos e mecânicos que afetam estruturas em rochas sedimentares em todas as escalas que precedem o início do metamorfismo, de forma que seja possível a aplicação da mecânica a um entendimento do *fabric* diagenético e o conhecimento do impacto de processos químicos sobre a evolução das propriedades mecânicas das rochas e estruturas. Reações em rocha hospedeira e estruturas associadas não são necessariamente contempladas pela diagênese estrutural (Maliva *et al.* 1995). Mas será raro o caso em que a informação sobre diagênese não avançar na compreensão estrutural e vice-versa. Conforme Laubach *et al.* (2010), a fusão em diagênese estrutural também produz oportunidades para resolver problemas estruturais tais como: datar falhas e movimento de fratura, taxa de crescimento da fratura, medição e localização de fraturas expostas.

3.3 Exemplos em Processos Diagenéticos

A compactação é um tema no qual a mecânica está rendendo percepções sobre processos diagenéticos. A localização da compactação ao longo da pressão de solução, juntas ou estilólitos, acomodando bandas de encurtamento oblíquo ou perpendicular, recebeu consideração das comunidades tanto diagenéticas quanto estruturais em ambas as rochas clásticas e carbonáticas (Gundersen *et al.*, 2002). Mais recentemente, a discussão destas estruturas e os processos relacionados de dissolução sob pressão distribuída e redução da porosidade foram estendidas para incluir diferenças entre superfície de carga e superfícies adjacentes de grãos diferentes em contato (Greene *et al.*, 2009). Em contraste com a dissolução sob pressão, a localização de estruturas durante a compactação mecânica e resultante formação de bandas de compactação apenas recentemente foram reconhecidas (Schultz, 2009). Laubach *et al.* (2010) consideram o efeito de cisalhamento sobre a formação de bandas de compactação em arenito e compararam estas estruturas com bandas de cisalhamento. Bandas de cisalhamento, assim como bandas de compactação,

são parte de uma classe de estruturas referidas coletivamente como bandas de deformação (Aydin *et al.* 2006). Poucas destas bandas foram descritas em lamitos (Byrne *et al.* 1993 *apud* Laubach *et al.* 2010). Usando técnicas de alta resolução em imagem de MEV, Milliken & Reed (2010) descreveram a redução da porosidade em bandas de deformação em mudstone do prisma acrescionário de Nankai como um processo mecânico dominante (Figura 3.1). Gomez e Laubach (2006) sugerem que uma riqueza de características estruturais espaçadas e penetrativas existem em rochas não deformadas de outra forma e que ainda há muito a ser aprendido sobre eles através de avanços em imagem e petrologia estrutural.

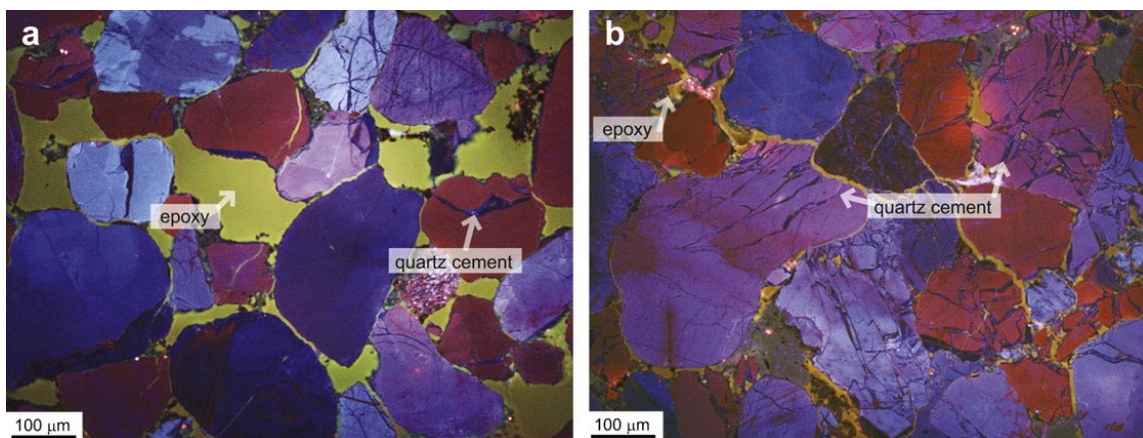


Figura 3.1 - Imagem obtida por catodoluminescência exibindo em a, (a rocha hospedeira) e em b bandas de deformação. As bandas de deformação contêm uma maior quantidade de microfraturas (Milliken & Reed, 2010).

Modelos de previsões e confirmação empírica dos padrões de cimentação em rochas hospedeiras não deformadas sugerem que, para uma ampla gama de estruturas e configurações, histórias termais reconstruídas, juntamente com evidências de sequência e temporização relativa dos depósitos de cimento dentro de falhas, fornecem estimativas precisas das taxas de acúmulo de cimento e permitem as estimativas quantitativas de tempo de acumulação de cimento a ser aplicado às estruturas associadas. Tais modelos explicam a sensibilidade de porosidade e permeabilidade à exposição térmica da falha na rocha (Fisher *et al.* 2003).

A cimentação tem sido conhecida a partir de juntas e outros modos de abertura de fraturas, mas a influência penetrante da diagênese em tais sistemas de fratura está apenas começando a ser contemplada. Embora seja difícil de se obter informação sobre tempo de fraturamento, pesquisadores podem usar o

acúmulo de cimento em fraturas para especificar quando as fraturas foram formadas pela sequência de cimentação nas mesmas, datadas no maciço rochoso ou acumulações de cimento com história térmica para estimar a idade de fratura (Nollet *et al.* 2005a; Peres & Boles, 2005; Laubach & Ward, 2006; Laubach & DiazTushman, 2009).

Tal como acontece com os veios em ambientes metamórficos (Ramsay, 1980; Davison, 2005), em ambientes diagenéticos, texturas de preenchimento de fendas estão presentes em algumas fraturas (Figura 3.2). Tais texturas podem mostrar acoplamento entre a abertura da fratura mecânica e precipitação de cimento e influenciar, por exemplo, como os padrões de tamanho de fratura podem evoluir (Clark *et al.* 1995; Hooker *et al.* 2009). Estas texturas de cimentação contêm assembleias de inclusões fluidas que podem ser usadas em conjunto com informações sobre a estrutura e história térmica para testar independentemente, instalações dos modelos diagenéticos (Hilgers *et al.*, 2001; Nollet *et al.*, 2005a, b).

O estudo de falhas e rochas de falha é uma área em que diagênese está rendendo percepções sobre processos estruturais, e vice-versa. Falhas têm potencial de *feedback* entre a deformação, o fluxo de fluido, reações químicas, alterações das propriedades da rocha e gradientes térmicos (Hobbs *et al.* 2000; Ireland *et al.* 2010). Falhas transcorrentes e fraturas associadas podem aumentar ou diminuir a porosidade e permeabilidade, podendo concentrar ou impedir o fluxo de fluidos, perturbando gradientes térmicos, aumentando ou restringindo reações e transporte de componentes químicos, e alterando a mineralogia, textura e propriedades mecânicas da falha e rochas hospedeiras (Chester *et al.*, 1993; Sibson, 1996; Mucchez & Sintubin, 1998; Eichhubl & Boles, 2000 a, b; Tenthorey *et al.* 2003; Woodcock *et al.* 2007).

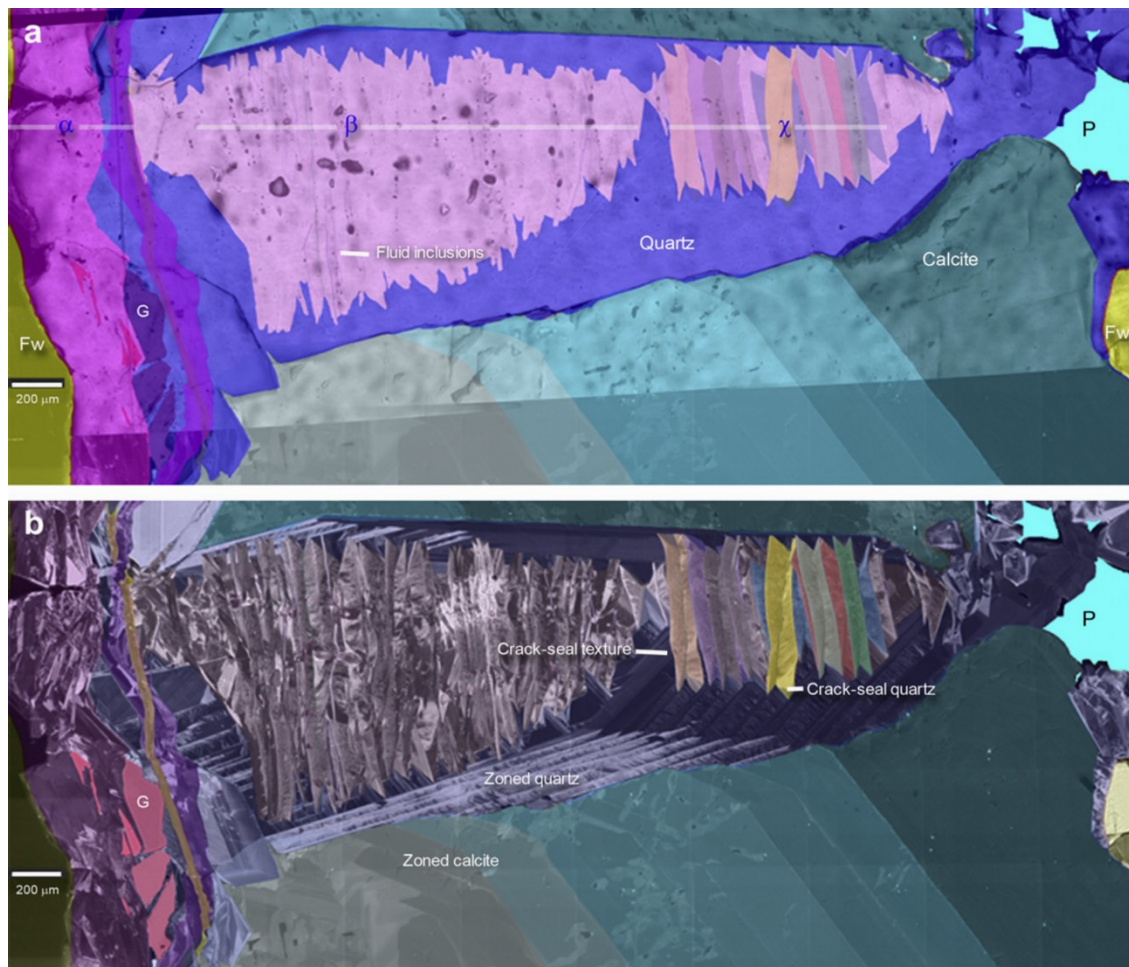


Figura 3.2 – Imagem obtida por luz transmitida e catodoluminescência exibe estrutura de deposição de cimento de quartzo em arenito. A história da abertura da fratura é registrada pela textura de preenchimento de veio. Revela também assembleias de inclusões fluidas aprisionadas no preenchimento do veio por cimento de quartzo. Outro espaço poroso presente durante o crescimento do quartzo é agora preenchida com calcita zoneada que cresceu durante a abertura da fratura (Laubach *et al*, 2010).

Estudos de inclusões fluidas demonstram que a abertura da fratura e concomitante cimentação ocorrem a taxas que são comparáveis às taxas de crescimento do preenchimento de poros por cimento de quartzo na rocha hospedeira e, assim também para taxas de processos de soterramento diagenéticos regionais (Becker *et al*, 2010). Uma combinação de inclusões fluidas, modelos diagenéticos e resolução fina de sequência de cimentação, fornecem uma chave para desbloquear o tempo, sequência e taxa de desenvolvimento de fraturas em uma vasta gama de estruturas. Para os sistemas regionais de fraturas simples, as taxas de abertura de fraturas individuais podem ser extremamente lentas, da ordem de dezenas de milhões de anos (Becker *et al*, 2010).

3.4 Conclusões

Portanto, conhecer como fatores diagenéticos podem estar relacionados a feições estruturais e vice versa, vem despertando grande interesse em pesquisadores das duas áreas. Mostrar que, mesmo em escalas de temperatura inferior ao metamorfismo, processos químicos e mecânicos afetam estruturas em rochas sedimentares e prover consciência do impacto de processos químicos sobre a evolução das propriedades mecânicas das rochas e estruturas pode ser a chave para solucionar problemas estruturais como datar falhas e movimento de fratura, taxa de crescimento da fratura medição e localização de fraturas abertas.

No entanto, apesar de todas as possibilidades de conhecimento promovidas pela diagênese estrutural, algumas limitações foram averiguadas. Como exemplo, os aspectos diagenéticos abordados concentram-se na compactação e cimentação e nota-se nos trabalhos direcionados ao tema, maior interesse no uso dos aspectos diagenéticos para solução de problemas estruturais do que o contrário. Como o fraturamento pode ser estudado de modo a contribuir para a compreensão das transformações sofridas pela rocha no campo da diagênese, é um aspecto que ainda deixa a desejar.

Outra questão levantada é que as análises realizadas visando integrar diagênese e geologia estrutural foram realizadas na maioria das vezes, em arenitos. Compreender os aspectos diagenéticos relacionados a estruturas em rochas carbonáticas, constitui uma lacuna científica. Por último, percebe-se que mesmo abordando aspectos como compactação, falhas, cimentação, inclusões fluidas dentro do cimento, um importante processo diagenético foi esquecido: a dissolução.

4 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

4.1 Cráton São Francisco

A Bacia de Irecê, que compreende as sequências carbonáticas que hospedam as cavernas estudadas no presente trabalho, encontra-se inserida no Cráton do São Francisco (Almeida 1967, 1977). O Cráton São Francisco constitui a mais bem exposta e estudada unidade tectônica da Plataforma Sulamericana. Seus limites, segundo dados geológicos e geofísicos (Ussami 1993) são delineados pelos seguintes cinturões ou faixas dobrados durante a orogênese Brasileira: (i) os Cinturões Riacho do Pontal e Sergipano (Brito Neves *et al*, 2000) que limitam o Cráton a norte e a nordeste, respectivamente; (ii) o Cinturão Araçuaí (Almeida 1977), uma possível extensão norte do Cinturão Ribeira situado a sul; (iii) o Cinturão Brasília (Almeida 1969) situado na margem oeste e (iv) o Cinturão Rio Preto (Inda & Barbosa 1978, Brito Neves *et al*, 2000), uma pequena faixa de rochas dobradas localizada mais ao norte do Cráton (Figura 4.1).

No Cráton do São Francisco podem ser definidos alguns domínios geotectônicos (Figura 4.1), com base nas características litológicas e geocronológicas. Há um embasamento Arqueano e Paleoproterozoico e os grandes conjuntos deposicionais do Meso e Neoproterozoicos (tanto intracratônicos quanto marginais ao cráton). Segundo Barbosa e Dominguez (1995), o embasamento Arqueano e Paleoproterozoico, com exceção de áreas restritas onde ocorrem sequências metassedimentares, vulcanossedimentares e *greenstone belts* em fácies xisto verde/anfibolito, é constituído quase que exclusivamente de rochas metamórficas de alto e médio grau (fácies granulito e anfibolito, respectivamente).

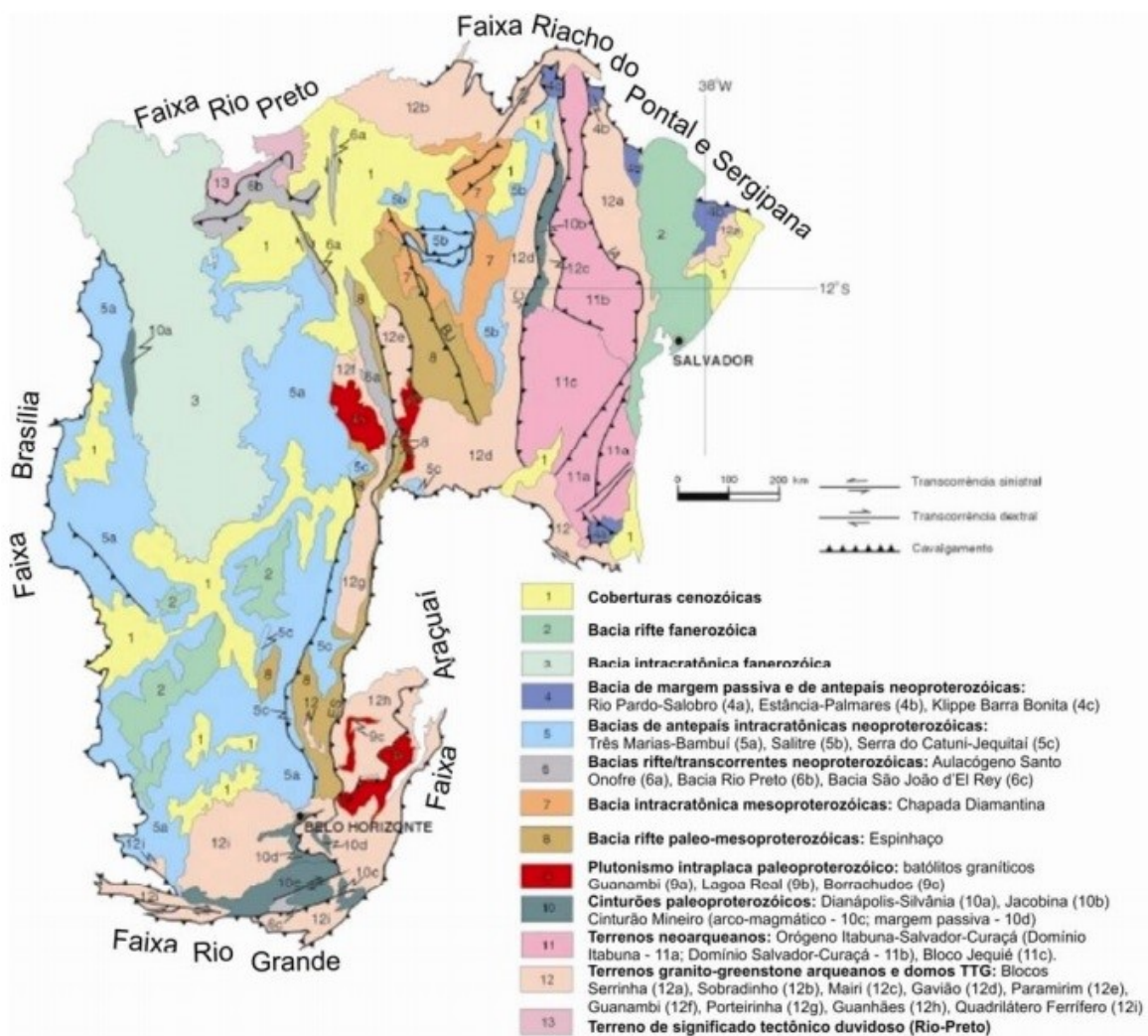


Figura 4.1 – Domínios geotectônicos e principais estruturas do Cráton do São Francisco. Lineamentos: JC – Jacobina–Contendas; BJ – Barra do Mendes–João Correia; ES – Espinhaço; IA – Itiúba–Anuri (Bizzi *et al.* (2003).

4.2 Coberturas Meso e Neoproterozoicas

O Cráton é truncado por um rifte abortado, orientado segundo N- S, no qual se depositaram os protólitos dos Supergrupos Espinhaço (Mesoproterozoico) e São Francisco (Neoproterozoico). A bacia na qual se acumularam as rochas siliciclásticas do Supergrupo Espinhaço originou-se por volta de 1,7 Ga. Neste rifte seis sequências deposicionais se acumularam, isto é, Paraguaçu- Rio dos Remédios, Tombador-Caboclo e Morro do Chapéu (Província Chapada Diamantina), além das sequências Borda Leste, Espinhaço e Gentio (Província do Espinhaço Setentrional). O Bloco do Paramirim, situado entre as duas províncias, provavelmente atuou como alto no interior da bacia (Dominguez 1993). Em torno de 1.0 Ga, importante glaciação afetou a maior parte do Cráton. As geleiras se

movimentaram de W para E, na borda sudoeste do paleo-continente São Francisco e, de NE para SW na Província da Chapada Diamantina. A deglaciação resultou em importante subida do nível do mar que inundou a maior parte do Cráton e implantou importantes plataformas carbonáticas – a bacia do Grupo Una do Supergrupo São Francisco. Idades de 770-900 Ma são atribuídas aos sedimentos carbonáticos (Macedo & Bonhomme, 1984, *apud* Dominguez, 1993). No fim do Proterozoico, colisões nas margens do Cráton, as quais foram responsáveis pela formação dos Cinturões dobrados Brasileiros referidos, causaram inversão da bacia do Espinhaço - São Francisco. A intensidade da deformação foi maior ao longo do eixo do rifte, onde a litosfera havia sido afinada durante os episódios de subsidência anteriores. Os sedimentos que se acumularam nas partes externas, sobre os blocos continentais mais espessos, nas partes externas do rift, foram relativamente poupados da deformação (Dominguez 1993). Durante a separação Brasil-África, no Cretáceo, teve origem a Bacia do Recôncavo como rifte abortado. Em continuação, extensa sedimentação plataformal tomou lugar durante o Fanerozoico.

4.3 Bacia de Irecê

Localizada na porção centro norte do estado da Bahia, a Bacia de Irecê constitui a principal ocorrência de coberturas sedimentares Meso e Neoproterozoicas na porção norte do Cráton do São Francisco. A Bacia de Irecê encontra-se dividida, no Mesoproterozoico pelo Supergrupo Espinhaço, que, por sua vez, é representado pelos grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina, e, no Neoproterozoico pelo Supergrupo São Francisco, representado pelo Grupo Una. (Figura 4.2).

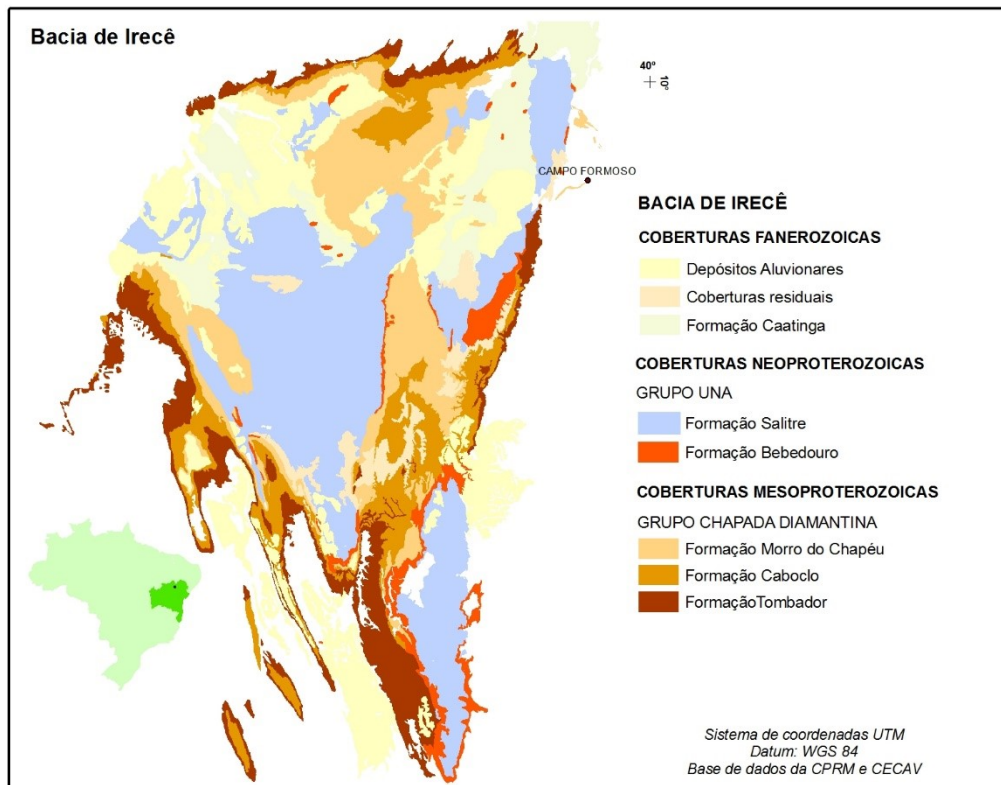


Figura 4.2 – Bacia de Irecê e suas coberturas Mesoproterozoicas representadas pelo Grupo Chapada Diamantina, coberturas Neoproterozoicas (Grupo Una) e coberturas Fanerozoicas.

4.3.1 Coberturas Mesoproterozoicas

4.3.1.1 Supergrupo Espinhaço

O Supergrupo Espinhaço compreende metassedimentos de baixo grau metamórfico formados por sequências clásticas, principalmente arenitos associados a psefitos e pelitos, além de rochas carbonáticas e vulcânicas.

- *Grupo Paraguaçu*

O Grupo Paraguaçu abrange um conjunto de rochas metassedimentares e rochas magmáticas, depositadas na porção central do aulacógeno do Espinhaço, na região da Chapada Diamantina, segundo Dominguez (1995). Os sedimentos presentes neste grupo são caracterizados por rápidas mudanças laterais e verticais de fácies e uma estratigrafia que ainda não foi bem estabelecida. Litologicamente, este grupo é constituído por quartzitos feldspáticos, siltitos, folhelhos e camadas descontínuas de conglomerados que exibem uma grande variabilidade lateral de fácies. Na porção sul da Chapada Diamantina, estes sedimentos repousam sobre rochas efusivas ácidas (riolitos, dacitos, tufos) e compreendem conglomerados e quartzitos com estratificação

cruzada de grande porte de origem eólica, que passam lateral e verticalmente para siltitos e pelitos com marcas de ondas, gretas de contração e acamamento *flaser*, característicos de deposição em ambiente de planície de maré. Já, na porção norte da Chapada Diamantina, os sedimentos do Grupo Paraguaçu repousam diretamente sobre o embasamento, e são constituídos na base por conglomerados e arenitos grossos com abundantes estratificações cruzadas acanaladas de origem fluvial, que passam lateral e verticalmente para ritmitos de ambiente de intermarés e quartzitos com estratificação cruzada de grande porte de origem eólica.

- Grupo Chapada Diamantina

O Grupo Chapa Diamantina, da base para o topo é subdividido pelas seguintes formações: Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu. Pedreira *et al.* (1975) estimam para o Grupo Chapada Diamantina uma espessura de 1.060m.

- *Formação Tombador*

Segundo Sampaio *et al.* (1994), a Formação Tombador pode ser dividida em duas seqüências distintas: uma arenosa, que ocorre tanto na base quanto no topo, sendo mais espessa na base e mais delgada no topo da formação, e outra conglomerática que ocorre na porção intermediária. A seqüência arenosa inferior é caracterizada por arenitos e coloração avermelhada e sua espessura é cerca de 250m. Os sedimentos dessa seqüência repousam diretamente sobre o embasamento e apresentam estratificação cruzada de grande porte, sendo interpretada como de sistema fluvial. Já no topo da seqüência, ocorrem quartzo-arenitos com estratificações cruzadas de grande porte e lentículas com granocrescência. Esses arenitos apresentam uma espessura média de setenta a oitenta centímetros podendo apresentar marcas onduladas simétricas e assimétricas. Na porção intermediária, ocorre a seqüência conglomerática. Esta seqüência conglomerática tem uma espessura média em torno de sessenta metros.

- *Formação Caboclo*

Essa formação é constituída, essencialmente, de argilitos e siltitos. Secundariamente, ocorrem sílex oolítico, conglomerado e arenito. Como foi possível ver em afloramento as camadas mostram-se dobradas e deslocadas. O

ambiente de deposição desta formação é interpretado como sendo de planície de maré e de plataforma rasa.

- *Formação Morro do Chapéu*

Esta formação consiste em arenitos com lentes de conglomerados, segundo Sampaio *et al.* (1994). A granulometria desses arenitos pode variar de fina a média, e os seixos dos conglomerados, com diâmetro em torno de quatro centímetros, são de quartzito branco a rosado, ou de silexito. Observa-se a presença de estratificação cruzada planar e tangencial. Podem ocorrer estruturas como espinha de peixe e microfraturas escalonadas.

4.3.2 Coberturas Neoproterozóicas

4.3.2.2 Supergrupo São Francisco

- Grupo Una

As rochas que compõem o Super Grupo São Francisco encontram-se presentes na porção centro norte do estado da Bahia, representadas pelo Grupo Una. Em torno de 1.0 Ga, importante glaciação afetou a maior parte do Cráton. Nesse paleoambiente, as geleiras se movimentaram de W para E na borda sudoeste do paleocontinente São Francisco e, de NE para SW na província da Chapada Diamantina. Como resultado da deglaciação, ocorreu uma importante subida do nível do mar, inundando a maior parte do Cráton e implantando importantes plataformas carbonáticas que compõem as o Grupo Una do Supergrupo São Francisco. As idades atribuídas para os sedimentos carbonáticos são de cerca de 770-900 Ma (K-Ar) (Macedo & Bonhomme, 1984, *apud* Dominguez, 1993).

- *Formação Bebedouro*

De acordo com Leão e Dominguez (1992) e Dominguez (1996), a Formação Bebedouro é constituída por diamictitos, pelitos e arenitos, estratificados e maciços, ordenados em camadas alternadas ou não, limitados por contatos bruscos, erosivos e gradativos que ocupam a posição basal. Observa-se a presença de tilitos e varvitos com textura polimítica polimodal. Datações realizadas pelo método Rb-Sr em pelitos da Formação Bebedouro indicam idade em torno de 932 ± 30 Ma (episódio de glaciação) (Dominguez, 1993).

- *Formação Salitre*

A Formação Salitre, cujas rochas são o objeto do presente estudo, é largamente predominante na Bacia de Irecê, e constitui uma espessa sucessão carbonática com raras intercalações terrígenas que registram uma extensa plataforma dominada por marés (Souza *et al*, 1993). Os sedimentos carbonáticos da Formação Salitre podem alcançar espessuras superiores a 1.000m (Misi, 1993). No setor central da bacia, região dos municípios de Irecê e Lapão (BA), esta formação corresponde a uma sucessão de calcilutitos, calcarenitos, calcirruditos e, subordinadamente, estromatólitos fosfáticos e sedimentos siliciclásticos, arrançados em um ciclo regressivo-transgressivo (Fragoso *et al*. 2008).

4.3.3 Coberturas Superficiais Fanerozóicas

As Coberturas Superficiais têm ampla distribuição nas áreas de ocorrência dos Grupos Chapada Diamantina e Una, e podem ser separadas em dois subconjuntos principais de sedimentos: (i) um subconjunto é representado por calcários (calcretes) beges, pertencentes à Formação Caatinga, de idade quaternária, resultantes de processos de dissolução química e reprecipitação *in situ* (Branner 1911); e (ii) o outro subconjunto contempla os sedimentos Tércio-quaternários detríticos, inconsolidados, correlacionados à evolução das superfícies de pediplanação Sulamericana e Velhas de King (1956) e geralmente provêm de depósitos fluviais, flúvio-lacustres e eólicos (Inda & Barbosa 1978).

4.4 A Formação Salitre

Segundo Dominguez (1993), a Formação Salitre ocupa a maior parte da Bacia de Irecê e é constituída por várias litofácies carbonáticas, tendo sido depositada em uma bacia formada no contexto de um mar epicontinental (Figura 4.3) com frequente ação de ondas e marés. Segundo Martínez (2007), estas são áreas cratônicas muito extensas (>100 Km de comprimento) e relativamente planas que foram cobertas por um mar raso. Na margem da plataforma a inclinação pode ser muito suave (tipo rampa) ou abrupta. Dentro da plataforma e, devido à sua grande extensão, podem ocorrer áreas mais ou menos profundas contornadas por rampas homoclinais ou por complexos de ilha barreira-laguna.

Nelas domina a baixa energia e os sedimentos depositados em contexto de supramaré/intermaré a submaré rasa.

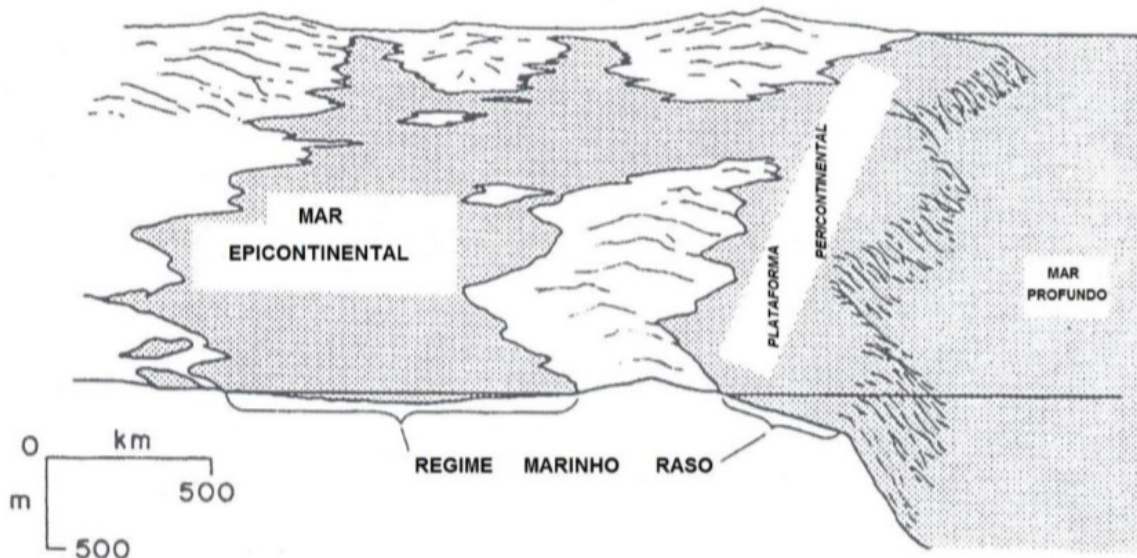


Figura 4.3 – Esquema de um mar epicontinental, contexto em que teria ocorrido a deposição dos carbonatos da Formação Salitre. (Heckel 1972).

Os sedimentos carbonáticos da Formação Salitre podem alcançar espessuras superiores a 1.000m (Misi 1993), e foram datados por métodos radiométricos e bioestratigráficos (estudo de estromatólitos). A datação bioestratigráfica posiciona esses sedimentos do Rifeano superior ao Vendiano (Srivastava 1982, 1986). Os estudos radiométricos feitos na região de Lajes do Batata pelo método Rb/Sr, dão uma idade para esses sedimentos carbonáticos de 774 ± 20 Ma (Rb-Sr) (Macedo, 1982). Estudos isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ feitos por Misi e Veizer (1996), colocam os sedimentos carbonáticos da Formação Salitre no Vendiano (700 - 560 Ma). A sedimentação desta formação no tempo Vendiano mostra-se coerente com os resultados obtidos por Chang *et al.* (1993) para os carbonatos do Grupo Bambuí, no Estado de Minas Gerais.

A reconstituição ambiental da deposição dos sedimentos carbonáticos caracteriza quatro ciclos de sedimentação, sendo dois de caráter regressivo e dois de caráter transgressivo. A determinação da posição relativa das fácies mapeadas foi baseada nas estruturas geopetais como *tepees*, estratificações cruzadas e a convexidade de crescimento das lâminas dos estromatólitos colunares.

Três divisões estratigráficas foram propostas para o empilhamento estratigráfico da Formação Salitre. A primeira, proposta por Misi, (1979), subdividiu a Formação Salitre em cinco unidades informais, chamando-as, da base para o topo, de unidades C, B, B1, A e A1 (Figura 4.4).

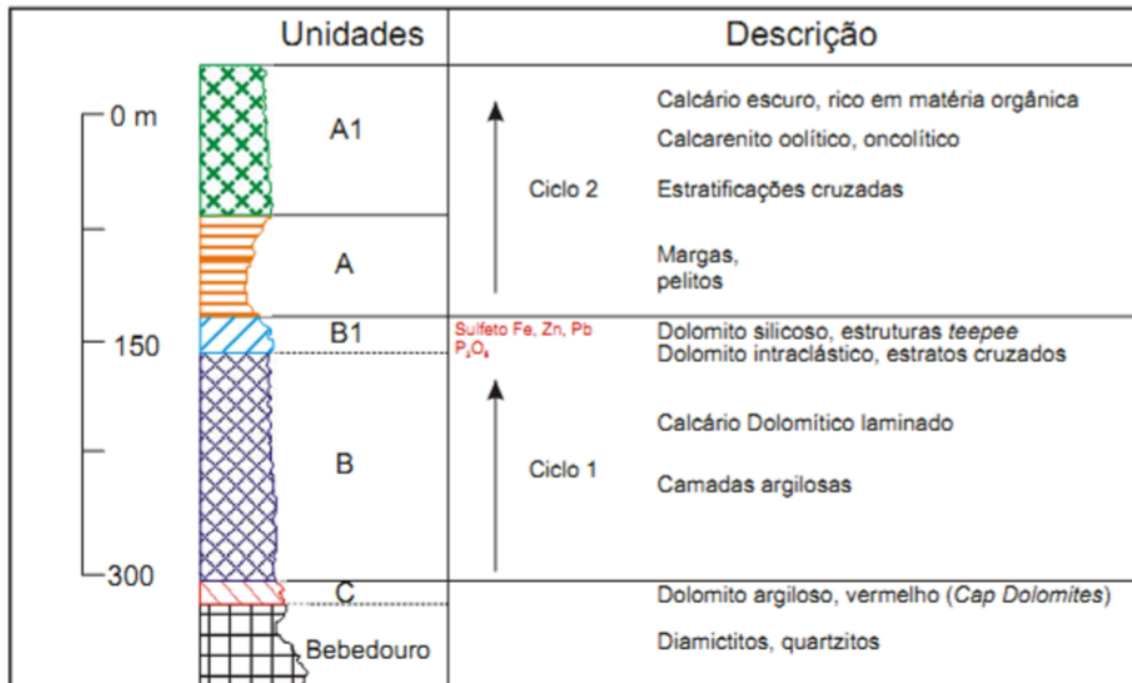


Figura 4.4 - Empilhamento estratigráfico proposto por Misi (1979) para a Formação Salitre. Adaptado de Misi *et al.* (1996).

Unidade C: constituída por dolomitos e calcários dolomíticos vermelhos e argilosos, que capeiam os diamictitos (sequências glaciogênicas da Formação Bebedouro). Esta unidade pode apresentar ou não estromatólitos circulares na porção basal e gretas de ressecamento, que evidenciam uma exposição aérea do carbonato durante sua formação.

Unidade B: composta por calcários cinza-claros, por vezes dolomíticos, finamente laminados (ritmitos) e interestratificados com leitos argilosos, podendo ocorrer algumas vezes intercalações de calcário preto oolítico. A sedimentação relativamente profunda com tendência regressiva indica que esta unidade é uma seqüência marinha tipo *shallowing upward*, de ambiente equivalente a submaré a intermaré.

Unidade B1: representada por dolarenitos (silicosos e oolíticos) e dololutitos cinza-claros, com nódulos e lentes de sílica (quartzo tipo lutecita) e de calcita. Ocorrem estruturas sedimentares como *teepee* e laminações

estromatolíticas, que caracterizam exposição subaérea em clima árido, além de brechas intraformacionais lamelares, possivelmente formadas pela dissolução de sulfatos (Misi & Kyle, 1994). Estromatólitos colunares (ricos em carbonato-fluorapatita) relacionam-se a zonas relativamente mais profundas, de alta energia. Todas estas estruturas mencionadas anteriormente são indicativas de ambientes equivalentes de inter a supramaré (Misi & Kyle, 1994). Podem ocorrer também corpos lenticulares e de espessuras métricas de calcários pretos, ricos em matéria orgânica, oolíticos, parcialmente dolomitizados. Esta unidade contém as principais ocorrências de Pb-Zn e fosfato da Bacia Irecê.

Unidade A: caracterizada pela presença de siltitos, argilitos calcíferos e margas, cinza-escuros quando não alterados, cinza-claros ou avermelhados de maneira geral, expostos na borda oeste da bacia. Agregados de cristais cúbicos de pirita podem também ocorrer. De uma forma geral, a espessura desta unidade varia de 0 a 100 m. Sua deposição parece estar associada a um ambiente marinho relativamente mais profundo.

Unidade A1: formada por calcilutitos pretos e calcários oolíticos e pisolíticos, ricos em matéria orgânica. Condições rasas de sedimentação são características e estruturas indicativas de ambiente agitado são comuns, tais como estratificações cruzadas ou com abundantes intraclastos, e marcas de onda, dentre outros. Os calcilutitos desta unidade ocorrem freqüentemente bastante dobrados e cavalgados, na região de Irecê, com dobras deitadas com vergência para sul, indicando esforços compressivos de norte para sul. Segundo Misi e Silva (1996), estes dobramentos e cavalgamentos estariam relacionados à tectônica Brasileira, ou seja, seriam reflexo da tectônica da faixa Rio Preto sobre a cobertura.

Relacionando a ciclos de sedimentação regressivo e transgressivo, Bomfim *et al.* (1985) propuseram uma outra subdivisão, procurando nomear as unidades e dividindo-as em quatro, representando fácies carbonáticas distintas e assim representadas da base para o topo: Unidades Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê (Figura 4.5).

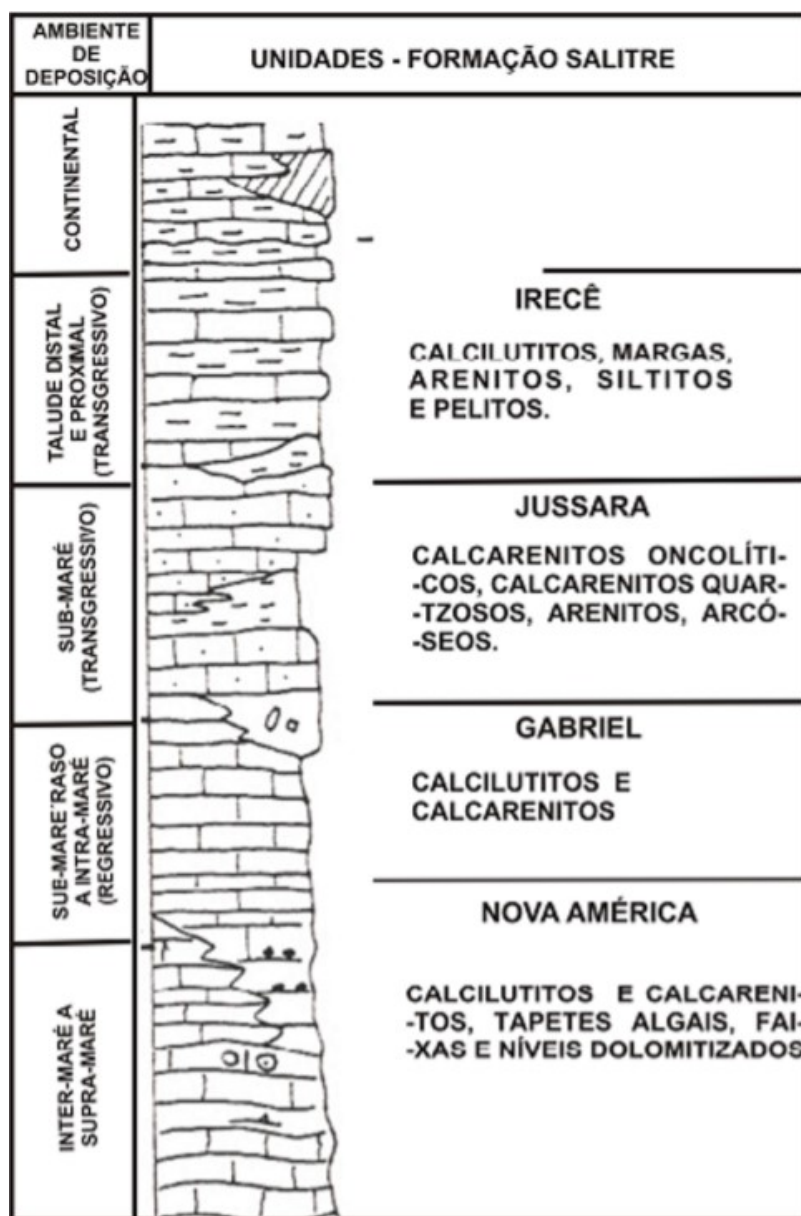


Figura 4.5 – Divisão estratigráfica proposta para a Formação Salitre por Bonfim *et al.* (1985).

Unidade Nova América: Bomfim *et al.* (1985) relacionaram esta unidade a um ciclo regressivo (II). A principal característica desta sequência é a presença constante de estruturas sedimentares típicas de ambiente de submaré a supramaré, tais como tapetes algais, *tepees*, intraclastos, laminação cruzada e *bird's eyes*. Em diversos pontos de sua área de ocorrência, como nos arredores a sul de Lapão e no Povoado de Achado, os litotipos da unidade Nova América são caracterizados como calcarenito róseo com forte recristalização e indícios de dolomitização, que mostram comumente estratificação cruzada acanalada.

Nestes locais observam-se níveis incipientes de estromatólitos algais colunares de pequeno porte, do gênero *Jurussania* Krylov, que apresentam alto interesse econômico por seu conteúdo fosfórico (Bomfim *et al.* 1985).

Unidade Gabriel: Para Bomfim *et al.* (1985), a unidade Gabriel, no campo, constitui em geral pequenos e esparsos afloramentos de forma psamítica, que não permitem melhores observações de suas estruturas. Litologicamente a Unidade Gabriel é composta por estreitas intercalações de calcissiltitos, calcilutito e calcarenito fino, caracterizados por uma coloração rósea, creme e cinza, laminação plano-paralela e presença constante de cristais cúbicos de pirita e/ou limonita. Em alguns locais seus litotipos ocorrem em camadas e bancos maciços, cortados geralmente por veios e filmes de calcita. Pequenos corpos de rochas dolomitizadas, de coloração cinza a creme, aspecto maciço, sempre com fraturamento superficial acentuado ocorrem associados aos litotipos da unidade.

Unidade Jussara: Segundo Bomfim *et al.* (1985), esta unidade está relacionada a dois ciclos transgressivos (I e III). No setor sul da área, a unidade está relacionada ao ciclo I e corresponde litologicamente e ambientalmente à Unidade Jussara Superior. Na porção mais setentrional da área a unidade está relacionada ao ciclo III, sendo passível de divisão entre três subunidades distintas litologicamente e ambientalmente, denominadas da base para o topo como: (i) Jussara Inferior, (ii) Jussara Médio e (iii) Jussara Superior, e estão caracterizadas a seguir:

(i) A subunidade Jussara Inferior é constituída por calcarenitos, calcilutitos e calcissiltitos, além de termos terrígenos representados por arenitos arcóseos e metassiltitos. O litotipo característico está representado por um calcarenito quartzoso de coloração cinza escura a preta, grã média, cuja feição característica é a presença de grãos de quartzo visíveis macroscopicamente.

(ii) Litologicamente, na subunidade Jussara Médio, predominam calcarenito finos odorosos, calcissiltitos e calcilutitos de coloração cinza a preta. Caracteriza-se por se apresentar em finas placas que não ultrapassam 10 cm de espessura, separadas por filmes de argila ou margas intemperizadas, invariavelmente de cor avermelhada. Também são característicos da

subunidade, bancos com espessura máxima de um metro, por vezes maciços internamente, por vezes laminados e/ou finamente estratificados.

(iii) A subunidade Jussara Superior, litologicamente apresenta como tipo característico um calcarenito oncolítico intraclástico de coloração cinza escura a preta, interacamadado e interlaminado com calcilutitos e calcissiltitos de mesma coloração. A estratificação plano- paralela é uma constante por toda a área de ocorrência dos calcarenitos. Estes calcarenitos também apresentam por toda sua área de ocorrência nódulos de sílex com forma esferoidal acompanhando o aleitamento das camadas, de composição similar a da rocha encaixante.

Bomfim *et al.* (1985) constataram que a predominância de calcarenitos oncolíticos por toda a unidade, e a presença de estratificação cruzada e plano- paralela, sugerem para esta subunidade uma deposição em um ambiente de submaré.

Unidade Irecê: Segundo Bomfim *et al* (1985), entre os litotipos desta unidade, que constituem turbiditos distais e/ou proximais, predominam calcilutitos laminados com variação para calcarenitos de textura fina a média, coloração cinza escura a negra, com intercalações de margas, siltitos, arenitos imaturos e sílex. Os calcilutitos pretos mostram laminação plano paralela, planos manchados por material avermelhado e passam gradativamente a calcarenitos de granulação fina a muito fina, com mesma coloração.

Para Bomfim *et al.* (1985), a associação litológica desta sequência e a falta generalizada de estruturas sedimentares indicativas de deposição em água rasa, indicam para a mesma um ambiente deposicional de água profunda, abaixo do nível das ondas, ou seja, um talude que pode ser subdividido em duas zonas, uma zona distal onde os sedimentos apresentam maior maturidade e seleção, e uma zona mais proximal onde os sedimentos de origem terrígena são mais imaturos e mostram estruturas indicativas de deslizamento de pequena monta.

Uma terceira proposta de subdivisão para a sequência carbonática da Formação Salitre foi feita por Souza *et al.* (1993) que através do mapeamento das fácies, definiram quatro ciclos de sedimentação, dois de caráter regressivo e dois de caráter transgressivo.

- Ciclos regressivos I e III

Unidade Nova América: Esta unidade foi dividida em ambos os ciclos em duas subunidades. No ciclo III foi identificada ainda a subunidade Sarandi, descrita por Pedreira *et al* (1987).

a) A subunidade Nova América Inferior é constituída por dois tipos litológicos: calcissiltitos com laminação plano-paralela e laminitos algais frequentemente ondulados. As principais estruturas sedimentares associadas são: laminações cruzadas e estratificação lenticular (*linsen*), nos calcarenitos; truncamento nas lâminas da estratificação nos calcissiltitos e, por último, estruturas derivadas da exposição subaérea como *tepees*, *bird's eyes* e truncamentos irregulares, nos laminitos algais. Além dos laminitos algais predominantes na subunidade, são observadas faixas de calcissiltito róseo, creme e cinza, com estratificação plano-paralela. Esses calcissiltitos foram descritos por Bonfim *et al.* (1985) como unidade Gabriel. No entanto, Souza *et al.* (1993) observaram uma alternância desses calcissiltitos com os laminitos algais, de modo que eles foram englobados na subunidade Nova América Inferior do ciclo III.

b) A subunidade Nova América Superior é caracterizada por uma alternância de bancos carbonáticos distintos entre si, refletindo variações laterais de fácies. Da base para o topo, esses bancos são constituídos por doloarenitos cinza-claro e doloarenitos e dolorruditos oolíticos e oncolíticos cinza esbranquiçado e cinza-escuros. Os dolomitos oolíticos e oncolíticos possuem estratificação gradacional e ondulações truncadas (*hummockies*), enquanto nos doloarenitos e dolossiltitos a estratificação é cruzada.

c) A subunidade Sarandi, de acordo com Pedreira *et al.*, (1987), é composta essencialmente de calcissiltitos e calcarenitos peloidais cinza escuro, por vezes contendo oncólitos e intraclastos. Existe dolomitização incipiente na base da sequência. A estrutura sedimentar predominante é a estratificação plano-paralela; subordinadamente ocorrem laminações planas e cruzadas, além de marcas de carga.

Os litotipos e estruturas sedimentares associados a esta unidade sugerem um ambiente deposicional que varia de supramaré a intermaré.

- Ciclos Transgressivos II e IV

Unidade Jussara: Essa unidade foi reconhecida por Bonfim *et al.* (1985) e Pedreira *et al.* (1987).

a) A subunidade Jussara Inferior é representada por calcissiltitos, calcilutitos e calcarenitos oolíticos e/ou oncolíticos e calcarenitos, alguns desses últimos com concreções. Os calcissiltitos formam, por vezes, níveis finos com estratificação plano-paralelas e estão intercalados nos calcarenitos, aos quais a laminação fina dá um aspecto de laminitos algais. São comuns estratificações onduladas e lenticulares (*wavy & linsen*), onde as lentes são caracterizadas por calcarenitos silicosos ou oolíticos/oncolíticos.

b) A Subunidade Jussara Superior é caracterizada por calcarenitos finos, médios e grossos, oolíticos e/ou oncolíticos. Os calcarenitos finos possuem coloração cinza escuro a negra e são odorosos. Estão em bancos com espessura que varia de 10 a 30 centímetros, intercalados com calcilutitos com aspecto de laminitos algais. Os de granulação média são cinza-escuros a cinza-claros. Apresentam-se em bancos maciços ou finamente bandados, com intercalações locais de níveis de estromatólitos. Os calcarenitos oolíticos e/ou oncolíticos de granulação grossa ocorrem em bancos de espessura métrica, com estratificação cruzada sigmoidal.

A litologia da subunidade Jussara Inferior sugere a sua deposição em um ambiente de maré, mais especificamente no intervalo entre supramaré e intermaré rasa. A subunidade Jussara Superior depositou-se em águas mais profundas, em ambiente de submaré.

Unidade Irecê: Esta unidade ocorre em toda a bacia, sempre associada aos níveis depositados em águas mais profundas. Litologicamente a Unidade Irecê é representada por uma alternância de níveis carbonáticos e terrígenos. Os níveis carbonáticos são calcarenitos finos a calcilutitos de cor cinza escuro a negra, e os terrígenos, margas, siltitos, arenitos imaturos e sílex, de coloração variando de cinza a creme e rósea. Para Souza *et al.*, (1993), a alternância de níveis arenosos e argilosos e a ausência generalizada de estruturas diagnósticas de deposição em água rasa e exposição subaérea, na Unidade Irecê, sugerem deposição abaixo do nível das ondas. A sequência de Bouma encontrada pode

indicar deposição por corrente de turbidez. Entretanto, um problema não resolvido é a existência de um *tepee* associado a esta sequência.

Um quadro comparativo das três propostas de subdivisão estratigráfica para a Formação Salitre supracitadas, pode ser visto na Figura 4.6.

Ciclos de Sedimentação		Misi, 1979	Bonfim et al, 1985	Souza et al, 1993
IV	TRANSGRESSIVO	A1	IRECÊ JUSSARA Superior Médio Inferior	IRECÊ JUSSARA Superior Inferior
III	REGRESSIVO	A B1	GABRIEL N. AMÉRICA	SARANDI N. AMÉRICA Superior IRECÊ N. AMÉRICA Inferior
II	TRANSGRESSIVO	B ?	JUSSARA Superior	JUSSARA Superior IRECÊ
I	REGRESSIVO	? C		N. AMÉRICA Superior N. AMÉRICA Inferior

Figura 4.6 – Quadro comparativo das três principais subdivisões encontradas na literatura para a Formação Salitre (Baseado em Misi, 1979; Bonfim *et al.* 1985; Souza *et al.* 1993).

5. RESULTADOS E DISCUSSOES

5.1 Petrografia

5.1.1 Descrição Macroscópica

Na porção norte da Bacia de Irecê (Grupo Una), na região onde estão localizadas a Toca da Boa Vista e da Barriguda, afloram carbonatos de coloração cinza rosado a cinza-amarelado, muito fino, com laminações plano paralelas e grande presença de estilólitos, *sets* de juntas, *boudins* de *chert* e feições de retrabalhamento por ondas e tempestades isoladas e meio a camadas depositadas em ambiente calmo (Figura 5.1 e 5.2).

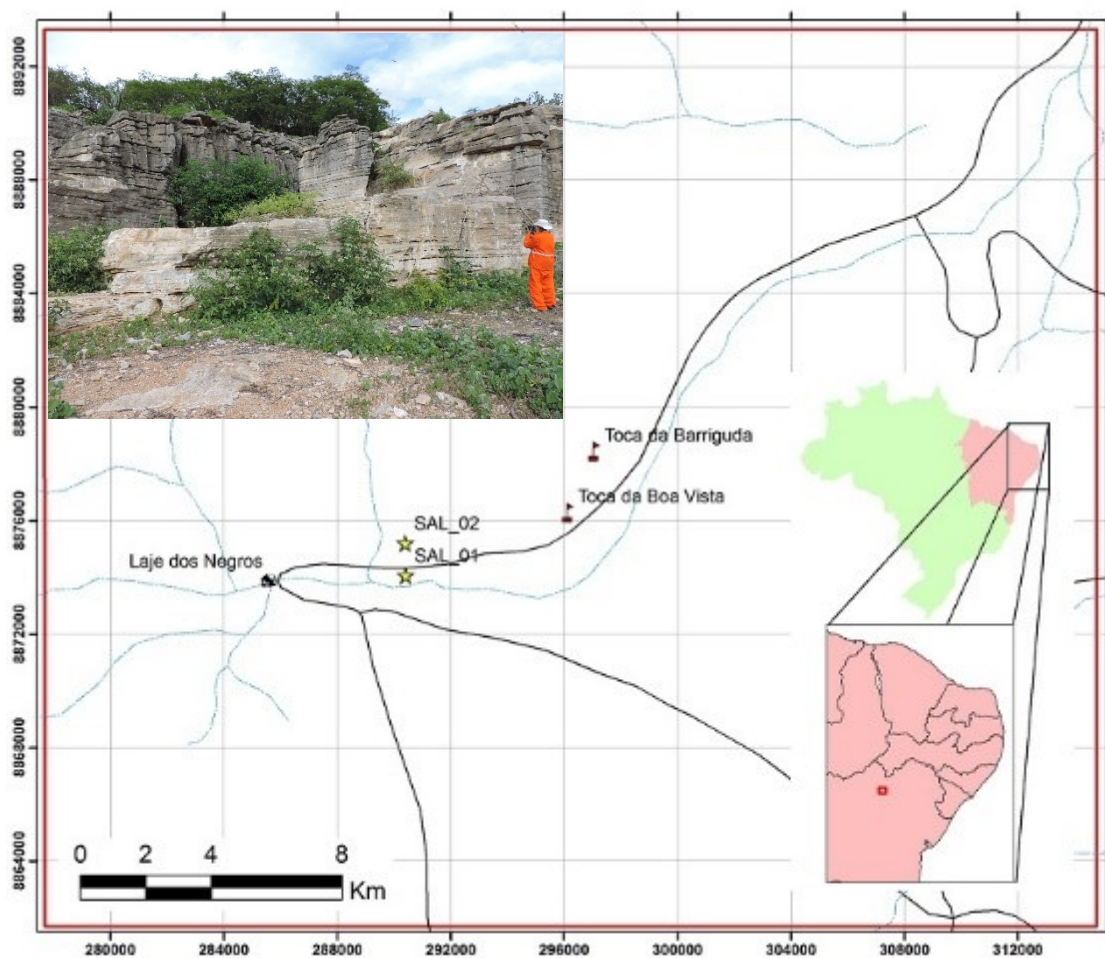


Figura 5.1 – Mapa com os pontos visitados em superfície (SAL-1 e SAL-2) e das cavernas visitadas. Destaque para foto do afloramento SAL-01 (Pedreira).

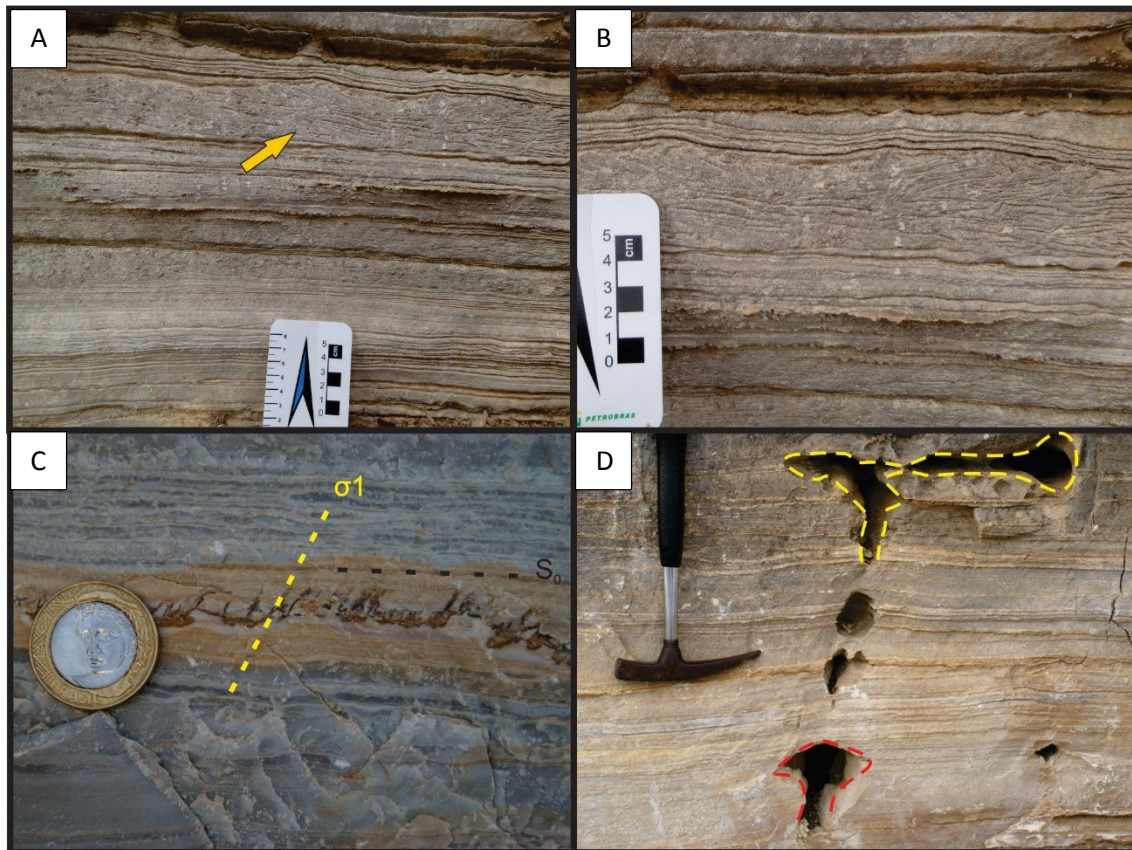


Figura 5.2- Aspecto dos carbonatos encontrados em superfície (pedreira), onde observam-se feições de retrabalhamento em A e um destaque dessas feições em B, estilólitos em C e feições de dissolução em D. Ponto SAL-01.

Nas cavernas, no entanto, é possível distinguir 5 (cinco) fácies distintas (Figura 5.3). A primeira, mais basal, é composta por *grainstone*, de cor cinza-esbranquiçado, com grãos na fração areia com estratificações cruzadas e plano-paralelas. Esta unidade faciológica apresenta-se bastante fraturada, sendo cortada por 3 (três) *sets* principais de juntas. A altura máxima desta camada alcança aproximadamente 5 (cinco) metros. Acima desta, tem-se a presença de um *grainstone* de granulometria menor e de coloração similar ao anterior. A densidade de fraturas nesta fácies é menor que na anterior. Sobreposta às camadas de *grainstone* encontra-se uma camada composta por *mudstone* de origem algálica, finamente laminado e de coloração cinza amarelado a branco. Esta fácies apresenta-se ora em contato com a camada de siltito (teto da caverna), ora com camada de estromatólito. É muito comum na camada de *mudstone*, a presença de nódulos e lentes de *chert*. Os nódulos e lentes de *chert* por sua vez, encontram-se paralelos ao acamamento, conferindo-lhes um caráter deposicional e acomodados em planos de falha e eixos de dobras, o que

também sugere uma origem tectônica. A camada composta por estromatólitos apresenta em média 60cm, possui coloração cinza e é caracterizada por estrutura estromatolítica do tipo *Jurussânia* Krylov. Constituindo o topo da caverna, tem-se uma camada de siltito de coloração avermelhada e espessura que chega a atingir 1,0 m em alguns pontos da caverna.

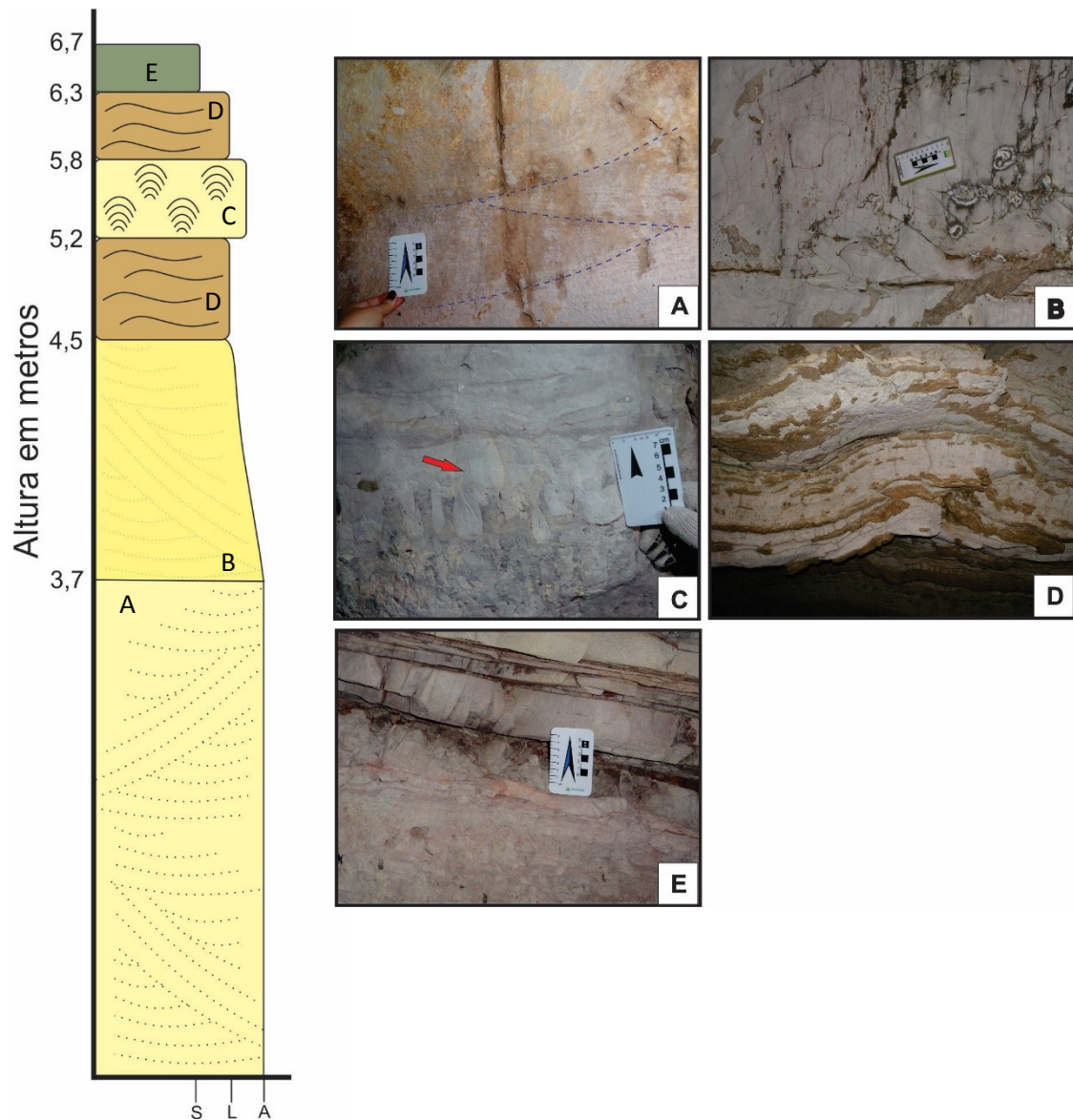


Figura 5.3 – Seção colunar tipo proposta para as Tocas da Boa Vista e da barriguda. Exibem em A) *Grainstone* com estratificações cruzadas; B) *Grainstone* fino; C) Nível composto por estromatólitos colunares do tipo *Jurussânia* Krylov; D) *Mudstone* com nódulos e lentes de *chert* e E) Camada de siltito que constitui o teto das cavernas.

No interior das cavernas foram observadas estruturas deposicionais como estratificação plano-paralela, estratificação cruzada, estruturas estromatolíticas do tipo *Jurussânia* Krylov, estruturas pós deposicionais como estilólitos, fraturas e dobras e estruturas relacionadas ao tipo de espeleogênese como cúpulas, *feeders* e *outlets*.

A principal estrutura observada no interior da caverna são as mega dobras (antiformes) cuja zona de charneira encontra-se intensamente fraturada. Observa-se que o desenvolvimento das galerias ocorre ao longo dos eixos das mega dobras. Observou-se, no primeiro setor da caverna (Toca da Boa Vista) que as principais galerias se desenvolvem a partir da dissolução ao longo do plano axial das dobras e os principais condutos são produtos de dissolução de planos de fraturas (Figura 5.4).

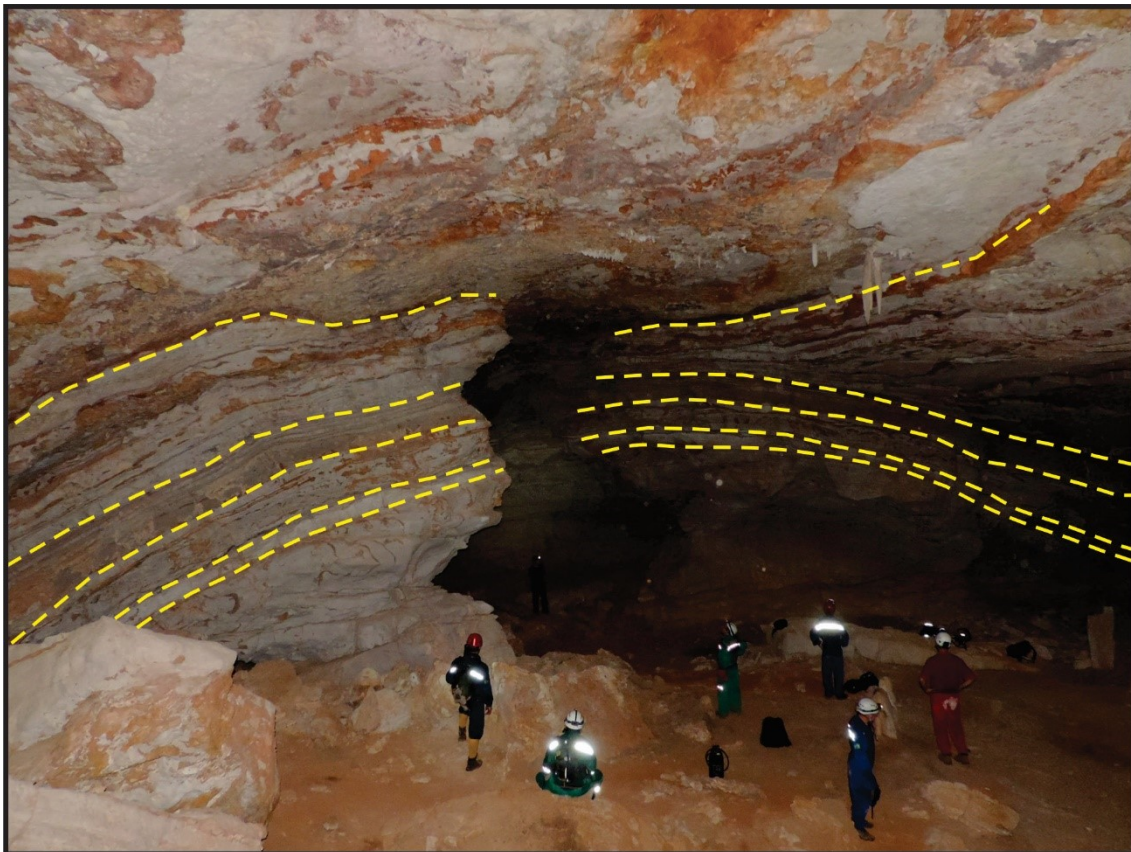


Figura 5.4 – Galeria formada a partir da dissolução em um plano axial de megadobra, indicando controle estrural para a formação da caverna. As linhas tracejadas separam os diferentes níveis faciológicos descritos nas cavernas. Toca da Barriguda.

Diversos *sets* de juntas são observados, principalmente no teto da caverna. Através das relações de continuidade de uma junta em relação a outra e composição mineral do preenchimento, é possível estabelecer a cronologia entre

cada *set*. Dessa forma, uma junta que não tem continuidade ao atingir outra junta é considerada mais recente. Da mesma maneira, uma junta preenchida por calcita é considerada mais jovem que uma preenchida por quartzo. Um *set* (J1) com direção E-W (090°Az) preenchido por quartzo; J2 com direção NE-SW (030°Az) e um terceiro (J3) com direção NW-SE. Os *sets* J2 e J3 compõe um par conjugado e encontram-se preenchidos por calcita (Figura 5.5b).

Os estilólitos são superfícies marcadas e evidenciadas por um plano que separa duas massas rochosas, com a aparência de uma fina sutura ou costura de picos interpenetrados, de tonalidade escura que poderá ser o resultado da acumulação residual de elementos insolúveis, tais como argilas e matéria orgânica. Quando a superfície estilólítica se apresenta paralela ou subparalela ao acamamento, considera-se sua origem através da compactação química, decorrente da sobrecarga do pacote rochoso com a evolução do soterramento. Para os estilólitos perpendiculares ao acamamento, é atribuída origem tectônica. A direção dos picos (agulhas) dos estilólitos representa a direção do eixo de tensão envolvido, no caso, σ_1 (sigma 1).

No caso dos estilólitos observados tanto na superfície quanto no interior das cavernas, foram identificados estilólitos paralelos ao acamamento porém suas agulhas se apresentam perpendiculares ao mesmo sugerindo um esforço compressivo perpendicular ao acamamento, compatível com a pressão de carga por soterramento; estilólitos subparalelos ao acamamento, com agulhas oblíquas, sugerindo um esforço compressivo tectônico. Observou-se que em alguns casos, os estilólitos diagenéticos interferem na propagação das juntas, indicando que estas ocorreram num nível crustal mais raso (Figura 5.5c).

Tão marcante quanto as megadobras é o intenso fraturamento observado no interior das cavernas. É possível constatar tanto através dos mapas da caverna, quanto em imagens de satélite e averiguações de campo, que a maior parte das estruturas frágeis obedecem a um *trend* NE-SW, enquanto que outras seguem um *trend* E-W. O mapa da caverna é dividido em três compartimentos. O primeiro compartimento é composto por condutos com direção NE-SW e E-W; No segundo compartimento há predominância de condutos com direção E-W e no terceiro, predominam condutos com direção NW-SW. Estas são as principais direções de fraturamento encontradas na caverna. No entanto, diversas fraturas

verticais a subverticais, distribuídas em várias direções, foram observadas. Outra observação importante é que associadas às fraturas, encontram-se feições morfológicas típicas de percolação de fluxo ascendente, como as cúpulas hipogênicas. Este fato revela que o fluxo ascendente responsável pelo processo de dissolução que originou a caverna, fez uso do sistema de fraturamento. É importante ressaltar que a distribuição do fraturamento não é aleatória. Ocorre intensamente na camada de *grainstones*, com menos intensidade na camada de estromatólitos, e rara ou nula nas camadas de *chert* e siltito. Essas observações demonstram a existência tanto de um controle estrural para o desenvolvimento dos condutos e galerias, quanto de um controle faciológico, uma vez que os condutos se desenvolvem a partir do fraturamento e este se distribui em uma unidade estratigráfica específica (Figura 5.5a).

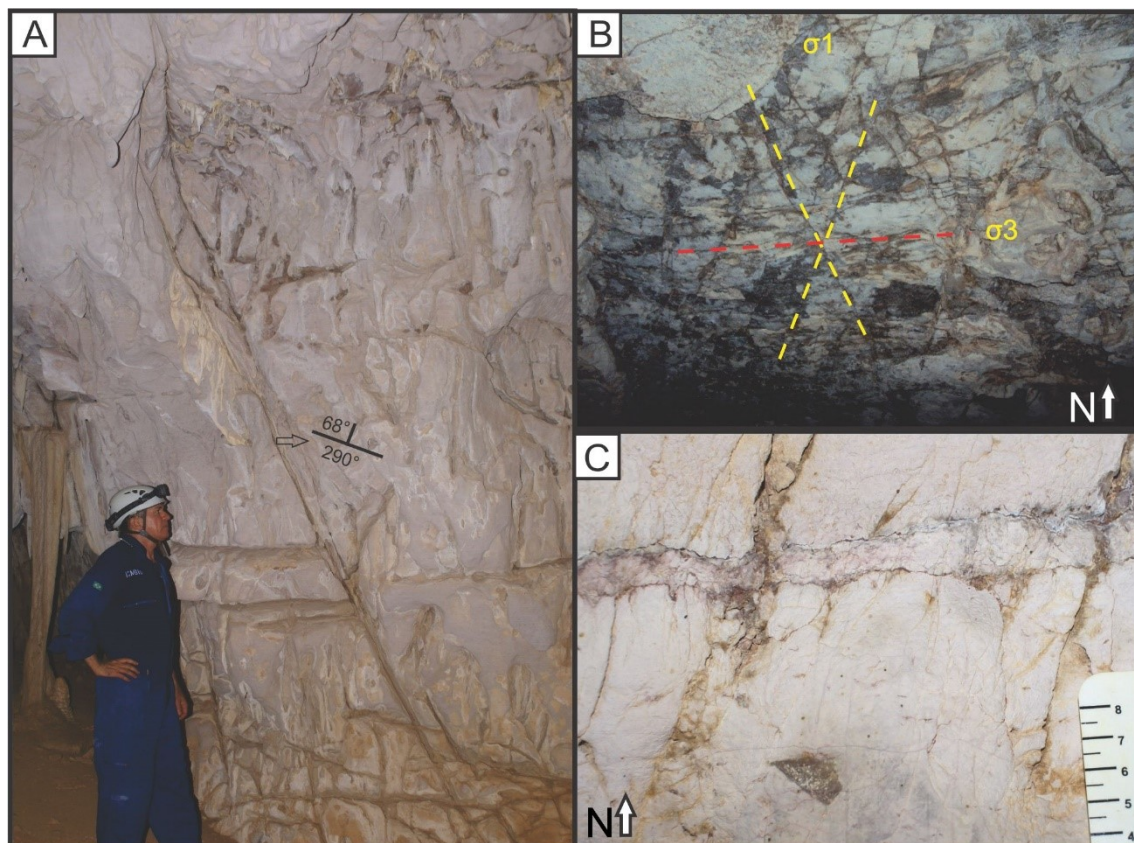


Figura 5.5 – Principais estruturas frágeis observadas nas cavernas. Em A) tem-se fraturas; Em B) Sets de juntas com pares conjugados (tracejado amarelo) e junta estilólítica (tracejado vermelho) e C) estilólitos barrando a distribuição de fraturas.

Entre as estruturas morfológicas que caracterizam fluxo ascendente foram identificadas cúpulas que são canais de saída de fluxo, sempre associadas às fraturas; *feeders* que constituem canais de entrada de fluxo e *outlets* que

constituem canais de passagem capazes de atravessar vários níveis estratigráficos (Figura 5.6).

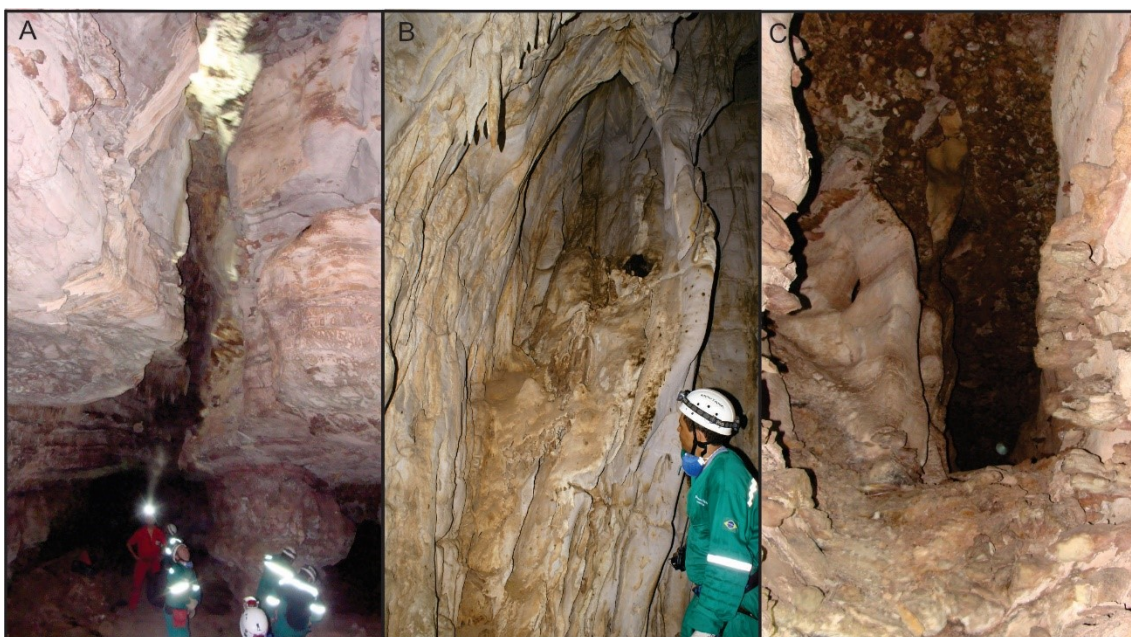


Figura 5.6 – Feições morfológicas típicas de dissolução hipogênea. A) *Outlets*; B) Cúpulas e C) *Feeders*.

5.1.2 Descrição Microscópica (Fácies *Grainstone*)

A análise microscópica realizada nas amostras tanto de superfície quanto do interior das cavernas apresentam como principais constituintes carbonáticos, grãos aloquímicos, grãos ortoquímicos e, em casos raros, grãos terrígenos.

Constituintes Aloquímicos

Os constituintes aloquímicos identificados em lâminas são: ooides, oncooides, intraclastos e peloides.

Os **ooides** são partículas envelopadas, esféricas a subsféricas, originadas por acreção físico-química em torno de um núcleo. Os ooides possuem, em geral, tamanho areia, variando normalmente entre 0,2 mm e 1,0 mm, mas em alguns casos raros podem ultrapassar os 2,0 mm (Terra *et al.* 2010). Segundo estes autores a estrutura interna dos ooides é formada por envelopes concêntricos contínuos em torno do núcleo, constituídos por cristais aciculares com os seus eixos maiores dispostos tangencialmente (concêntrico tangencial) ou radialmente (concêntrico radial) à superfície do grão.

Os ooides antigos, presentes neste trabalho, apresentam-se frequentemente micritizados, com tamanho variando entre 0,3mm a 0,7mm. Este

tipo de grão chega a constituir até 70% de algumas amostras. Em algumas amostras, ainda é possível observar diferentes envelopes envolvendo o núcleo, porém, na maior parte das amostras, é possível apenas identificar relíquias de estruturas concêntricas (fantasmas de ooides).

Os **oncoides** são grãos formados pela acreção organosedimentar de cianobactérias. Eles caracterizam-se por possuírem envelopes descontínuos, geralmente pouco nítidos, frequentemente com sedimento interno preso entre os envelopes e forma subesférica a subelíptica. Inicialmente, a forma externa dos oncolitos, assim como nos oólitos, é dependente da forma dos núcleos no início. Com o desenvolvimento da acreção, os oólitos tendem a ser mais esféricos que os oncolitos, já que o processo de acreção inorgânica exige uma energia ambiental muito mais elevada que a acreção orgânica.

Os oncoides presentes nas amostras analisadas são raros e difícil distinção entre os ooides devido a intensa micritização sofrida por esses grãos.

Os **peloides** são grãos micríticos de forma subesférica, arredondados, esféricos a elípticos ou agregados ovoides compostos por calcita criptocristalina, sem estrutura interna. Segundo Lopes (1995), podem ser derivados de intraclastos que, por abrasão, foram reduzidos a peloides. Para os grãos elipsóides de seção circular, com diâmetro em geral entre 0,1 mm e 0,5 mm de origem fecal, utiliza-se o termo —peloide fecal ou pellet quando denominado na literatura inglesa. Os peloides podem ser grãos aloquímicos micritizados de origem desconhecida, clastos de lama ou, então, fragmentos de bioclastos naturalmente arredondados não reconhecíveis. No caso das amostras estudadas a presença de peloides foi identificada em poucas amostras.

Os **intraclastos** são fragmentos biogênicos penecontemporâneos de sedimentos carbonáticos, parcialmente litificados, que são erodidos e redepositados na bacia de deposição. Os intraclastos podem ser de fragmentos de lama parcialmente consolidada ou de areia carbonática parcialmente litificada. A ocorrência de rochas compostas por fragmentos de estromatólitos e trombolitos é comum. Nestes casos, Terra *et al.* (2010) optaram pela designação —fragmentosII, pois não são intraclastos, conforme a definição supracitada, e nem bioclastos, pois mesmo considerando que todos os estromatólitos e trombolitos sejam de origem biogênica, a construção é considerada um depósito

organo-sedimentar. Nas amostras analisadas é comum presença de intraclastos com tamanho que chega a atingir 1,10 mm de comprimento.

Constituintes Ortoquímicos

A **matriz** microcristalina, também denominada lama carbonática ou micrita, é um dos constituintes mais comuns e abundantes em rochas carbonáticas. Uma das definições tradicionais de matriz ou lama carbonática considera todo material carbonático constituído de cristais menores que 4 μ m. Atualmente, todo material menor que 0,0625mm, que corresponde ao tamanho silte, é tratado como matriz. A origem da matriz carbonática é um dos assuntos mais polêmicos da sedimentologia. Na literatura, são registrados ciclicamente mecanismos que propõem explicar a origem da lama inorgânica e organicamente. Podem ser listados os seguintes mecanismos principais para a origem da lama carbonática:

- abrasão mecânica e abrasão biológica;
- desintegração de organismos calcários frágeis;
- bioacumulação de microrganismos;
- intervenção de organismos na precipitação bioquímica.

O **cimento** é um dos constituintes mais frequentes nas rochas carbonáticas. A cimentação ocorre quando os fluídos nos poros estão supersaturados com a fase cimentante; há fluxo desses fluídos e não ocorrem fatores cinéticos que inibam a sua precipitação. Os minerais carbonáticos mais importantes que tem função de cimento são a aragonita, a calcita magnesiana, a calcita de baixo teor de magnésio e a dolomita. O cimento é sempre o preenchimento de algum espaço poroso existente na rocha. Nas rochas carbonáticas, o cimento espático, constituído originalmente de aragonita ou calcita, é o mais abundante, embora possam ocorrer cimentos de calcita microcristalina, anidrita, anquerita e sílica. O cimento pode ser descrito em relação a sua textura (mosaico, em franja, sintaxial, poiquilotópico, blocoso, menisco e pendular), à forma cristalina (fibroso, prismático e equante) e ao tamanho dos cristais (microcristalino fino a blocoso).

Nas amostras analisadas foram identificados cimentação por calcita, por dolomita e por quartzo. O cimento predominante é espático, em mosaico e de

cristais equantes. Também foram observadas amostras compostas essencialmente por cimento microesparfítico.

A porosidade é uma das mais importantes propriedades de uma rocha sedimentar, uma vez que, associada a permeabilidade, determina a capacidade de uma rocha em se tornar um reservatório de hidrocarbonetos. Nas rochas carbonáticas a porosidade é principalmente secundária, devido a mecanismos como dissolução e fraturamento. Os tipos de porosidade identificados nas amostras analisadas foram intragranular, intergranular, móldica, interpartícula, microscristalina e vugular.

A rocha que hospeda as fraturas estudadas neste trabalho consiste em um grainstone oolítico composto por ooides micritizados (70% em média), intraclastos (5%), cimento espático (15%), grãos ortoquímicos (5%) e porosidade de 5% (em lâmina).

5.2 Petrologia e Evolução Diagenética

Os processos diagenéticos, aos quais os carbonatos presentes na área de estudo foram submetidos, são descritos conforme o estágio diagenético em que ocorreram. Para tanto, tomou-se como base a classificação proposta por Choquette & Pray (1970), que tem como parâmetro principal a porosidade das rochas (Figura 5.7).

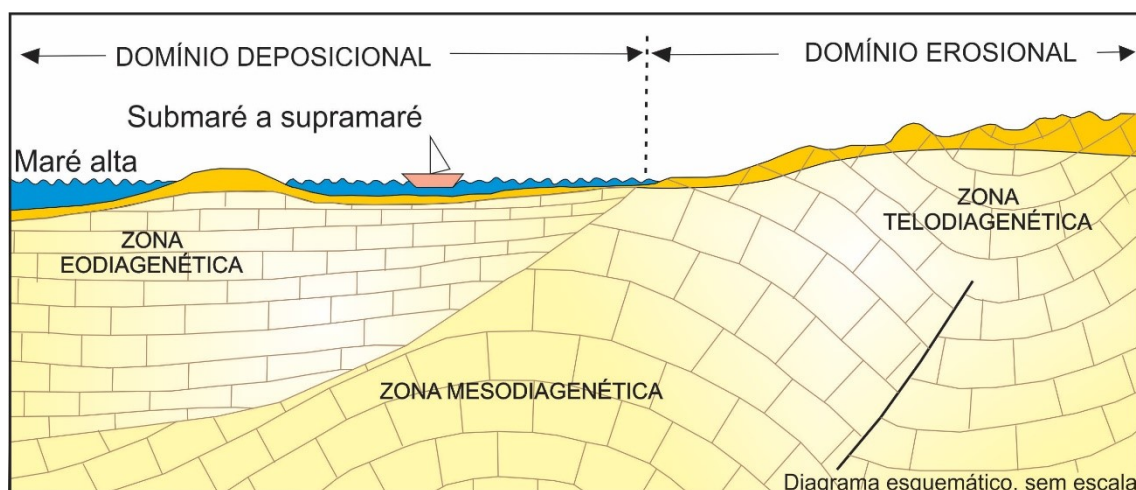


Figura 5.7- Localização das zonas correspondentes a cada estágio diagenético. Modificado de Choquette & Pray (1970).

5.2.1 Eodiagênese

Neste estágio, estão incluídos todos os processos que ocorrem na superfície ou próxima a ela, de forma que a geoquímica das águas intersticiais é controlada pelo ambiente deposicional. O período de tempo em que as rochas sedimentares podem permanecer nesse domínio é variável.

Os carbonatos da Formação Salitre foram depositados em ambiente marinho epicontinental e os primeiros eventos diagenéticos observados, aconteceram em ambiente freático marinho ativo e posteriormente, marinho estagnado. Uma boa circulação de água próxima a interface sedimento/água identifica a zona ativa, a qual pode ocorrer na margem da plataforma ou na zona de ante-praia superior. Extensa cimentação intergranular e de preenchimento de cavidades ocorre nesta zona, sendo o cimento fibroso, evidência desta fase. A zona estagnada caracteriza-se por uma pequena circulação de água, propiciando a micritização.

Num segundo momento, com o rebaixamento do nível do mar, estas rochas são expostas a condições subaéreas e passam a sofrer interferência de águas meteóricas. Ocorre reprecipitação de CaCO_3 na forma de calcita espática e recristalização da micrita presente nos grãos aloquímicos.

- Micritização

A baixa energia do ambiente propiciou uma intensa atividade de organismos (algas, fungos e bactérias) e como resultado, tem-se grãos (ooides, oncoides e intraclastos) intensamente micritizados sendo difíceis de distinguir seu núcleo e envoltórios (Figura 5.8).

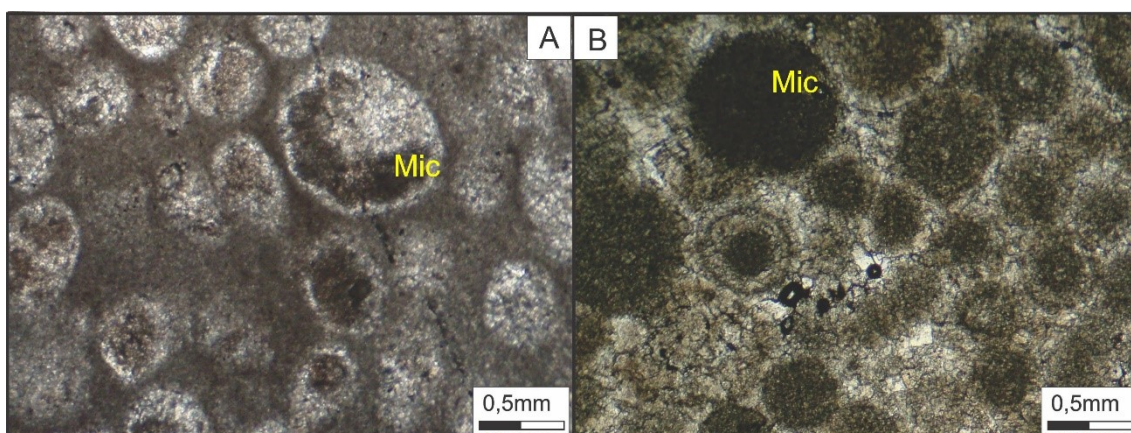


Figura 5.8 – Ooides e oncoides micritizados. Na segunda figura, já é possível ver início da recristalização da micrita.

- Cimentação por aragonita

O primeiro episódio de precipitação química de material entre os grãos se deu com a precipitação de aragonita. Com mudanças no ambiente diagenético causadas principalmente por queda do nível do mar, exposição subaérea e interação de águas meteóricas este cimento foi quase totalmente substituído por mosaicos de calcita espática (Figura 5.9).

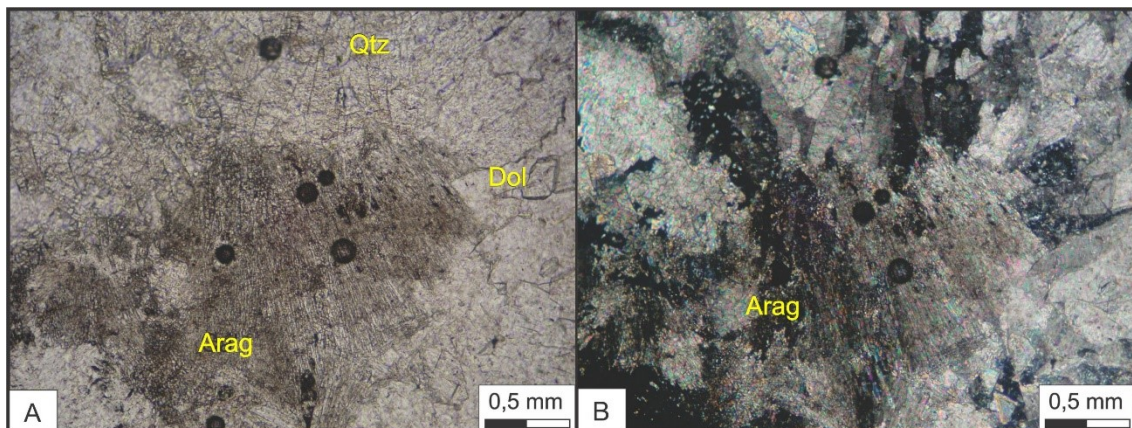


Figura 5.9 – Resquícios de de hábito fibroso do cimento de aragonita.

- Neomorfismo

As mudanças ambientais favoreceram um intenso processo de transformação do cimento de calcita fibrosa e da micrita presente nos grãos do aloquímicos (ooides, oncoides e intraclastos), por calcita espática, na forma de mosaicos e cristais em sua maioria, equantes. É possível observar espátos que preservam relíquias de óoides e oncoides (fantasmas). Este cimento, composto originalmente por calcita, foi substituído por dolomita (Figura 5.10).

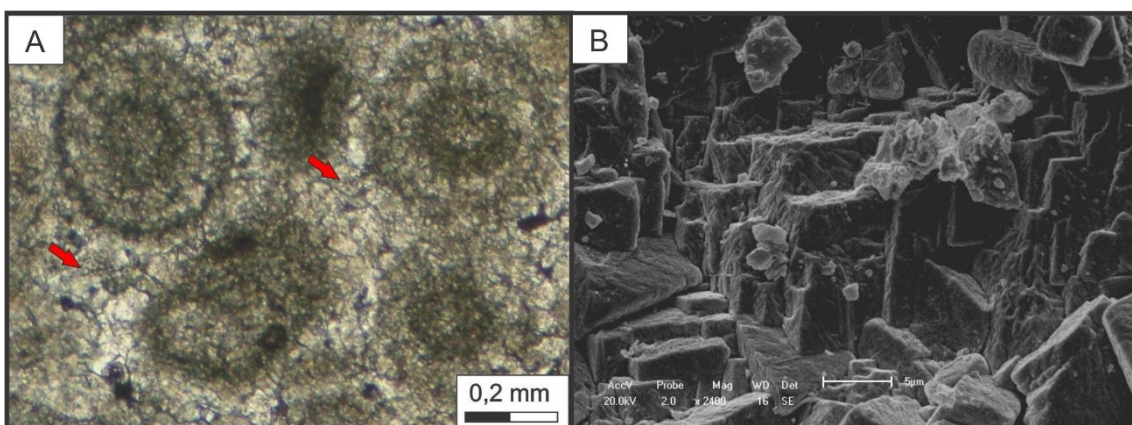


Figura 5.10 – Neomorfismo evidenciado através da recristalização da micrita presente nos aloquímicos. Obseva-se na primeira figura, relíquias de oólitos e na segunda figura, uma imagem obtida por MEV mostrando cristais de calcita.

5.2.2 Mesodiagênese

Este estágio acontece durante o soterramento. Inicia-se a partir do isolamento dos processos superficiais e se estende ao início do metamorfismo de baixo grau (Choquette & Pray 1970). Em termos de profundidade de soterramento e temperatura, outros autores (Morat *et al* 2000), redefinem a mesodiagênese como estágio que se inicia em profundidade superior a 2km e temperatura superior a 70°C.

- Compactação química

A compactação química consiste no efeito da dissolução de minerais submetidos à pressão por sobrecarga. Este tipo de compactação é caracterizada pela presença de estilólitos e filmes de dissolução. Os estilólitos são muito comuns nos carbonatos analisados e são encontrados tanto paralelos ao acamamento quanto oblíquos a este. Filmes de dissolução também são comuns e encontram-se, por vezes, preenchidos por matéria orgânica (Figura 5.11).

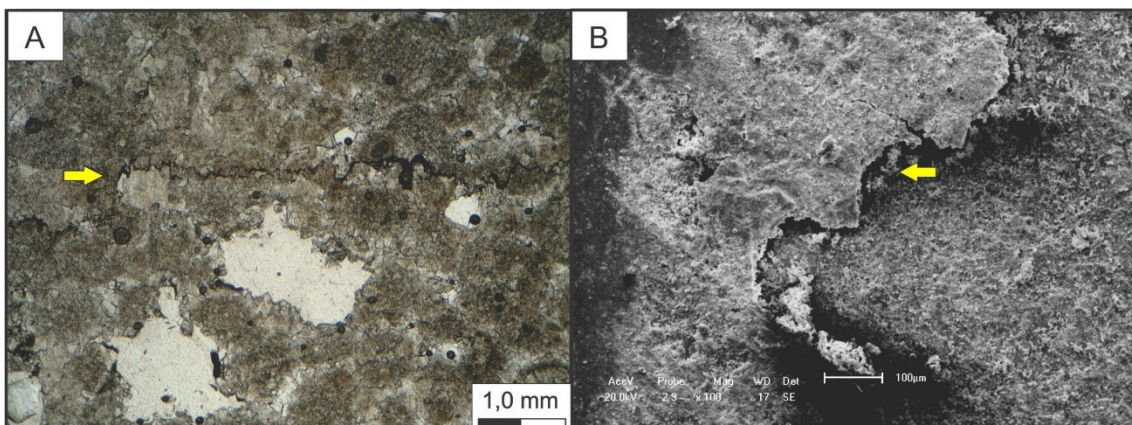


Figura 5.11 – Fotomicrografia exibindo superfície estilolítica em A e superfície estilolítica em imagem obtida por MEV em B.

- Dissolução e Fraturamento

O pacote rochoso estudado foi submetido a um intenso fraturamento em nível crustal raso (dada a relação das fraturas com os estilólitos). As fraturas atuaram como caminho preferencial para a percolação dos fluidos responsáveis pela dissolução que deu origem a porosidade secundária. Como resultado dessa dissolução, tem-se porosidade móldica, intergranular, vugular e alargamento de fraturas. A natureza do fluido responsável pela dissolução que originou a caverna é desconhecida mas sabe-se, através da presença de feições morfológicas características, que trata-se de fluido com fluxo ascendente (Figura 5.12).

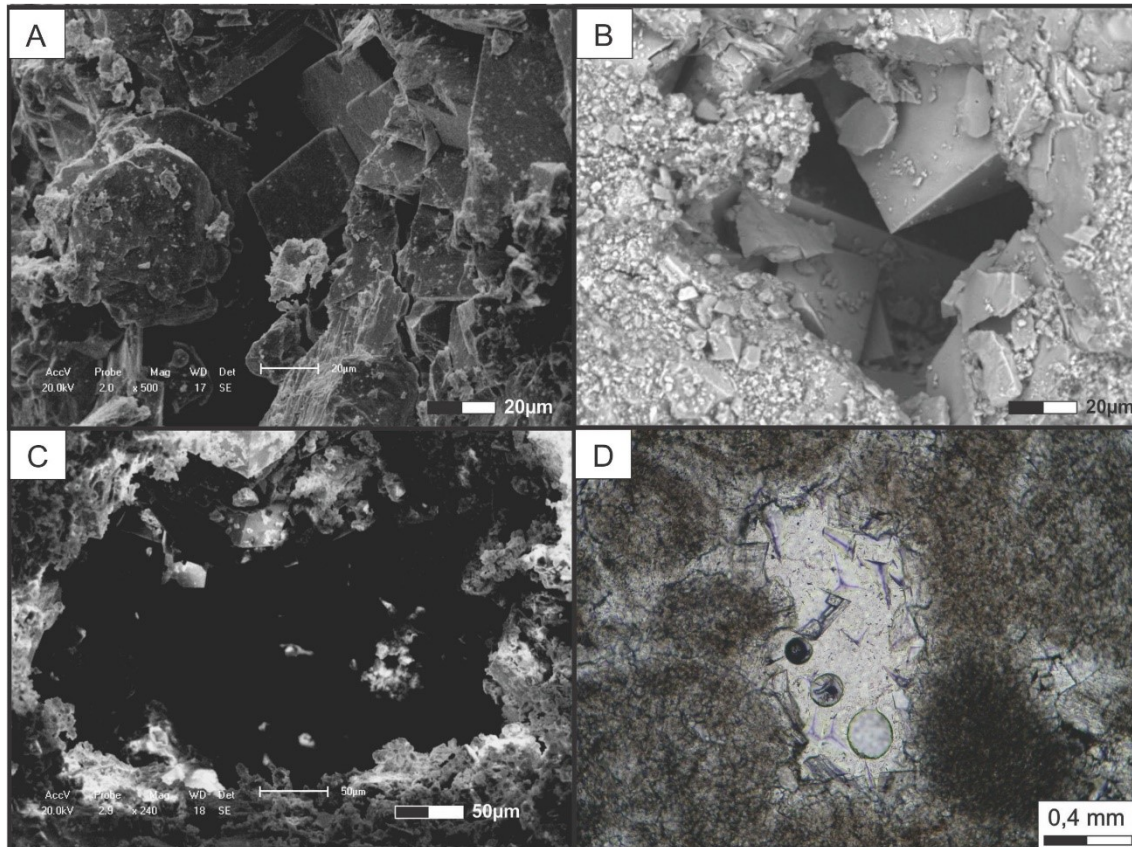


Figura 5.12 - Imagem obtida por MEV, exibindo dissolução através de fratura (A) e de vugs (B e C). A imagem D exibe fotomicrografia de um vug começando a ser preenchido por dolomita.

- Dolomitização

Um intenso processo de dolomitização foi identificado em fácies presentes nas cavernas estudadas. Cristais de dolomita substituem o cimento calcítico, bem com preenchendo fraturas e *vugs* (Figura 5.13). Ocorre também a presença de dolomita em sela (*saddle dolomite*). Bastante comum durante a mesodiagênese tardia, a dolomita em sela também indica a atuação de um fluido hidrotermal (Figura 5.13).

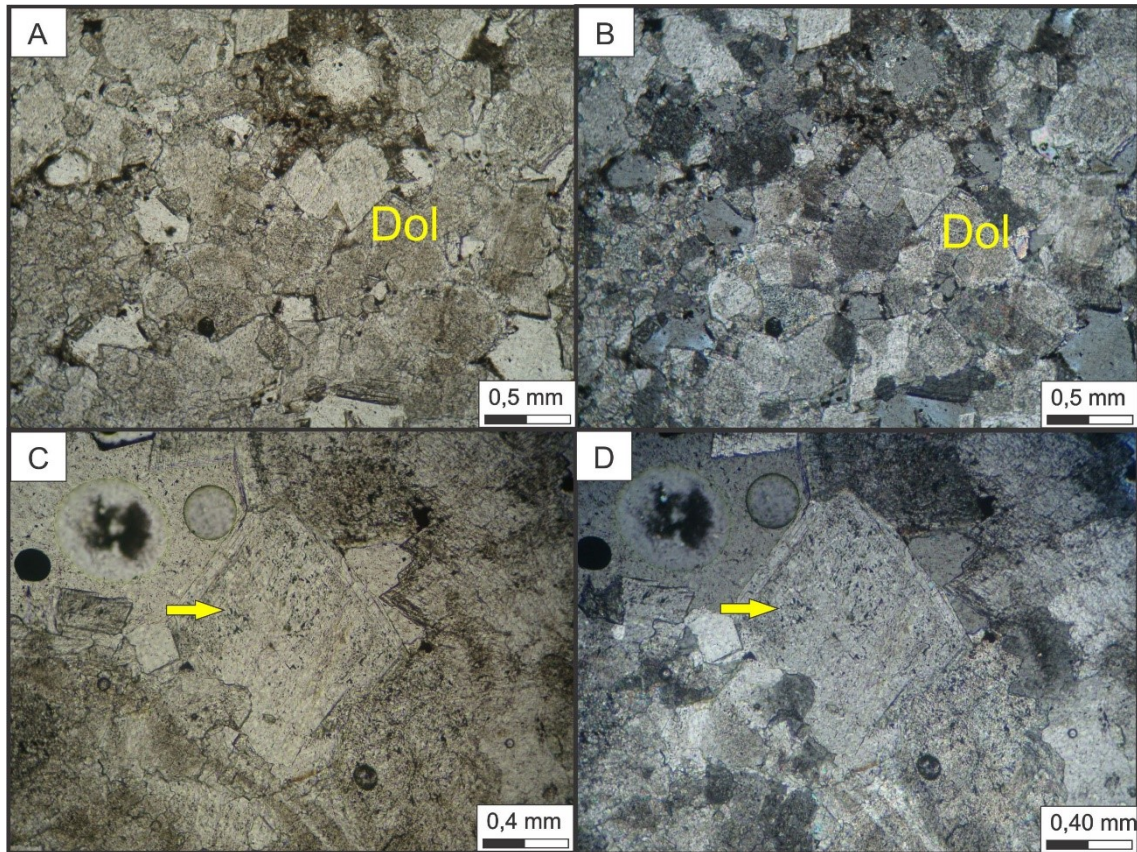


Figura 5.13 – Processo de dolomitização (A e B) e em C e D detalhe de cristal de dolomita em sela. Nicóis paralelos em A e C e nicóis cruzados em B e D.

- Cimentação por quartzo

Os cristais de quartzo encontram-se dispersos na rocha, ora como preenchimento de *vugs* ora como silicificação ao longo de estilólitos e microfraturas. Este foi o último evento de cimentação em ambiente de subsuperfície e associado à presença de dolomita em sela reforça-se a relação com fluido hidrotermais ascendentes (Figura 5.14).

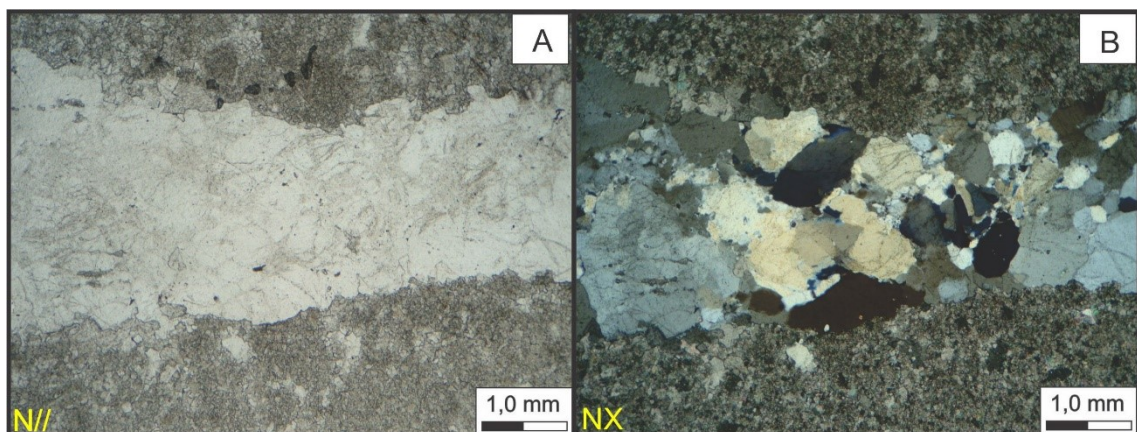


Figura 5.14 – Cimento de quartzo preenchendo fratura. Nicóis paralelos em A e paralelos em B.

5.2.3 Telodiagênese

Este estágio está relacionado à reexposição de rochas que já estiveram soterradas às condições superficiais, envolvendo basicamente a influência de águas meteóricas. Esta reexposição se dá por soerguimento e erosão de parte da seção, como também, por infiltração profunda de água meteórica através de fraturas e falhas.

- Cimentação por Calcita e Óxido de Ferro

Um último processo de cimentação ocorreu em ambiente meteórico freático. Trata-se de preenchimento de fraturas por cimento calcítico, óxido de ferro e alteração por matéria orgânica (Figura 5.15).

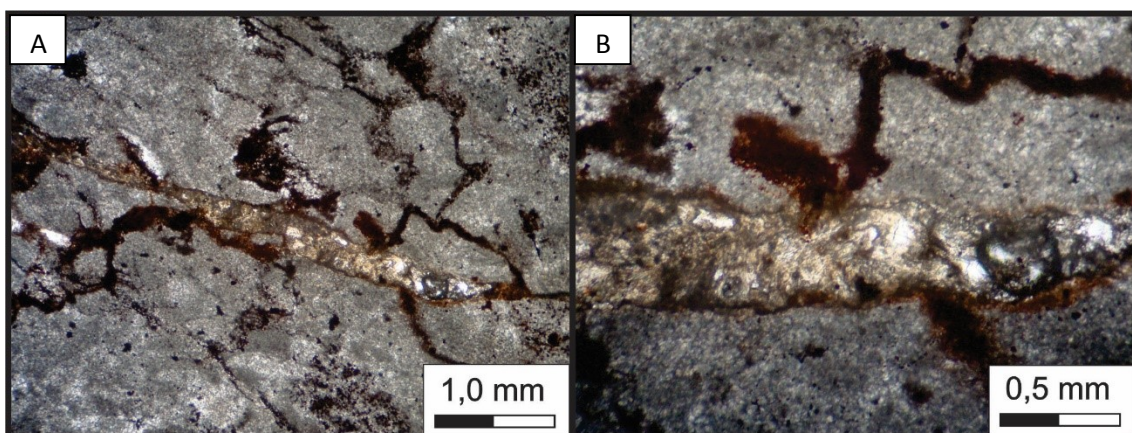


Figura 5.15 – Cimento de calcita e de óxido de ferro preenchendo fratura (A) detalhe em B.

- Dissolução

Exposição subaérea promoveu um segundo processo de dissolução. Nesta etapa, foram dissolvidos os cimentos que preenchiam as fraturas provocando o alargamento destas e o desenvolvimento de novas *vugs*.

5.3 Análise das Fraturas

As principais fraturas estudadas neste trabalho encontram-se localizadas em uma parede com direção E-W, no primeiro compartimento da Toca da Boa Vista, uma outra em uma parede NE-SW da Toca da Barriguda, todas associadas a cúpulas de dissolução hipogênica. A presença dessas cúpulas indica a passagem do fluxo ascendente. Dessa forma, estudar essas fraturas constitui uma importante ferramenta de apoio ao estudo dos mecanismos de dissolução envolvidos na geração das cavernas visitadas. Num primeiro

momento, visou-se estudar as relações mineralógicas entre a fratura e a rocha hospedeira (Figura 5.16).

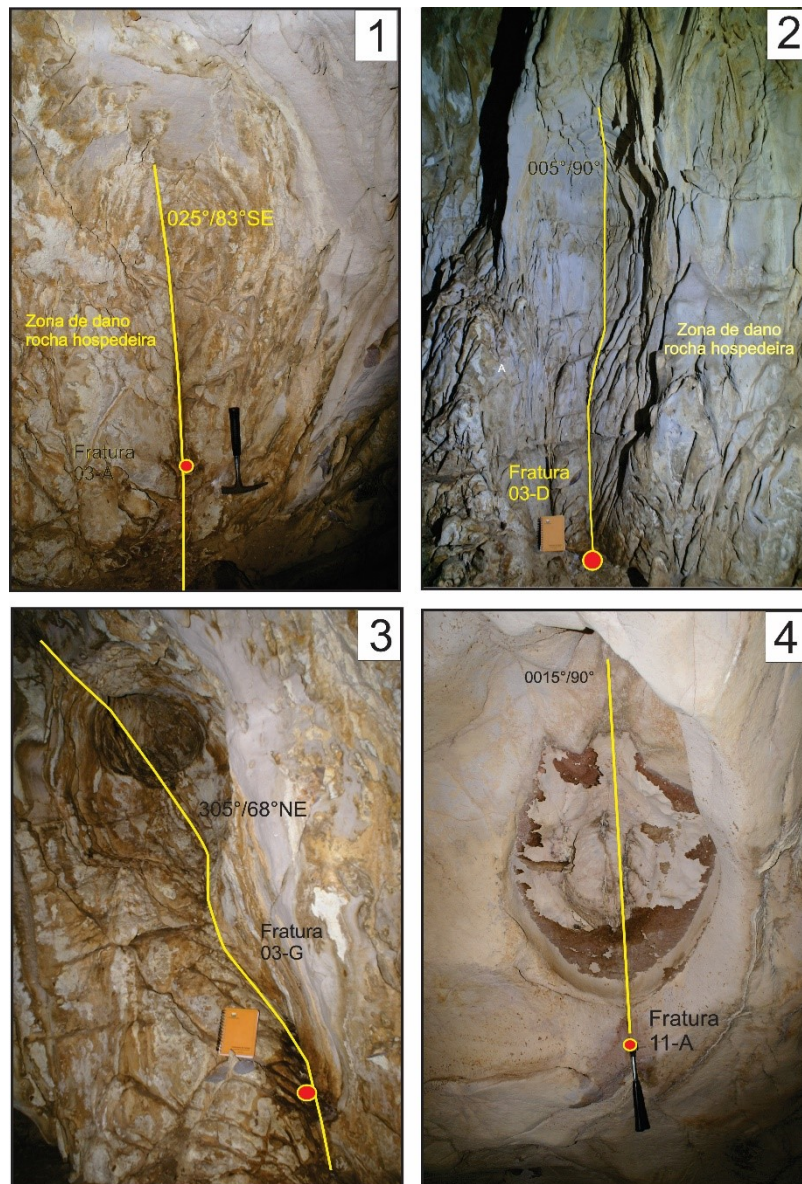


Figura 5.16 - Fraturas associadas a cúpulas de dissolução hipogênica. O tracejado amarelo indica plano de fratura e a bolinha vermelha indica o local onde a amostra foi coletada por plugadeira.

Para cada uma dessas fraturas, foram coletadas uma amostra no centro, visando englobar o material do preenchimento e uma amostra na zona de dano (à direita e à esquerda da fratura). A ideia era conhecer as características mineralógicas da rocha hospedeira e quais tipos de alterações foram impostas a esta, pela interação com o fluido que passou pelas fraturas (Menezes, 2014a). Com isso foi possível constatar que a rocha que hospeda as fraturas é um grainstone oolítico (Figuras 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20).

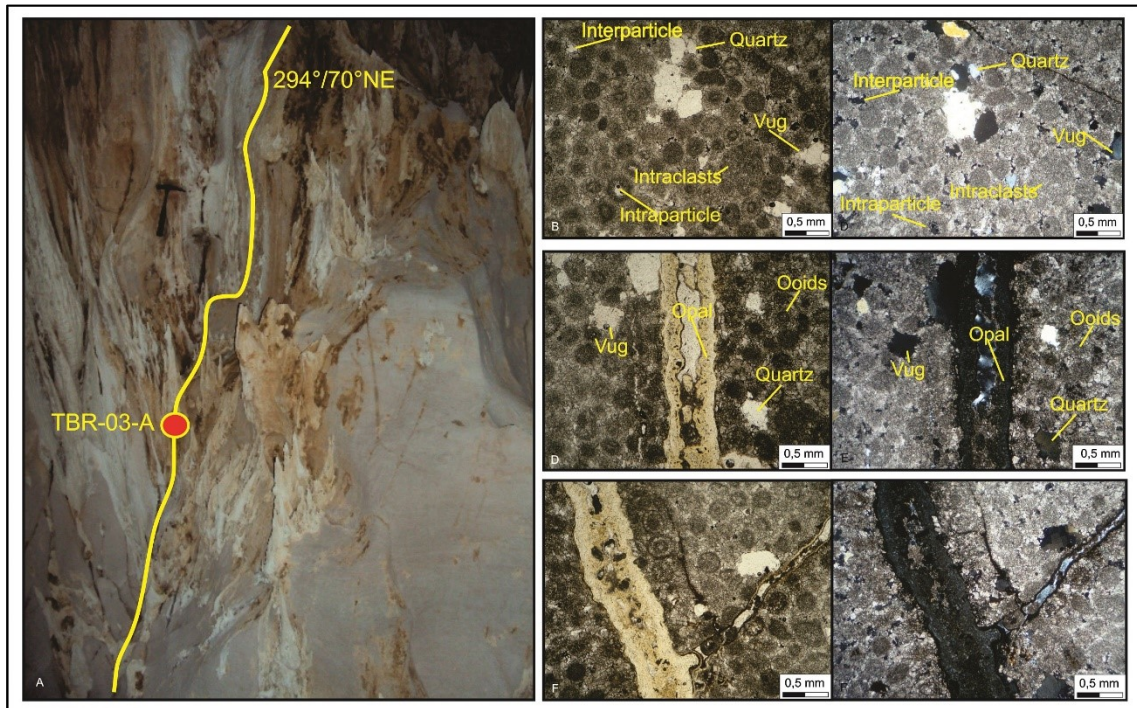


Figura 5.17 – Amostra coletada em fratura, exibindo grainstone oolítico com intraclastos e cristais de quartzo. É possível identificar porosidade interpartícula, intrapartícula e vugular. A fratura encontra-se preenchida por sílica.

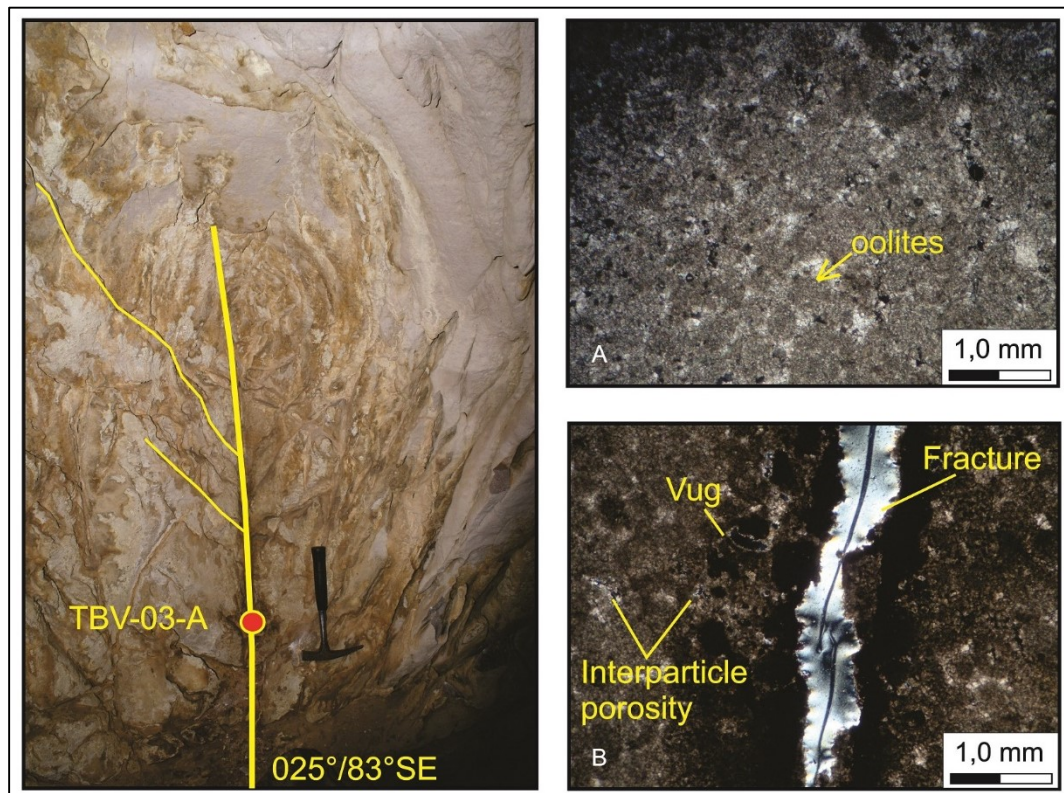


Figura 5.18 – Fratura com preenchimento removido por dissolução telodiagenética e bordas alteradas por óxido de ferro e matéria orgânica.

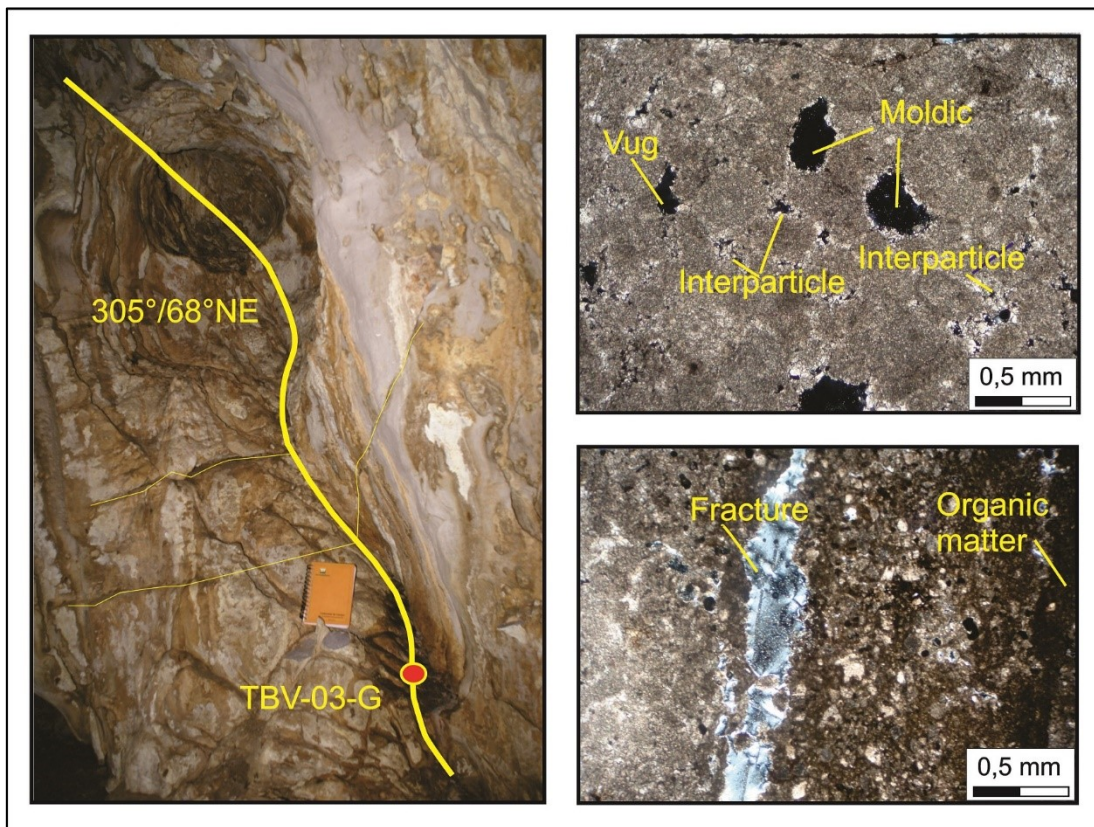


Figura 5.19 – Fratura apresentando intenso processo dissolucional. Porosidade interpartícula, móldica e vugular. Borda de fratura alterada por matéria orgânica e óxido de ferro.

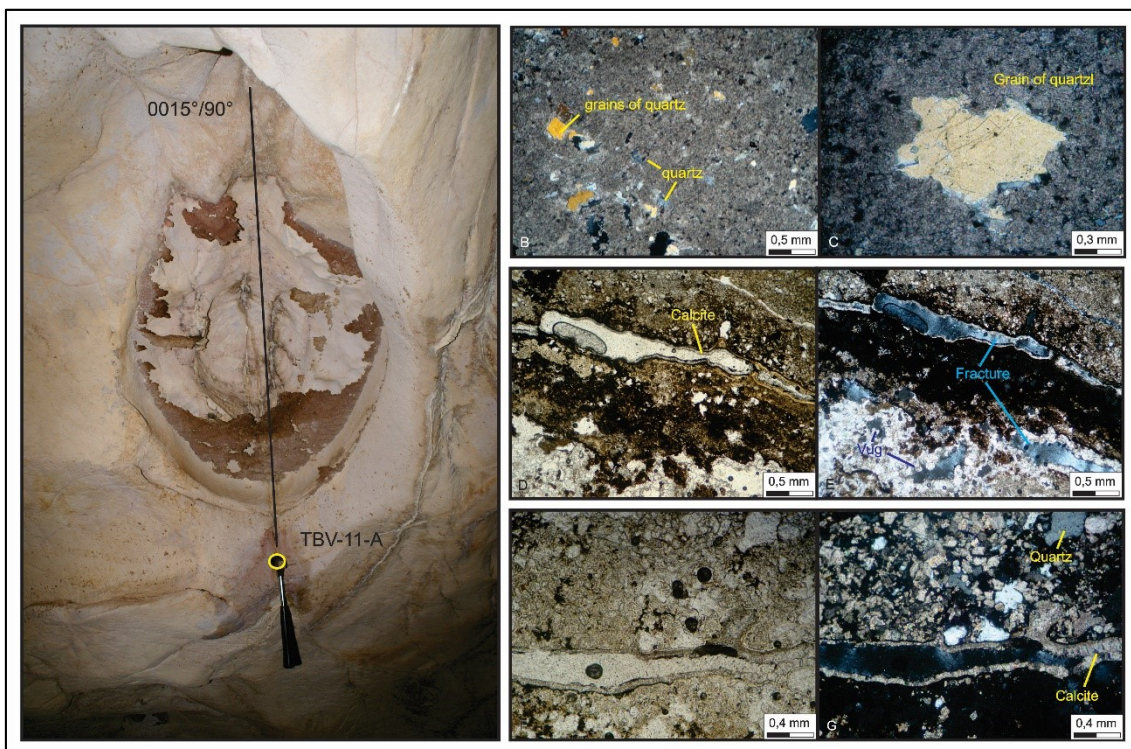


Figura 5.20 – Grainstone oolítico com fratura alterada por matéria orgânica. Grande quantidade de quartzo nas bordas da fratura e um posterior cimento calcítico sendo dissolvido. Intenso processo de dissolução observado.

Baseando-se nas análises petrológicas, é possível estabelecer uma sequência cronológica para o preenchimento das fraturas diretamente relacionada com a sequência diagenética já analisada. As fraturas foram desenvolvidas em ambiente de soterramento e o primeiro material a preenchê-las foi o quartzo. Em amostras analisadas sob MEV é possível observar fraturas preenchidas por dolomita (Figura 5.22). Um preenchimento mais tardio se dá por cimento de calcita. As condições atuais de dissolução mostram que este cimento calcítico está sendo removido e as fraturas estão sendo alargadas.

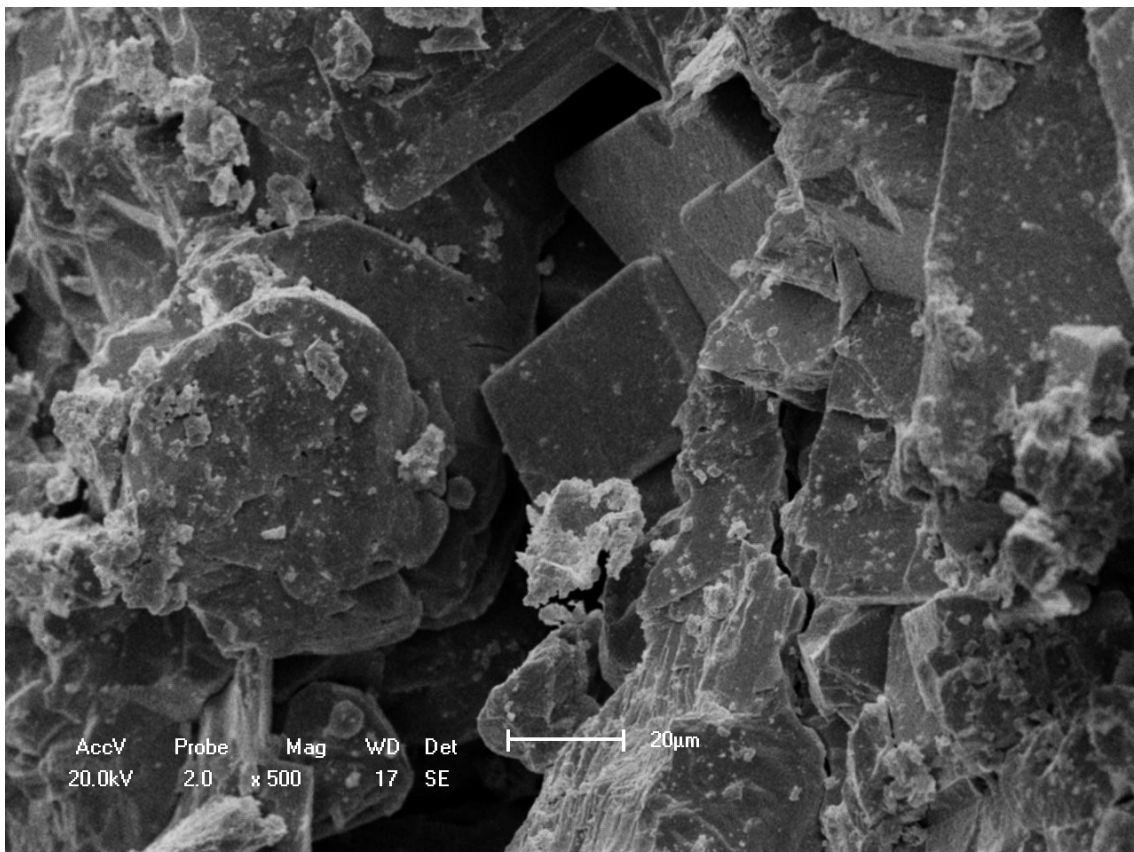


Figura 5.21 – imagem obtida por MEV exibindo desenvolvimento de cristais de dolomita em uma fratura.

Além da análise petrológica, amostras da fratura bem como de suas encaixantes foram submetidas à análise química visando conhecer as variações na composição da encaixante pelo efeito causado pelas fraturas e seu preenchimento (Figura 5.22). Através de fluorescência de raios-X em amostras pertencentes a quatro fraturas e suas zonas de dano (à direita e à esquerda da fratura), foi possível confirmar em três fraturas, um aumento de CaO (óxido de cálcio) da encaixante para o centro da fratura e diminuição de MgO (óxido de

magnésio) neste sentido, caracterizando o preenchimento por calcita. Na última fratura tanto o CaO quanto MgO diminuem da encaixante para o cento da mesma, havendo aumento de SiO (óxido de silício), o que caracterizou preenchimento por quartzo (Menezes, 2014b).

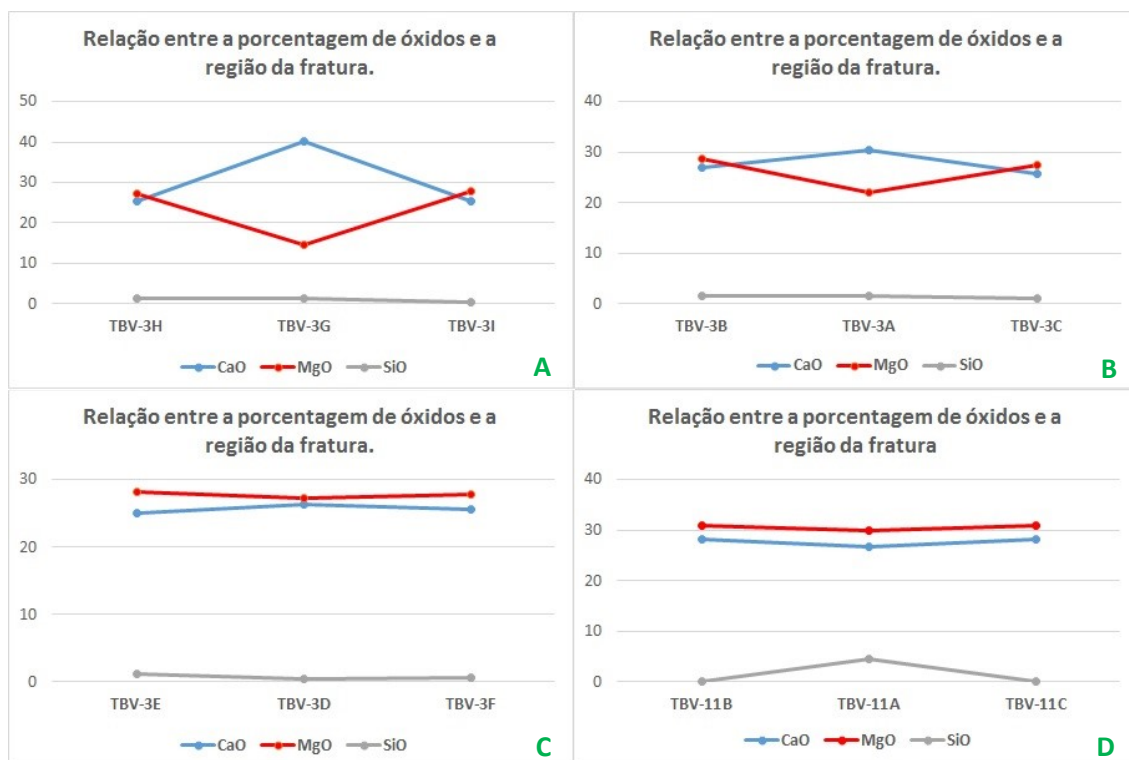


Figura 5.22 – Gráficos produzidos pelos resultados de fluorescência de raios x, mostrando o comportamento de óxidos como CaO, MgO e SiO nas três regiões da fratura. Aumento de óxido de cálcio e diminuição do óxido de magnésio em A, B e C. Em D tem-se diminuição de óxido de cálcio e magnésio e aumento de óxido de silício em D. (Menezes, 2014b)

Uma outra tentativa de se entender o comportamento dos componentes químicos em diferentes regiões da fratura foi efetuar análise por EDS (*Electric Dispersive Scanning*) acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). Foram feitas análise por região em 5 (cinco) amostras, sendo elas: F (Centro da fratura), ZD1 e ZD2 (Zona de dano à direita e à esquerda da fratura) e E1 e E2 (Encaixante à direita e à esquerda), (Figura 5.23). Os resultados obtidos com esta análise, mostram pequenas variações na quantidade de alguns elementos químicos em determinadas regiões da fratura. Entre as variações mais significativas tem-se a diminuição de magnésio e de sódio no centro da fratura.

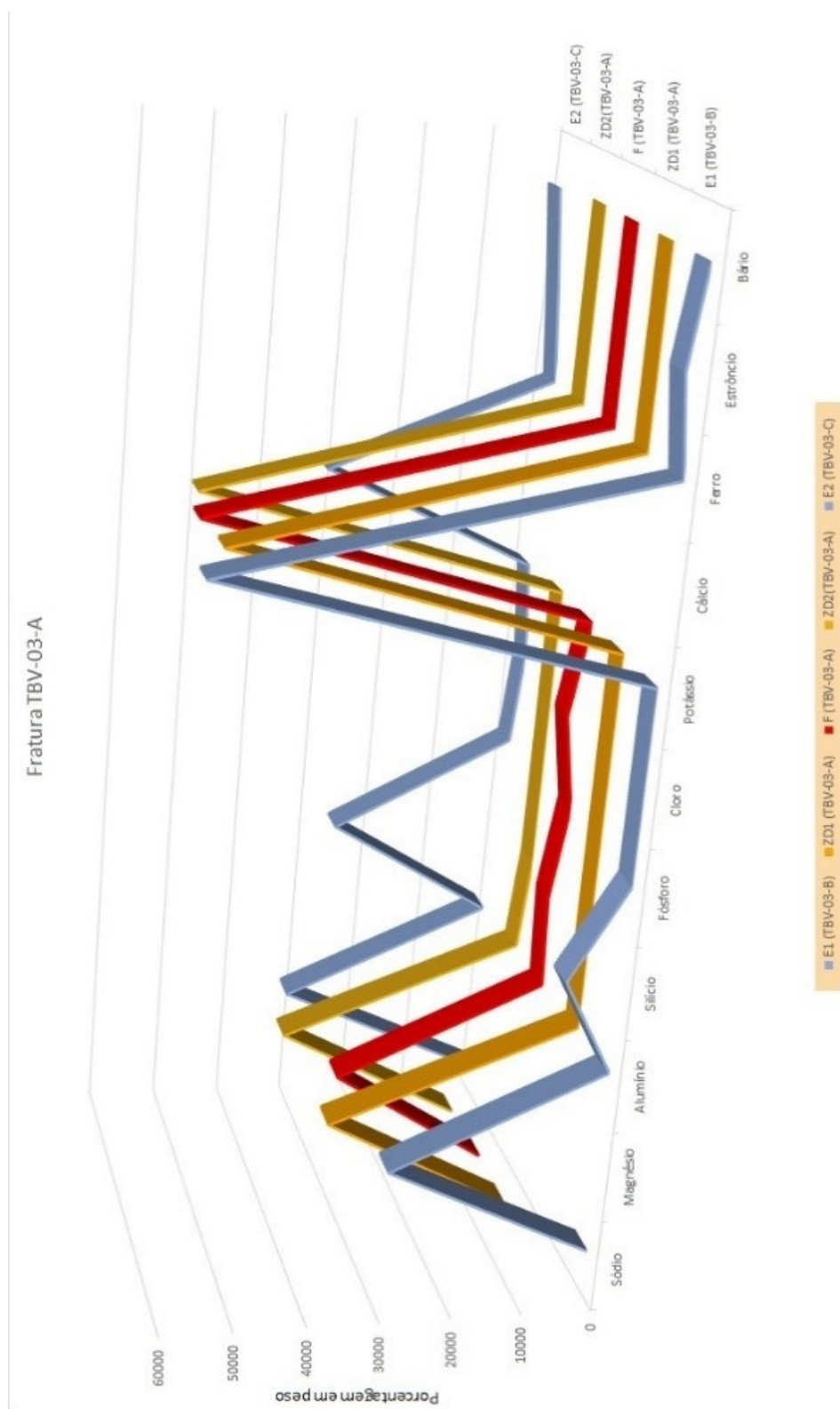


Figura 5.23 - Gráfico referente a composição química por cada região da fratura.

5.4 Petrofísica

5.4.1 Porosidade

A porosidade é uma propriedade fundamental em um reservatório petrolífero. Rochas reservatórios consistem de um material sólido e espaços intersticiais que podem ou não estar conectados. Desta forma, a porosidade vem a constituir a razão entre o volume poroso de uma rocha e seu volume total. No entanto, a fração da porosidade, cujos poros encontram-se conectados, recebe maior interesse, pois permite a transmissão de fluidos através do corpo rochoso. Esta porosidade recebe o nome porosidade efetiva, que vem a ser a razão entre o número de poros conectados e o volume total da rocha.

Diversos esquemas de classificação dos tipos de porosidade foram propostos ao longo do tempo. Murray (1960), desenvolveu classificação baseada no tempo de formação da porosidade especialmente aplicável em rochas carbonáticas. Para este autor existem dois tipos de porosidade: a primária que é sindeposicional e a secundária que é pós-deposicional. Esta classificação é amplamente aceita tanto na academia quanto na indústria.

Assim, diversos estudos consideram que a porosidade primária está relacionada a fatores como granulometria, seleção, forma do grão e empacotamento. Segundo Pettijohn (1957) tem-se os seguintes valores médios de porosidade para cada fração granulométrica: areia grossa, de 39% a 41%; areia média, de 41% a 48%; areia fina, de 44% a 49% e silte fino, de 50% a 54%. Numerosos estudos demonstram que a porosidade aumenta com o incremento da seleção. Quanto maior a seleção dos grãos, menor quantidade de grãos menores a preencher o espaço deixado pelos maiores. Segundo Frazer (1935), quanto mais esféricos e arredondados forem os grãos, menores são os valores de porosidade. No entanto, o padrão de empacotamento responde muito mais do que a forma em si.

A porosidade secundária por sua vez, sofre muito mais com os efeitos da diagênese. A diagênese pode conectar poros com a cimentação, fechar poros com a compactação, abrir poros com a dissolução ou, até mesmo, criar novos poros através da recristalização e substituição mineral. Outro fator que pode influenciar na porosidade é o tempo. Segundo Choquette & Pray (1970), a

porosidade em sedimentos carbonáticos modernos varia em torno de 40 a 70%, porém está em torno de 5 a 15% em rochas mais antigas. Estudos tem mostrado que muito mais relevante que o tempo é a profundidade de soterramento (Schmoker e Halley, 1982). Estes autores apontam que a porosidade diminui exponencialmente de 40% na superfície para 10% em 5.486 metros, nos carbonatos estudados (South Florida). Estes autores também apontam que a porosidade em dolomitos é menor que em calcários, estando estes em superfície, porém maior que em calcários em profundidades acima de 1.700 metros, pois a taxa de diminuição da porosidade com o aumento da profundidade de soterramento é menor nos dolomitos.

5.4.2 Permeabilidade

A permeabilidade de um espaço poroso é a capacidade de permitir o fluxo de fluidos. A permeabilidade e a porosidade são propriedades distintas e não possuem relação direta entre si; no entanto, a permeabilidade é favorecida pela porosidade efetiva.

A permeabilidade pode ser expressa pela velocidade de fluxo (c.c. de fluxo por segundo) que passa através de uma amostra cilíndrica de rocha de seção A (cm^2) e comprimento C (cm). A velocidade depende do gradiente de pressão $P1-P2$ (em atm) e da viscosidade do fluido μ (em centipoise). As relações entre estes fatores podem ser expressas pela fórmula:

$$Q = K \frac{A(P1 - P2)}{\mu \cdot C}$$

O coeficiente de proporcionalidade K é a permeabilidade correspondente à rocha em questão. Este coeficiente foi denominado de darcy. Dessa forma, uma rocha possui permeabilidade de 1 darcy, quando permite passar 1 cm^3 de fluido com viscosidade de 1 centipoise, por segundo, através de uma seção de 1 cm^2 de área e 1 cm de comprimento, com diferença de pressão de 1 atm entre os extremos da amostra. A Lei de Darcy é expressa por:

$$K = \mu \cdot Q \cdot C / A(P1 - P2)$$

A permeabilidade das rochas é medida em laboratório, usando o ar como fluido de medição e é expressa em milidarcies (mD) devido ao alto valor da unidade darcy, incompatível com as situações normais na natureza.

5.4.3 Propriedades Petrofísicas Estudadas

A descrição das propriedades petrofísicas baseou-se em análise qualitativa em escala microscópica, e quantitativa através de ensaios feitos em laboratório. A análise quantitativa nos permitiu diferenciar valores de porosidade e permeabilidade muito baixos e com significativa diferença entre cada fácies (Figura 5.24).

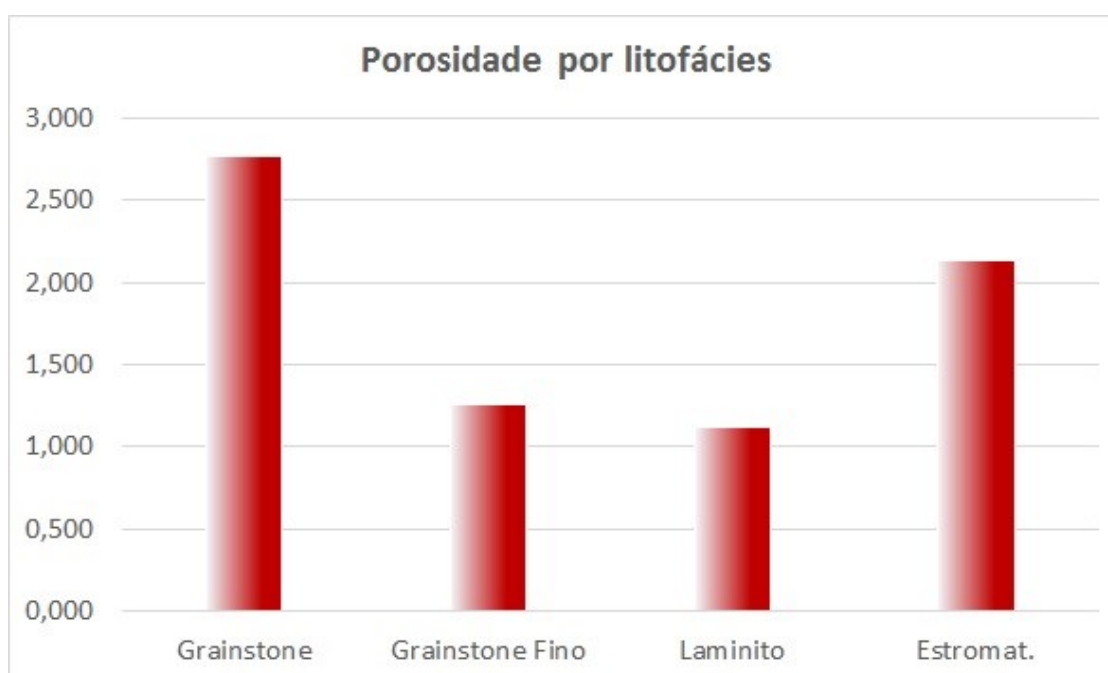


Figura 5.24 – Gráfico exibindo os valores de porosidade distribuídos por fácies.

De acordo com os resultados obtidos através dos ensaios realizados em um grupo de amostras pertencentes a diferentes fácies, a porosidade é considerada baixa e mostra seus maiores valores no fácies *grainstone* (2,7 %) e no estromatólito (2,1%), em média.

Em um grupo de amostras coletadas no fácies *grainstone*, observaram-se valores maiores de porosidade e permeabilidade principalmente nas amostras associadas a fraturas (Figura 5.25)

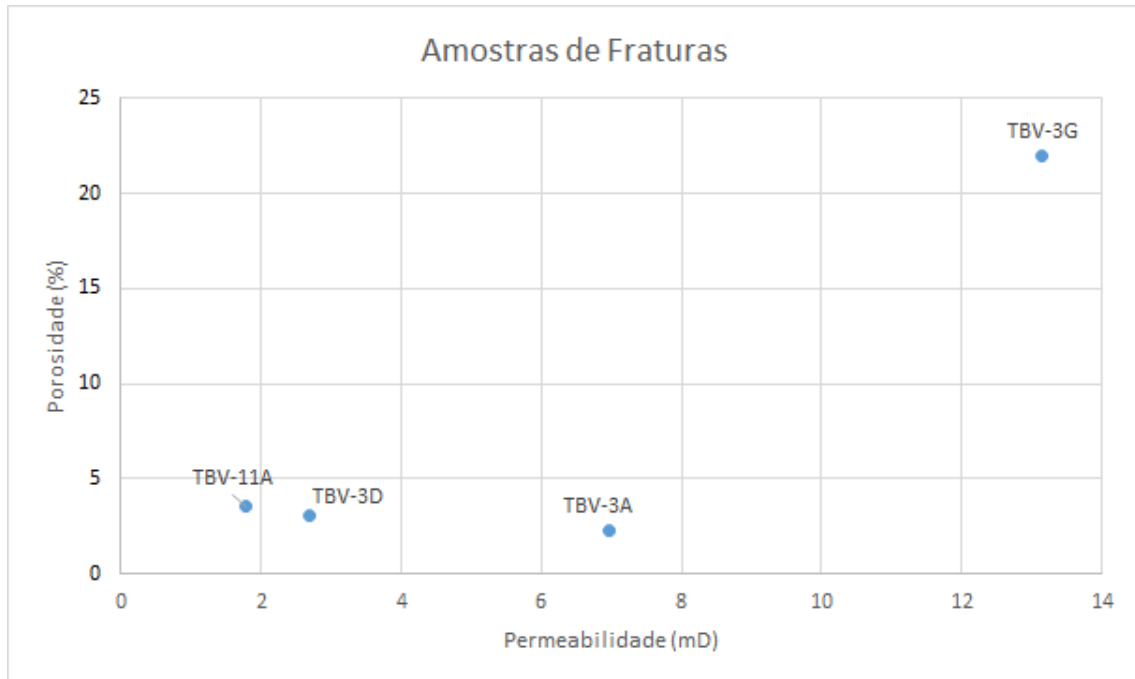


Figura 5.25 – valores de porosidade e permeabilidade associadas a zonas de fraturas. As amostras representam zona de fratura.

Notou-se tanto em análise microscópica quanto através dos ensaios feitos em laboratório que a porosidade é maior na região da fratura do que em relação a regiões sem fraturamento. Os tipos de porosidade foram classificados de acordo com o proposto por Choquette & Pray, (1970), (Figuras 5.26, 5.27 e 5.28)

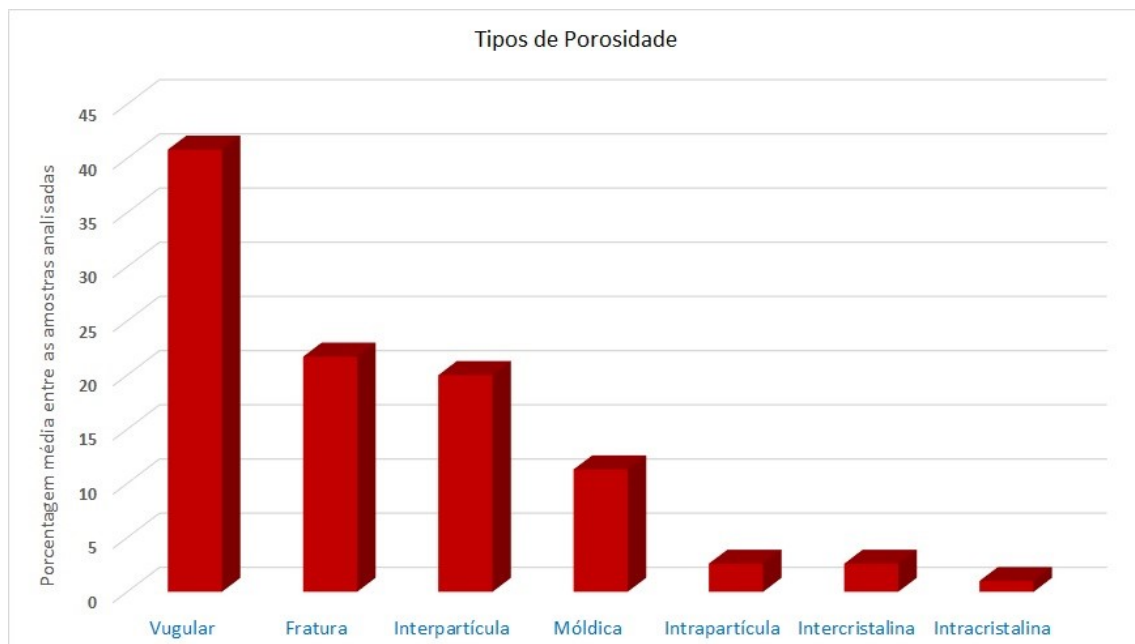


Figura 5.26 – Gráfico exibindo os tipos de porosidade identificados e sua porcentagem em ocorrência.

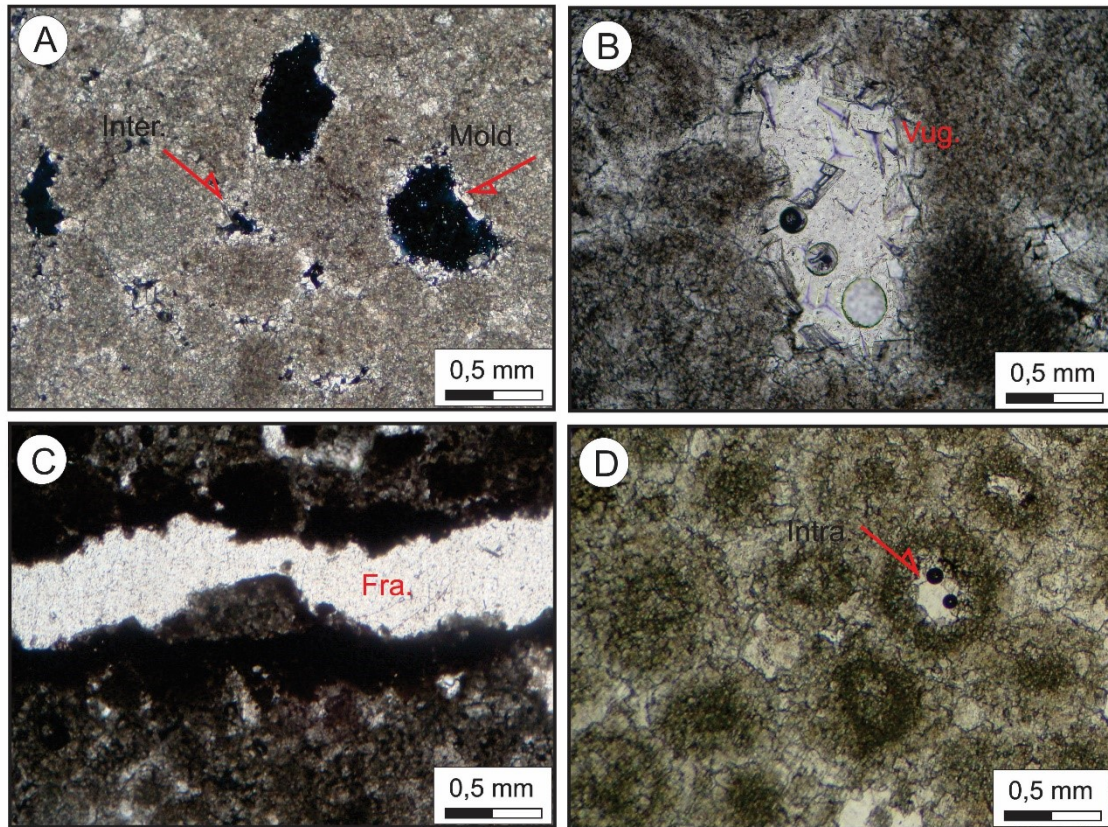


Figura 5.27 – tipos de poros vistos em lâminas delgadas. Em A) porosidade móldica e interpartícula; B) porosidade vugular; C) alargamento de fratura e D) porosidade intraparticular.

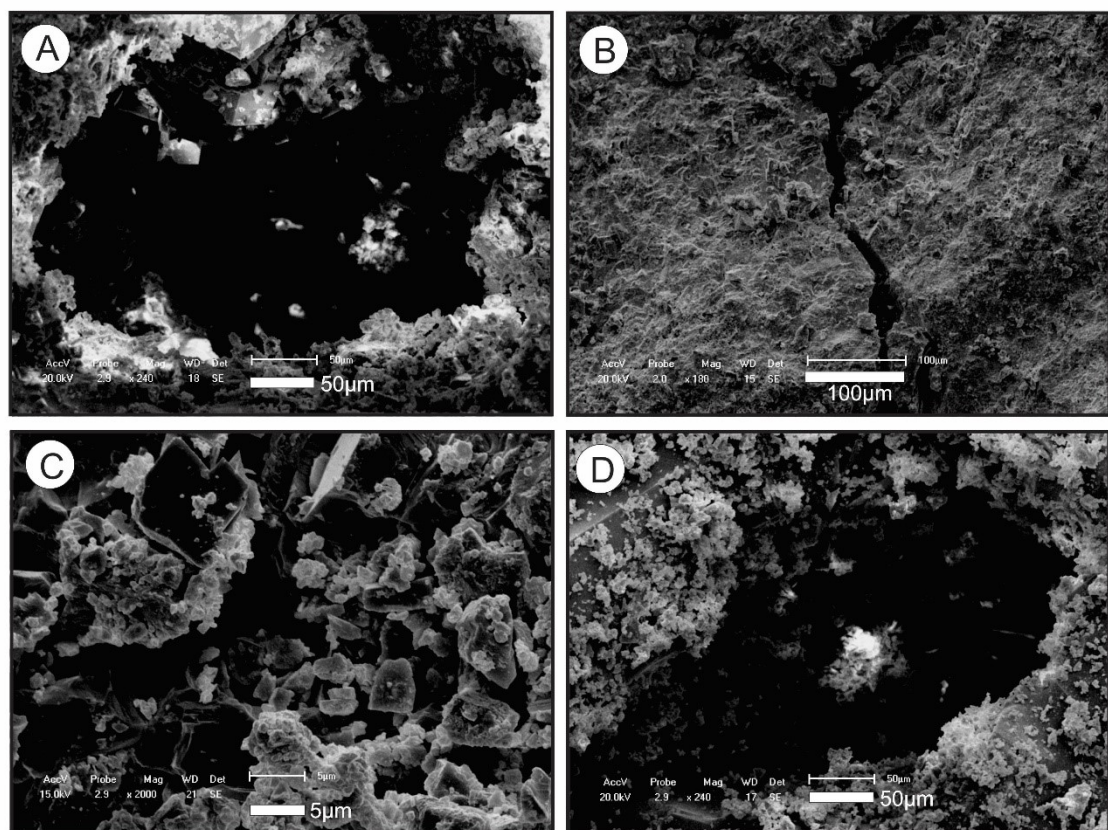


Figura 5.28 – Poros vistos através do MEV. *Vugs*, fraturas e interpartícula.

A porosidade primária foi completamente obliterada pela intensa cimentação que atuou nesses carbonatos. A dissolução consumiu grãos de ooides/oncoides deixando moldes; consumiu também, o cimento entre os grãos e foi responsável pela geração de *vugs* e pelo alargamento de fraturas. Baseando-se nessas informações, é possível afirmar que a dissolução mesodiagenética foi responsável pelo desenvolvimento de porosidade secundária e que esta, encontra-se diretamente relacionada ao fraturamento.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento das cavernas obedeceu a um controle estrutural, confirmado em campo pela dissolução em eixos de dobras, galerias abertas ao longo de planos axiais de megadobras e condutos orientados pelas principais direções de faturamento atuantes na região. Constatou-se ainda um controle estratigráfico, uma vez que o faturamento é mais intenso em um nível estratigráfico específico.

Cinco fácies distintas foram identificadas nas cavernas. Na porção inferior das mesmas, tem-se um *grainstone* exibindo estratificações cruzadas; acima deste, um *grainstone* com granulometria mais fina; seguido de um *mudstone* algálico com lentes e nódulos de *chert*; logo acima, um nível composto por estromatólitos colunares do tipo *Jurussia* Krilov; o *mudstone* algálico volta a aparecer acima dos estromatólitos e, por último, tem-se uma camada de siltito que constitui o teto das cavernas.

A rocha que hospeda as fraturas estudadas neste trabalho consiste em um *grainstone* oolítico composto por oóides (70% em média), intraclastos (5%), cimento espático (15%), grãos ortoquímicos (5%) e porosidade de 5% (em lâmina).

Os principais eventos diagenéticos observados foram separados de acordo com o estágio diagenético. Na Eodiagênese ocorreu micritização dos grãos aloquímicos e cimentação por calcita fibrosa. Com o rebaixamento do nível do mar e exposição às condições subaéreas, ocorreu neomorfismo tanto através da recristalização da micrita presentes nos grãos, quanto pela substituição da calcita fibrosa por cristais equantes de calcita espática. Na mesodiagênese ocorreu compactação química, dissolução (faturamento) e cimentação por dolomita em sela e por quartzo. Na telodiagênese o contato com águas meteóricas favoreceu cimentação por calcita e óxido de ferro e outra etapa de dissolução.

Dada a presença da dolomita em sela (*saddle dolomite*) que é um mineral indicador de altas temperaturas e a intensa silicificação, conclui-se que um fluido hidrotermal atuou no processo de dissolução responsável pela formação das cavernas.

As fraturas analisadas neste trabalho foram desenvolvidas em ambiente crustal raso, dada a relação com os estilólitos diagenéticos observados. A

relação entre a diagênese e o faturamento são os principais responsáveis pelo desenvolvimento de porosidade secundária na área de estudo. O preenchimento das fraturas está relacionado às diferentes fases de cimentação ocorridas. Foram confirmadas fraturas preenchidas por quartzo e por dolomita (efeito da cimentação mesodiagenética) e por calcita e óxido de ferro (efeito da cimentação telodiagenética). Dados de fluorescência de raios-X confirmam aumento dos óxidos de cálcio, magnésio e silício no centro das mesmas.

A percolação desses fluidos ao longo das fraturas provocou aumento significativo da porosidade nas regiões das fraturas. Em análises microscópicas foi possível confirmar um maior número de poros do tipo *vugs*, moldes, interpartículas e alargamento de fraturas. Ensaio petrofísicos confirmaram maiores valores de porosidade no fácies *grainstone* e nas regiões adjacentes às fraturas.

Sugere-se para uma melhor caracterização, em termos de composição, salinidade e temperatura dos fluidos hidrotermais responsáveis pela dissolução hipogênica, através de um estudo das inclusões fluidas presentes no cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R E M. 1967 Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 96 p. (Boletim 241)
- ALMEIDA F.F.M. 1969. Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 23, Salvador, Anais: 29-46.
- ALMEIDA, F. F. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências. Vol 4, p. 349-364
- ANDRE, B.J. AND RAJARAM, H. 2005. Dissolution of limestone fractures by cooling waters: Early development of hypogene karst systems. Water Resources Research 41, doi:10.1029/2004WR003331.
- AULER, A. 2000. História genética da Toca da Boa Vista: uma introdução. O Carste, 12(3):143-149.
- AYDIN, A., BORJA, R.I., EICHHUBL, P., 2006. Geological and mathematical framework for failure modes in granular rock. Journal of Structural Geology 28 (1), 83e98
- BAKALOWICZ, M. 2005. Karst groundwater: a challenge for new resources. Hydrogeology Journal 13, 148–160, doi 10.1007/s10040-004-0402-9.
- BARBOSA J.S.F. & DOMINGUEZ J.M.L. 1996. Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Escala 1: 1.000.000. Salvador, Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração. Superintencia de Geologia e Recursos Minerais, 382 p.
- BECKER, S.P., EICHHUBL, P., LAUBACH, S.E., REED, R.M., LANDER, R.H., BODNAR, R.J., 2010. A 48 m.y. history of fracture opening, temperature, and fluid pressure: cretaceous Travis Peak Formation, East

- Texas basin. Geological Society of America Bulletin 122 (7e8), 1081e1093.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M. et al. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p. il. 1 DVD anexo.
 - BÖGLI, A. 1964. Mischungskorrosion - ein Beitrag zur Verkarstungsproblem. Erdkunde 18. 83-92.
 - BONFIM, L.F.C.; ROCH, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; MORAIS, J.C., P; GUI-MARES, J.T.; TESCH, N.A. 1985. Projeto Bacia de Irecê. Salvador, CPRM. (Relatório Final).
 - BOTTRELL, S.H., GUNN, J. AND LOWE, D.J. 2000. Calcite dissolution by sulfuric acid. In: Klimchouk, A., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt, W. (Eds.), Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. National Speleological Society, Huntsville, 304-308.
 - BRANNER, J. C. 1911. Aggraded Limestone Plains of the interior of Bahia and Climatic Changes Suggested by them. Geological Society of America Bulletin, v. 22 (2): 187-206.
 - BRITO NEVES B.B., SANTOS E.J., VAN SCHMUS W. R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: U.G.Cordani; E.J. Milani; A ThomazFilho; D.A. Campos (eds.) Tectonic Evolution of the South America.31st International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro, Brasil,pp. 151-182.
 - BYRNE, T., MALTMAN, A., STEPHENSON, E., SOH, W., KNIPE, R., 1993. Deformation structures and fluid flow in the toe region of the Nankai Accretionary Prism. In: Hill, L.A., Taira, A., Firth, J.V., et al. (Eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, vol. 131. ODP, pp. 83e101
-

- CHANG, H. K.; KAWASHITA, K.; ALKMIM, F. F.; MOREIRA, M. Z. 1993. Considerações sobre a Estratigrafia Isotópica do Grupo Bambuí. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. Anais. Salvador, Soc. Bras. Geol./SGM, p. 195-196.
- CHESTER, F.M., EVANS, J.P., BIEGEL, R.L., 1993. Internal structure and weakening mechanisms of the San Andreas fault. *Journal of Geophysical Research* 98, 771e786.
- CHOQUETTE, P.W. & PRAY, L.C. 1970. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *AAPG*; v.54. no 2, p. 207-244
- CLARK, M.B., BRANTLEY, S.L., FISHER, D.M., 1995. Power-law vein thickness distributions and positive feedback in vein growth. *Geology* 23 (11), 975e978.
- DOMINGUEZ, J. M. L. 1993. As Coberturas do Cráton do São Francisco: Uma Abordagem do Ponto de Vista da Análise de Bacia. In: Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo (Bahia-Sergipe), p. 173-159
- DOMINGUEZ JML. 1995. Shoreline erosion in NE Brazil: a coastal evolution approach to assess short and long term causes. In: 1ST SEPM CONGRESS ON SEDIMENTARY GEOLOGY. Florida, Congress Program and Abstracts: 47.
- DOMINGUEZ JML AND BITTENCOURT ACSP. 1996. Regional Assessment of Long-term Trends of Coastal Erosion in Northeastern Brazil. *An Acad Bras Cienc* 68: 355-371.
- DUBLYANSKY, V.N. AND LOMAEV, A.A. 1980. Karst caves of Ukraine. *Naukova dumka, Kiev*, 180 pp. (in Russian).
- DUBLJANSKY, JU.V. 2000a. Dissolution of carbonates by geothermal waters. In: Klimchouk, A., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt, W.

- (Eds.), *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 158-159
- DUNHAM, R.J. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional texture. *Memoir AAPG*, no 1 , 108-121p
 - EICHHUBL, P., BOLES, J.R., 2000a. Focused fluid flow along faults in the Monterey Formation, coastal California. *Geological Society of America Bulletin* 112, 1667e1679.
 - EICHHUBL, P., BOLES, J.R., 2000b. Rates of fluid flow in fault systems- evidence for episodic rapid fluid flow in the Miocene Monterey Formation, coastal California. *American Journal of Science* 300 (7), 571e600
 - FISHER, Q.J., CASEY, M., HARRIS, S.D., KNIPE, R.J., 2003. Fluid-flow properties of faults in sandstone: the importance of temperature history. *Geology* 31 (11), 965e968
 - FORD, D.C. AND WILLIAMS, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Human, London, 601 pp
 - FORD, D.C. AND WILLIAMS, P.W. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley and Sons, Chichester, 565 pp
 - FORD, D.C. 2004. Karst. In: Gunn (Ed.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York-London, Fitzroy Dearborn/Taylor and Francis, 473-475
 - FORD, D.C. 2006. Karst geomorphology, caves and cave deposits: A review of North American contributions during the past half century. In: Harmon, R.S. and Wicks, C.W. (Eds.), *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology and Geochemistry*, GSA Special Paper 404, Boulder, Colorado, 1-14
 - FRAGOSO D. G. C., REIS H. L. S., KUCHENBECKER M. 2008. Mapeamento Geológico da região de Irecê-Lapão (BA): Registros de

- uma rampa carbonática neoproterozóica. Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais. 109p.
- FRASER, H. J. 1935. Experimental study of porosity and permeability of clastic sediments. *Jour. Geol.*,43:910-1010.
 - GOMEZ, L.A., LAUBACH, S.E., 2006. Rapid digital quantification of microfracture populations. *Journal of Structural Geology* 28 (3), 408e420.
 - GREENE, G.W., KRISTIANSEN, K., MEYER, E.E., BOLES, J.R., ISRAELACHVILI, J.N., 2009. Role of electrochemical reactions in pressure solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73 (10), 2862e2874
 - GBPE, 2000. Toca da Boa Vista e Toca da Barriguda, Campo Formoso, Bahia, Brasil. *O Carste. Suplemento*, 12(3)
 - GUNDERSEN, E., RENARD, F., DYSTHE, D.K., BJØRLYKKE, K., JAMTVEIT, B., 2002. Coupling between pressure solution creep and diffusive mass transport in porous rocks. *Journal of Geophysical Research* 107 (B11), 2317
 - GUNN, J. (Ed.). 2004. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York-London: Fitzroy Dearborn/Taylor and Francis, 902 pp.
 - HECKEL, P. H. 1972. Recognition of Ancient Shallow Marine Environments. In: Rigby., J. K., and Hamblin, W. K., eds., *Recognition of Ancient Sedimentary Environments*, Society Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, v.16, p. 226-286.
 - HILGERS, C., KOEHN, D., BONIS, P.D., URAI, J.L., 2001. Development of crystal morphology during unitaxial growth in a progressively widening vein: II. Numerical simulations of the evolution of antitaxial fibrous veins. *Journal of Structural Geology* 23, 873 – 885.
-

- HILL, C.A. 1996. Geology of the Delaware basin, Guadalupe, Apache, and Glass Mountains, New Mexico and West Texas. Permian Basin Section–SEPM Publication 96–39. 480 pp.
- HILL, C.A. 2000a. Sulfuric acid hypogene karst in the Guadalupe Mountains of New Mexico and West Texas. In: Klimchouk, A., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt, W. (Eds.), Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. National Speleological Society, Huntsville, 309-316.
- HILL, C.A. 2003a. Caves and karst in New Mexico. New Mexico Earth Matters 3 (1), New Mexico Bureau of Geology and Mineral Resources, 1-4.
- HOBBS, B.E., ZHANG, Y., ORD, A., ZHAO, C., 2000. Application of coupled deformation, fluid flow, thermal and chemical modelling to predictive mineral exploration. Journal of Geochemical Exploration 69e70, 505e509.
- HOOKER, J.N., GALE, J.F.W., GOMEZ, L.A., LAUBACH, S.E., MARRETT, R., REED, R.M., 2009. Aperture-size scaling variations in a low-strain opening-mode fracture set, Cozzette Sandstone, Colorado. Journal of Structural Geology 31, 707e718.
- HUNTOON, P.W. 1995. Is it appropriate to apply porous media groundwater circulation models to karstic aquifers? In: Aly I. El-Kadi (Ed.): Groundwater models for resources analysis and management. Lewis Publishers, Boca Raton, 339-358.
- INDA H.A.V. & BARBOSA J.S.F. 1978. Geologia da Bahia. Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo. SICM/SGM, Salvador, 137p.
- IRELAND, M.T., GOULTY, N.R., DAVIES, R.J., 2010. Influence of pore water chemistry on silica diagenesis: evidence from the interaction of

- diagenetic reaction zones with polygonal fault systems. *Journal of the Geological Society* 167 (2), 273e279
- KAVEEV, M.C. 1963. About influence of carbon dioxide, originated during destruction of oil deposits, on development of karst processes. *Doklady AN SSSR* 152 (3). (in Russian).
 - KLIMCHOUK, AB (2007) Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective. National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, New Mexico.
 - KLIMCHOUK, A.B. 2008. Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*: doi:10.1016/j.geomorph.2008.09.013.
 - KLIMCHOUK A.B. 2009. Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*, 106: 100-117
 - KLIMCHOUK A.B., TYMOKHINA E.I. AND AMELICHEV G.N. 2012. Speleogenetic effects of interaction between deeply derived fracture-conduit flow and intrastratal matrix flow in hypogene karst settings. *International Journal of Speleology*, 41(2), 161-179 Tampa, FL (USA). ISSN 0392-6672.
 - KLIMCHOUK, A.B. AND FORD, D.C. 2000. Types of karst and evolution of hydrogeologic settings. In: Klimchouk, A., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt, W. (Eds.), *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 45-53.
 - KLIMCHOUK, A.B., FORD, D., PALMER, A. AND DREYBRODT, W. (Eds.). 2000. *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 527 pp.
 - KING, L.C. 1956. Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geog.*, 18(2): 147-266.
-

- LAPTEV, F.F. 1939. Agressive action of water on carbonate rocks, gypsum and concrete. Moscow-Leningrad, 120 pp. (in Russian).
- LAUBACH, S.E., DIAZ-TUSHMAN, K., 2009. Laurentian paleostress trajectories and ephemeral fracture permeability, Cambrian Eriboll Formation sandstones west of the Moine thrust zone, northwest Scotland. *Journal of the Geological Society (London)* 166 (2), 349e362
- LAUBACH, S.E., WARD, M.W., 2006. Diagenesis in porosity evolution of opening-mode fractures, Middle Triassic to Lower Jurassic La Boca formation, NE Mexico. *Tectonophysics* 419 (1e4), 75e97
- LAUBACH, S.E.; EICHHUBL, P. ;HILGERS, C.; LANDER, R.H. 2010. Structural Diagenesis. *Journal of Structural Geology* 32: 1866-1872.
- LEÃO, Z. M. A. N. & DOMINGUEZ, J. M. L. 1992. O Caráter da Sedimentação Carbonática no Proterozóico Superior: o exemplo da Bacia de Irecê. *Rev. Bras. Geoc.*
- LOPES, J. N. *Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais.* São Paulo, 1995. 180 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- LOWE, D.J. 1992. The origin of limestone caverns: an inception horizon hypothesis. Unpublished Ph.D. Thesis, Manchester Metropolitan University.
- LUHR, J.F. (Ed.) 2003. *Earth.* Smithsonian Institution and Dorling Kindersley, 520 pp
- MACEDO, M. H. F. & BONHOMME, M. G. 1984. Contribuição à cronoestratigrafia das formações Caboclo, Bebedouro e Salitre na Chapada Diamantina (Ba) pelos métodos Rb-Sr e K-Ar. *REV. BRAS. GEOC.* 14, p. 153-163.

- MACEDO, M.H.F. 1982. Les Systèmes Isotopiques Rb-Sr et K-Ar dans les argiles extraits de sédiments carbonatés: Application à la datation du Protérozoïque sédimentaire du Brésil dans les états de Bahia et Santa Catarina, Strasbourg, França. França, 1982. (Tese de Doutorado). 119 f. Université de Louis Pasteur.
- MALININ, S.D. 1979. Physical chemistry of hydrothermal systems with carbon dioxide. Nauka, Moscow, 111 pp. (in Russian)
- MALIVA, R.G., DICKSON, J.A.D., SMALLEY, P.C., OXTOBY, N.H., 1995. Diagenesis of the Machard Field (British North Sea) chalk; evidence for decoupling of diagenesis in fractures and the host rock. *Journal of Sedimentary Research* 65, 105e111
- MARTÍNEZ, M. I. 2007. Estratigrafia e Tectônica do Grupo Bambuí, no Norte do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MENEZES, C. P.; CAZARIN, C. L.; VIEIRA, M. M.; BEZERRA, F. H. R. E SRIVASTAVA, N. K. 2014. Petrography And Petrophysics Of The Faults Associated To Typical Features In Hypogenic Caves In The Salitre Formation (Irece Basin, Brazil). Preliminary Results. In Aapg – International Conference And Exhibition. Istanbul-Turkey 2014.
- MENEZES, C. P.; CAZARIN, C. L.; VIEIRA, M. M.; BEZERRA, F. H. R. E SRIVASTAVA, N. K.; ENNES, R. A e BORGES, S. V. F. 2014. Petrografia e Petrofísica de Falhas e Fraturas Associadas a Feições Típicas de Cavernas Hipogênicas na Formação Salitre (Bacia De Irecê). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA.47. Salvador, 2014. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia.
- MILLIKEN, K.L., 2003. Diagenesis. In: Middleton, G.V. (Ed.), *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers, pp. 214e219.
- MILLIKEN, K.L., REED, R.M. Multiple causes of diagenetic fabric anisotropy in weakly consolidated mud, Nankai Accretionary Prism,

- IODP Expedition 316. *Journal of Structural Geology* 32, in this volume. doi:10.1016/j.jsg.2010.03.008.
- MISI, A., & KYLE, J. R. 1994. Upper Proterozoic Carbonate Stratigraphy, Diagenesis, and Stromatolitic Phosphorite Formation, Irecê Basin, Bahia, Brazil. *Jour. Sed. Research*, v. 64, n. 2, p. 299-310
 - MISI, A. & VEIZER, J. 1996. Chemostratigraphy of Neoproterozoic Carbonate Sequences of the Una Group, Irecê Basin, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996, Anais. Salvador, Soc. Bras. Geol., v. 5, p. 487-489.
 - MISI, A. & SILVA, M.G. Chapada Diamantina Oriental - Bahia: Geologia e Depósitos. Salvador: SGM, 194 p., 1996. (Série de Roteiros Geológicos).
 - MISI, A. 1979. O Grupo Bambuí no Estado da Bahia. Salvador, SME/BA. v. 1. p. 119-154.
 - MISI, A. 1993. A Sedimentação Carbonática do Proterozóico Superior no Cráton do São Francisco: Evolução Diagenética e Estratigrafia Isotópica. II Simp. Cráton São Francisco. Anais, p. 192-193
 - MUCHEZ, P., SINTUBIN, M., 1998. Contrasting origin of palaeofluids in a strike-slip fault system. *Chemical Geology* 145 (1e2), 105e114.
 - MURRAY, R. C. 1960. Origino f porosity in carbonate rock. *Jour. Sed. Petrol.*, 30:59-84.
 - NOLLET, S., HILGERS, C., URAI, J.L., 2005a. Sealing of fluid pathways in overpressure cells: a case study from the Buntsandstein in the Lower Saxony Basin (NW Germany). *International Journal of Earth Sciences* 94, 1039e1055.
-

- NOLLET, S., URAI, J.L., BONS, P.D., HILGERS, C., 2005b. Numerical simulations of polycrystal growth in veins. *Journal of Structural Geology* 27, 217e230
- PALMER, A.N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Am. Bull.* 103: 1-21.
- PALMER, A.N. 1995. Geochemical models for the origin of macroscopic solution porosity in carbonate rocks. In: Budd A.D., Saller A.H. and Harris P.M. (Eds.), *Unconformities and porosity in carbonate strata*. AAPG Memoir 63, Tulsa, Oklahoma, 77-101.
- Palmer, A.N. 2000a. Hydrogeologic control of cave patterns. In: Klimchouk A., Ford D., Palmer A. and Dreybrodt W. (eds.), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville: National Speleological Society, 7790.
- PALMER, A.N. 2007. *Cave Geology*. Dayton: Cave Books.
- PEDREIRA, A. J.; ARCANJO, J. B.; PEDROSA, C.J.; OLIVEIRA, J. E.; SILVA, B. C. E. 1975. Projeto Bahia. Relatório final Salvador: CPRM, 5v. Convênio DNPM/CPRM.
- PEDREIRA A.J., ROCHA A.J.D., COSTA I.V.G., MORAES FILHO, J.C. 1987. Projeto Bacia de Irecê II. Relatório final. Salvador: CPRM.
- PERES, R.J., BOLES, J.R., 2005. Interpreting fracture development from diagenetic mineralogy and thermoelastic contraction modeling. *Tectonophysics* 400 (1e4), 179e207
- PETTIHOHN, F. J. 1957. *Sedimentary rocks*, New-York: Harper & Row, 718p.
- POUCHER, S. AND COPELAND, R. 2006. *Speleological and Karst Glossary of Florida and the Caribbean*. 2006. Univ. Press of Florida.

- RAMSAY, J.G., 1980. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature* 284, 135e139.
- ROSA, A.; CARVALHO, R. & XAVIER, J. 2006. Engenharia de reservatórios de petróleo. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 808 p
- SAMPAIO, A. R.; SANTOS, R.A.; ROCHA, A. J. D. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Jacobina. Folha SC.24-Y-C. Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Texto Explicativo. Brasília: CPRM, 1995. 116p. il. 2 mapas (in bolso).
- SCHMOKER, J.W., AND R.B. HALLEY, 1982, Carbonate porosity versus depth; a predictable relation for South Florida: *AAPG Bulletin*, v. 66/12, p. 2561-2570.
- SCHULTZ, R.A., 2009. Scaling and paleodepth of compaction bands, Nevada and Utah. *Journal of Geophysical Research* 114 (B3), B03407
- SIBSON, R.H., 1996. Structural permeability of fluid-driven fracture meshes. *Journal of Structural Geology* 18, 1031e1042
- SOUZA S.L., BRITO P.C.R., SILVA R.W.S. 1993. Estratigrafia, Sedimentologia e Recursos Minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. Salvador, CBPM, Série Arquivos Abertos 2: 36p
- SRIVASTAVA, N. K. 1982. Algumas Observações sobre os Estromatólitos dos Grupos Una (Bahia) e Vaza Barrís (Sergipe), Nordeste do Brasil. *Ciências da Terra*, 3, p. 7-11.
- SRIVASTAVA, N. K. 1986. Os Estromatólitos do Projeto Bacia de Irecê II. Natal:s./s.n./. 9p. Trabalho de consultoria para CPRM. inédito
- TENTHOREY, E., COX, S.F., TODD, H.F., 2003. Evolution of strength recovery and permeability during fluid-rock reaction in experimental fault zones. *Earth & Planetary Science Letters* 206, 161e172.

- TERRA, GERSON JOSÉ SALAMONI ET AL. 2009, 2010 Classificação de rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p.9-29, nov.2009/maio 2010
 - USSAMI N. 1993. Estudos Geofísicos no Cráton do São Francisco: Estágio Atual e Perspectivas. In: J.M.L Dominguez & A. Misi (eds.). In: SBG, Simp. Cráton do São Francisco, 2, Salvador, Bahia, Brasil. SBG/SGM/CNPq, Spec. Psubl., 35-62.
 - WOODCOCK, N.H., DICKSON, J.A.D., TARASEWICZ, J.P.T., 2007. Transient permeability and reseal hardening in fault zones: evidence from dilation breccia textures. In: Lonergan, L., Jolley, R.J., Sanderson, D.J., Rawnsley, K. (Eds.), Fractured Reservoirs. Geological Society of London Special Publication, vol. 270, pp. 43e53
 - WORTHINGTON, S.R.H. AND FORD, D.C. 1995. High sulfate concentrations in limestone springs: an important factor in conduit initiation? Environmental Geology 25. 9-15.
-



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA – CT

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – CCET

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
PETRÓLEO - PPGCEP



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PETROLOGIA DAS FRATURAS ASSOCIADAS A FEIÇÕES TÍPICAS DE
DISSOLUÇÃO HIPOGÊNICA NA FORMAÇÃO SALITRE, BACIA DE IRECÊ,
BAHIA-BRASIL**

(ANEXOS)

Cristiane Paulino de Menezes Santos

Orientadora: Prof. Dra. Marcela Marques Vieira

Natal / RN, julho de 2015

ANEXO-1: Fichas de Descrição Petrográfica

ANEXO-2: Imagens Obtidas por MEV

ANEXO-3: Resultados de EDS

ANEXO-4: Resultados de Fluorescência de Raios-X

ANEXO-5: Resultados de Análise Petrofísica

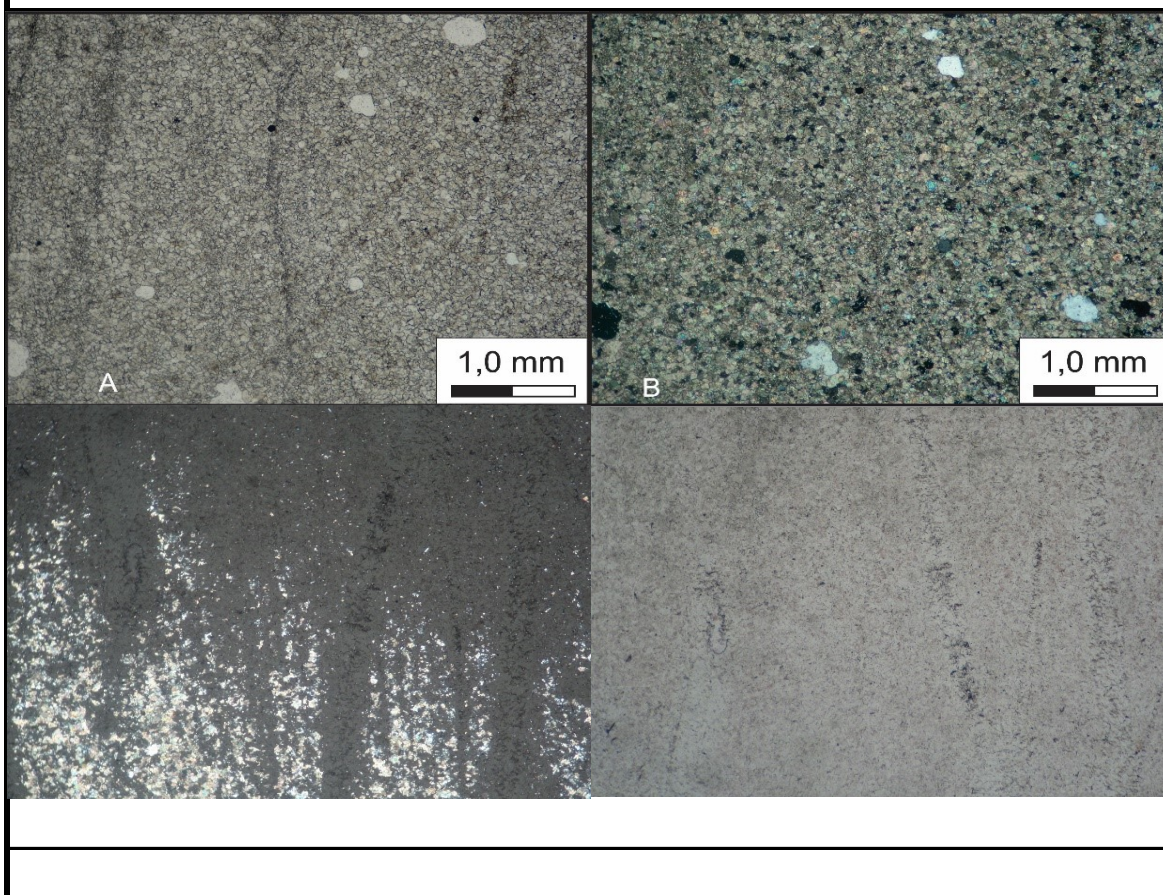
ANEXO-6: Imagens de Amostras e Seções Delgadas

ANEXO-1:

Fichas de Descrição Petrográfica

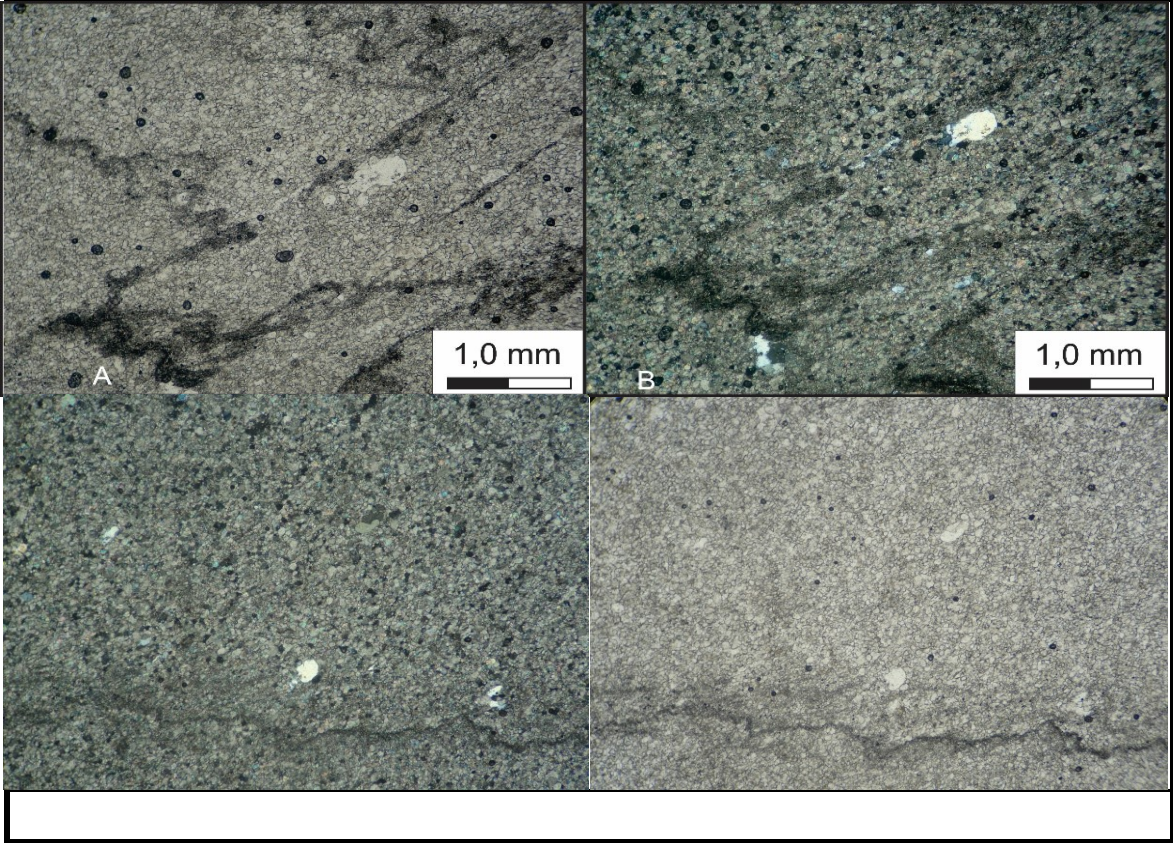
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-A	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
<p>Constituintes Aloquímicos: Pelóides: 10%</p> <p>Constituintes ortoquímicos: Matriz micrítica: 45% Calcita microesparítica: 40%; Quartzo e Pirita: 5%</p>		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a pontual		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Recristalização de matriz, Recristalização de quartzo, Compactação (estilólitos), Dissolução (vuggs).		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos: 0,25 mm (em média)		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Deseenvolvimento de quartzo posterior a dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone biogênico, Laminito microbial dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de Intermaré		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os grãos de quartzo apresentam alta birrefringência e aparentam se desenvolver a partir da dolomita (sob forma de inclusões no quartzo). Alguns vuggs apresentam-se paralelos ao acamamento.		

13. FOTOS:

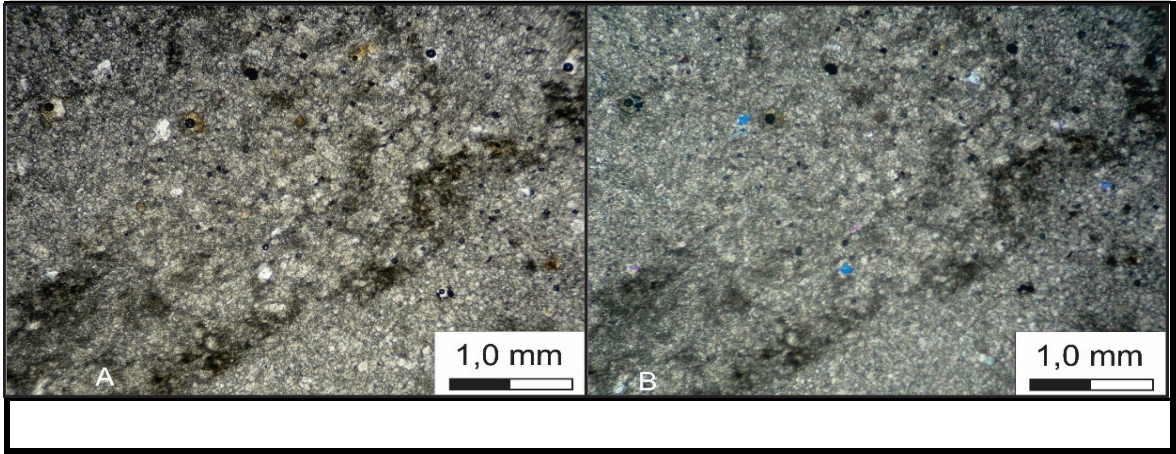


|

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-B	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes ortoquímicos: Matriz micrítica: 10% Calcita microesparítica: 82% Quartzo: 8%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Grãos flutuantes		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Micritização, Recristalização de quartzo, Compactação (estilólitos) Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos: 0,40 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Quartzo posterior a dolomitização. Micritização por compactação.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone/Esparito		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de Intermaré		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os grãos de quartzo aparentam se desenvolver a partir da dolomita (sob forma de inclusões no quartzo). Ocorre micritização ao longo dos estilólitos.		
13. FOTOS		

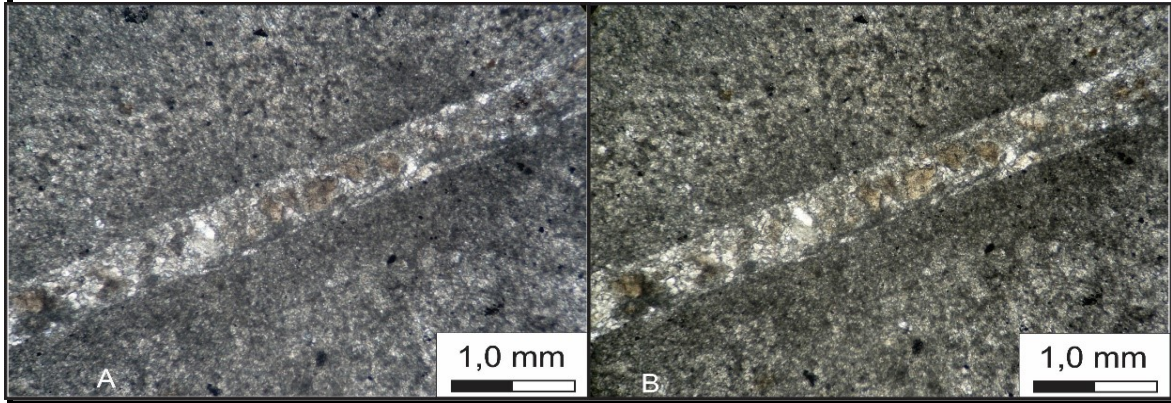


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-F	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes ortoquímicos:		
Matriz micrítica: 5%		
Calcita microesparítica: 80%		
Quartzo e pirita: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Grãos flutuantes		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Micritização		
Recristalização de quartzo,		
Compactação (estilólitos)		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos (quartzo): 0,55 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Desenvolvimento de quartzo posterior à dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: >5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone fino dolomitizado, Microesparito		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de Intermaré		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os grãos de quartzo apresentam alta birrefringência e aparar se desenvolver a partir da dolomita (sob forma de inclusões no quartzo).		
13. FOTOS:		



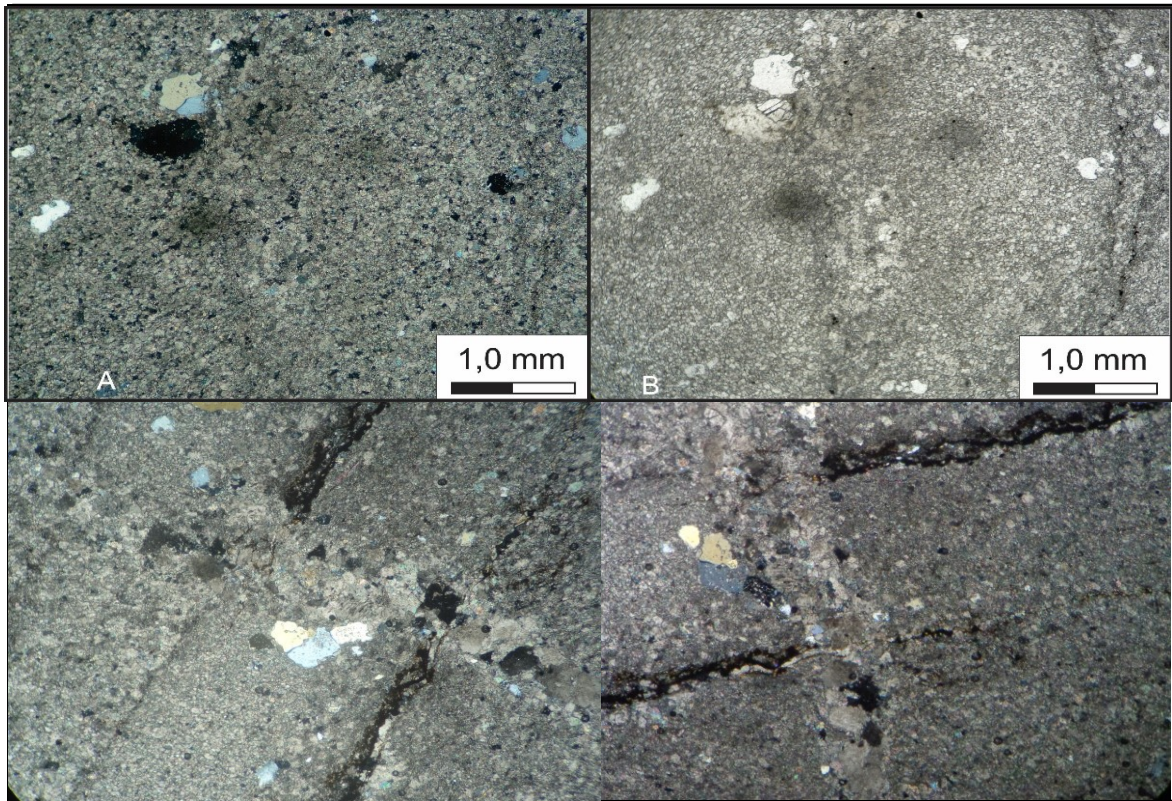
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-H	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
<p>Constituintes Aloquímicos: Pelóides: 5%</p> <p>Constituintes ortoquímicos: Matriz micrítica: 90% Calcita microesparítica: 5% Quartzo e pirita: <5%</p>		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Grãos flutuantes.		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Recristalização de micrita, Dolomitização		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos (grãos de quartzo e pirita): <0,20 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não observados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 1%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone fino dolomitizado, Microesparito.		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Apresenta fratura preenchida por calcita e dolomita.		

13. FOTOS:



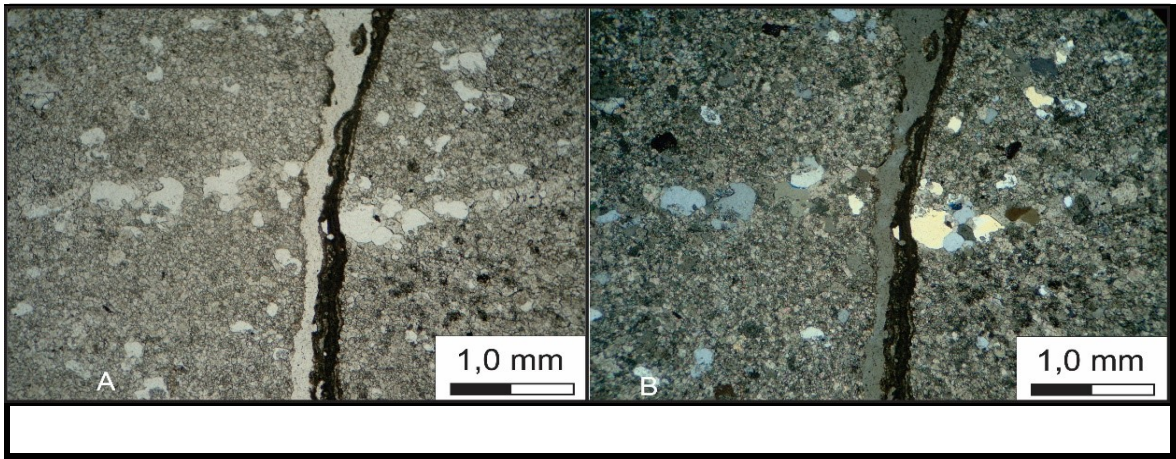
Adaptado de Carvalho Figueiredo, 2011

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-I	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes ortoquímicos: Matriz micrítica: 25% Calcita microesparítica: 70% Quartzo e pirita: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Grãos flutuantes.		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Micritização, Recristalização de quartzo, Compactação (estilólitos), Dissolução (vuggs).		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos (quartzo): 0,55 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Desenvolvimento de quartzo posterior à dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 1%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone fino.		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os grãos de quartzo aparentam se desenvolver a partir da dolomita (sob forma de inclusões no quartzo).		
13. FOTOS:		



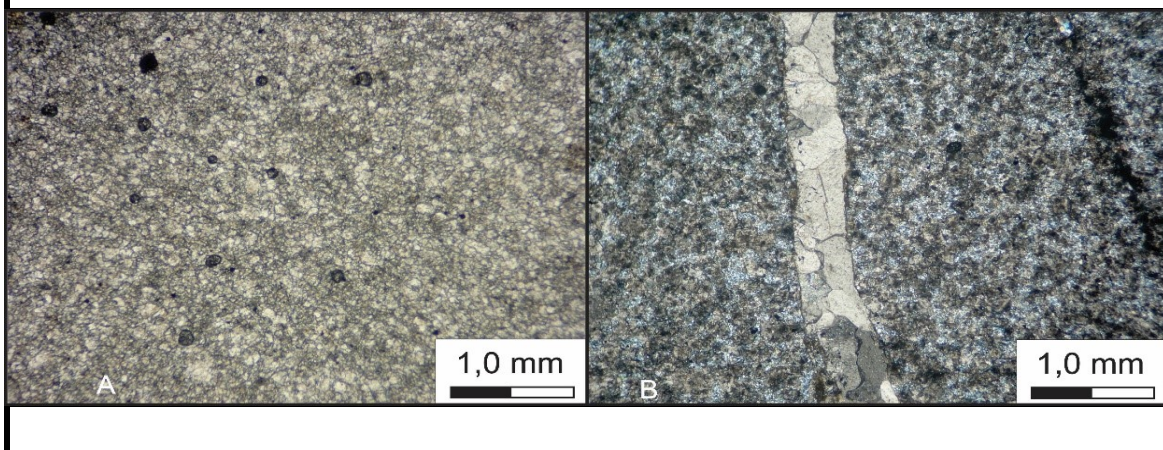
Adaptado de Carvalho Figueiredo, 2011

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-K	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Intraclastos: 2%		
Pelóides: 8%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 75%		
Quartzo: 15%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante.		
3. MATRIZ:		
Não identificada		
4. DIAGÊNESE:		
Cimentação, Dolomitização, Recristalização de quartzo, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos: 0,30 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Deseenvolvimento de quartzo posterior a dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não identificada		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 2%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone peloidal dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os grãos de quartzo apresentam alta birrefringência e aparanter se desenvolver a partir da dolomita (sob forma de inclusões no quartzo).		
13.FOTOS:		

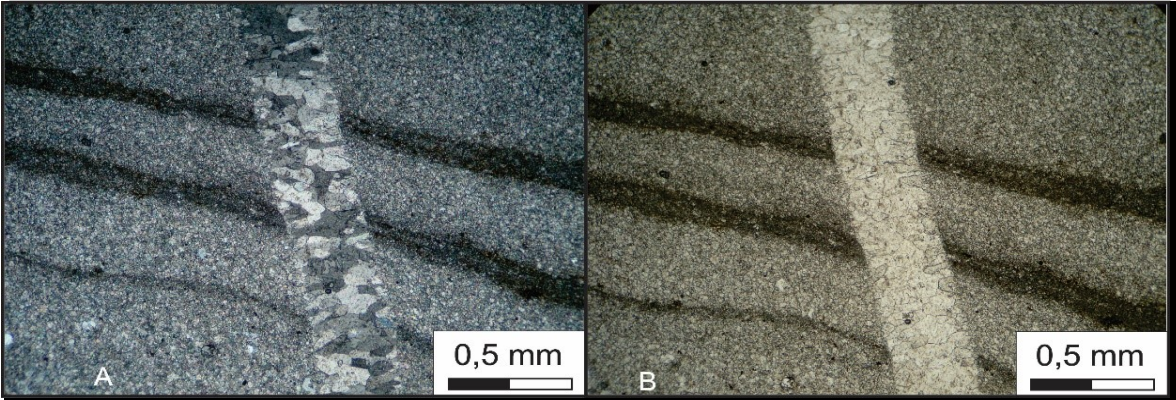


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-N	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes Aloquímicos: Pelóides: 5%		
Constituintes ortoquímicos: Calcita Microesparítica: 70%		
Matriz micrítica: 10%		
Quartzo: 10%		
Dolomita: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante.		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Recristalização de quartzo, Compactação (estilólitos) Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos: 0,25 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Deseenvolvimento de quartzo posterior a dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone biogênico, Laminito microbial dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Fratura principal preenchida por calcita e sets secundários preenchidos por quartzo microcristalino.		

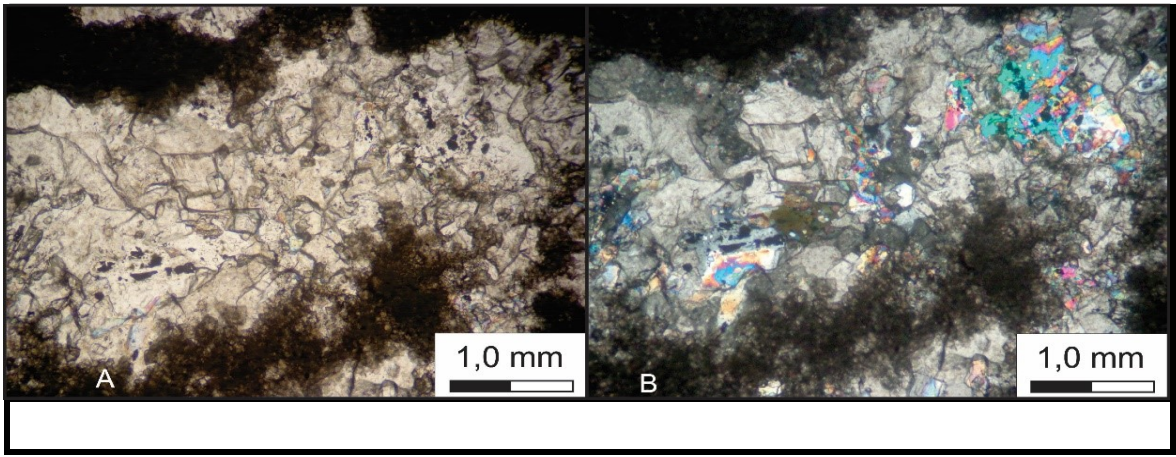
13. FOTOS:



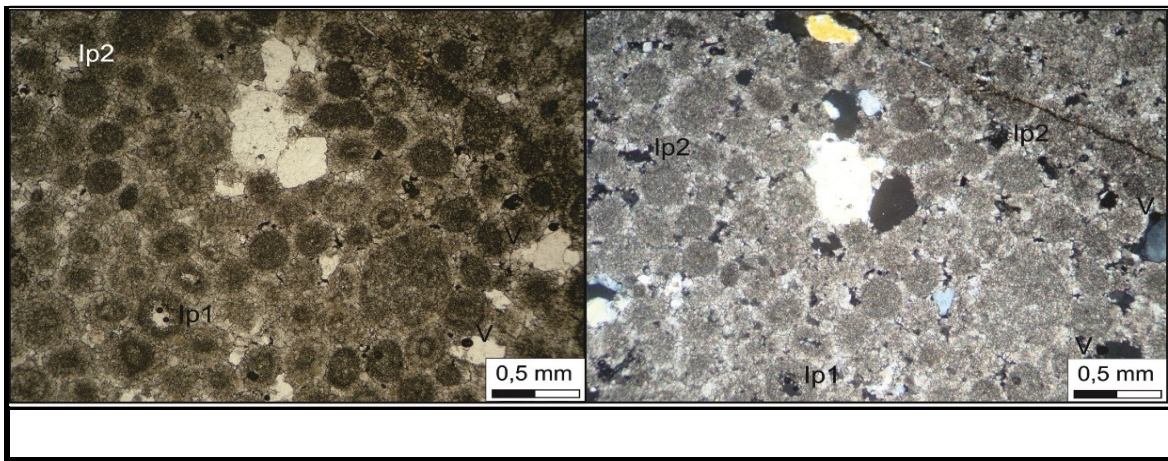
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: SAL-01-T	LOCAL: Pedreira, Lage dos Negros	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Pelóides: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Matriz micrítica: 85%		
Quartzo: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante		
3. MATRIZ:		
Micrítica recristalizada		
4. DIAGÊNESE:		
Dolomitização, Recristalização de quartzo,		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Ortoquímicos: 0, 30 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Deseenvolvimento de quartzo posterior a dolomitização.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Estratificação estromatolítica		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone biogênico, Laminito microbial dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Fratura principal preenchida por calcita. Níveis com maior quantidade de grãos dispersos de quartzo.		
13. FOTOS:		



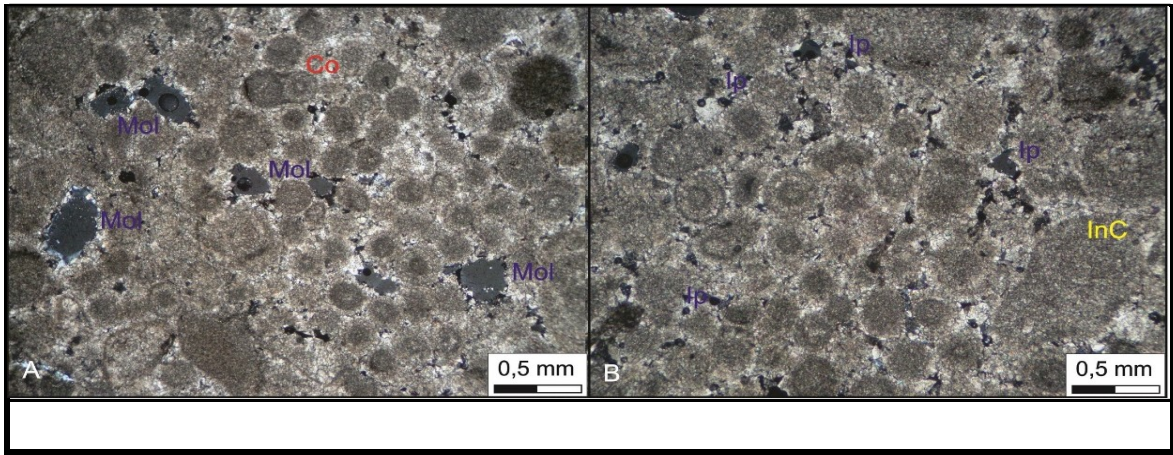
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-02-A		LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 02.
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes ortoquímicos:		
Matriz micrítica: 50%		
Cimento espático: 45%		
Quartzo: 2%		
Porosidade: 3%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 2%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone estromatolítico.		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
13. FOTOS:		



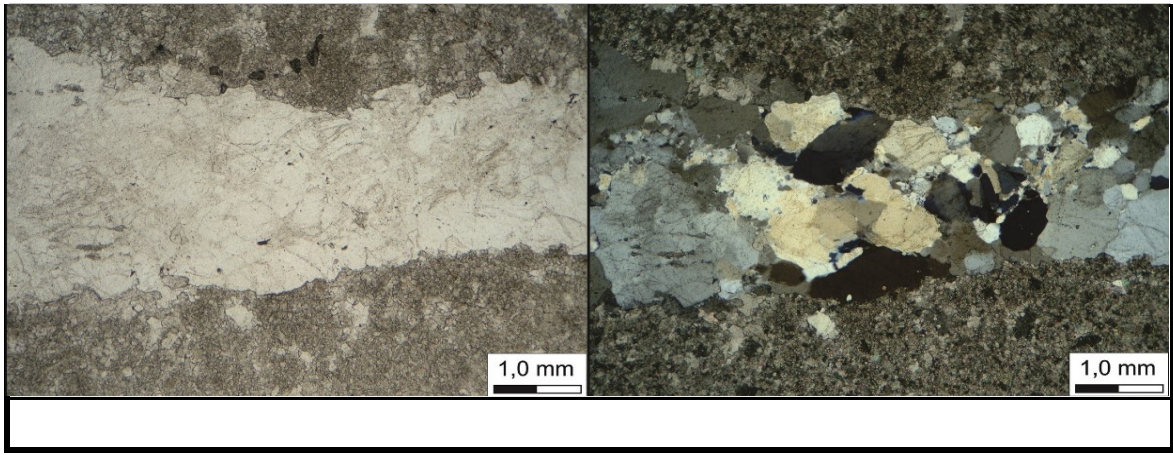
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-03-A	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 70%		
Intraclastos: 10%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 10%		
Quartzo: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Cimentação, Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,55 mm; Intraclastos: 1,10 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: <2%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Fraturamento preenchido por opala.		
13. FOTOS:		



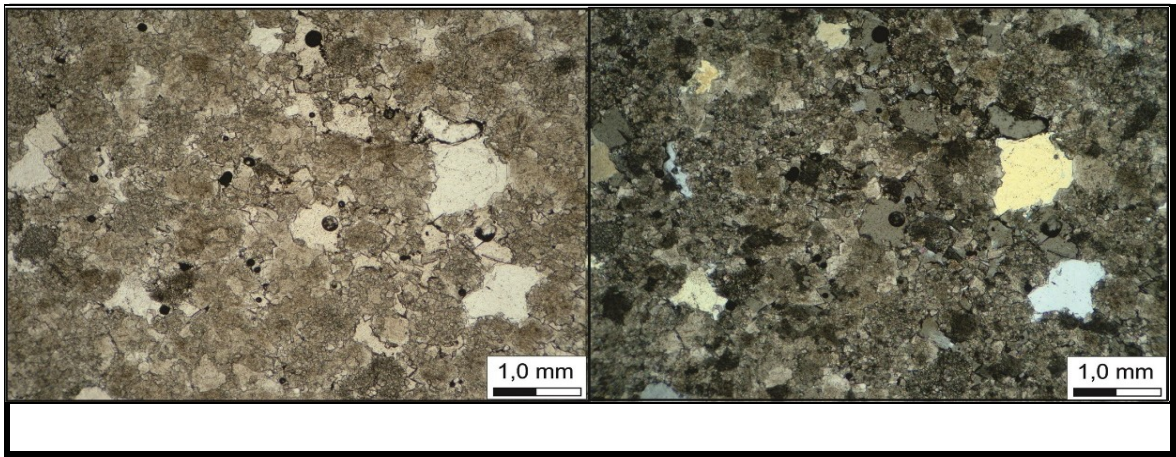
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-03-C	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 70%		
Intraclastos: 10%		
Constituintes ortoquímicos:		
Quartzo: 10%		
Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Cimentação, Dolomitização, Dissolução.		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,65 mm; Intraclastos: 1,10 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular, intergranular, intragranular e móldica: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Dolomitização posterior a dissolução.		
13. FOTOS:		



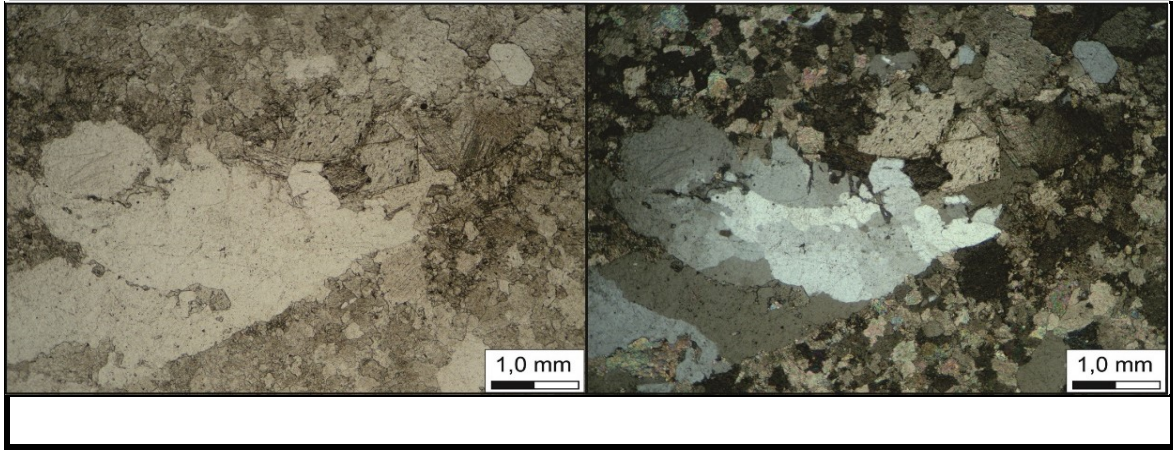
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-04-A	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 04.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 70% Intraclastos: 10% Constituintes ortoquímicos: Calcita espática: 10% Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, cimentação, Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,55 mm; Intraclastos: 0,95 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Oóides micritizados sendo substituídos por cimento calcítico. Fratura preenchida por cristais exudados de quartzo.		
13. FOTOS:		



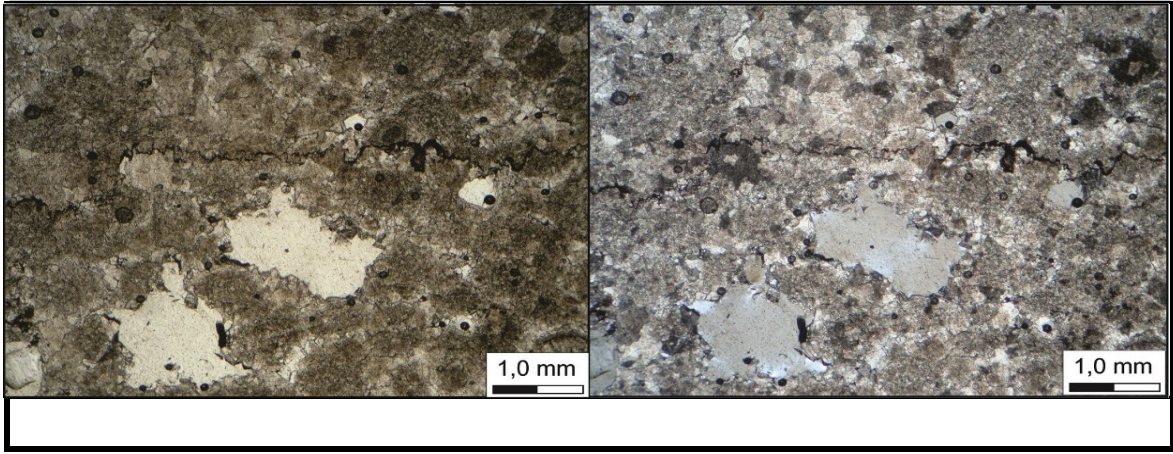
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-04-B	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 04.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Contituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 10%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 50%		
Quartzo e dolomita: 30%		
Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a pontual.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Cimentação, Micritização, Dolomitização, Dissolução		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm; grãos de quartzo: 1,4 mm; dolomitas: 0,30 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
substituição dos oóidespor cimento calcítico e dolomitização.		
13. FOTOS:		



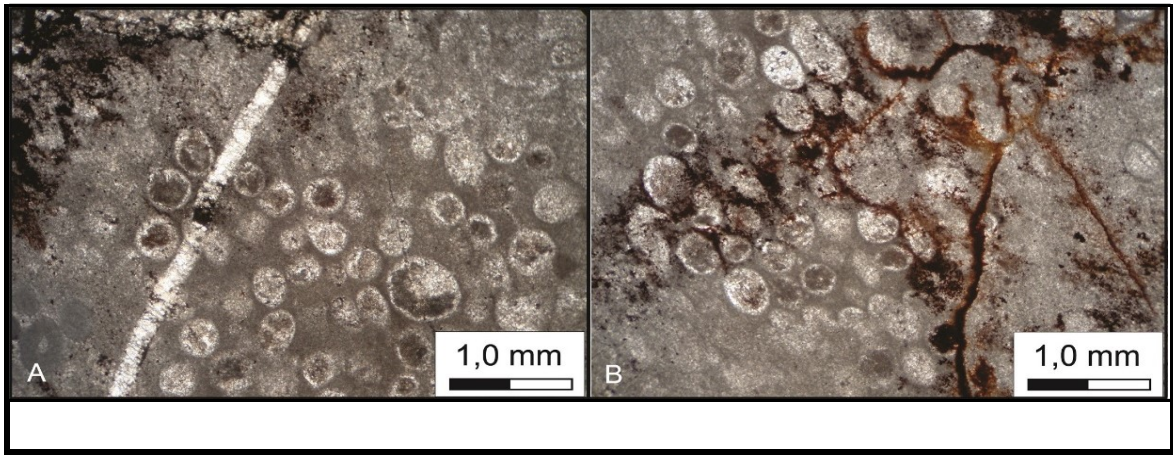
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-04-C	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 04.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 15% Intraclastos: 5% Constituintes ortoquímicos: Calcita espática: 45% Quartzo e dolomita: 30% Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a pontual.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Cimentação, Micritização, Dolomitização, Dissolução		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,45 mm; grãos de quartzo: 1,1 mm; dolomitas: 0,30 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Substituição dos oóides por cimento calcítico e dolomitização. Cistalização de quartzo posterior a dolomitização. <i>Saddle dolomite</i> inclusas em quartzo que preenche fratura.		
13. FOTOS:		



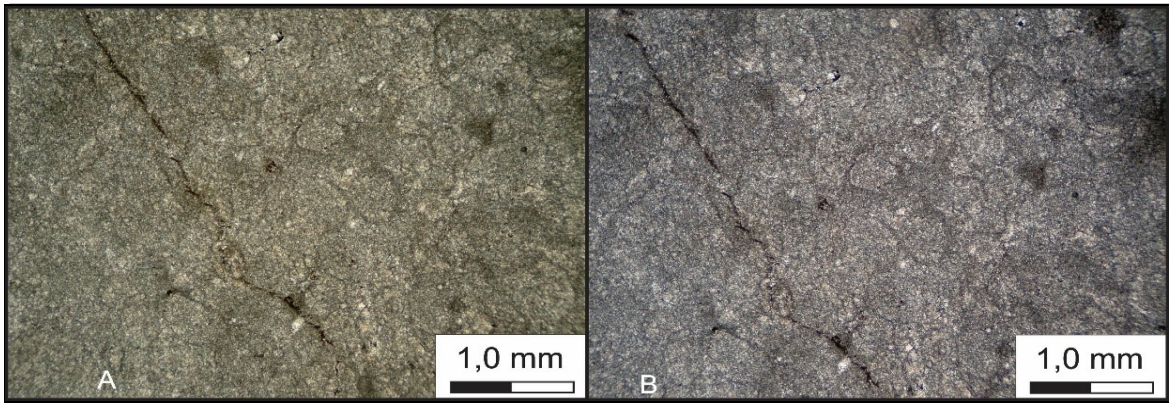
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBR-04-D	LOCAL: Toca da Barriguda, ponto 04.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 45% Intraclastos: 20%		
Constituintes ortoquímicos: Cimento espático: 10% Quartzo e dolomita: 20% Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Cimentação, Dolomitização, Compactação (estilólitos) Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Presença de estilólitos.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Cimentação e dolomitização em evidência.		
13. FOTOS:		



FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-02-A		LOCAL: Toca da Boa Vista, ponto 02
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides: 55%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Matriz micrítica: 35%		
limonita: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante, pontual e côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Compactação (estilólitos), Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,25 mm (em média)		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não identificadas.		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone oolítico, Oomicrito.		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depósitos de Intermaré		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Mudstone bastante fraturado e bordas das fraturas alteradas por óxido de ferro (limonita). Fraturas preenchidas por calcita e pelo óxido de ferro.		
13. FOTOS:		

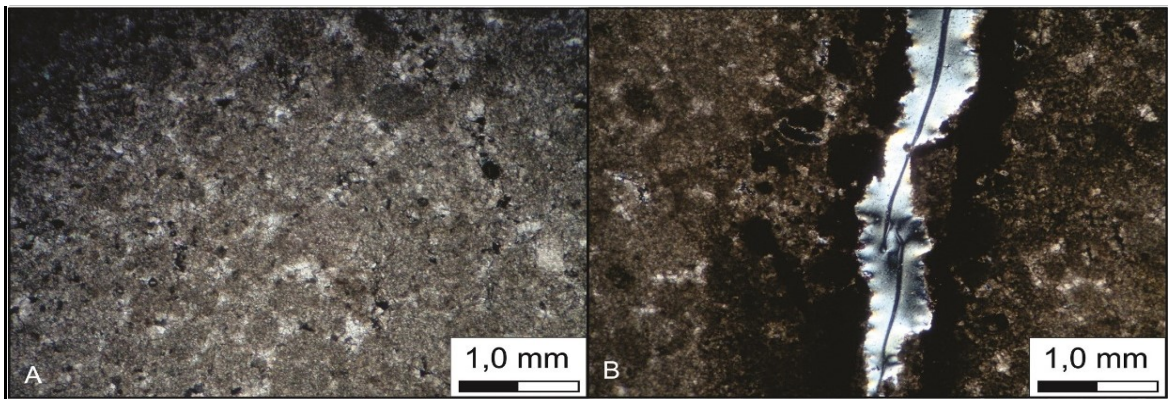


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-02-B	LOCAL: Toca da Boa Vista, ponto 02.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes ortoquímicos:		
Matriz micrítica: 5%		
Cimento microesparítico: 30%		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides: 60%		
Intraclastos: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato pontual e côncavo-convexo		
3. MATRIZ:		
Micrítica		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização dos oóides, Compactação (estilólitos), Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,30 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não identificadas.		
8. POROSIDADE:		
Porosidade vugular: < 2%		
9. NOME DA ROCHA:		
Mudstone biogênico, Laminito microbial dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Oóides micritizados com cimento microesparítico em matriz micrítica (pouca quantidade).		
13. FOTOS:		



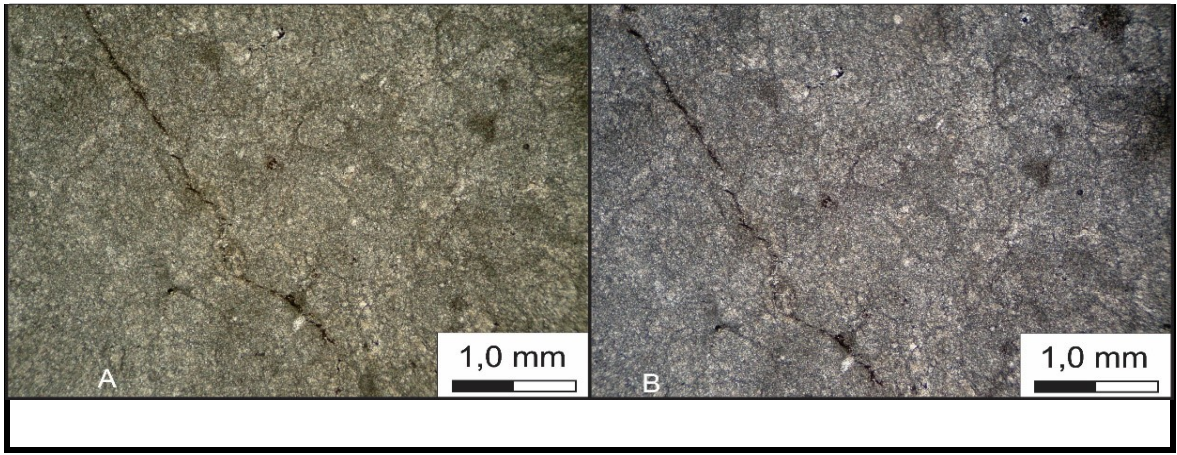
Autor: André Lyrio de Carvalho Figueiredo, 2011

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-A	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 75%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 10%		
Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Móldica, intergranular, interparícula e vuggular: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Fraturas preenchidas por calcita.		
13. FOTOS:		



Autor: André Lyrio de Carvalho Figueiredo, 2011

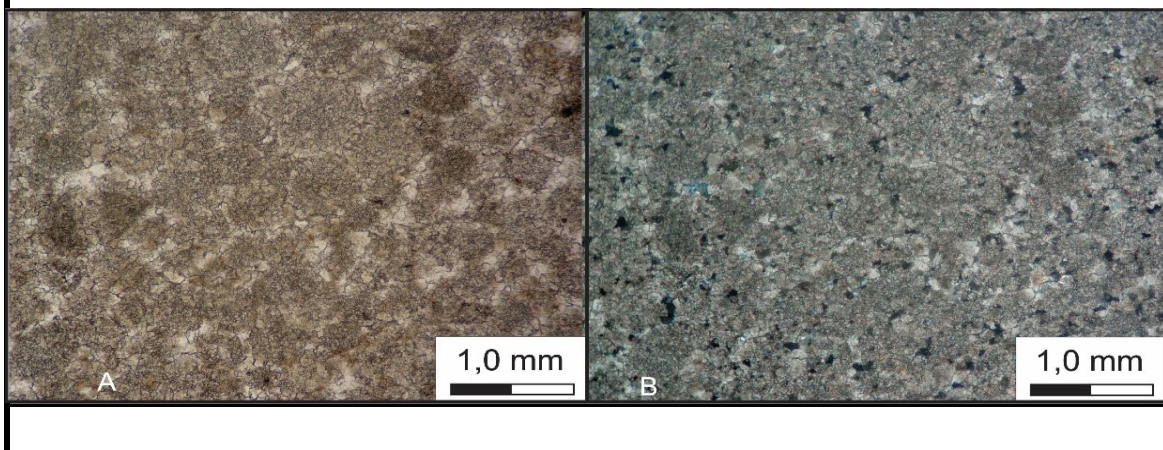
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DEB2:I26 CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-B	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 70%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 15%		
Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,45 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Intergranular e vuggular: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Fantasmas de oólitos micritizados.		
13. FOTOS:		



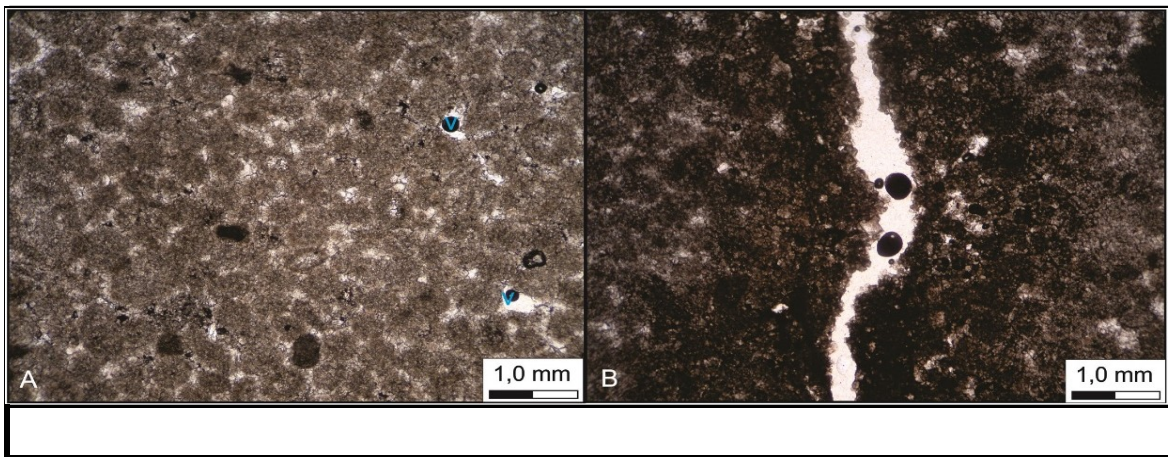
|

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-C	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 75%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Calcita espática: 15%		
Quartzo: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato frouxo a côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Recristalização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
Ortoquímicos (quartzo) 0,60 mm (maior grão)		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: <1%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Inclusões de dolomita no quartzo.		

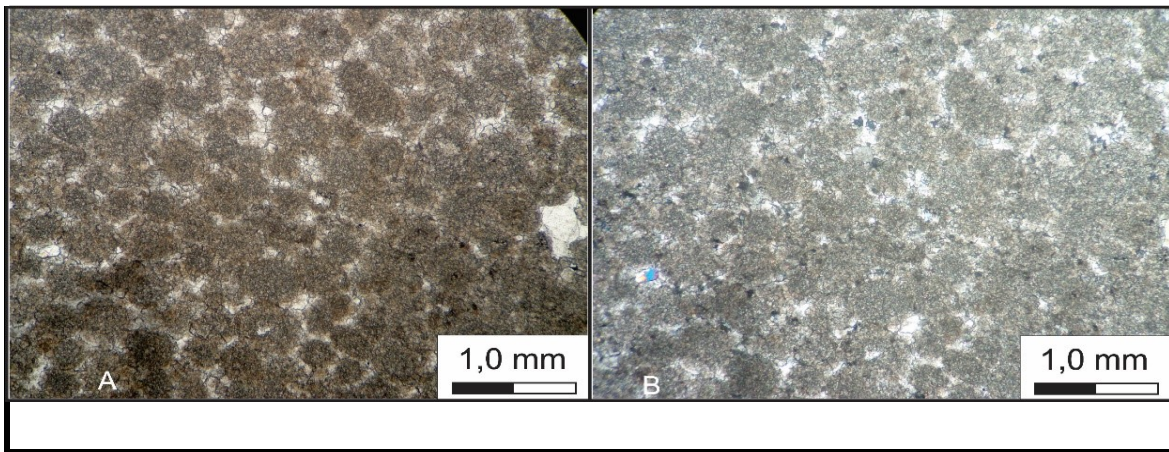
13. FOTOS:



FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-D	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 75% Intraclastos: 5% Constituintes ortoquímicos: Calcita espática: 10% Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo e reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,55 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Móldica, intergranular e vuggular: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Borda de fratura sofre micritização e alguns cristais de dolomita se desenvolvem.		
13. FOTOS:		

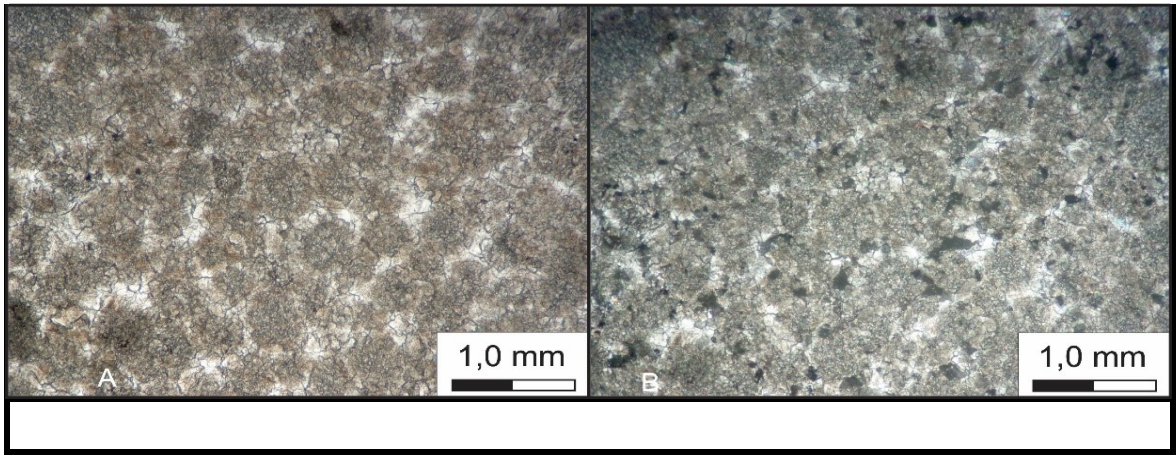


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DEB2:I26 CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-E	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 80% Intraclastos: 5% Grãos ortoquímicos: Calcita espática: 10% (quartzo, barita, laranja, esverdeado): 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo e reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização Dolomitização, Dissolução (vuggs) Compactação (contato côncavo-convexo)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,60 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: <1%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Recristalização de fases minerais.		
13. FOTOS:		

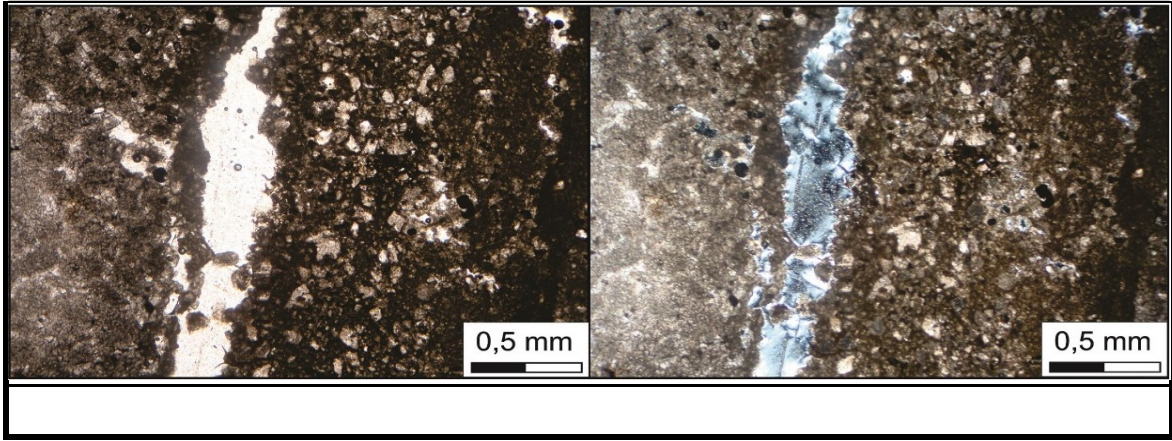


|

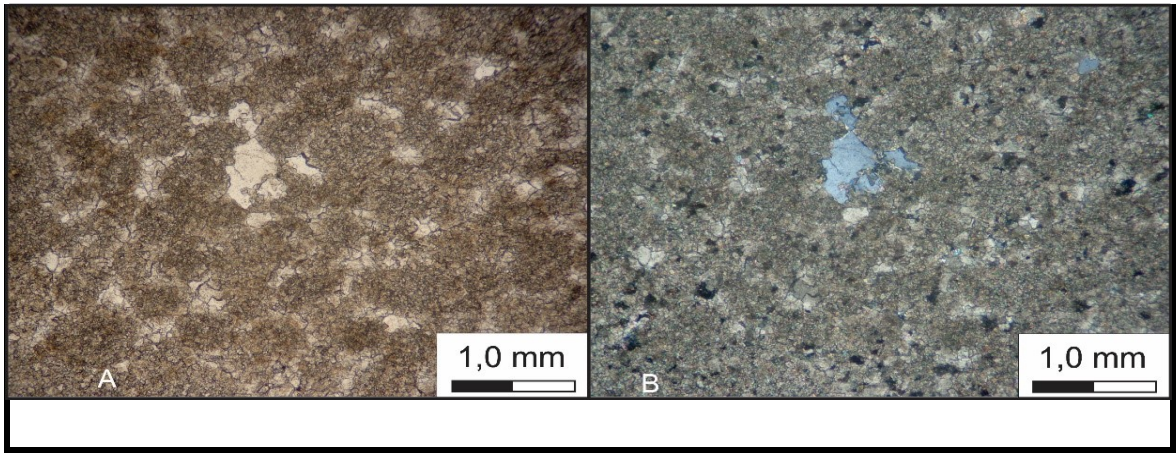
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DEB2:I26 CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-F	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 70%		
Intraclastos: 10%		
Constituintes ortoquímicos: 5%		
Calcita espática: 15%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,55 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Intergranular e vuggular: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
13. FOTOS:		



FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-G	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Oóides micritizados: 75% Intraclastos: 10% Constituintes ortoquímicos: Calcita espática: 5% Porosidade: 10%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Cimentação Dolomitização, Compactação (contato côncavo-convexo) Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,5 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Móldica, intergranular, intragranular e vuggular: 10%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Borda da fratura bastante micritizada, apresenta cristais de dolomita e alteração por matéria orgânica e óxido de ferro.		
13. FOTOS:		

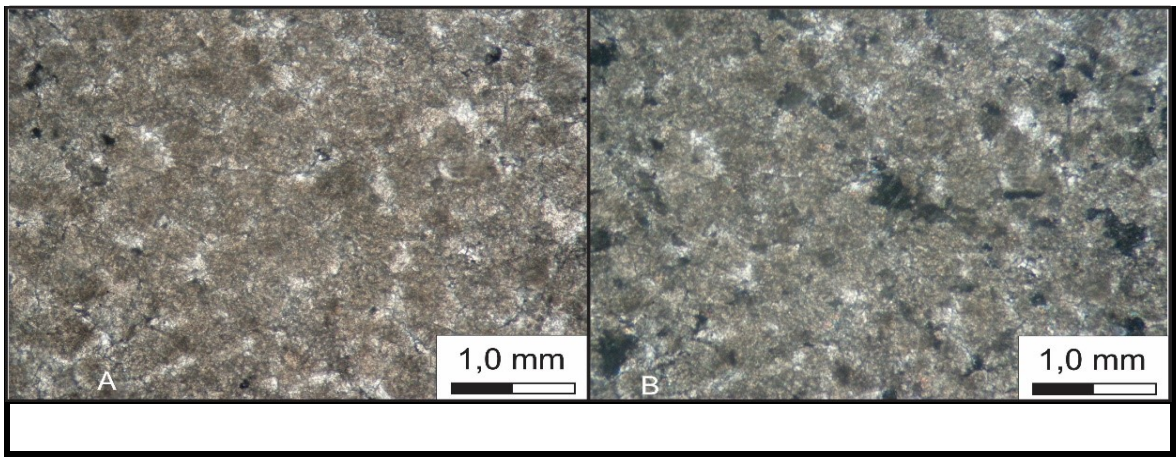


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-H	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 80%		
Intraclastos: 5%		
Constituintes ortoquímicos:		
Cimento espático: 10%		
Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Grãos com birrefringência alta. Averiguar.		
13. FOTOS:		



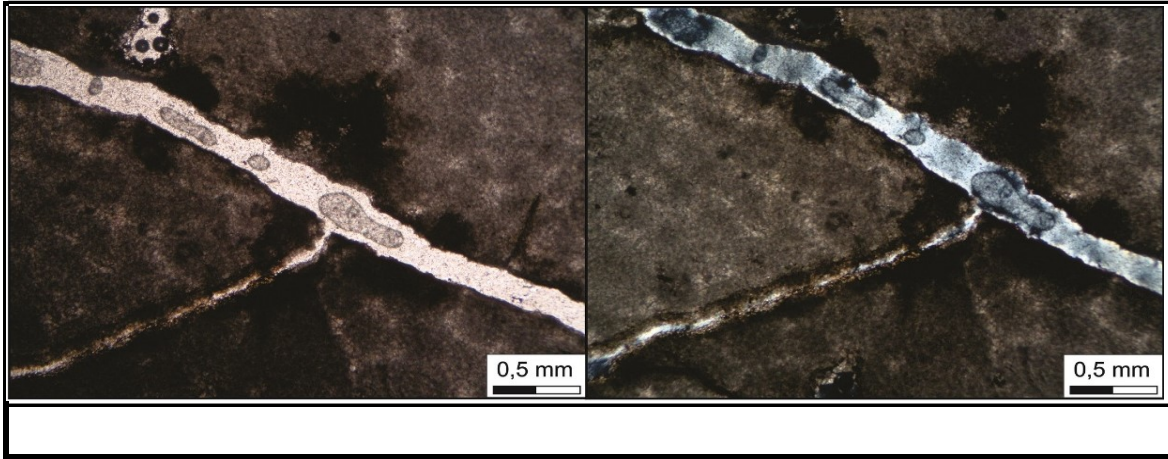
|

FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-03-I	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 03.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Fantasmas de oóides rescristalizados: 30%		
Oóides micritizados: 60%		
Intraclastos: 5%		
Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato flutuante a reto.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, Cimentação, Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,40 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Grãos com birrefringência alta. Averiguar.		
13. FOTOS:		

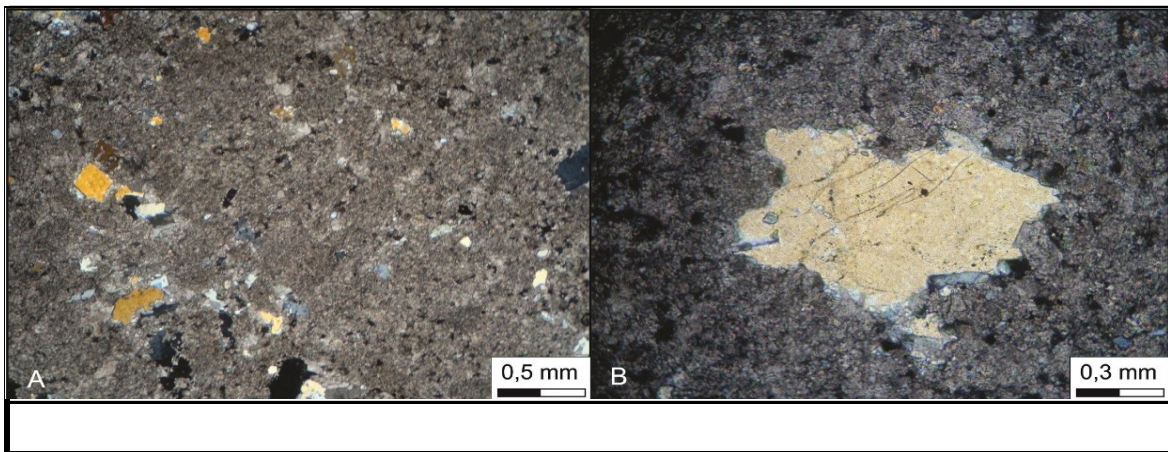


|

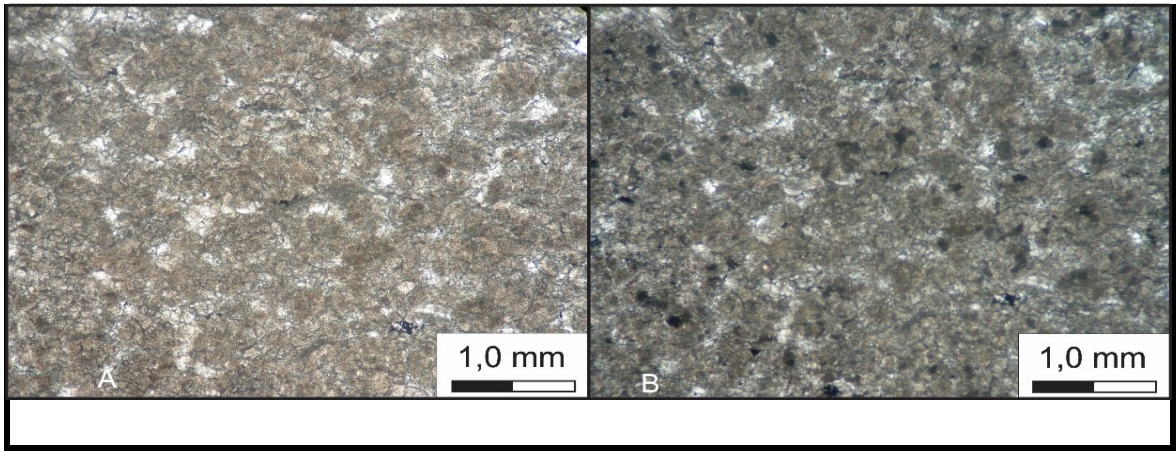
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-07-D	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 07.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos:		
Oóides micritizados: 80%		
Intraclastos: 5%		
Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização,		
Compactação (estilólitos e contato côncavo-convexo)		
Dolomitização,		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,72 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular e móldica: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Oóides micritizados, fraturas preenchidas por calcita e borda alterada por óxido de ferro.		
13. FOTOS:		



FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-11-A	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 11.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Fantasmas de oóides micritizados: 45% Constituintes ortoquímicos: Quartzo: 35% Calcita espática: 15% Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, compactação, Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,55 mm; ortoquímicos: 0,90 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Grãos de quartzo microcristalinos e formando grandes exudados. Calcita em cristais alongados e fibrosos.		
13. FOTOS:		

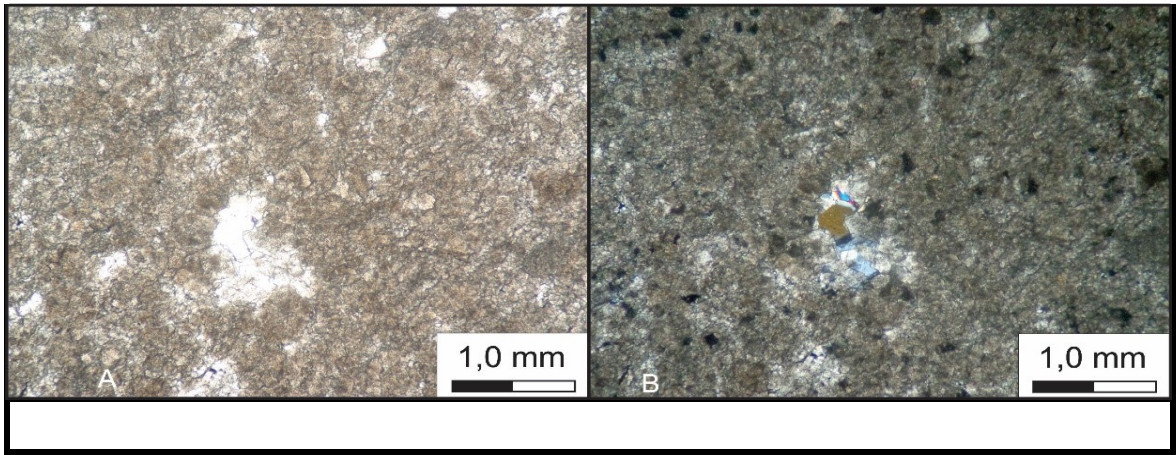


FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-11-B	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 11.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Fantasmas de óides micritizados: 70%		
Calcita espática: 25%		
Porosidade: 5%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato reto a côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, cimentação,		
Dolomitização,		
Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Óides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os fantasmas de oóides apresentam núcleo micritizado e substituição por cimento espático.		
13. FOTOS:		



|

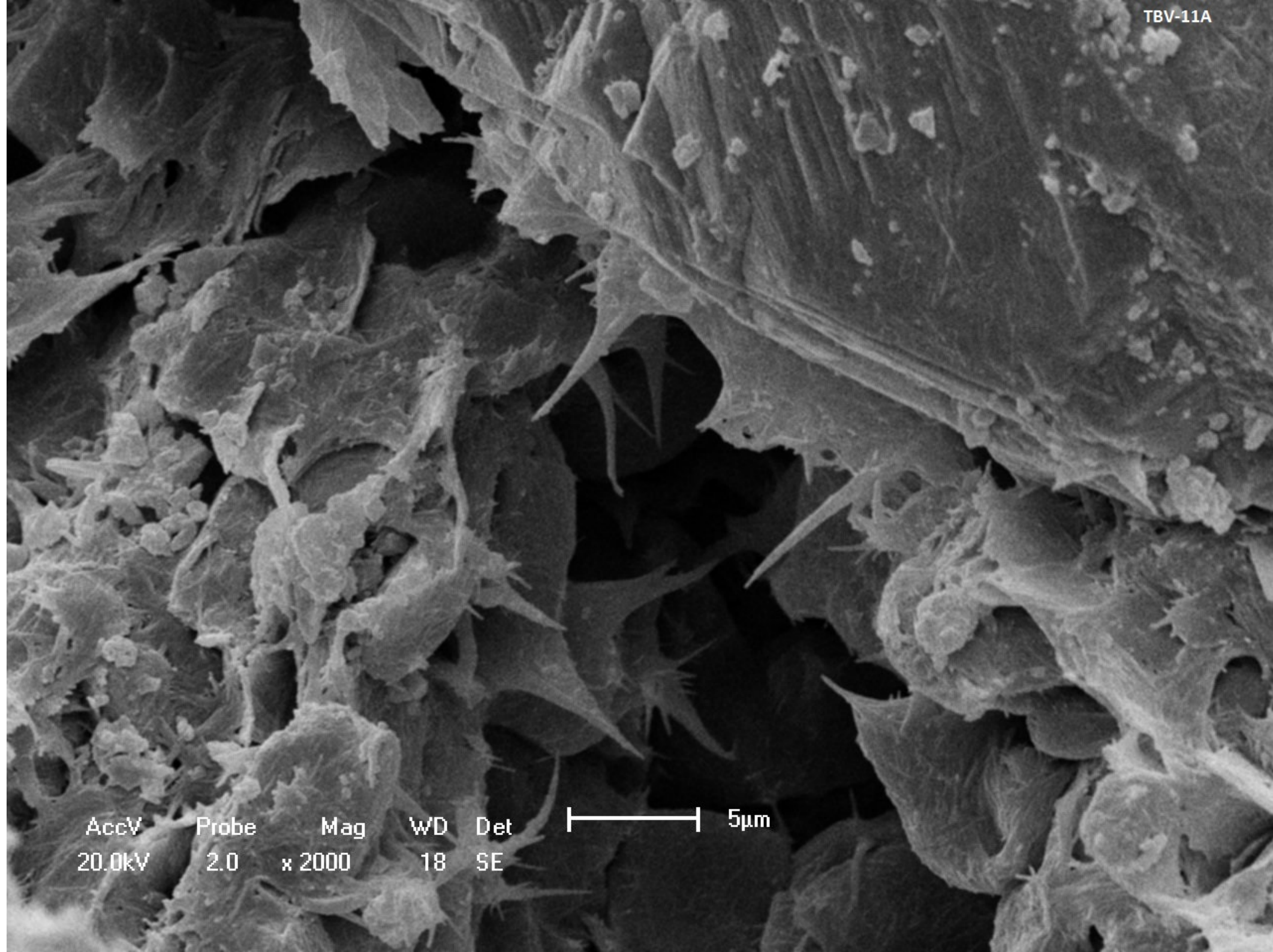
FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS		
LÂMINA: TBV-11-C	LOCAL: Toca da Boa vista, ponto 11.	
PROF.: Cristiane Menezes	BACIA: Irecê	FM: Salitre
1. CONSTITUINTES:		
Constituintes aloquímicos: Fantasmas de óides micritizados: 70%		
Constituintes ortoquímicos: Calcita espática: 25%		
Quartzo: 2%		
Porosidade: 3%		
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS:		
Contato reto a côncavo-convexo.		
3. MATRIZ:		
Inexistente.		
4. DIAGÊNESE:		
Micritização, cimentação, Dolomitização, Dissolução (vuggs)		
5. TAMANHO DOS GRÃOS:		
Oóides: 0,52 mm		
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS:		
Não identificados.		
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES:		
Não observada nesta seção.		
8. POROSIDADE:		
Vuggular: 5%		
9. NOME DA ROCHA:		
Grainstone oolítico dolomitizado		
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL:		
Depositado em ambiente de submaré.		
11. IDADE APROXIMADA:		
Neoproterozóico		
12. OBSERVAÇÕES:		
Os fantasmas de oóides apresentam núcleo micritizado e substituição por cimento espático. Dolomitas inclusas no quartzo, indicando que a cristalização ocorreu pós dolomitização.		
13. FOTOS:		



|

ANEXO-2:

Imagens Obtidas por MEV



AccV
20.0kV

Probe
2.0

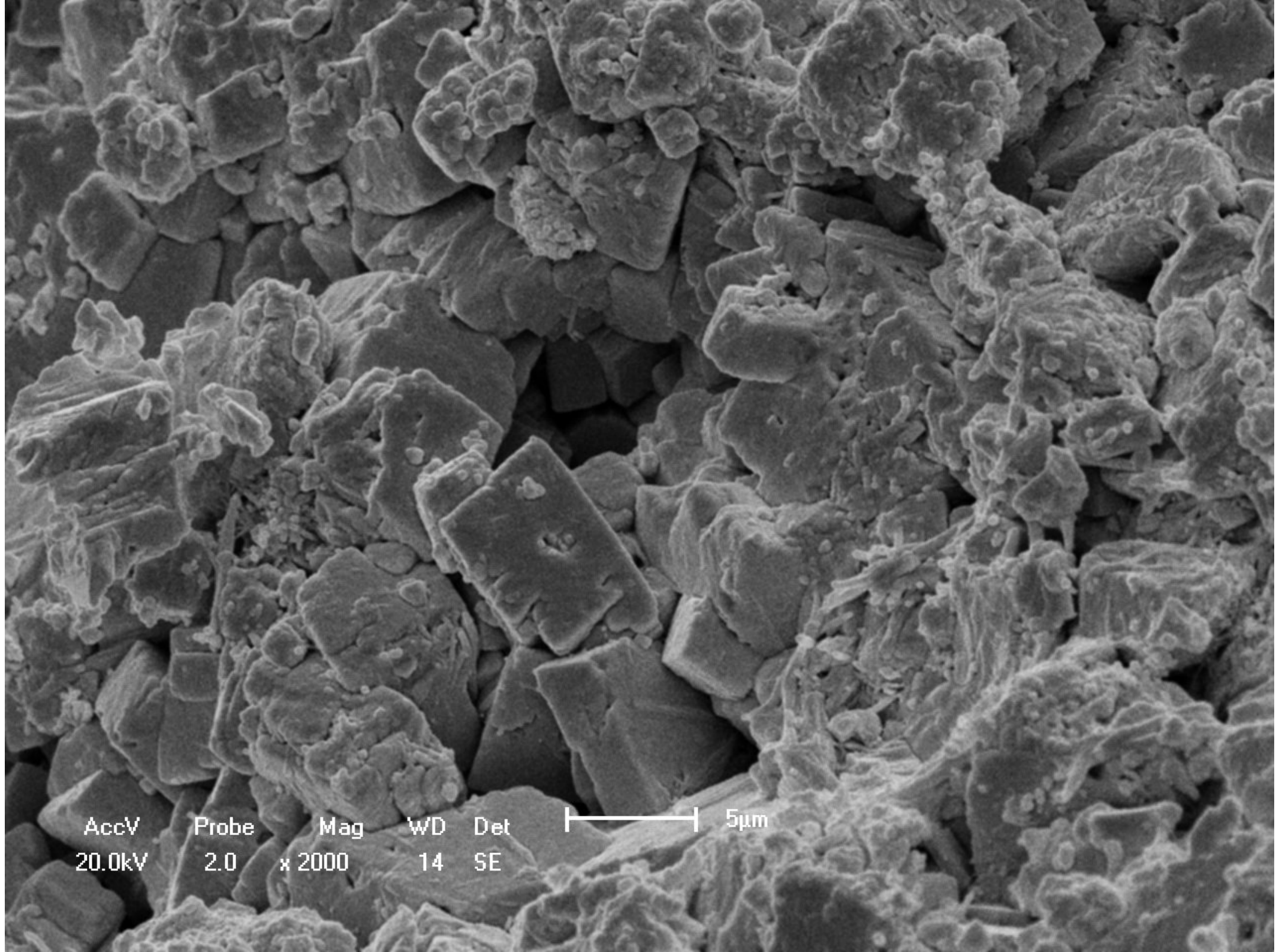
Mag
x 2000

WD
18

Det
SE



5 μ m



AccV
20.0kV

Probe
2.0

Mag
x 2000

WD
14

Det
SE

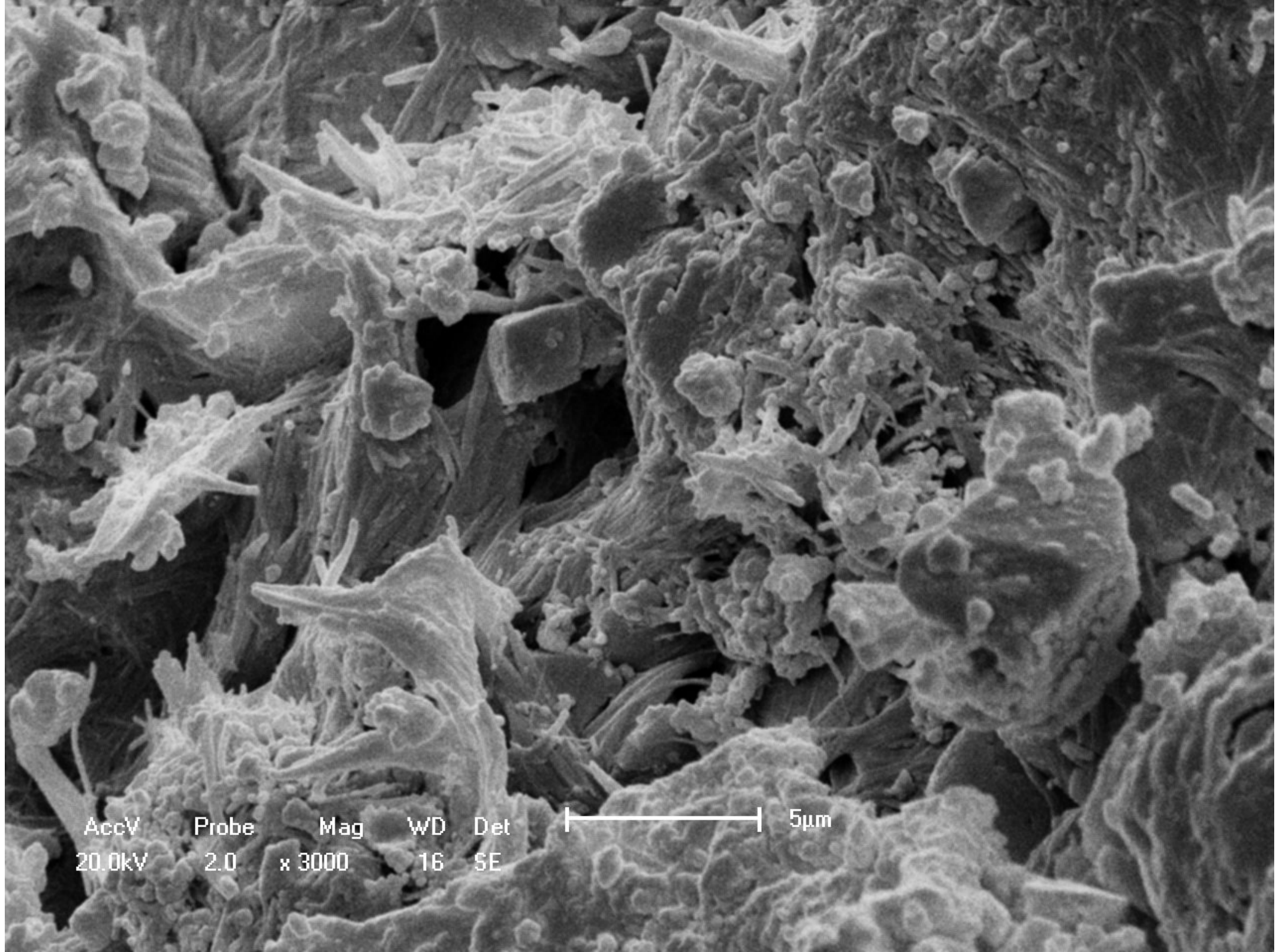


5 μ m



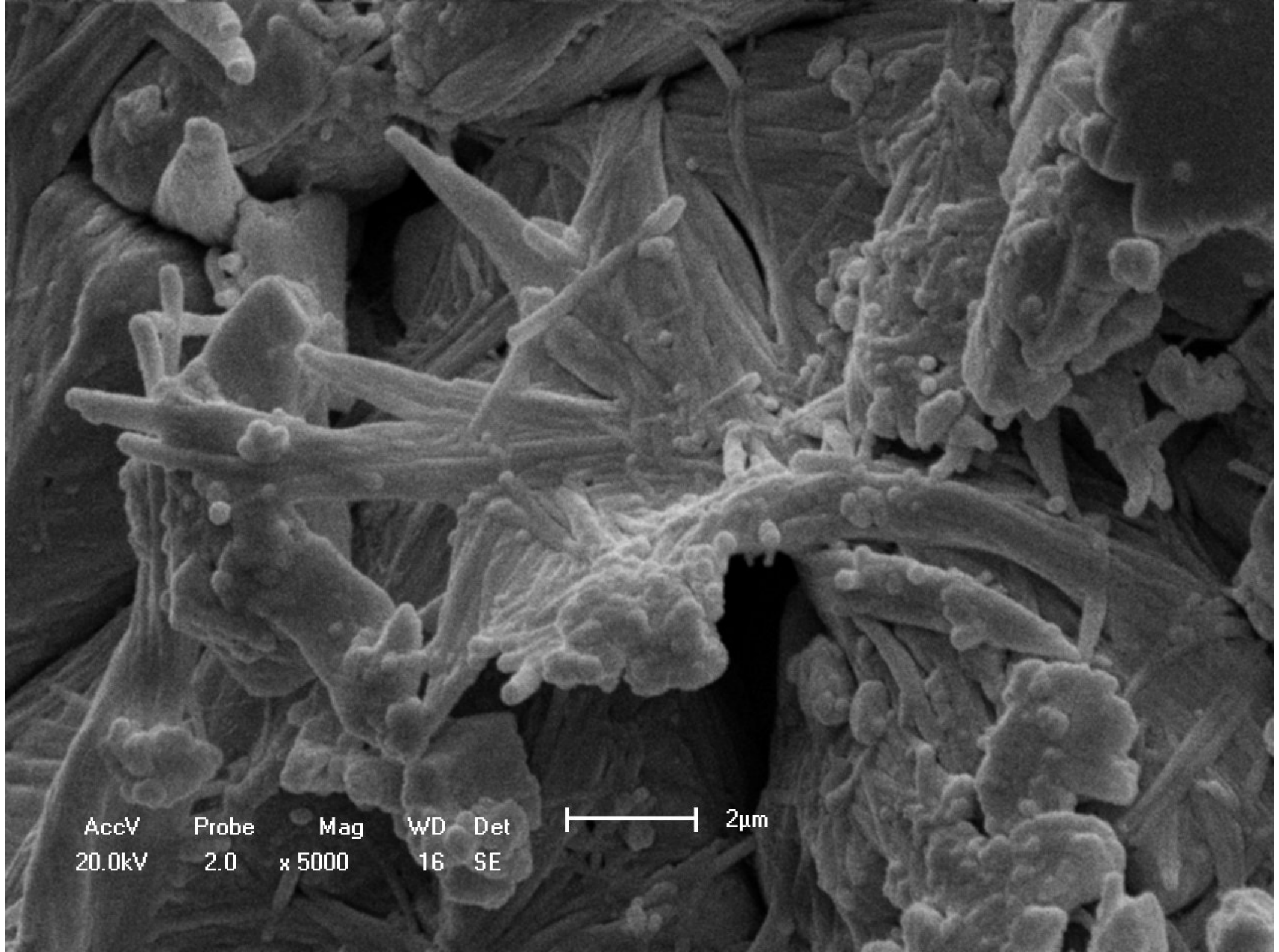
AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 3000
WD 17
Det SE

5µm



AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 3000
WD 16
Det SE

5µm

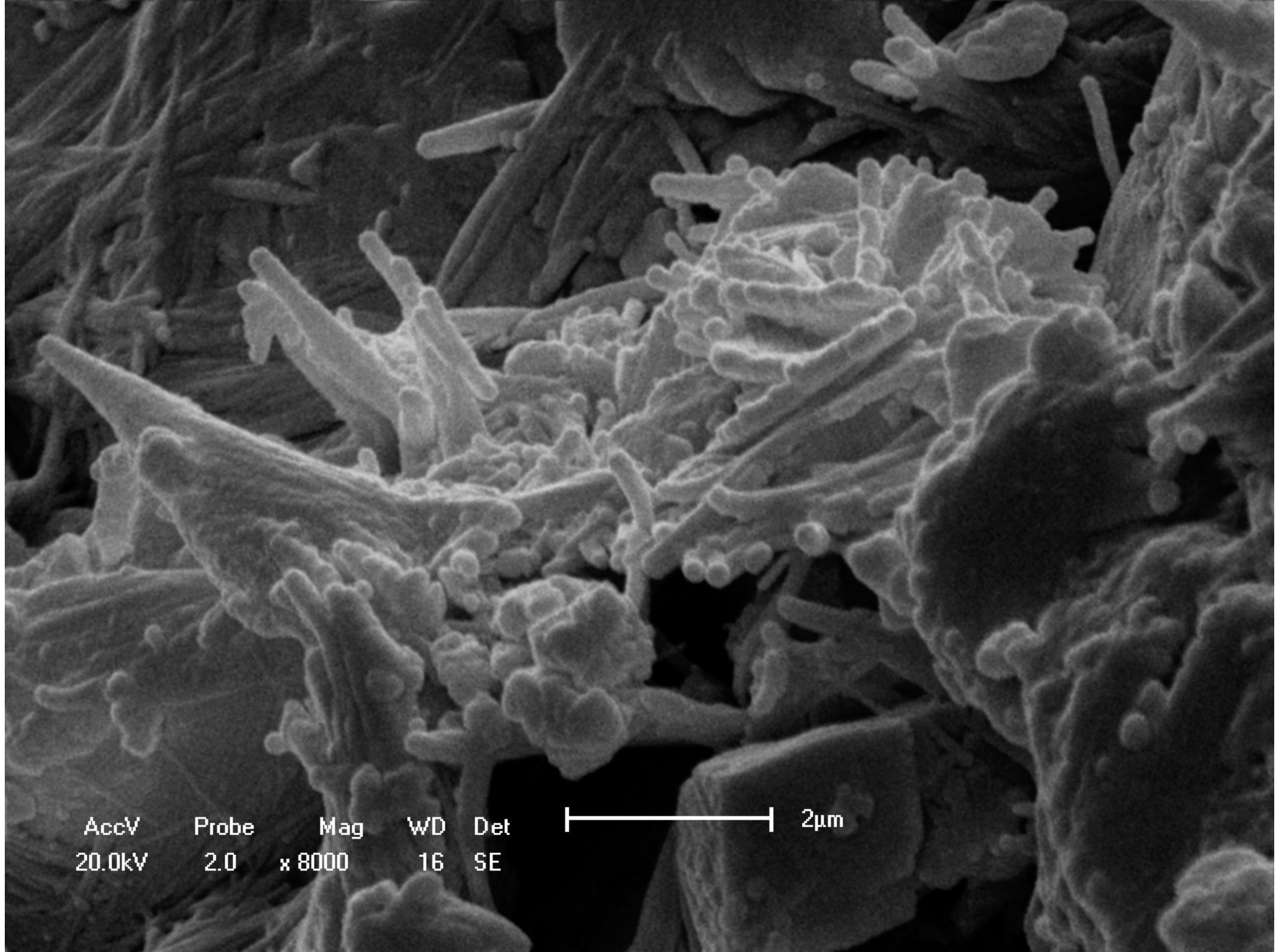


AccV 20.0kV Probe 2.0 Mag x 5000 WD 16 Det SE |-----| 2µm



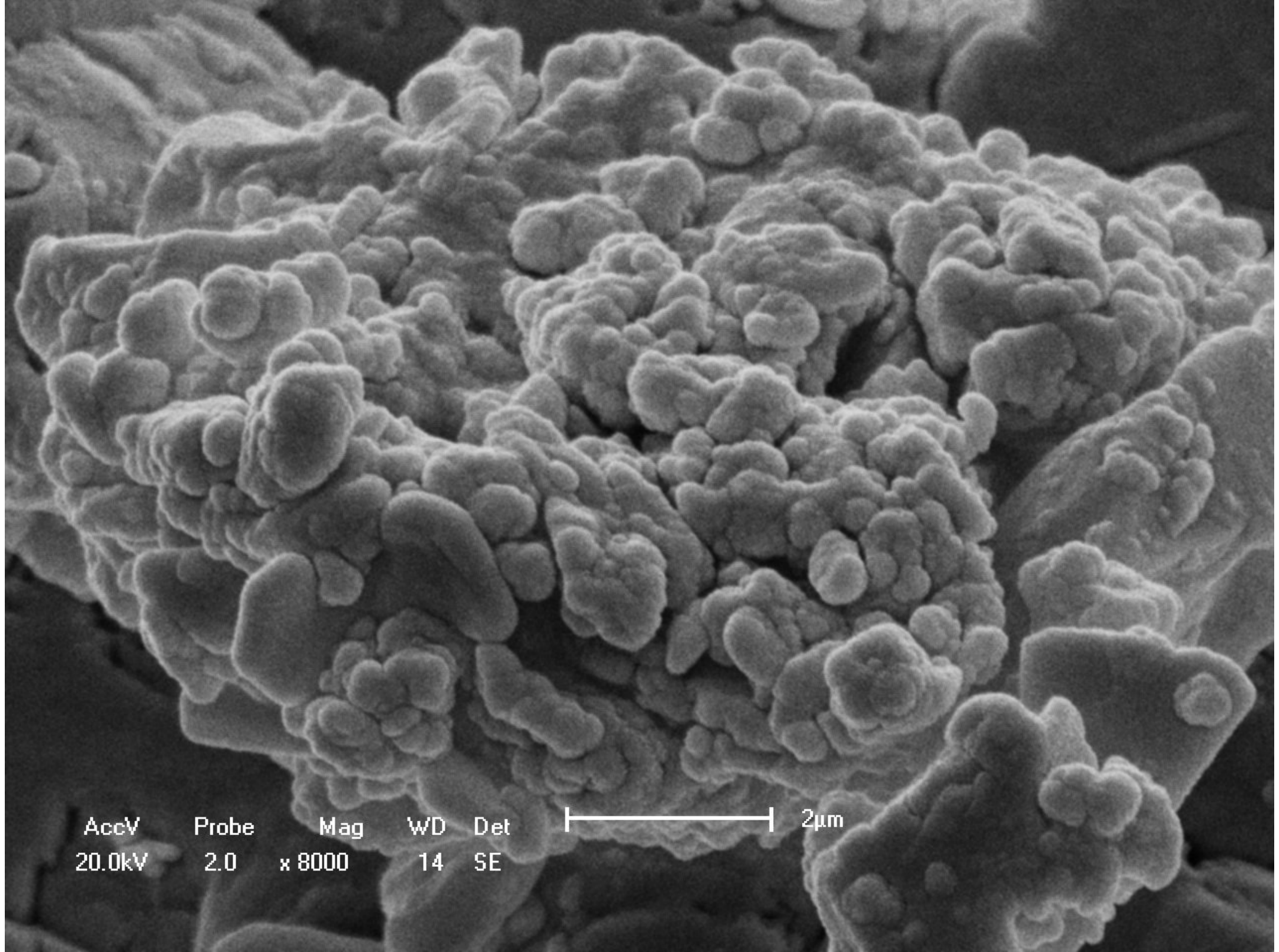
AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 6000
WD 18
Det SE

2µm



AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.0 x 8000 16 SE

┌──────────────────┐ 2µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

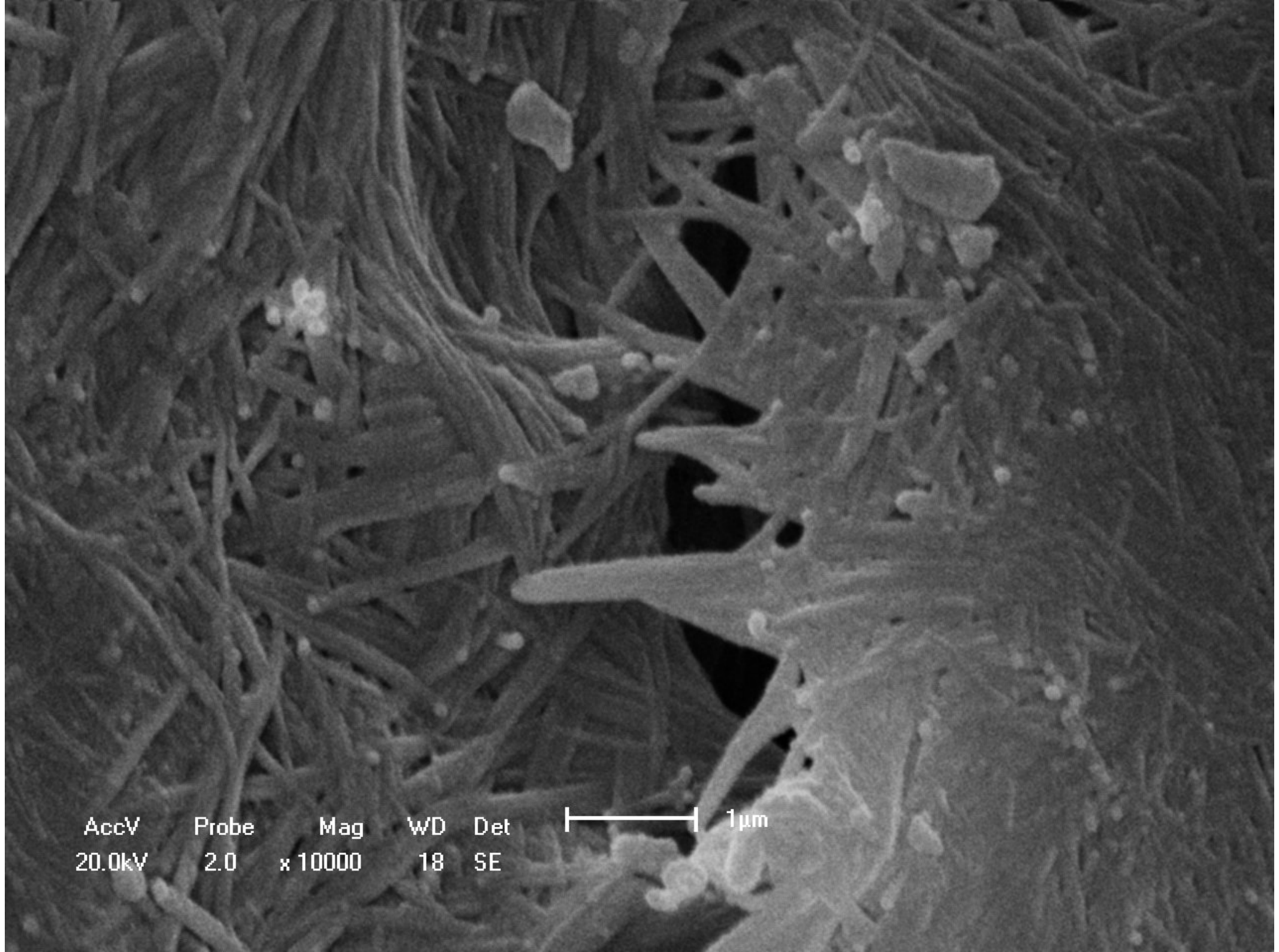
Mag
x 8000

WD
14

Det
SE

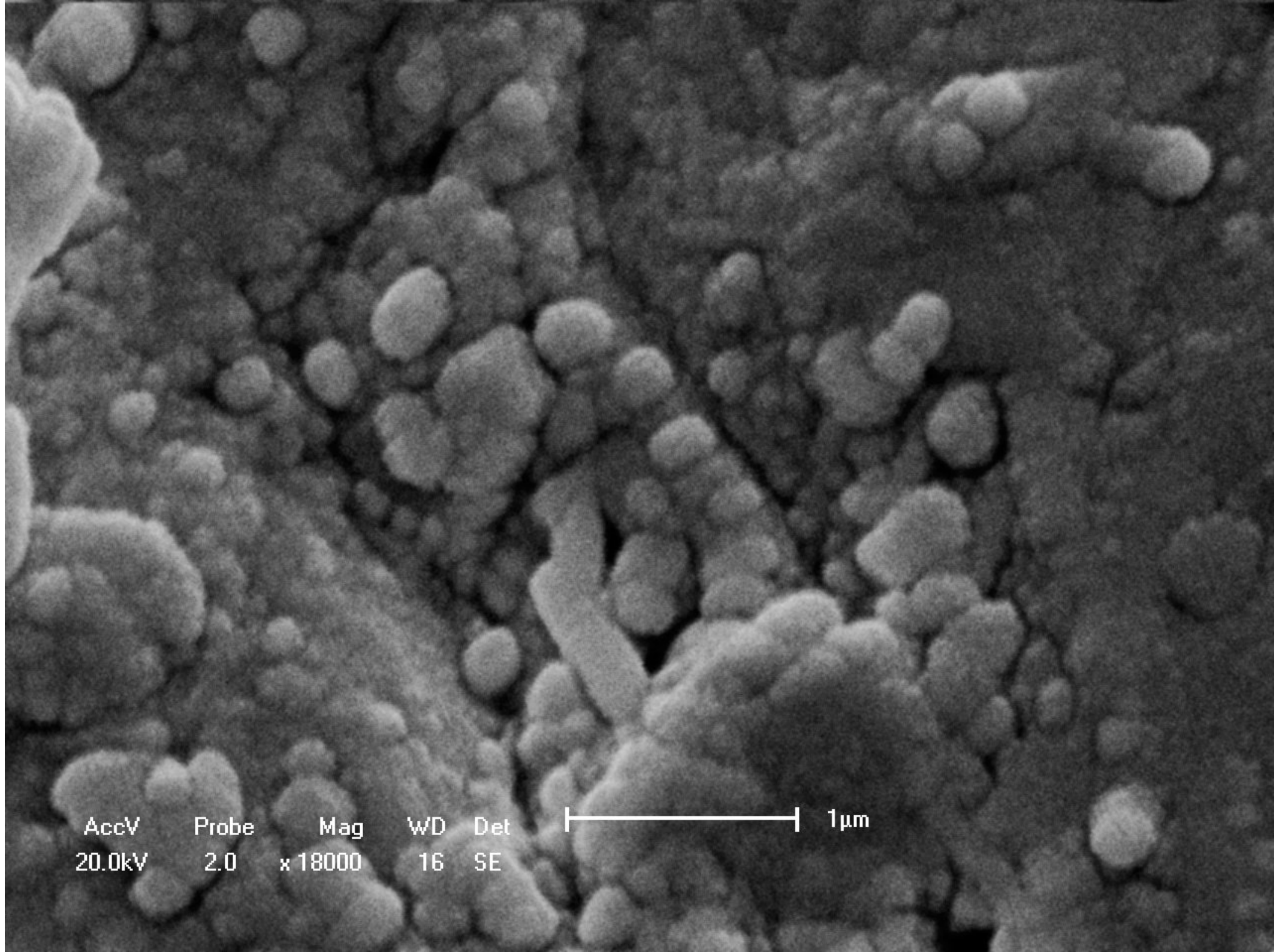


2µm



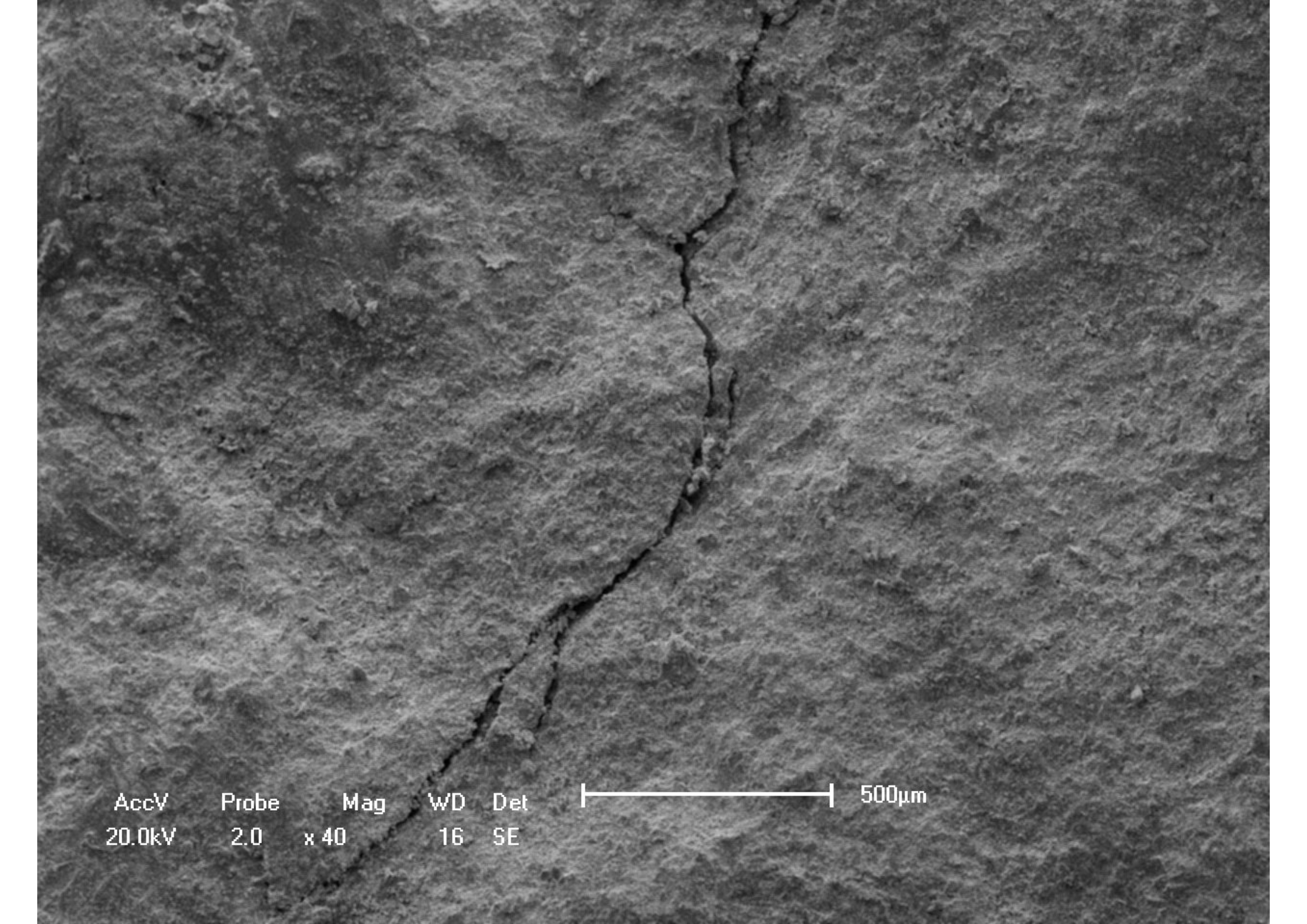
AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.0 x 10000 18 SE

1 μm



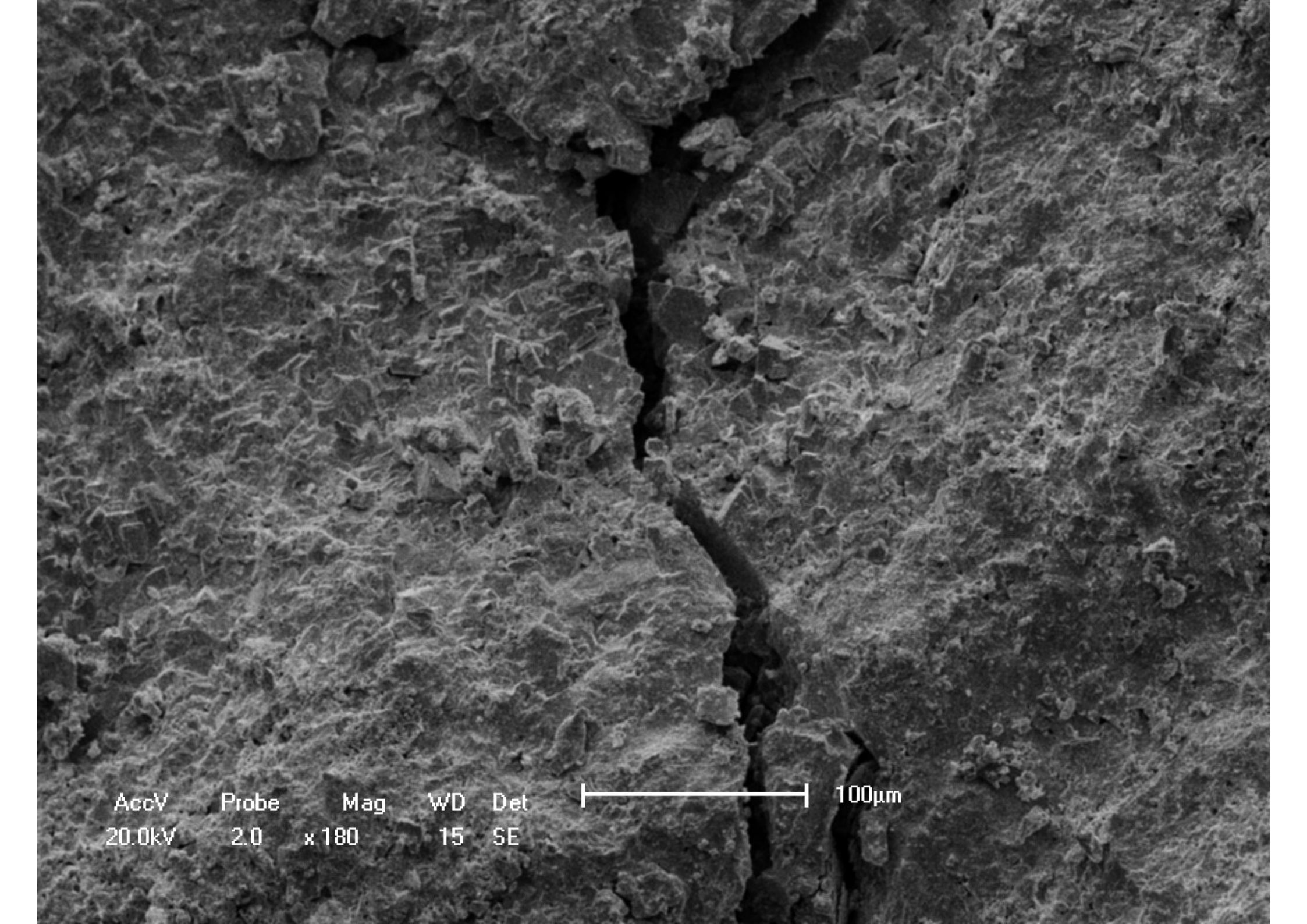
AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x18000
WD 16
Det SE

1 μm



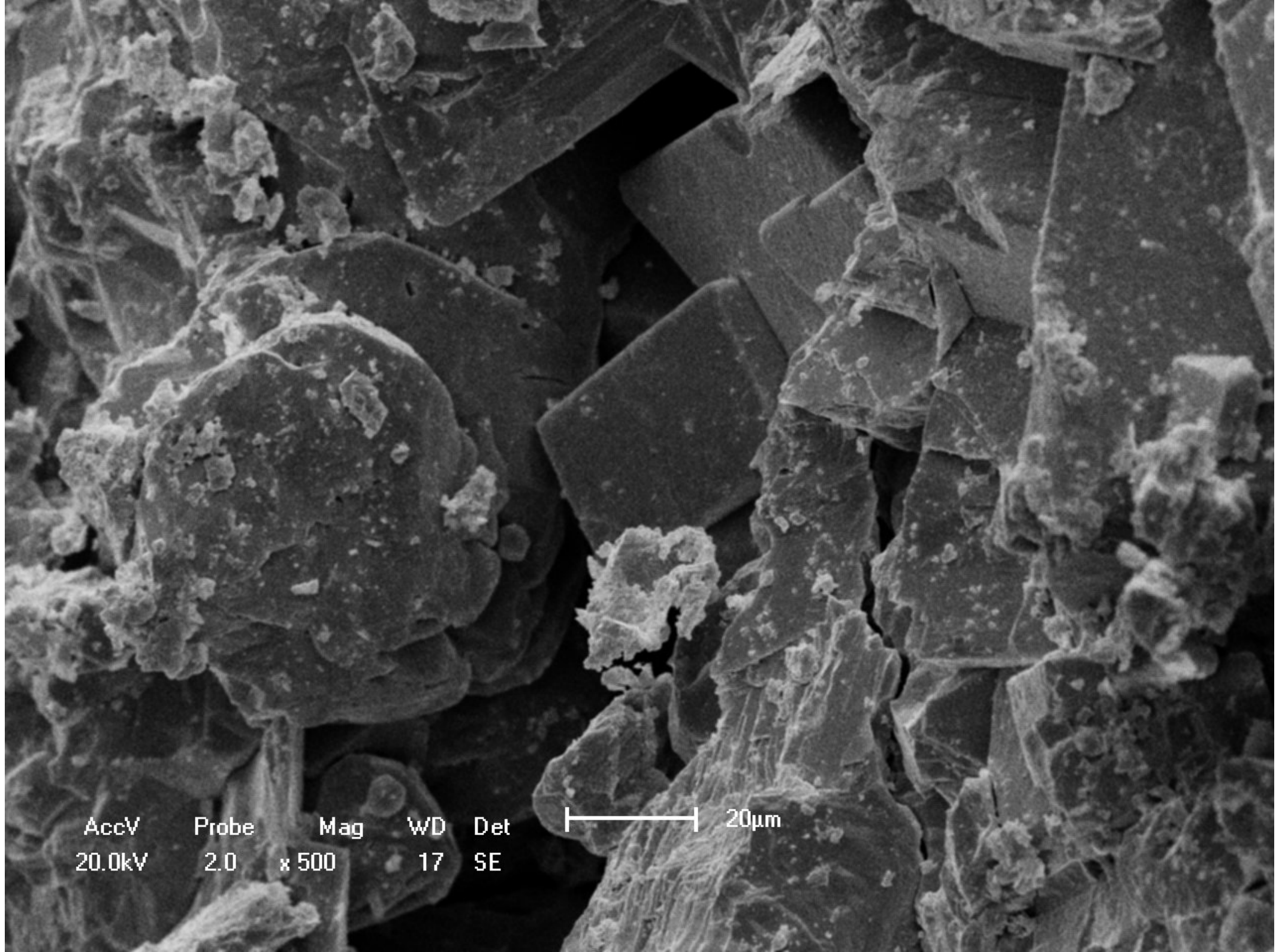
AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.0 x 40 16 SE

500µm



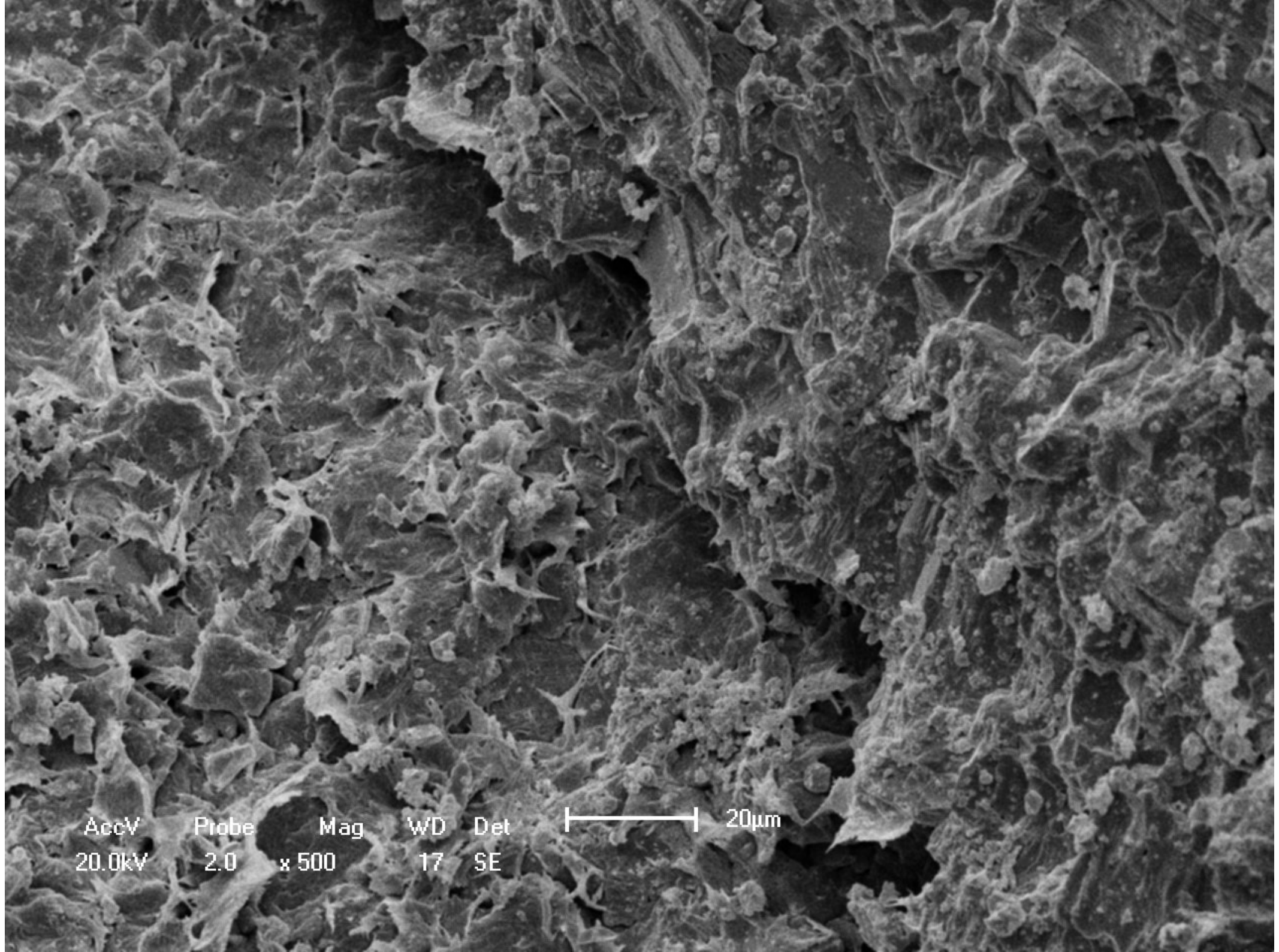
AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 180
WD 15
Det SE

100µm



AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.0 x 500 17 SE

20µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

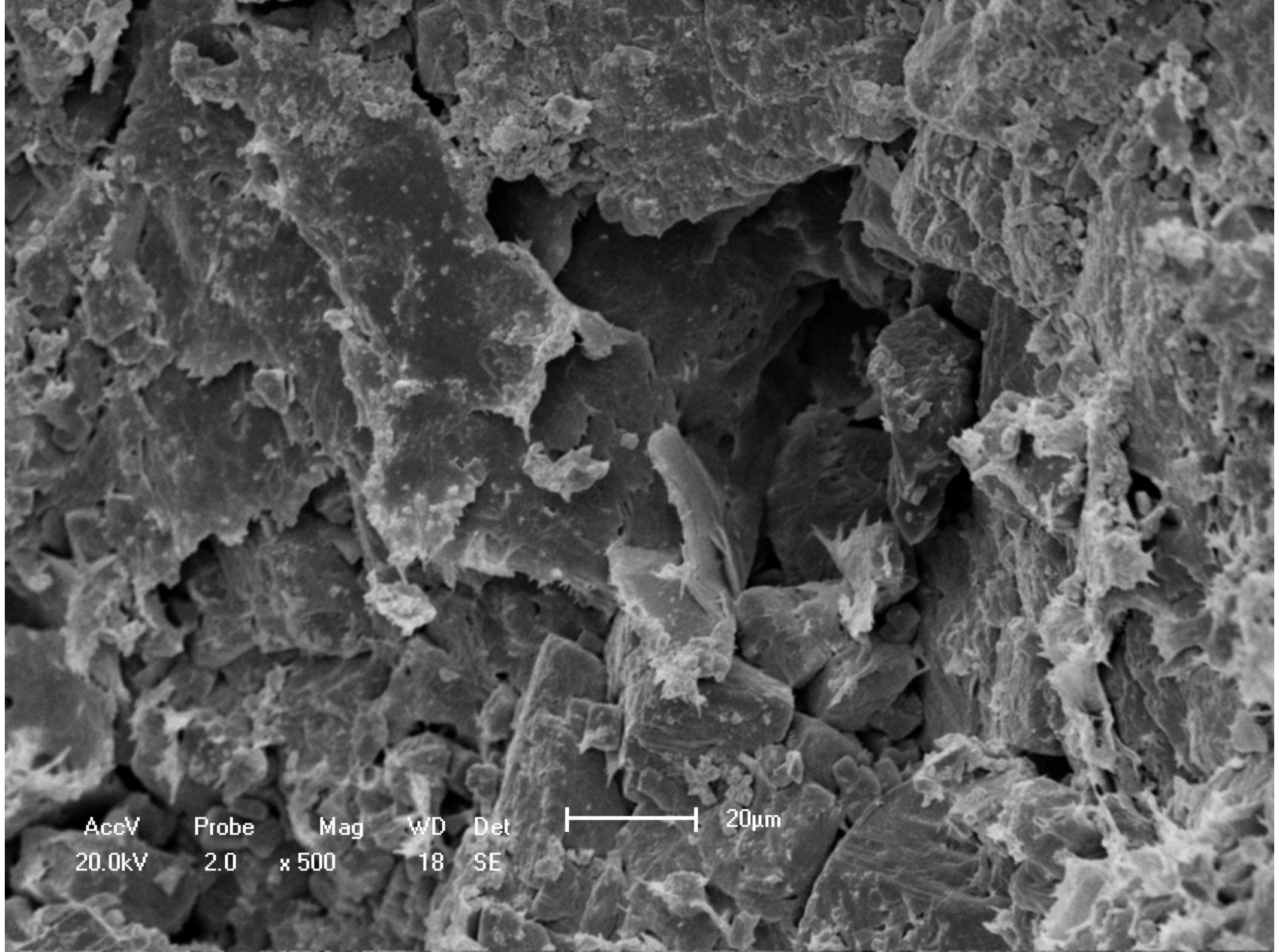
Mag
x 500

WD
17

Det
SE



20µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

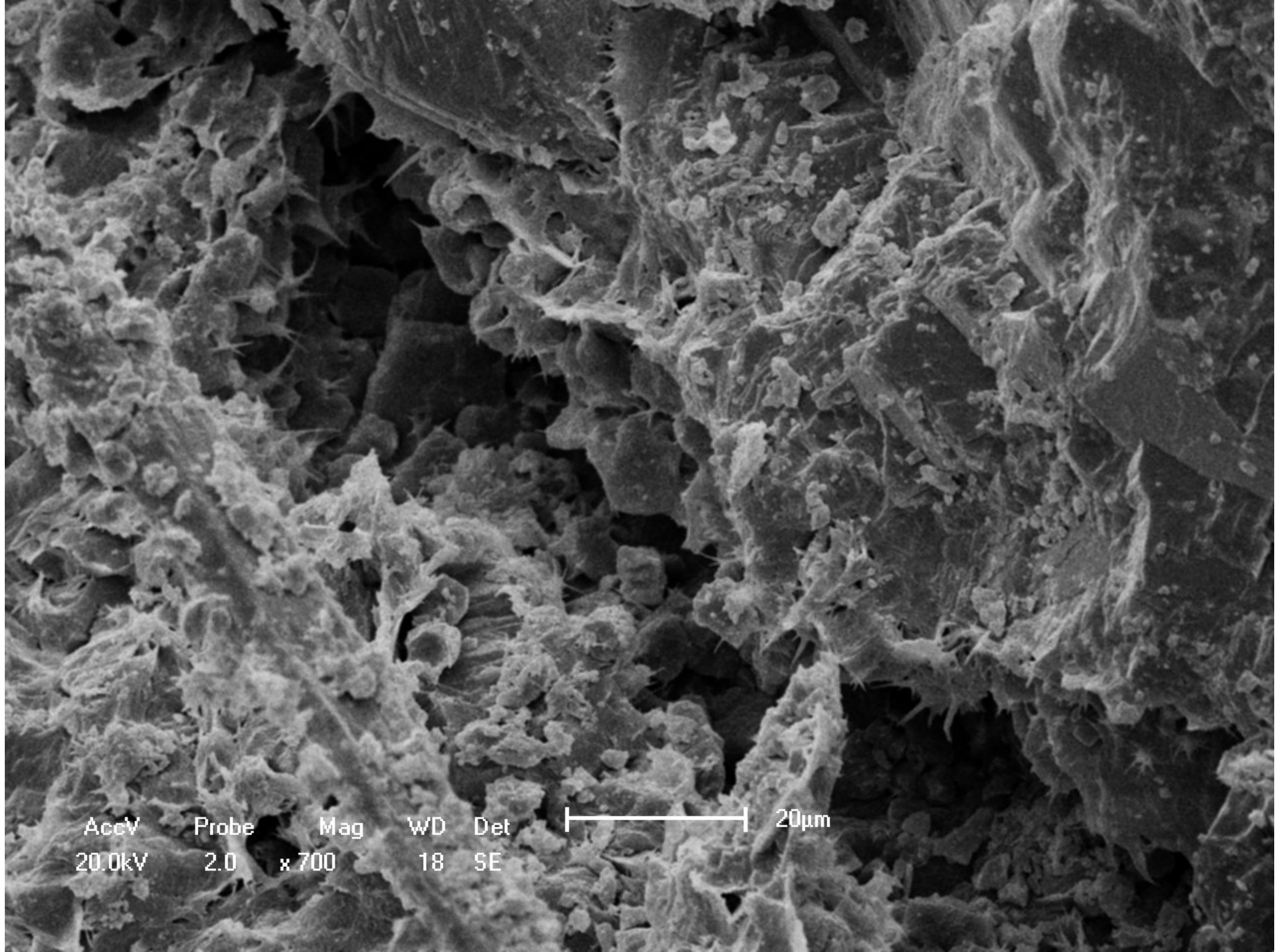
Mag
x 500

WD
18

Det
SE



20µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

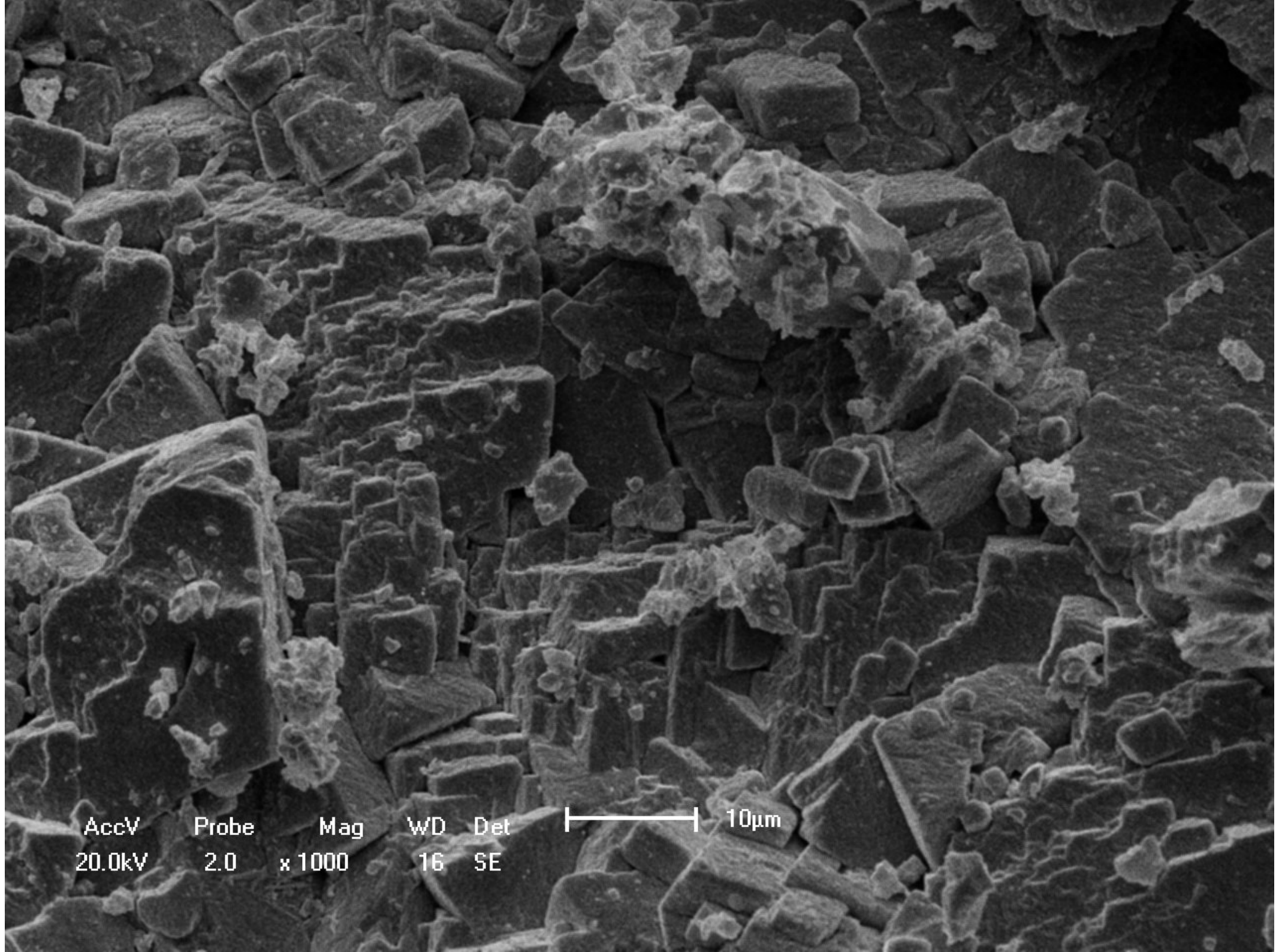
Mag
x 700

WD
18

Det
SE

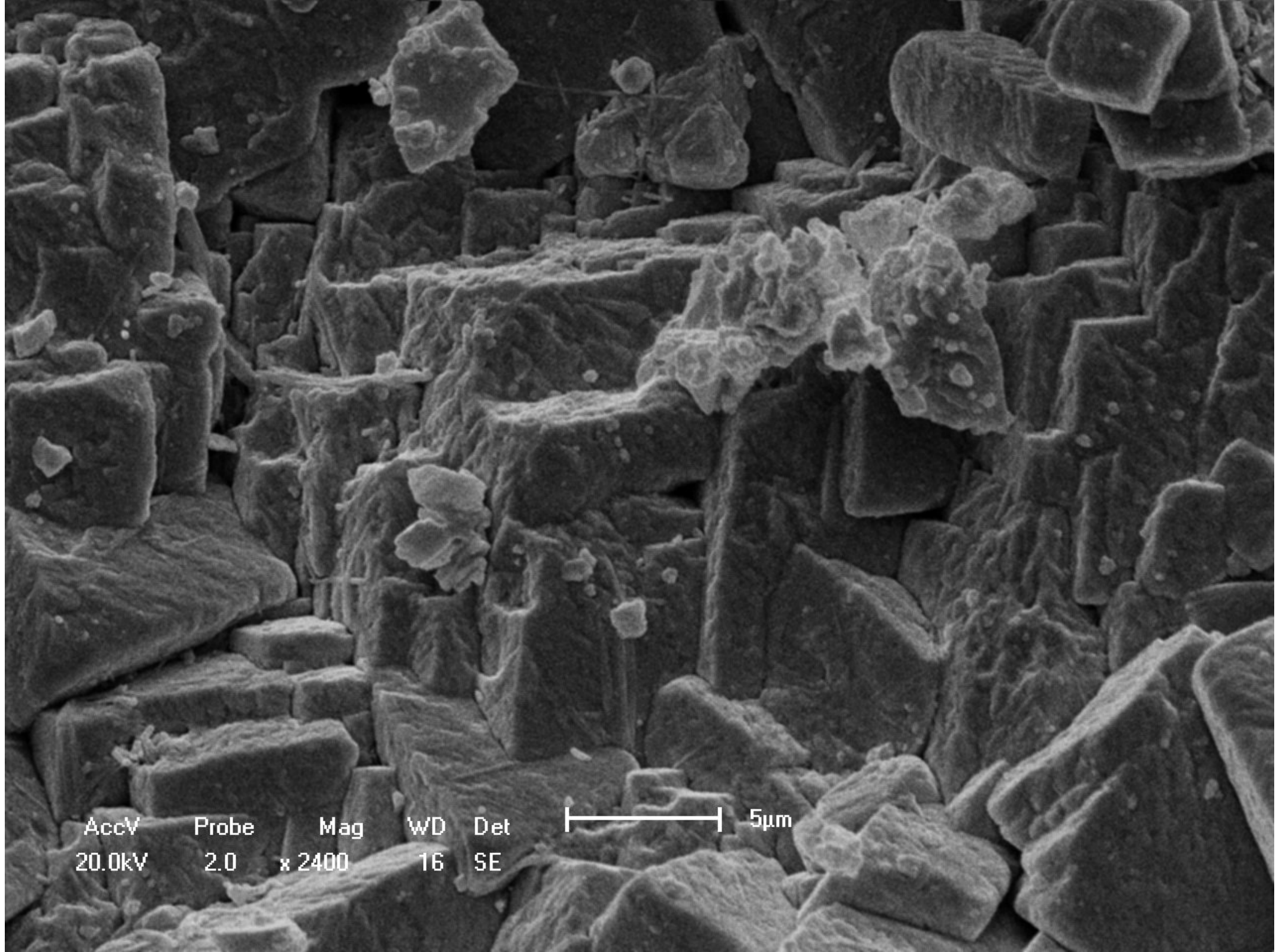


20µm

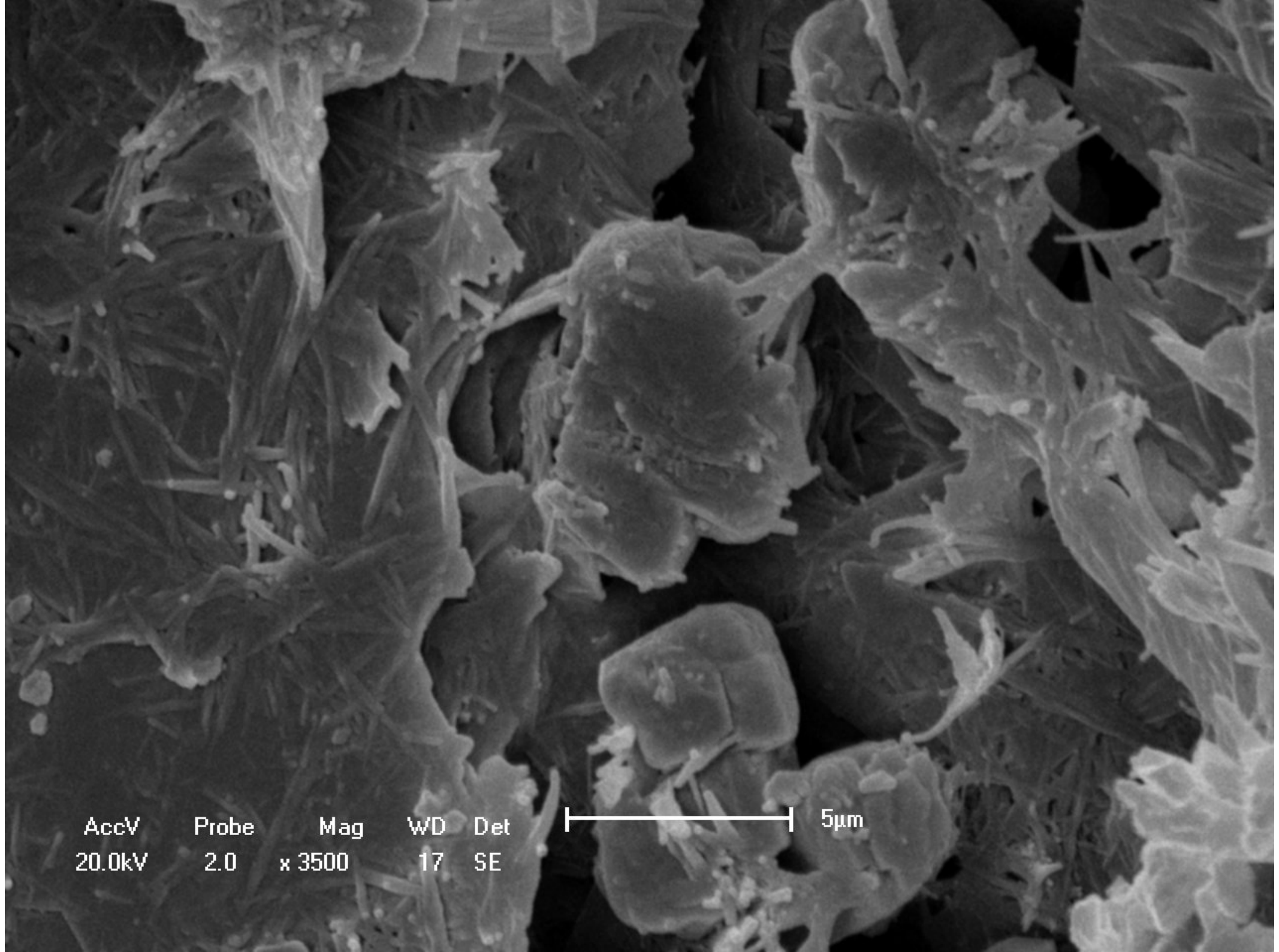


AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 1000
WD 16
Det SE

10µm

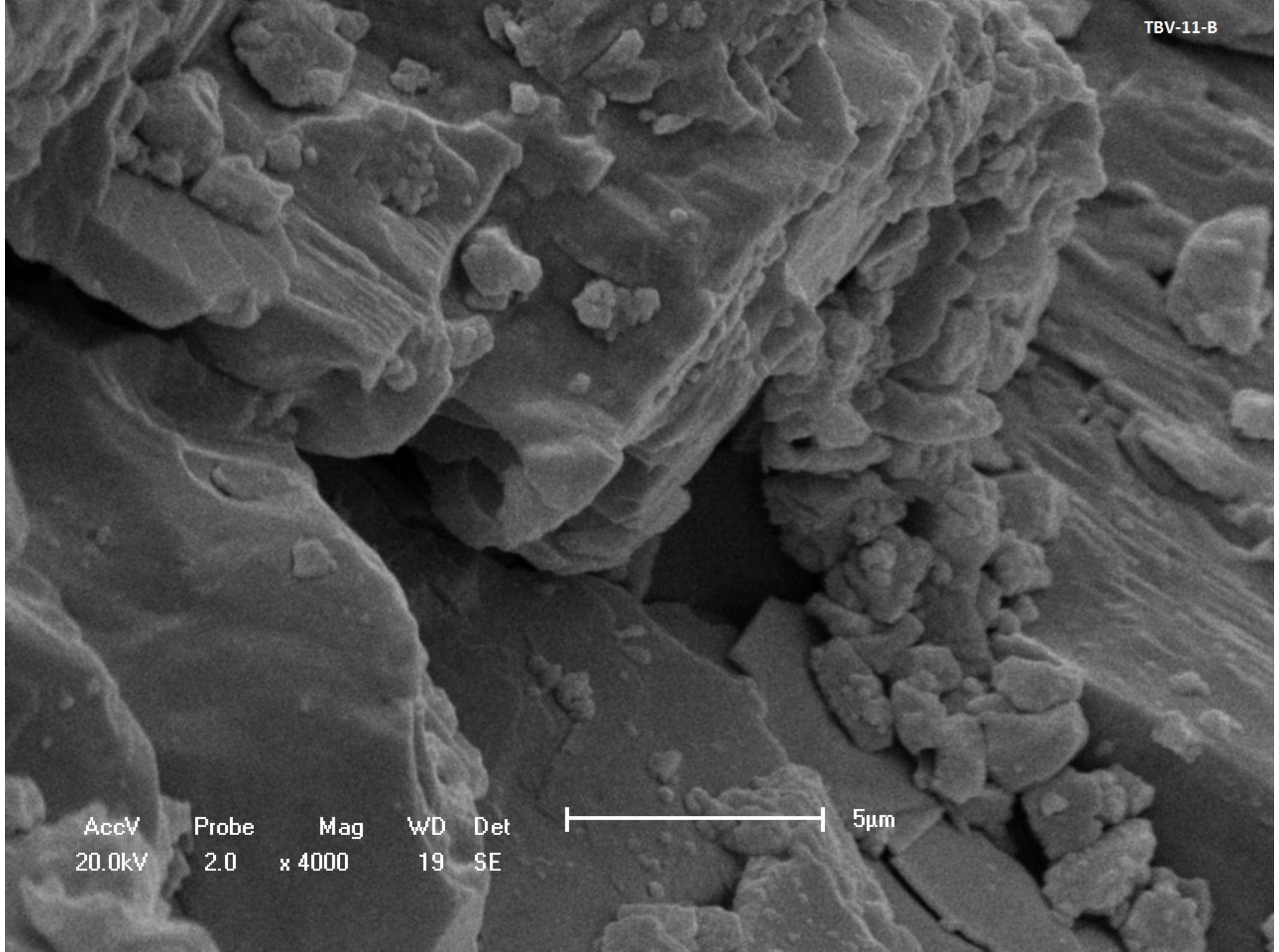


AccV 20.0kV Probe 2.0 Mag x 2400 WD 16 Det SE |-----| 5µm



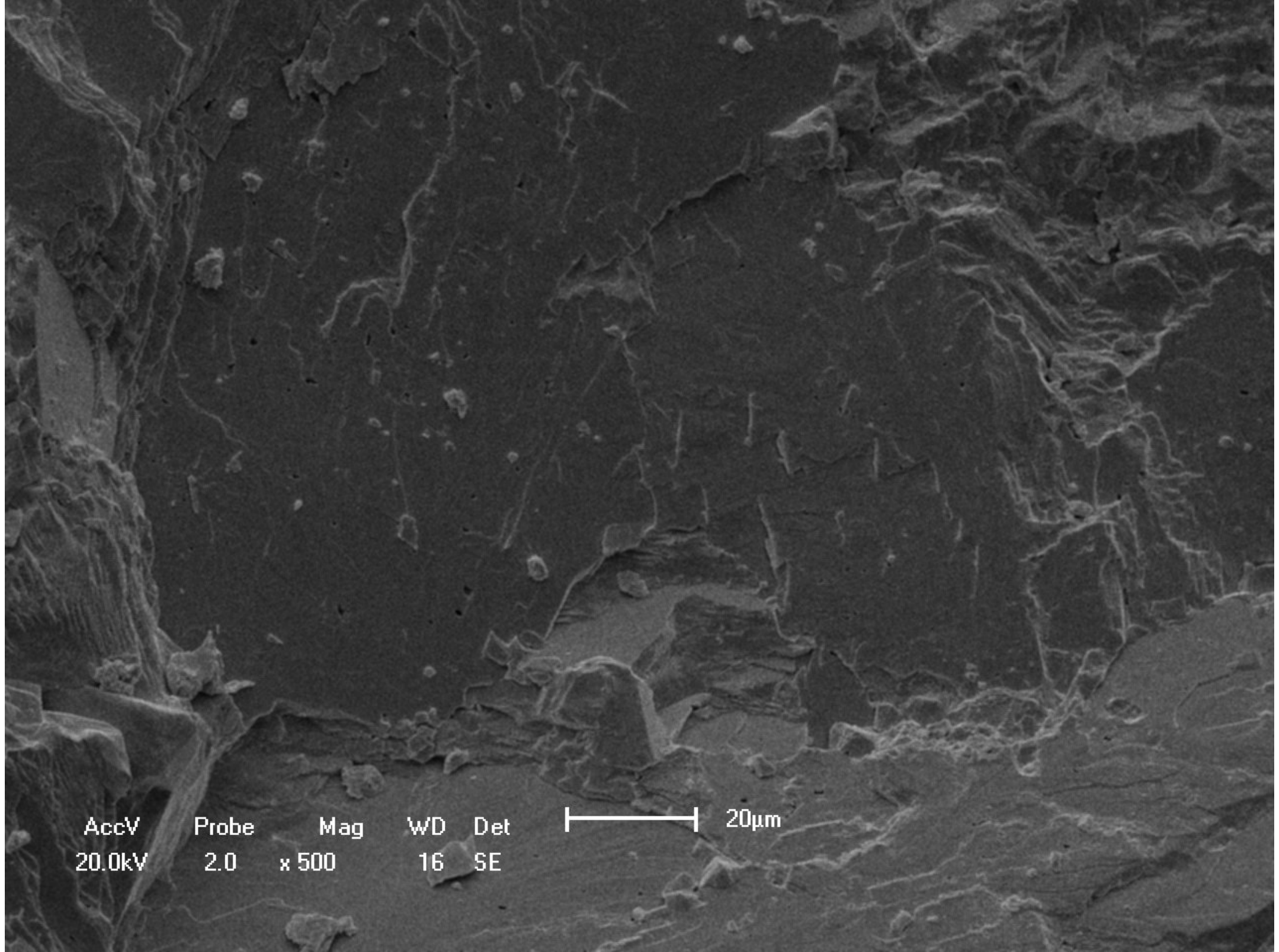
AccV 20.0kV
Probe 2.0
Mag x 3500
WD 17
Det SE

5µm



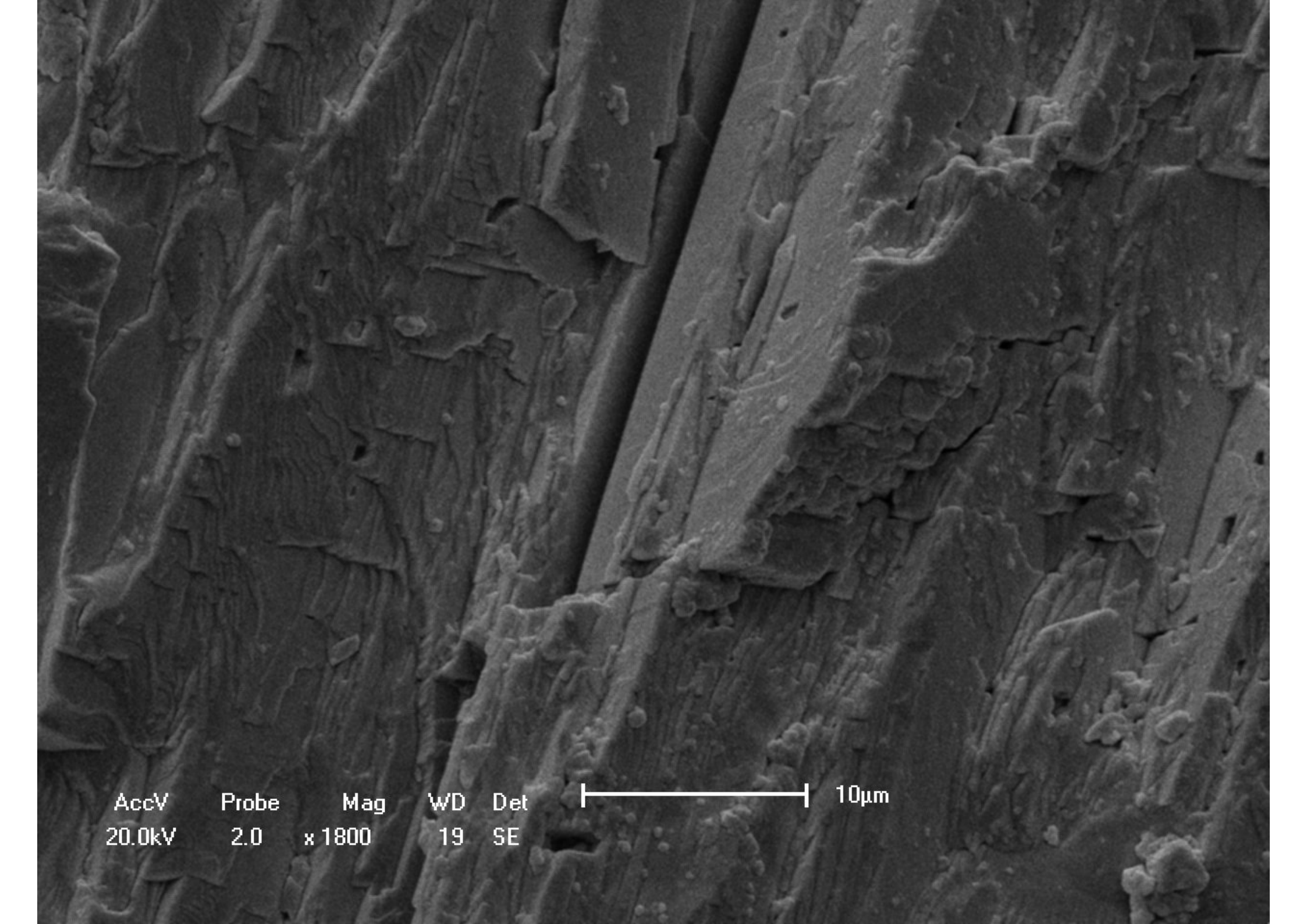
AccV	Probe	Mag	WD	Det
20.0kV	2.0	x 4000	19	SE

5µm



AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.0 x 500 16 SE

20µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

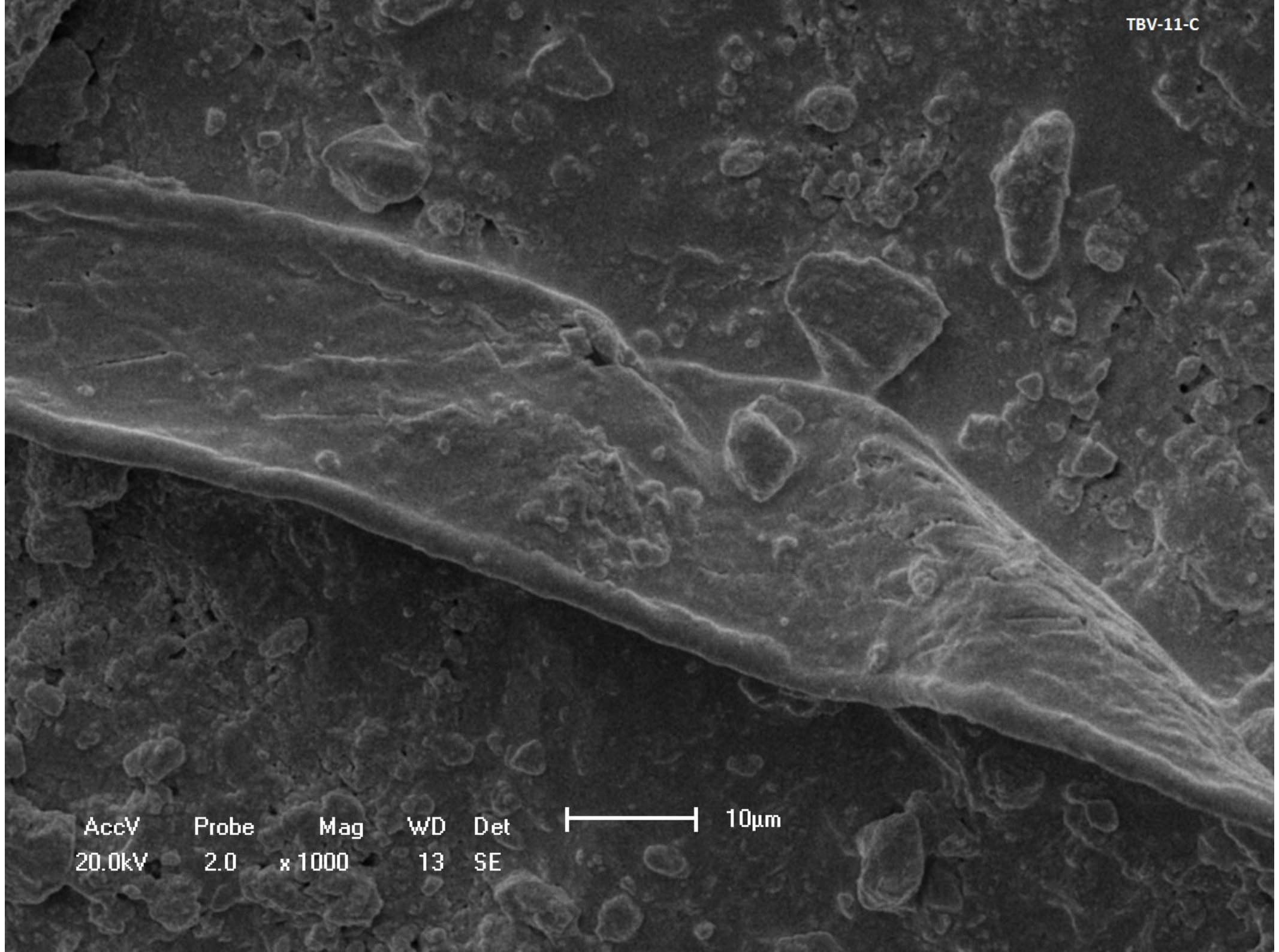
Mag
x 1800

WD
19

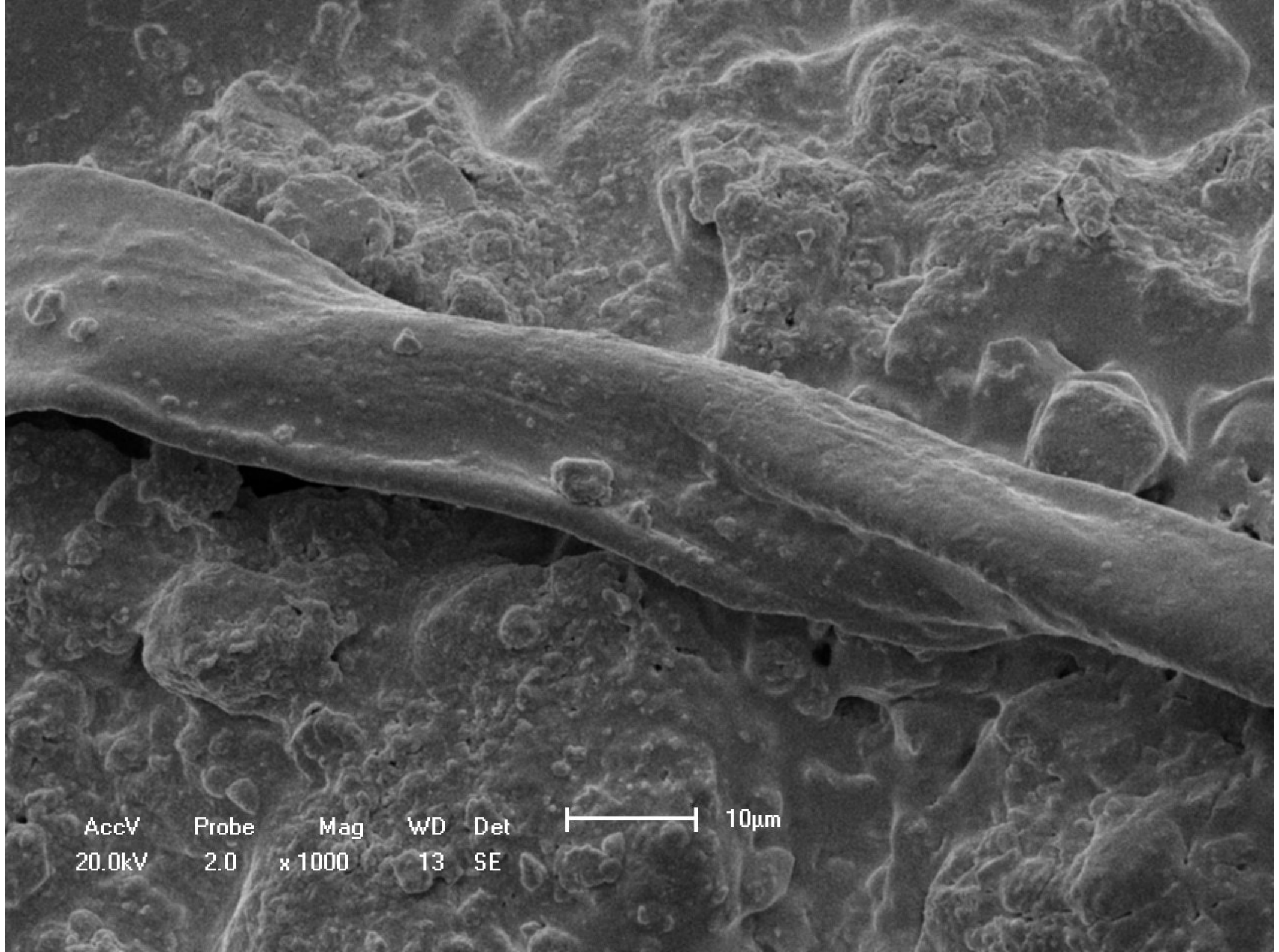
Det
SE



10µm



AccV	Probe	Mag	WD	Det	----- 10µm
20.0kV	2.0	x 1000	13	SE	



AccV
20.0kV

Probe
2.0

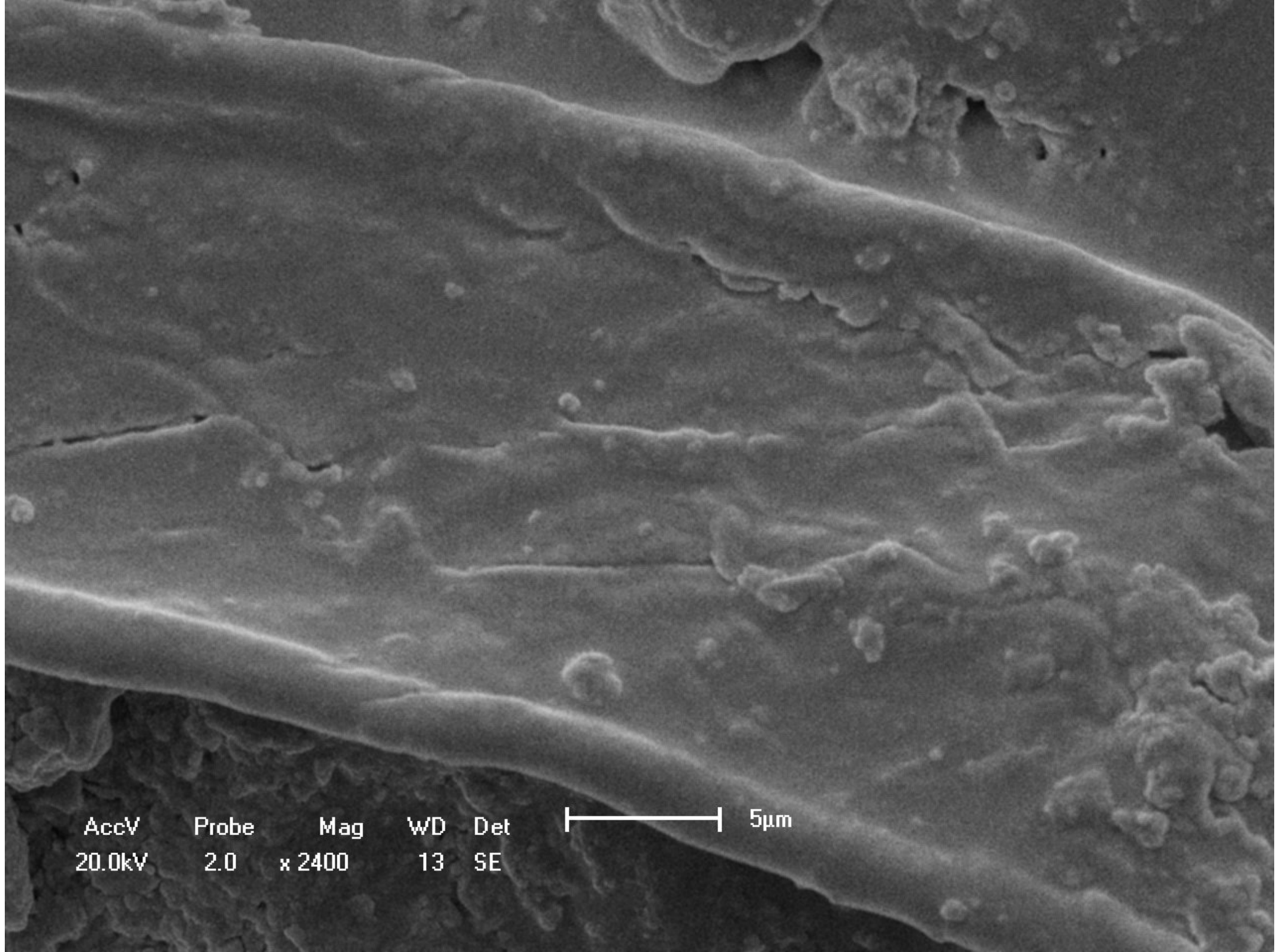
Mag
x 1000

WD
13

Det
SE



10µm



AccV
20.0kV

Probe
2.0

Mag
x 2400

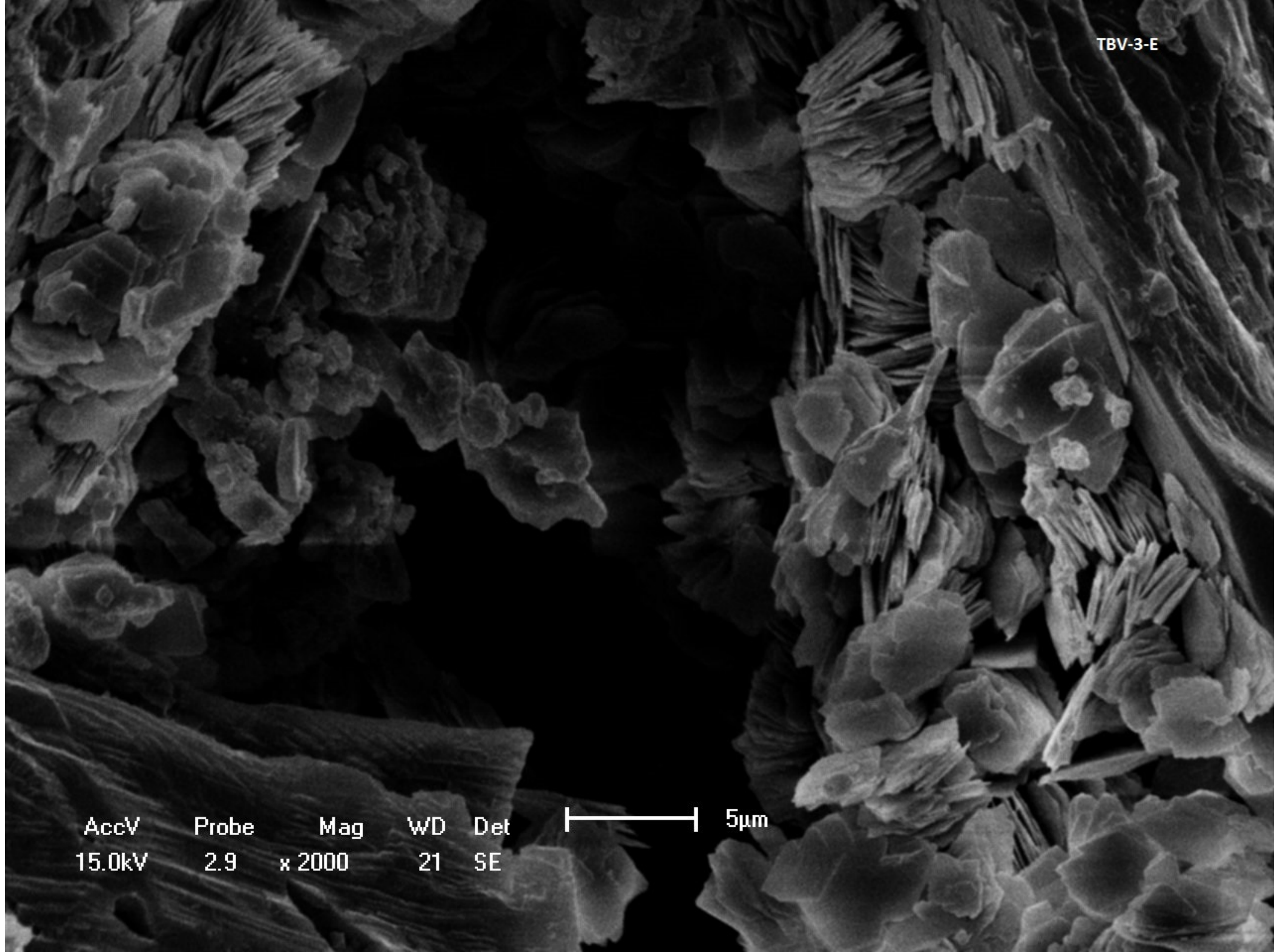
WD
13

Det
SE



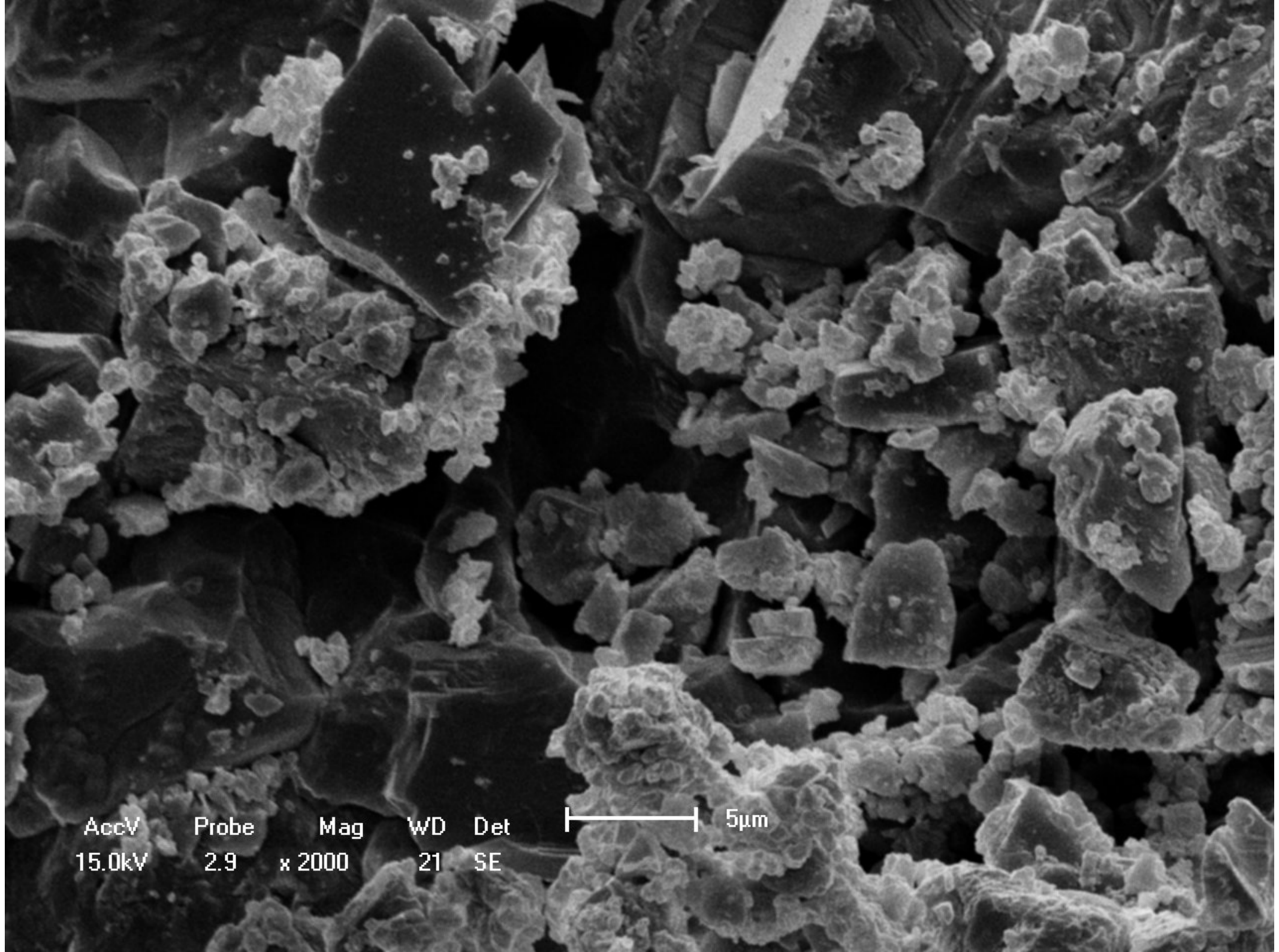
5µm

TBV-3-E



AccV	Probe	Mag	WD	Det
15.0kV	2.9	x 2000	21	SE

5µm



AccV
15.0kV

Probe
2.9

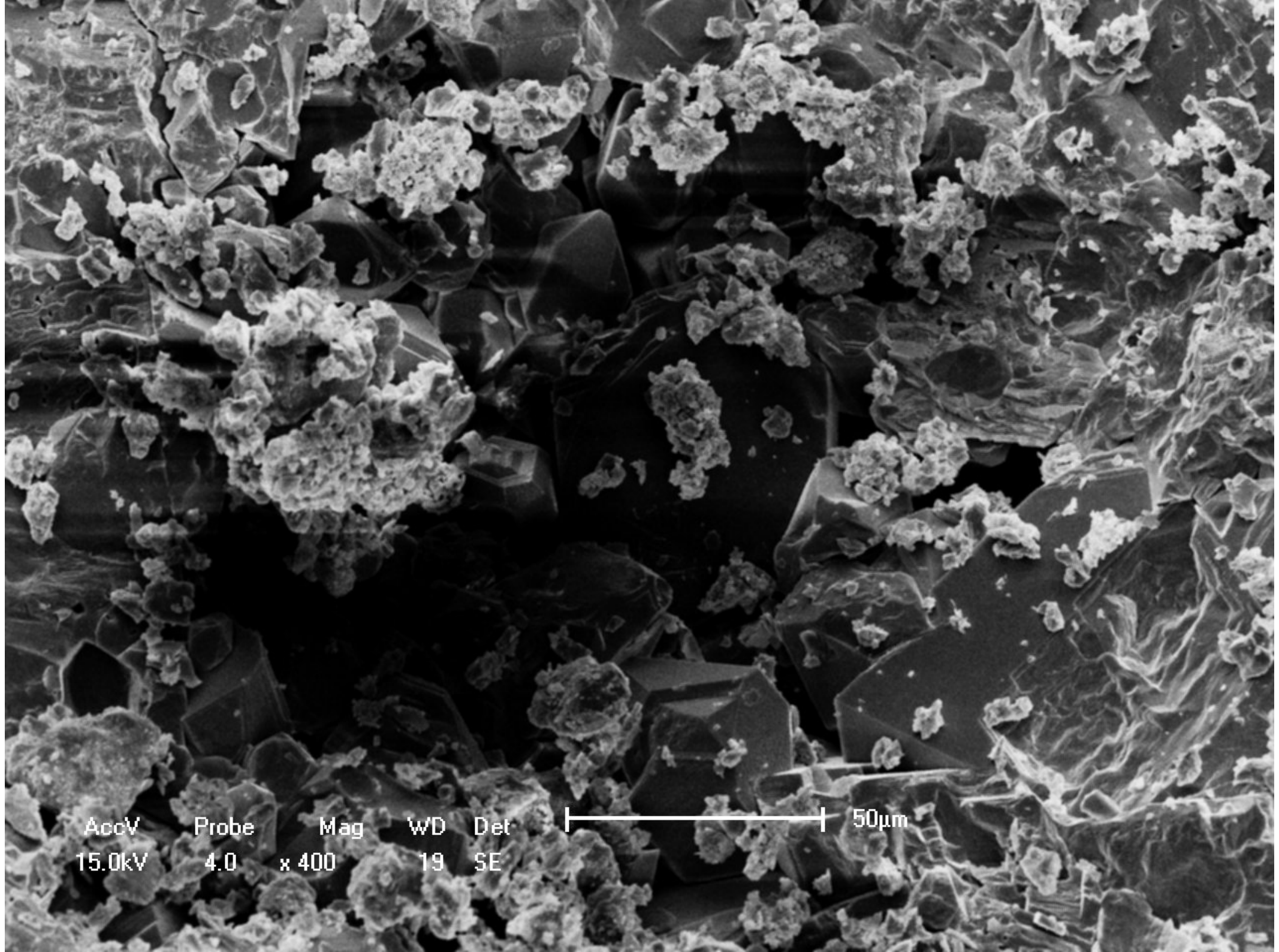
Mag
x 2000

WD
21

Det
SE



5µm



AccV
15.0kV

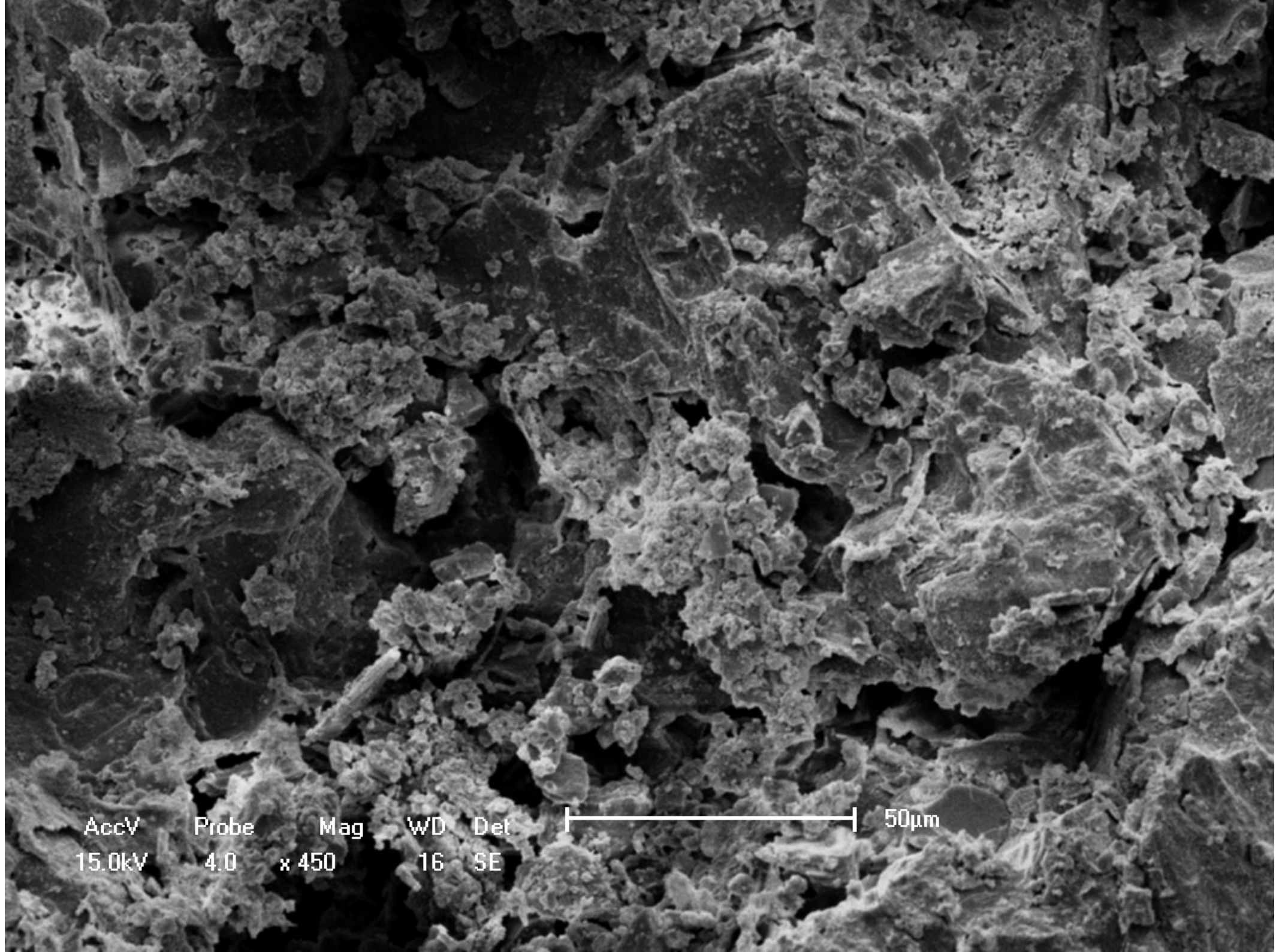
Probe
4.0

Mag
x 400

WD
19

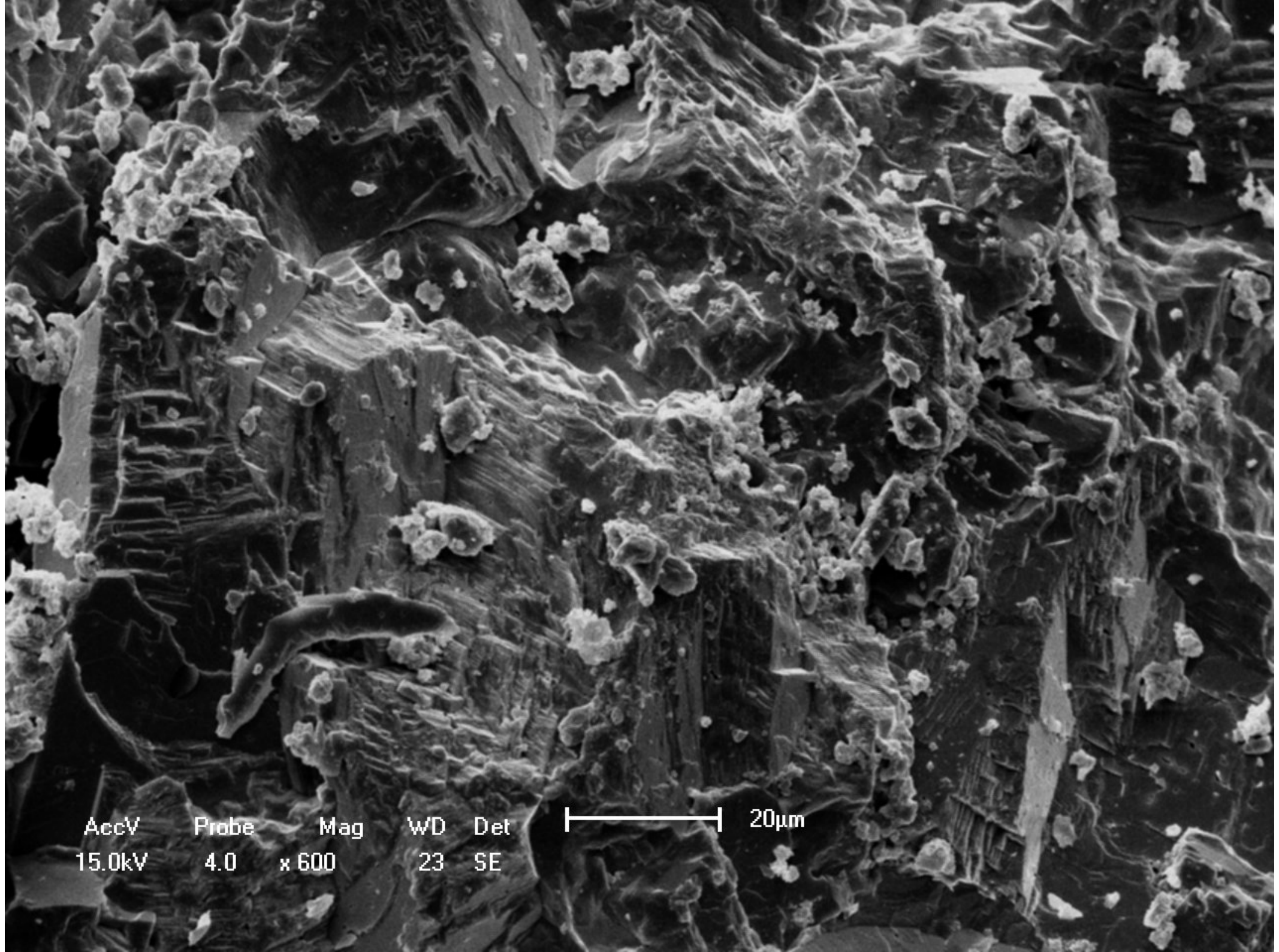
Det
SE


50µm

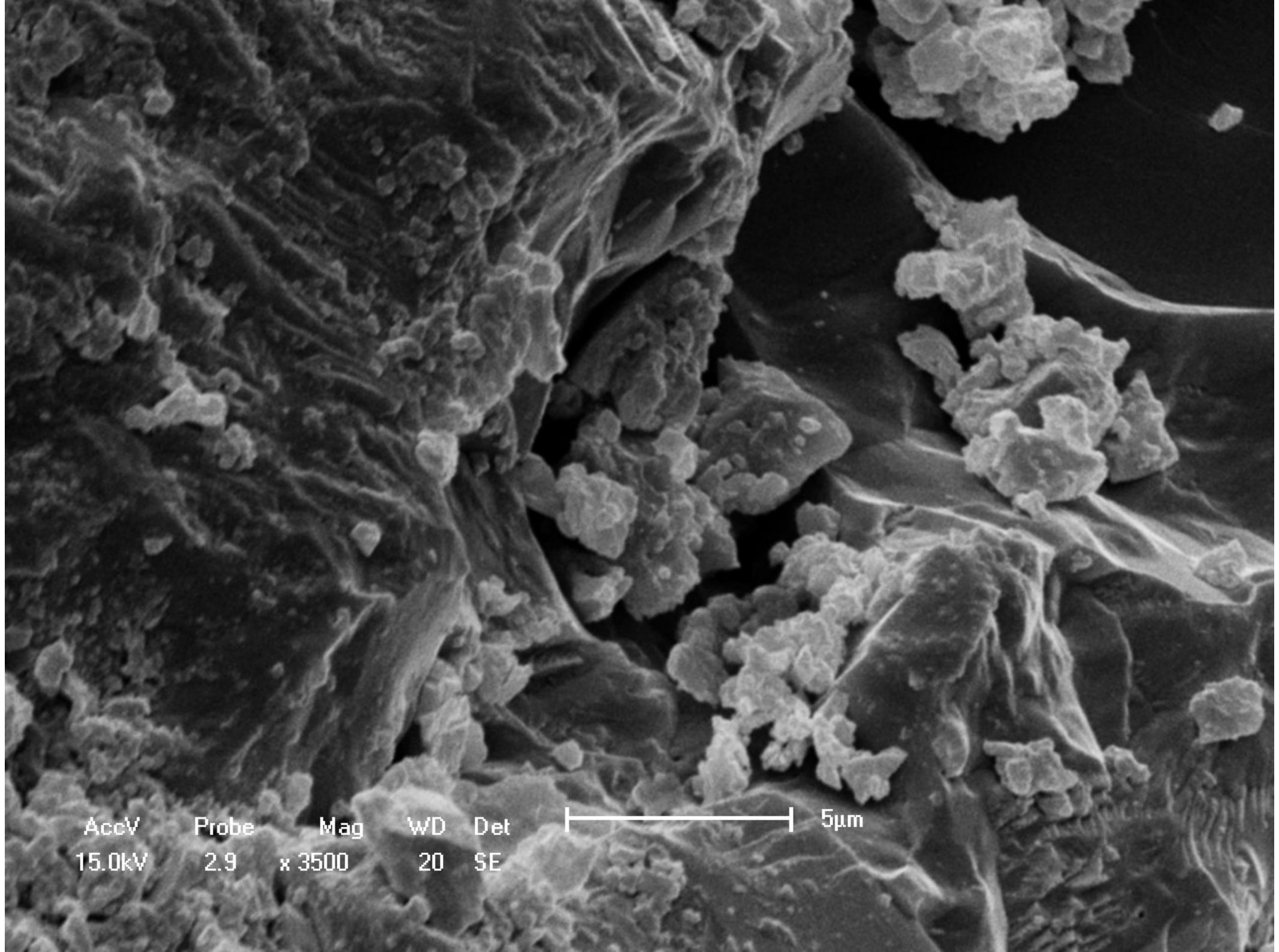


AccV 15.0kV
Probe 4.0
Mag x 450
WD 16
Det SE

50µm



AccV 15.0kV Probe 4.0 Mag x 600 WD 23 Det SE  20µm



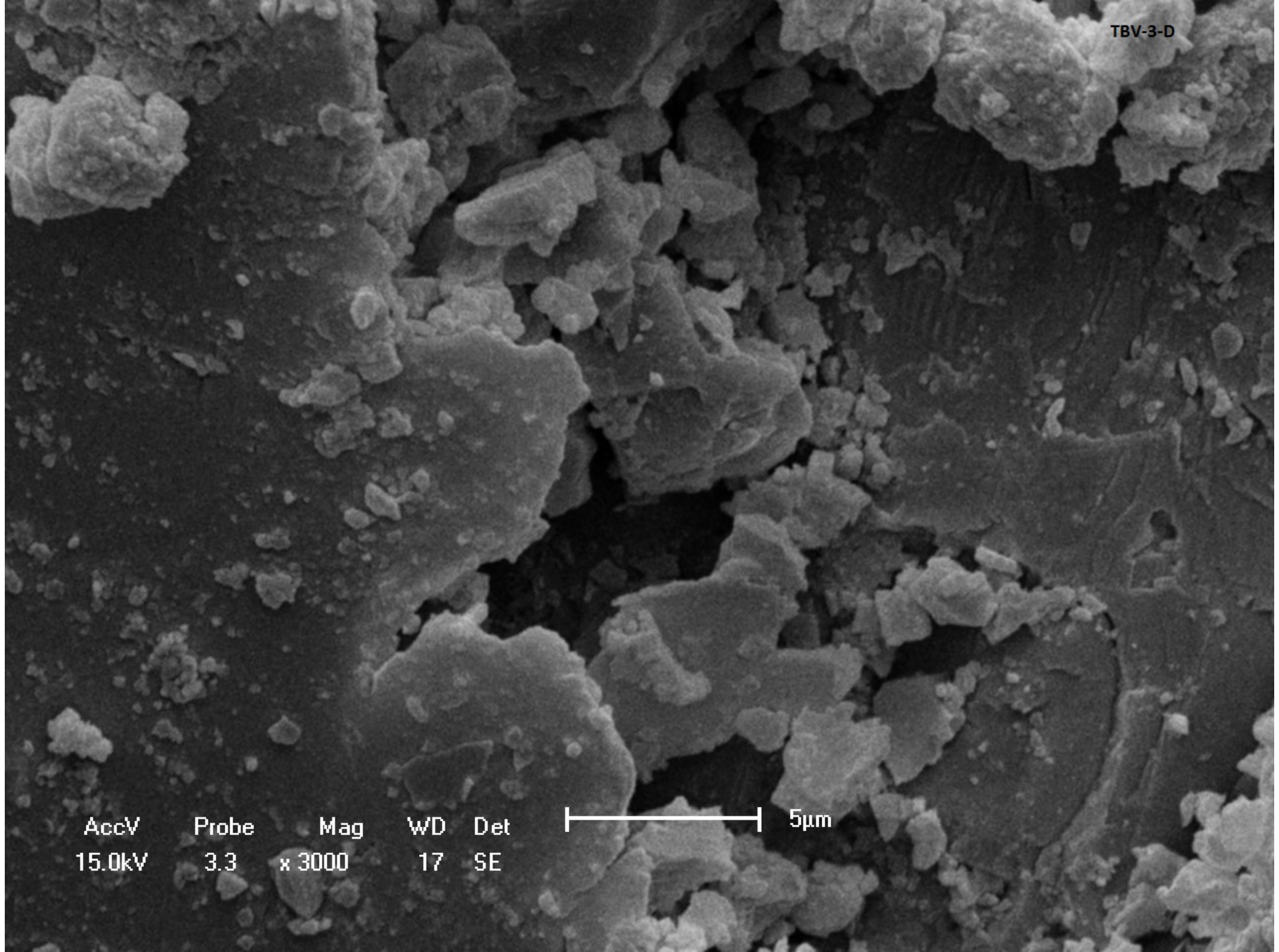
AccV Probe Mag WD Det
15.0kV 2.9 x 3500 20 SE

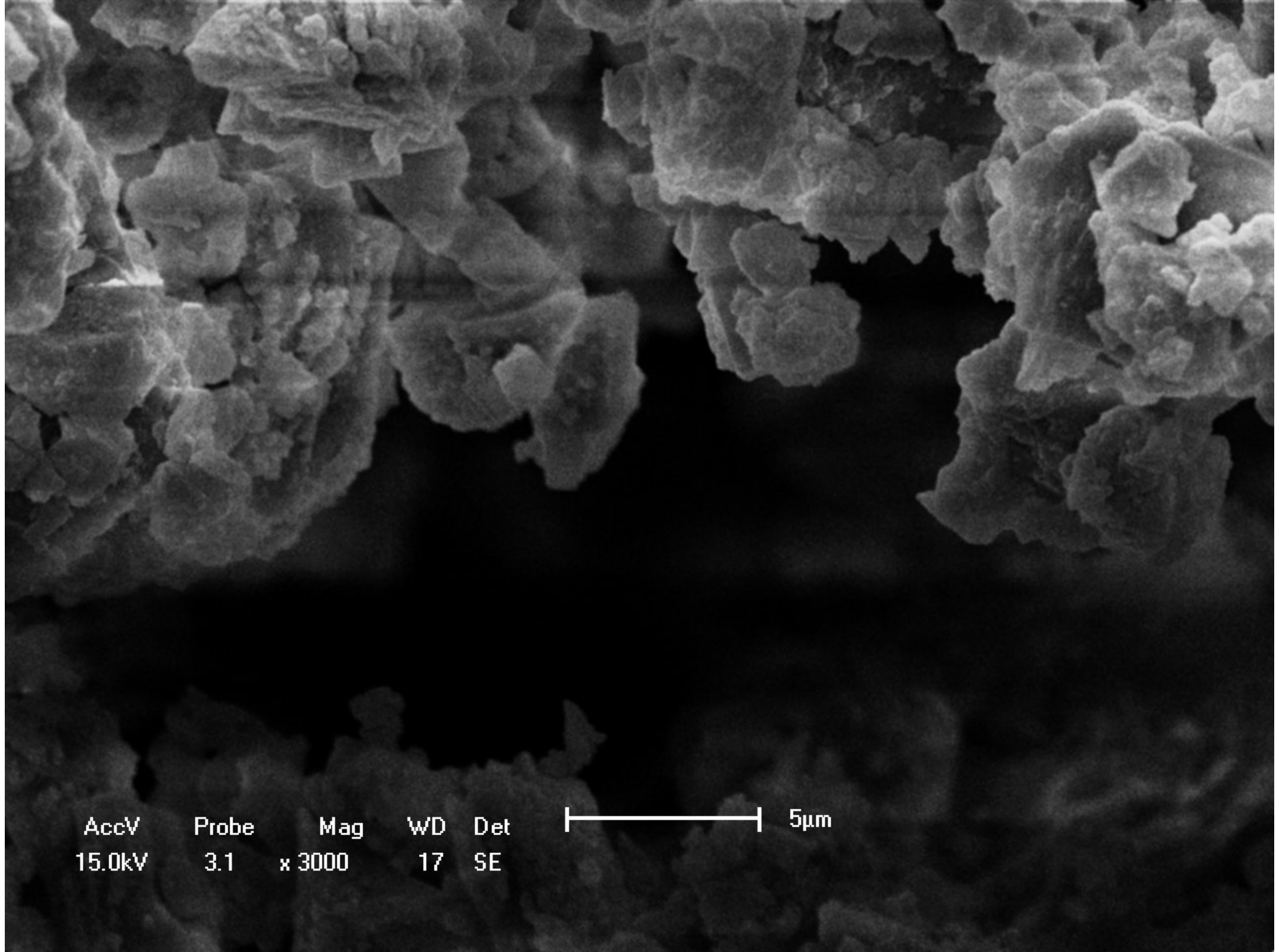
5µm

TBV-3-D

AccV 15.0kV
Probe 3.3
Mag x 3000
WD 17
Det SE

5µm





AccV
15.0kV

Probe
3.1

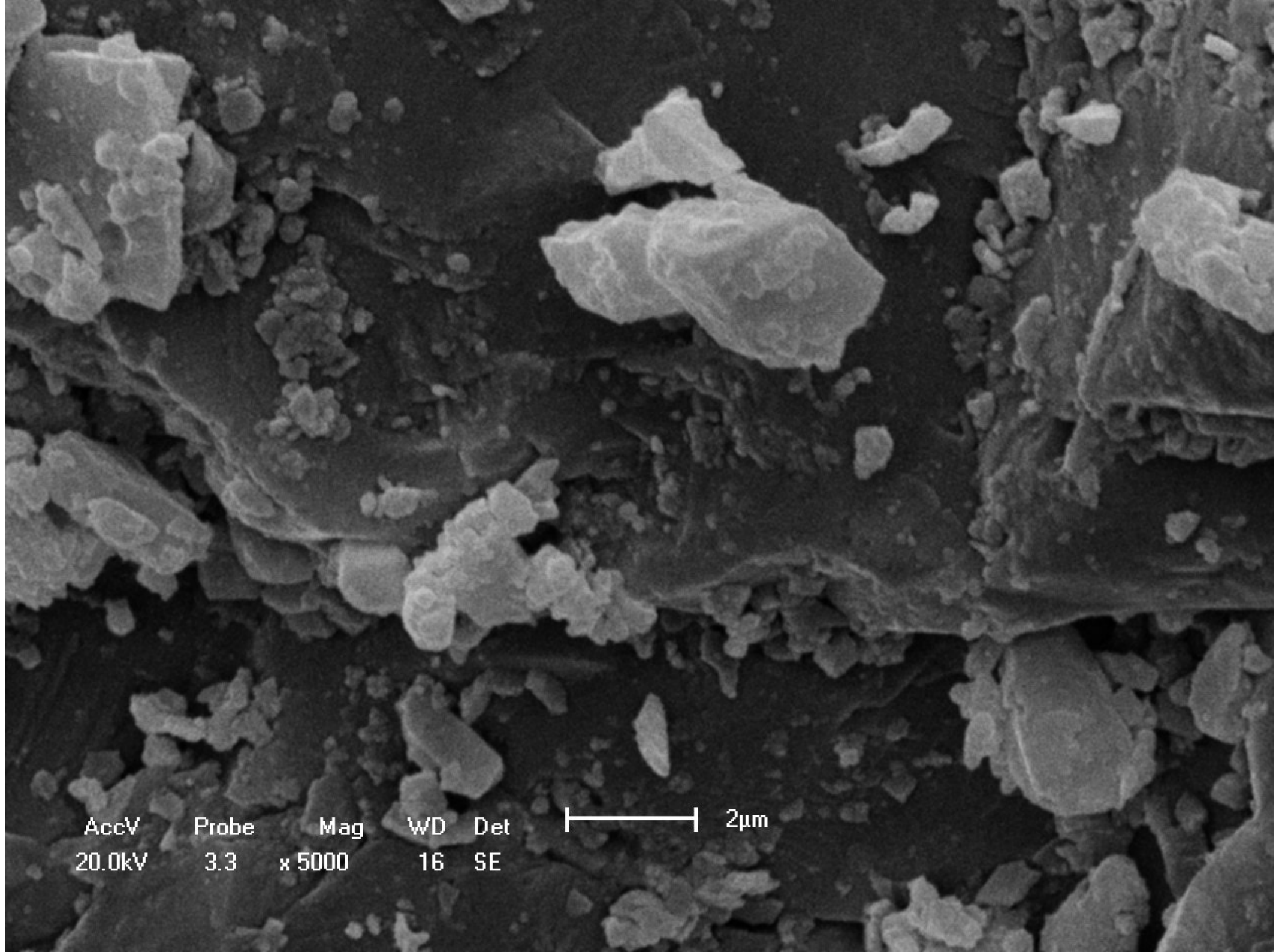
Mag
x 3000

WD
17

Det
SE

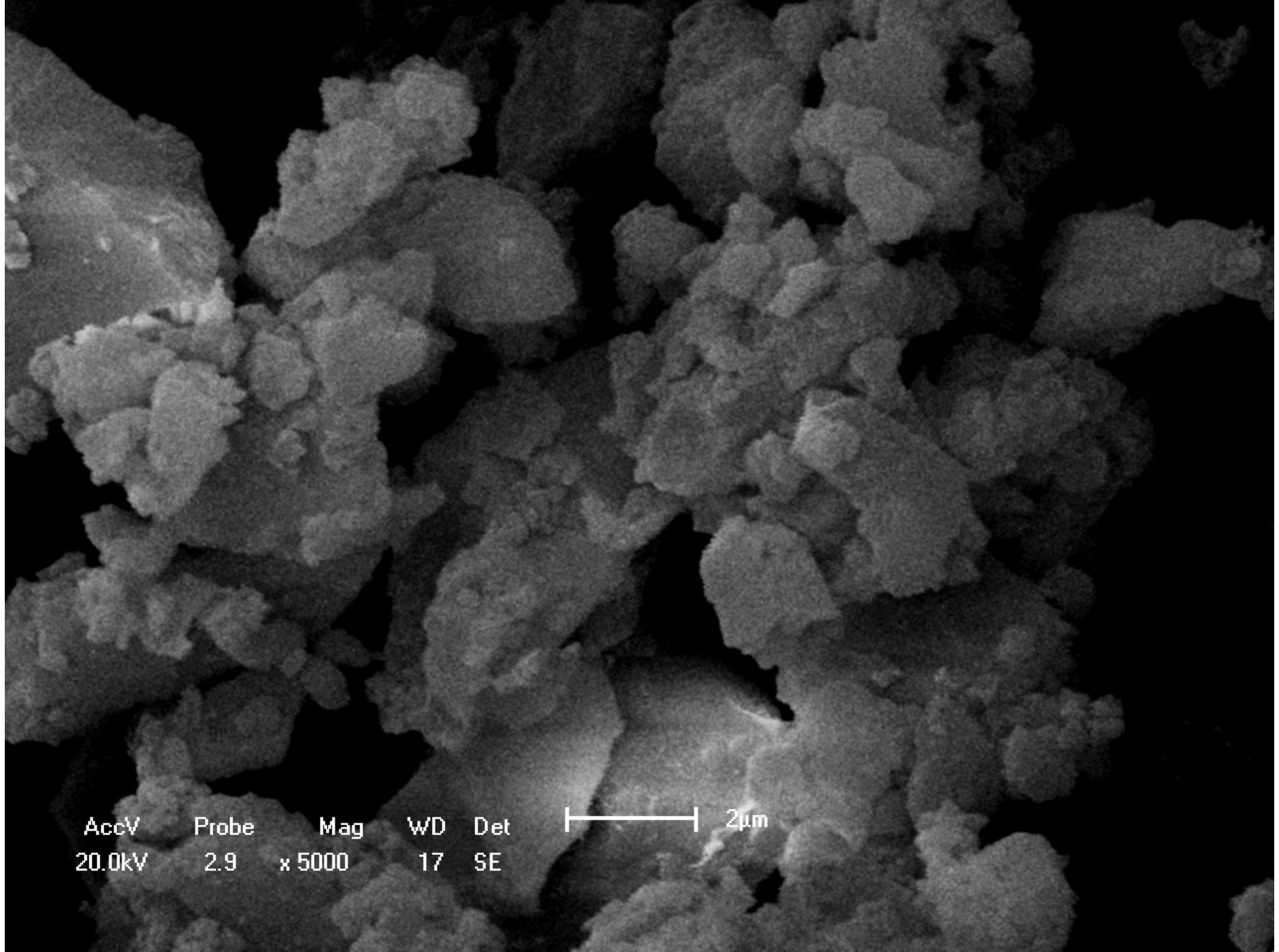


5µm



AccV	Probe	Mag	WD	Det
20.0kV	3.3	x 5000	16	SE

—|—————| 2μm



AccV
20.0kV

Probe
2.9

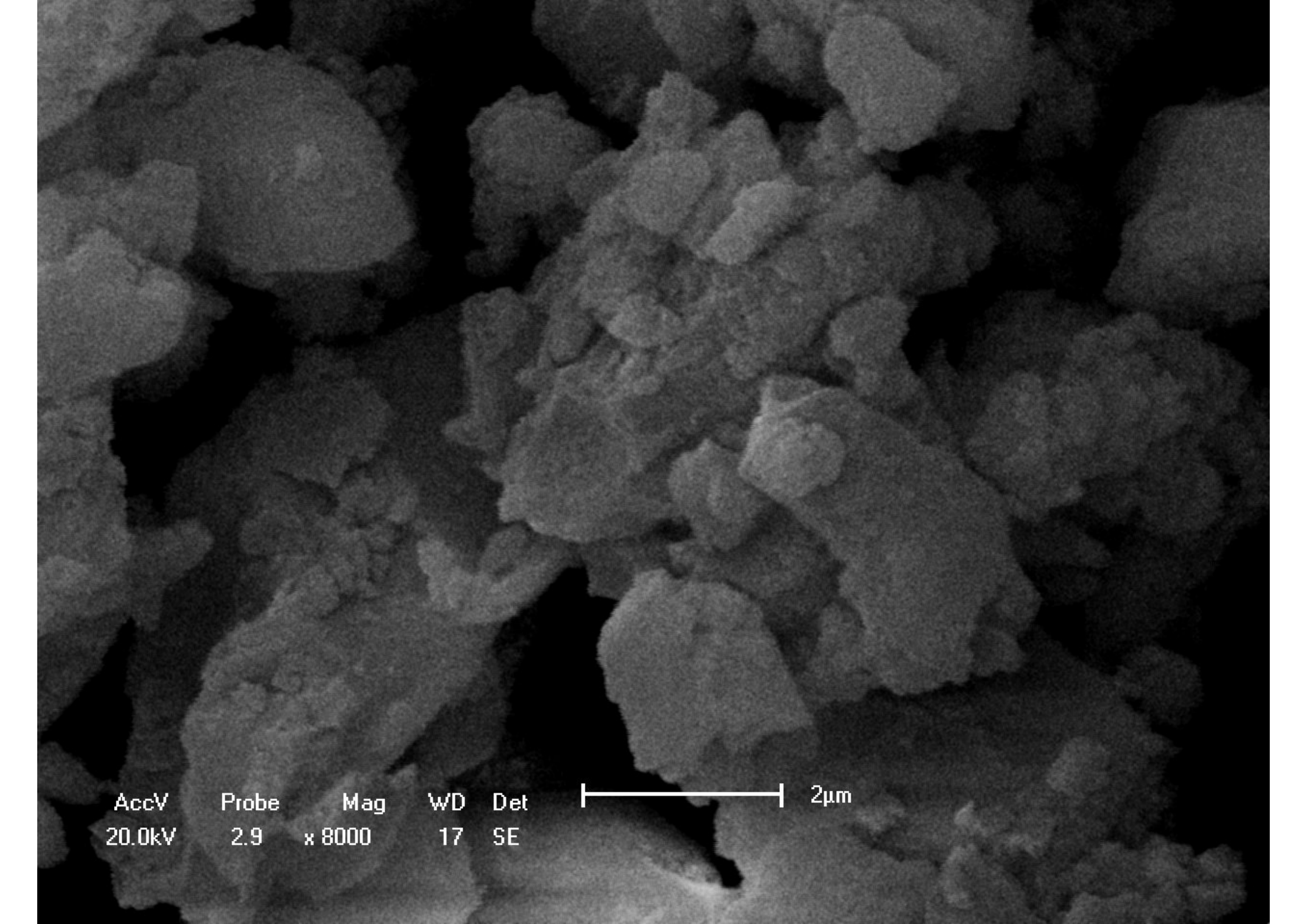
Mag
x 5000

WD
17

Det
SE



2 μ m



AccV
20.0kV

Probe
2.9

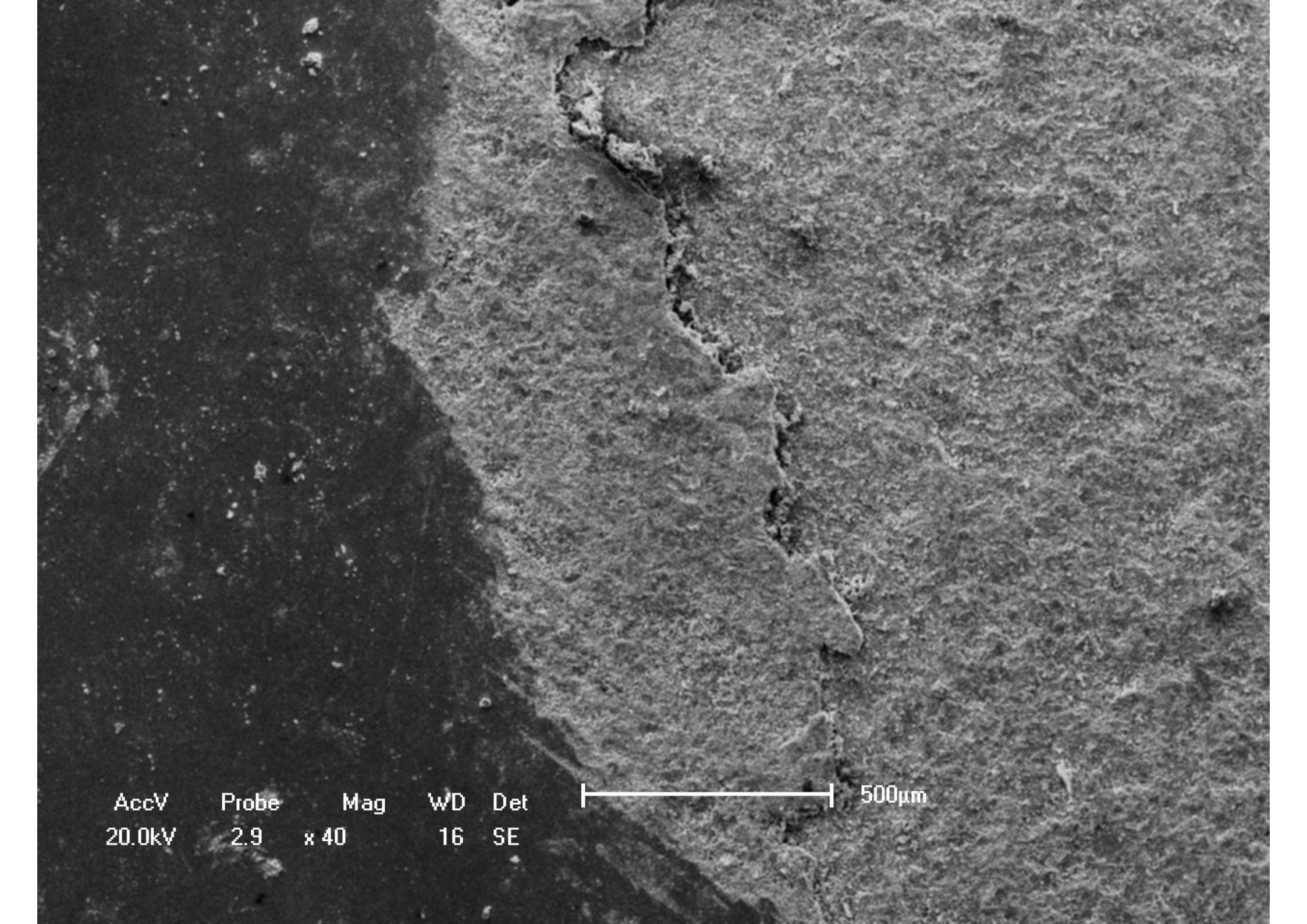
Mag
x 8000

WD
17

Det
SE

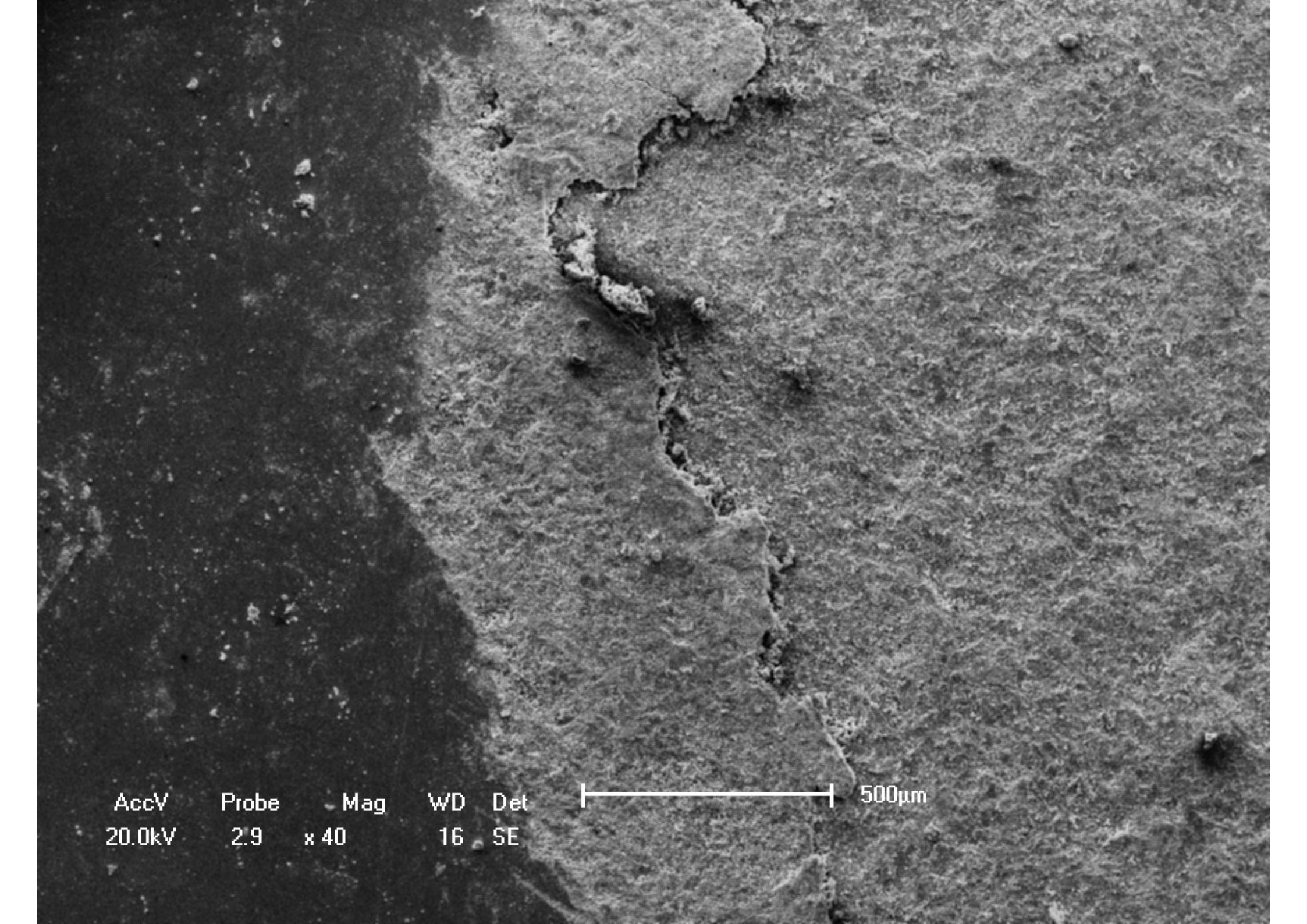


2 μ m



AccV Probe Mag WD Det
20.0kV 2.9 x 40 16 SE

500µm



AccV
20.0kV

Probe
2.9

Mag
x 40

WD
16

Det
SE



500µm



AccV
20.0kV

Probe
2.9

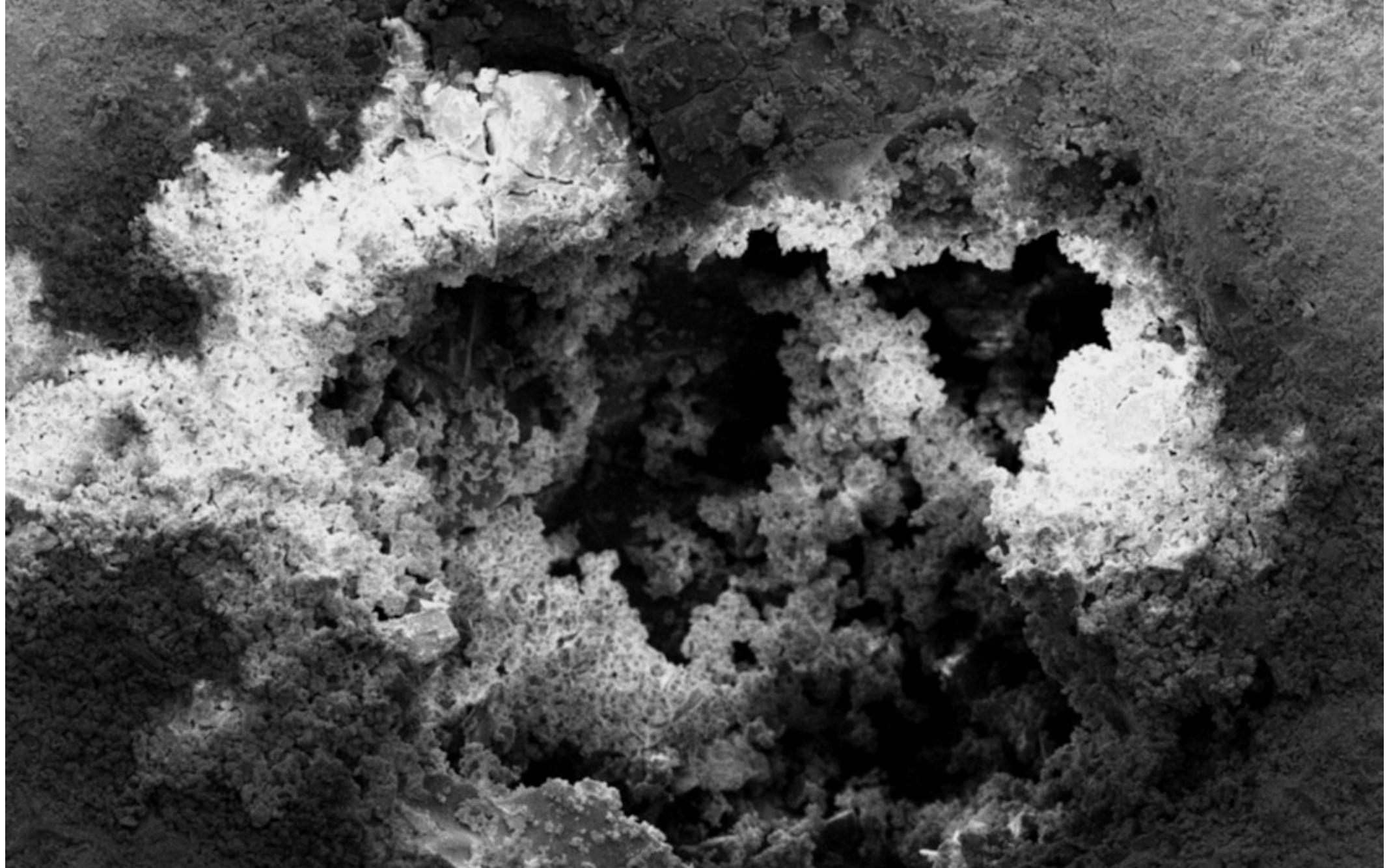
Mag
x 100

WD
17

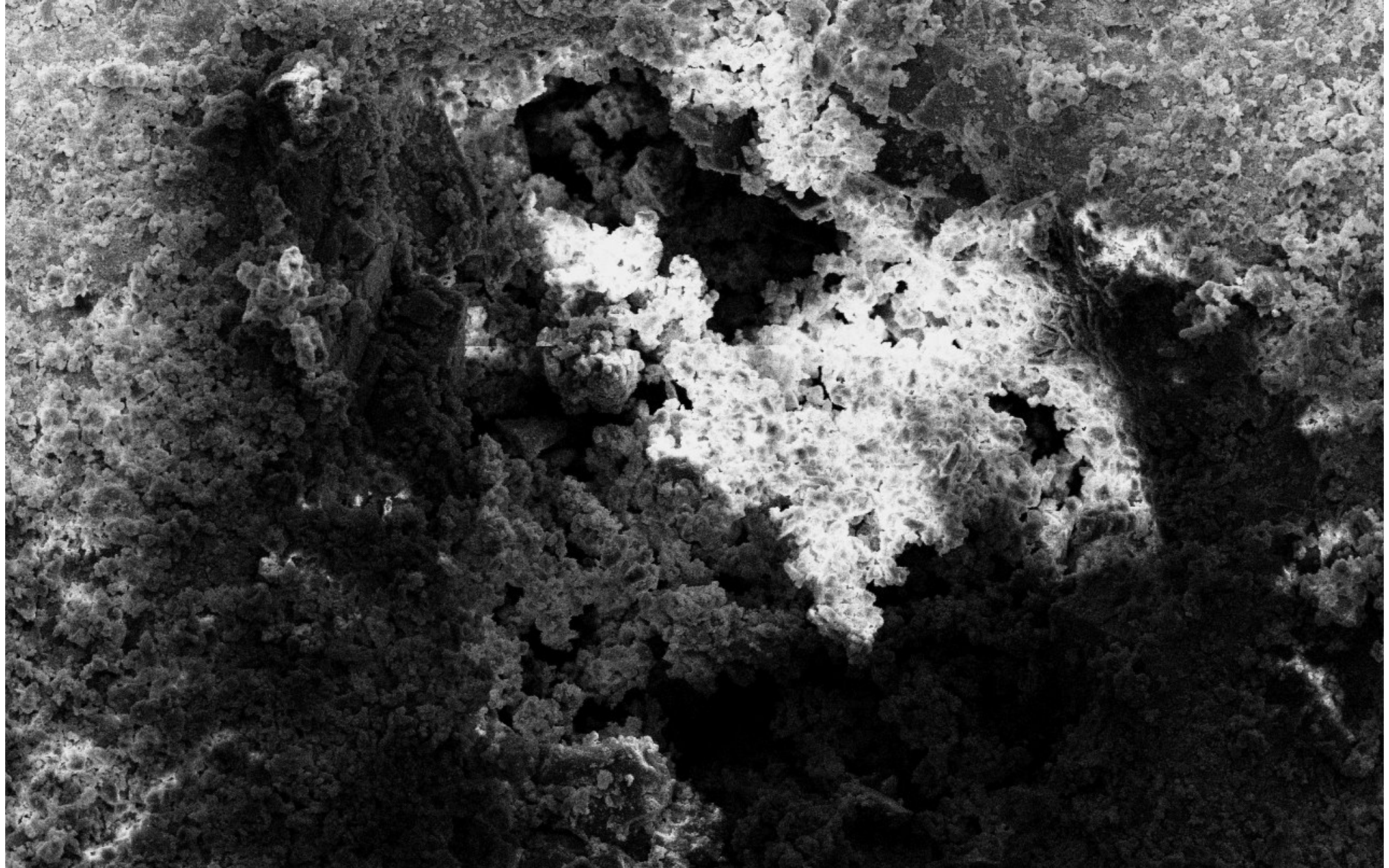
Det
SE



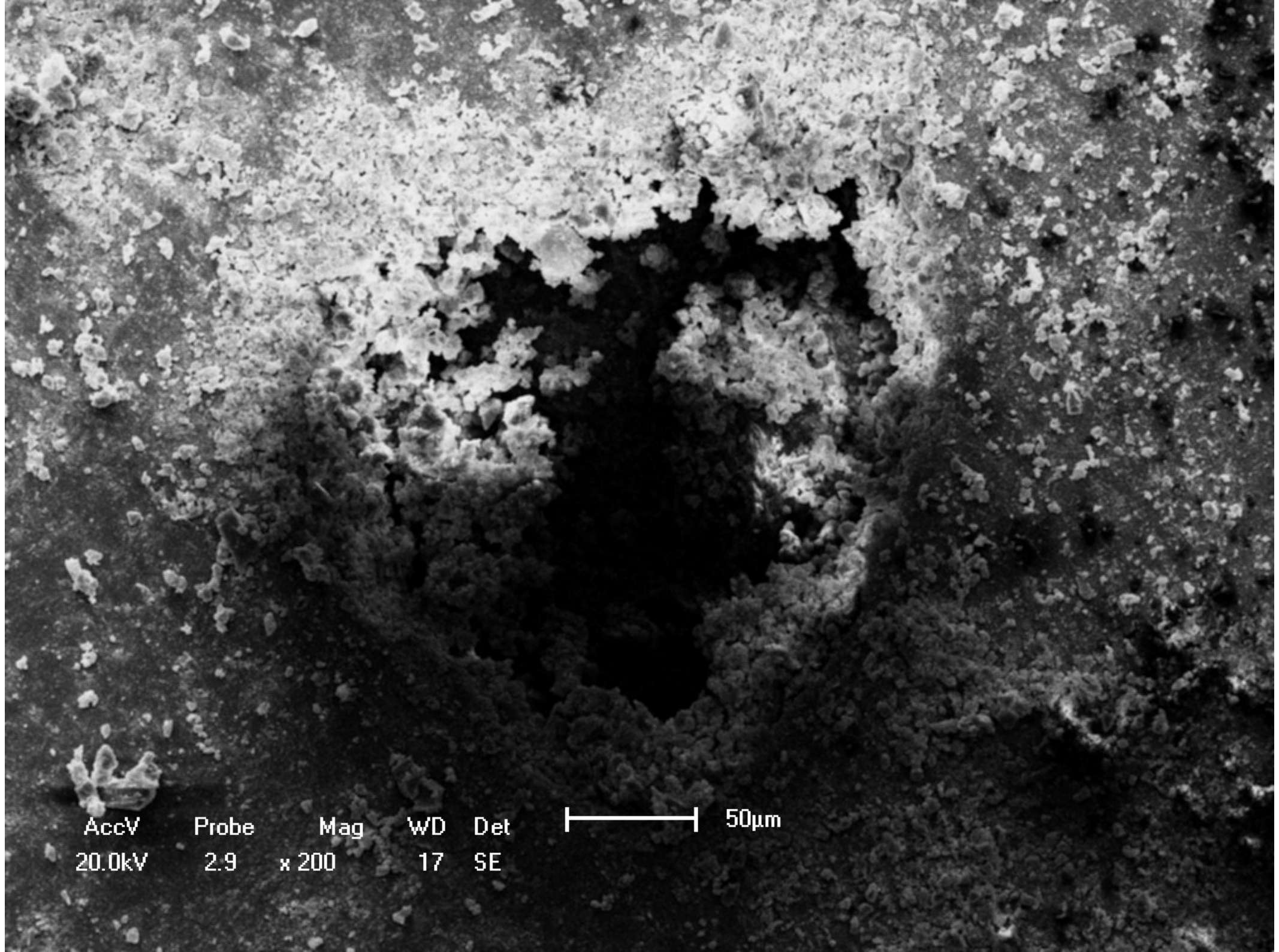
100µm



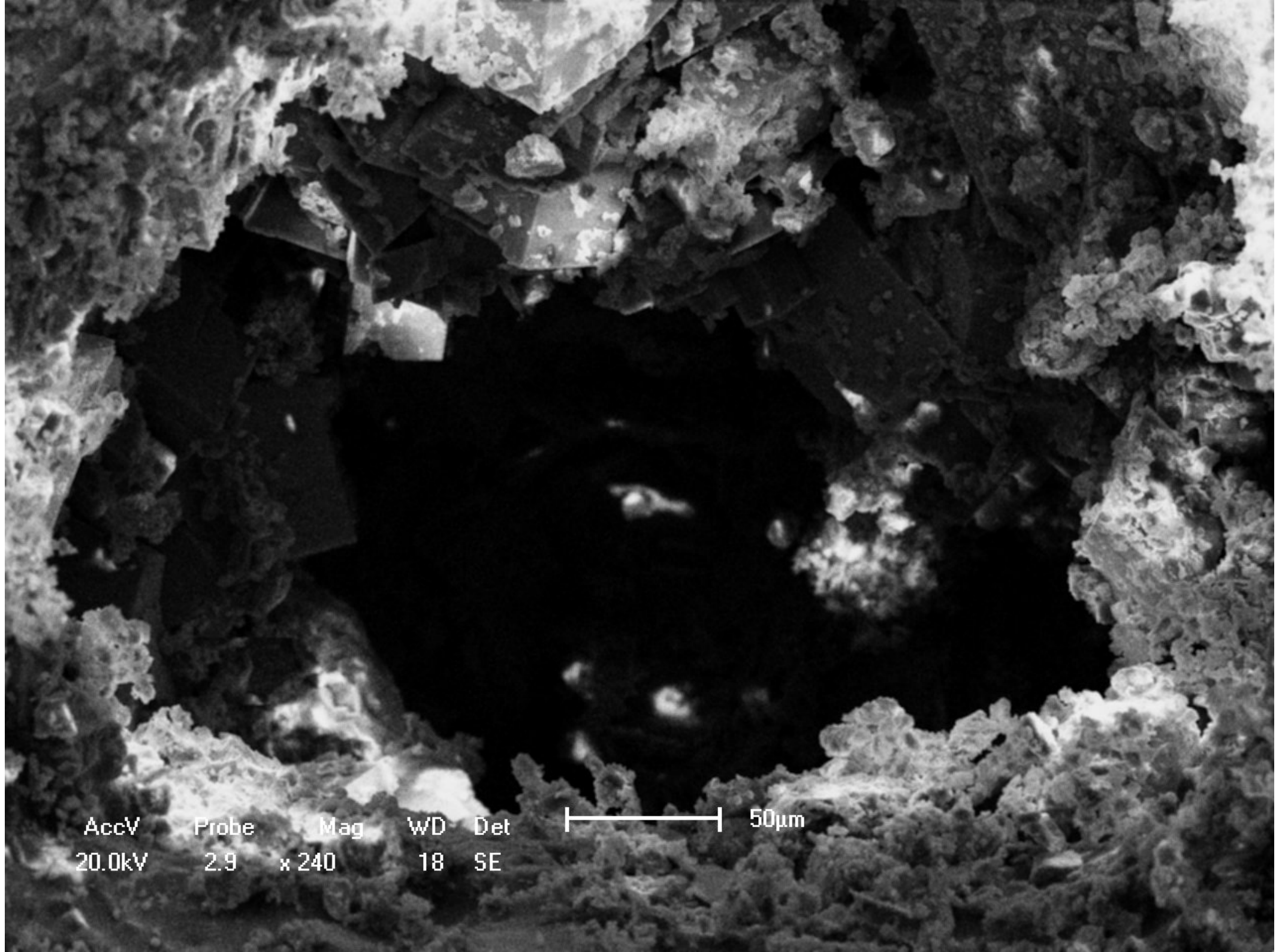
AccV	Probe	Mag	WD	Det	----- 100µm
15.0kV	3.1	x 150	17	SE	



AccV	Probe	Mag	WD	Det	----- 100µm
20.0kV	2.9	x 180	17	SE	

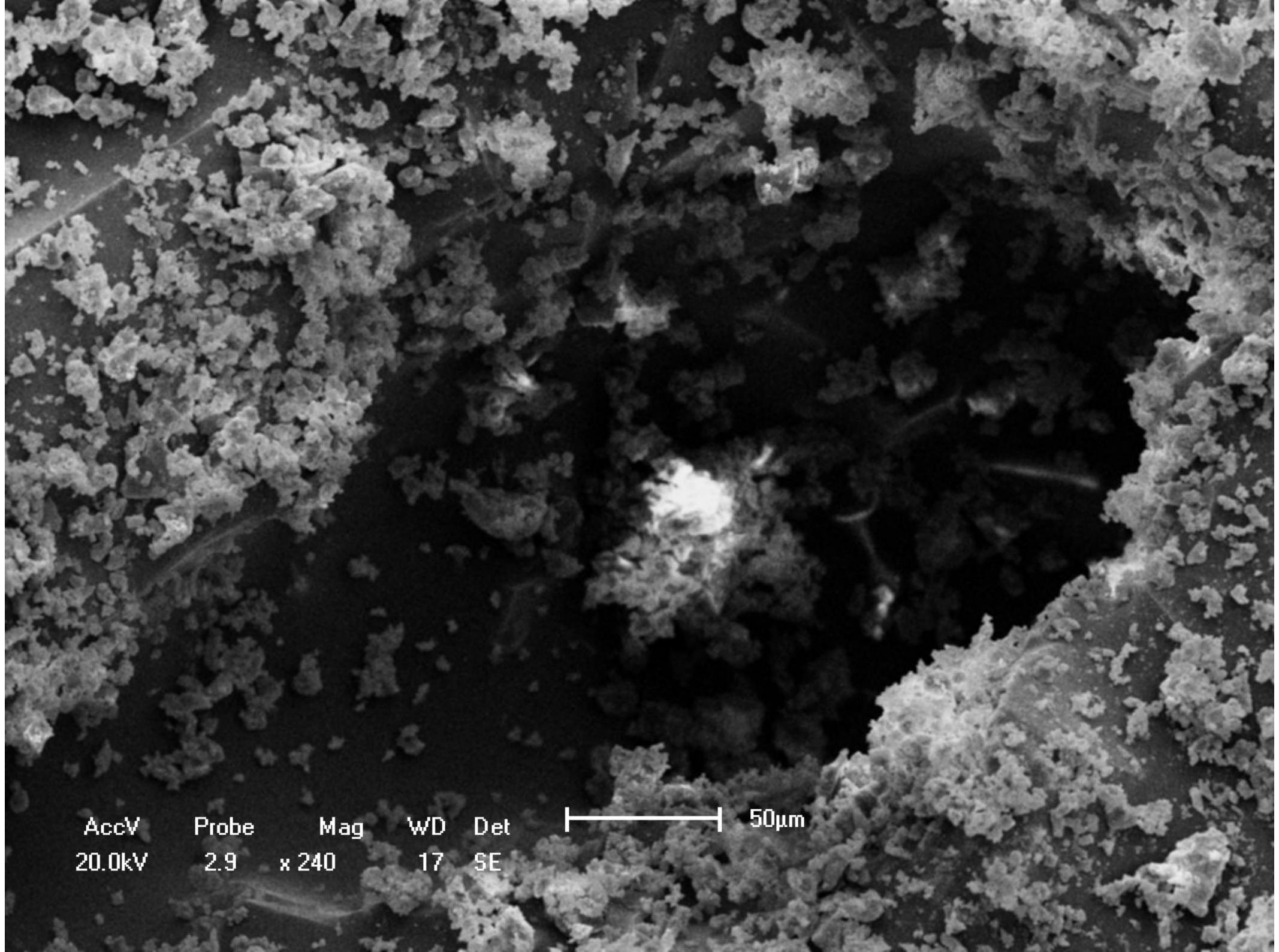


AccV	Probe	Mag	WD	Det	----- 50µm
20.0kV	2.9	x 200	17	SE	



AccV 20.0kV
Probe 2.9
Mag x 240
WD 18
Det SE

50µm



AccV
20.0kV

Probe
2.9

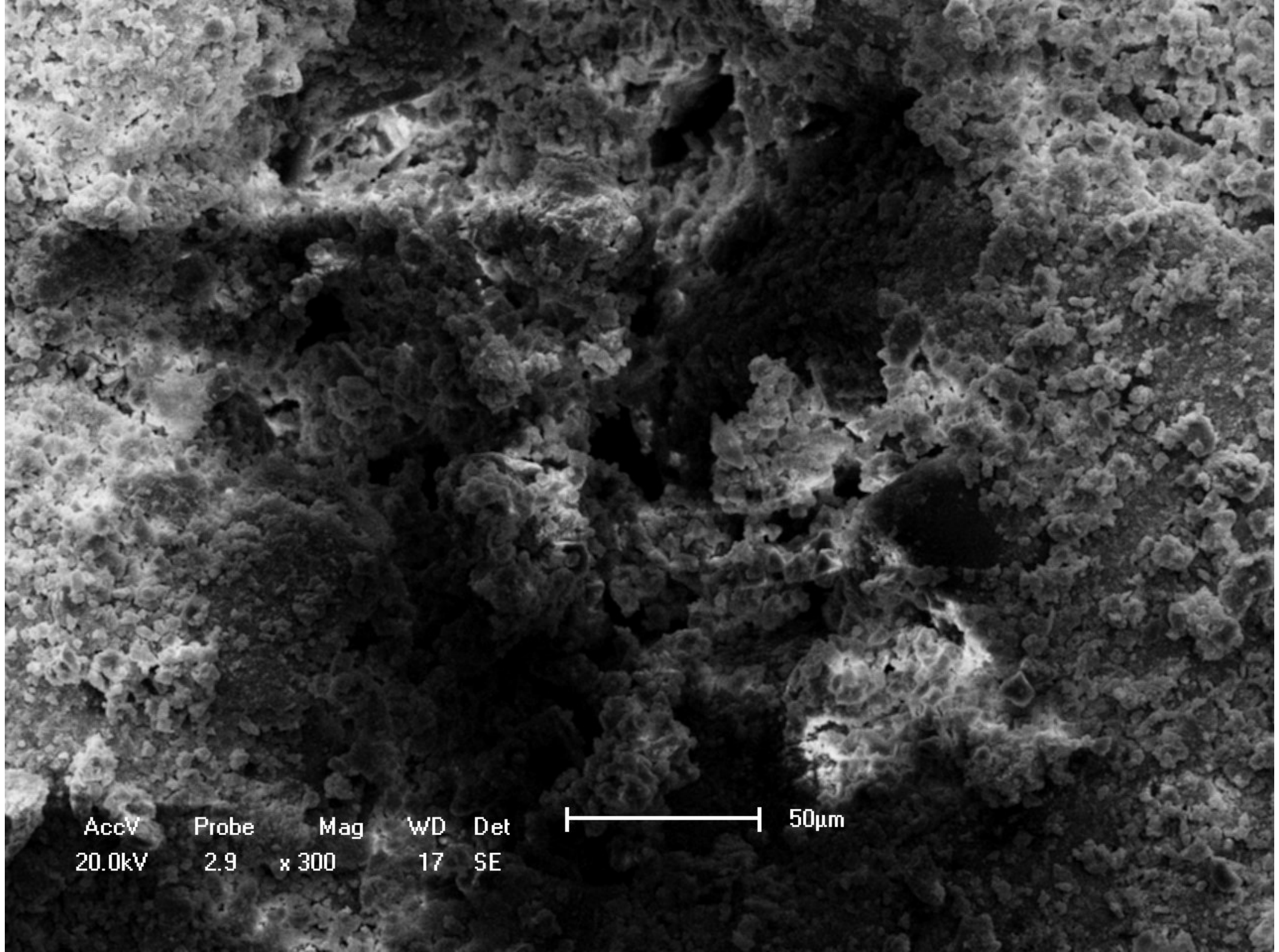
Mag
x 240

WD
17

Det
SE

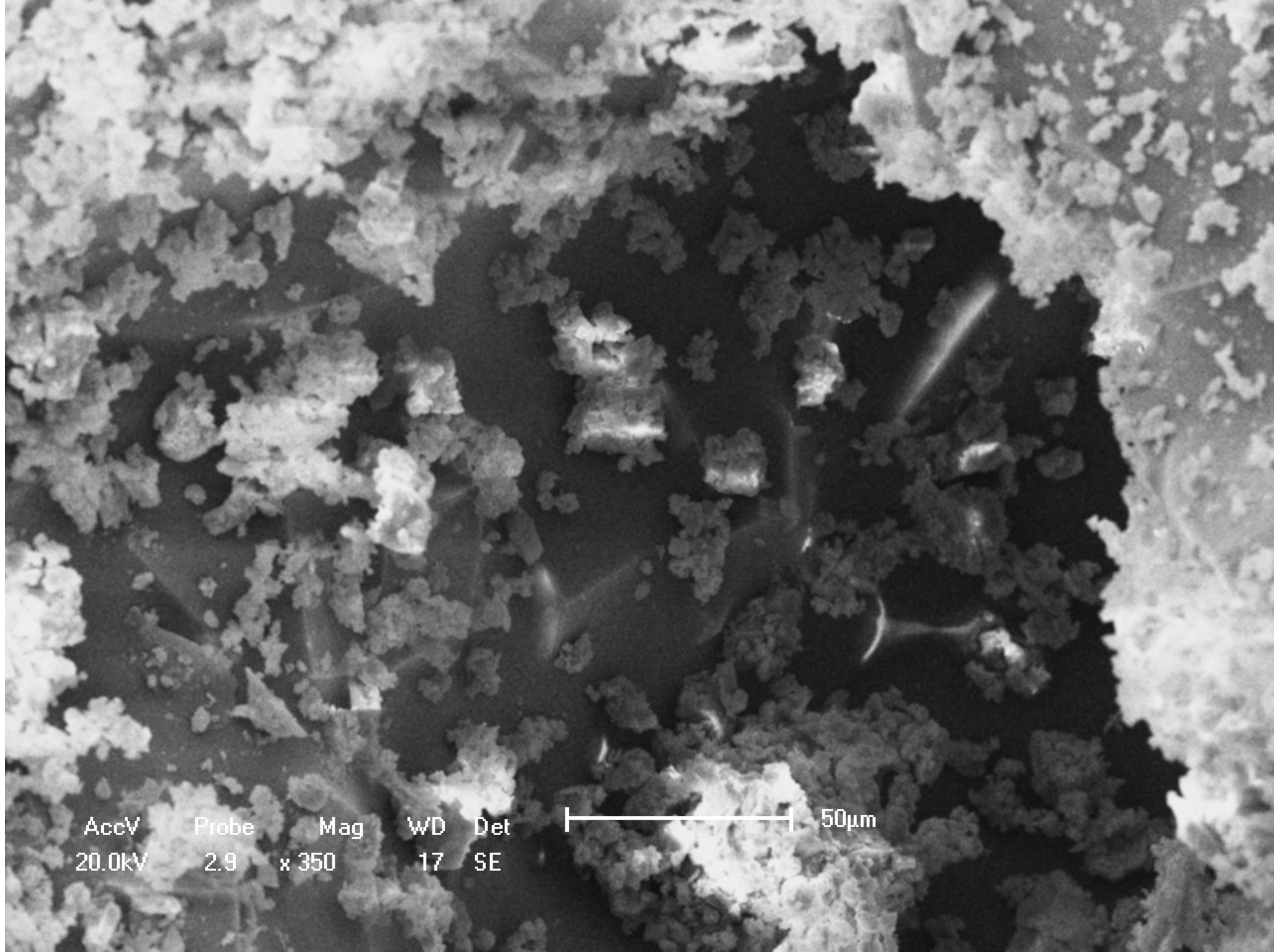


50µm



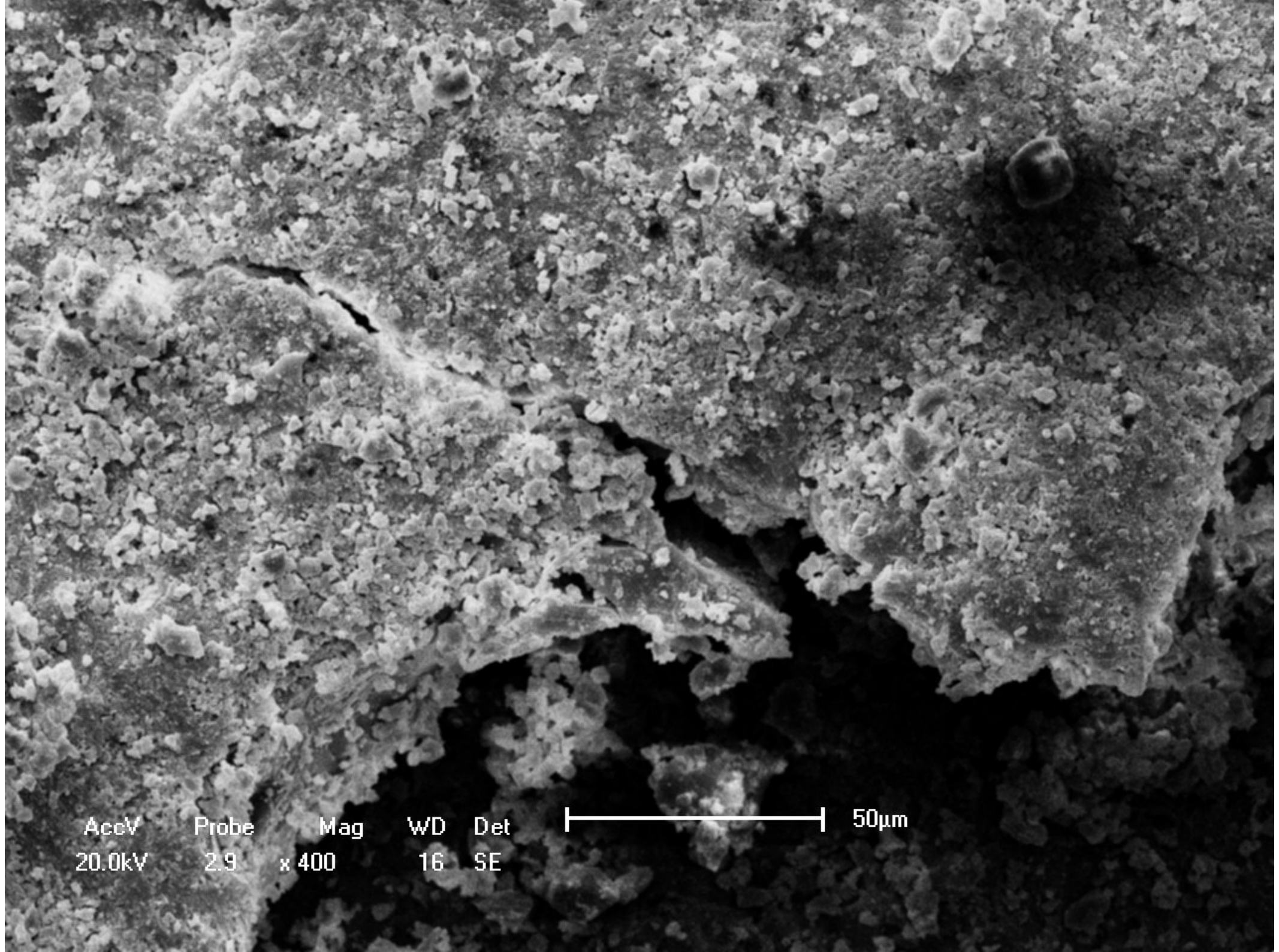
AccV	Probe	Mag	WD	Det
20.0kV	2.9	x 300	17	SE

50µm



AccV 20.0kV
Probe 2.9
Mag x 350
WD 17
Det SE

50µm



AccV
20.0kV

Probe
2.9

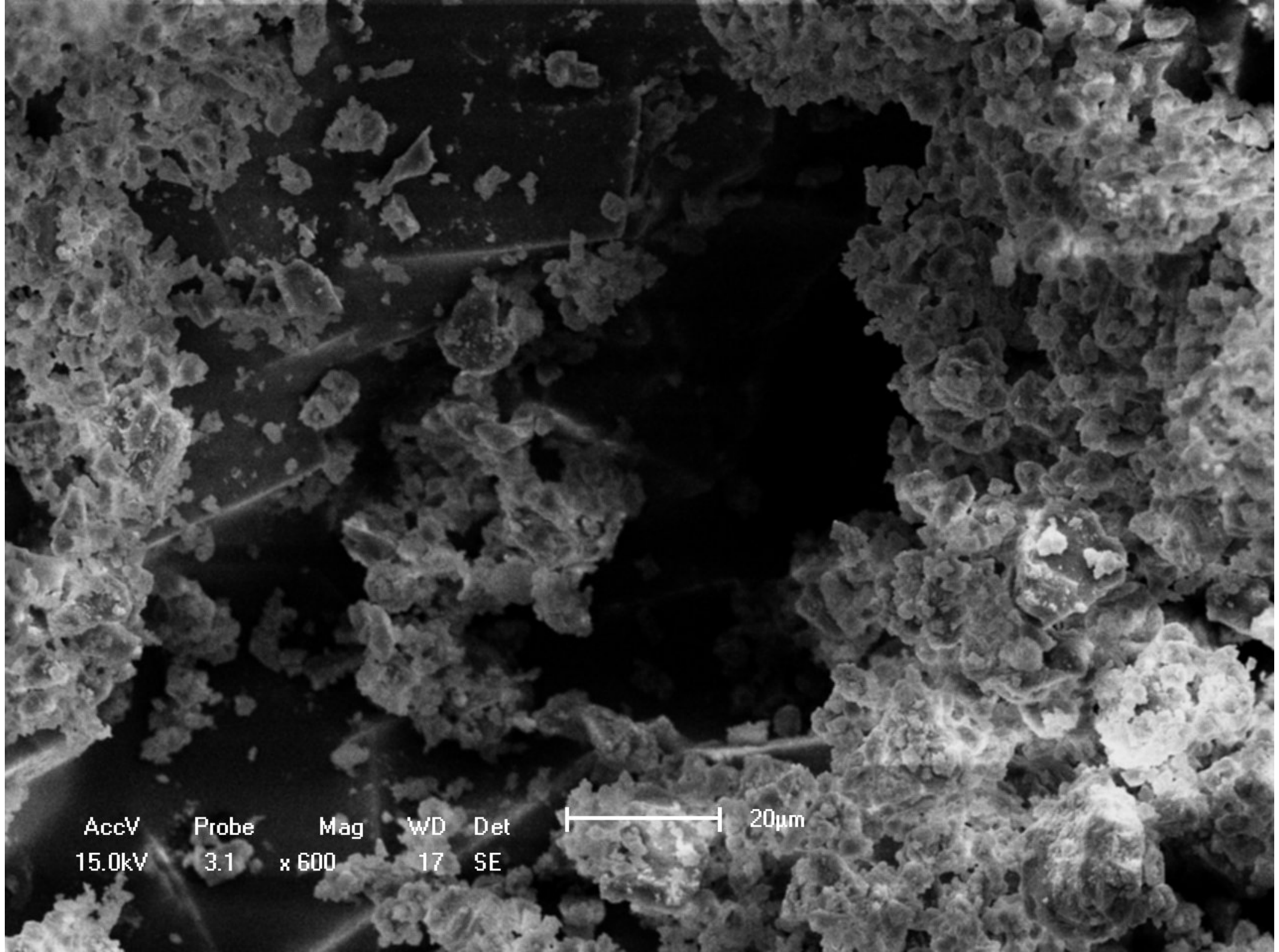
Mag
x 400

WD
16

Det
SE



50µm



AccV
15.0kV

Probe
3.1

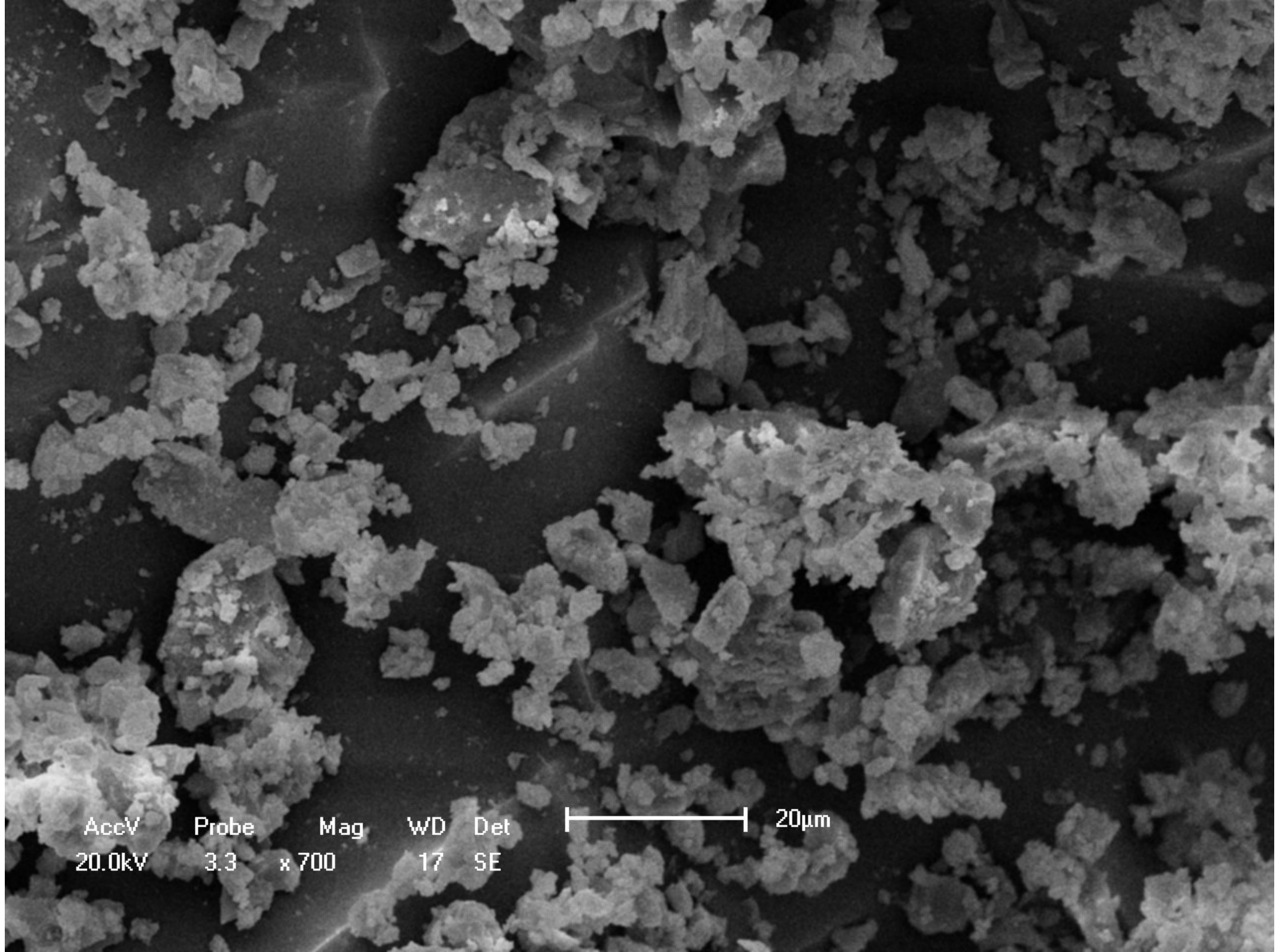
Mag
x 600

WD
17

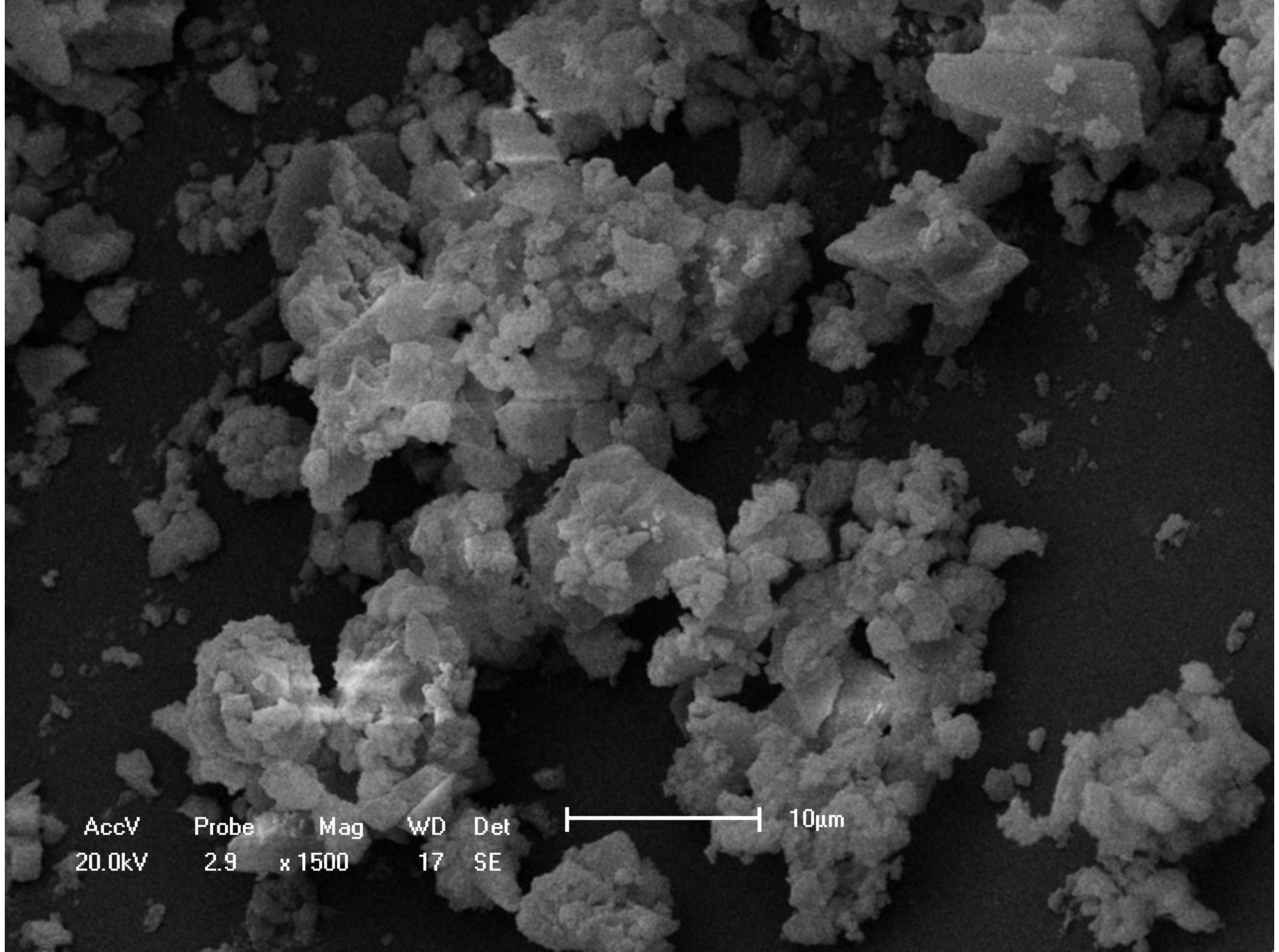
Det
SE



20µm



AccV	Probe	Mag	WD	Det	----- 20µm
20.0kV	3.3	x 700	17	SE	



AccV
20.0kV

Probe
2.9

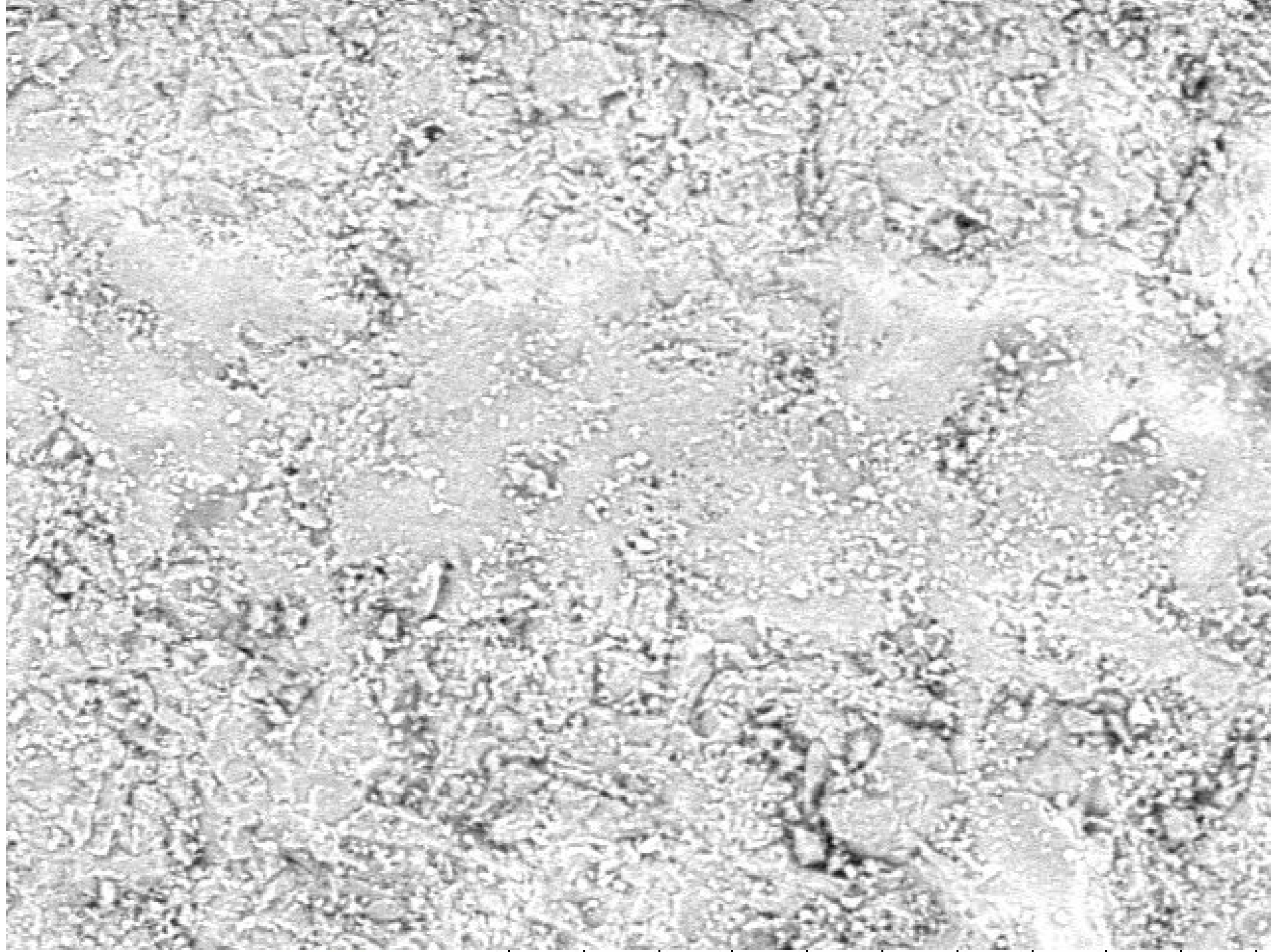
Mag
x 1500

WD
17

Det
SE



10 μ m



DEMat-UFRN **TBR-4-A** 2014/04/08 15:20 HL D5.9 x500 200 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

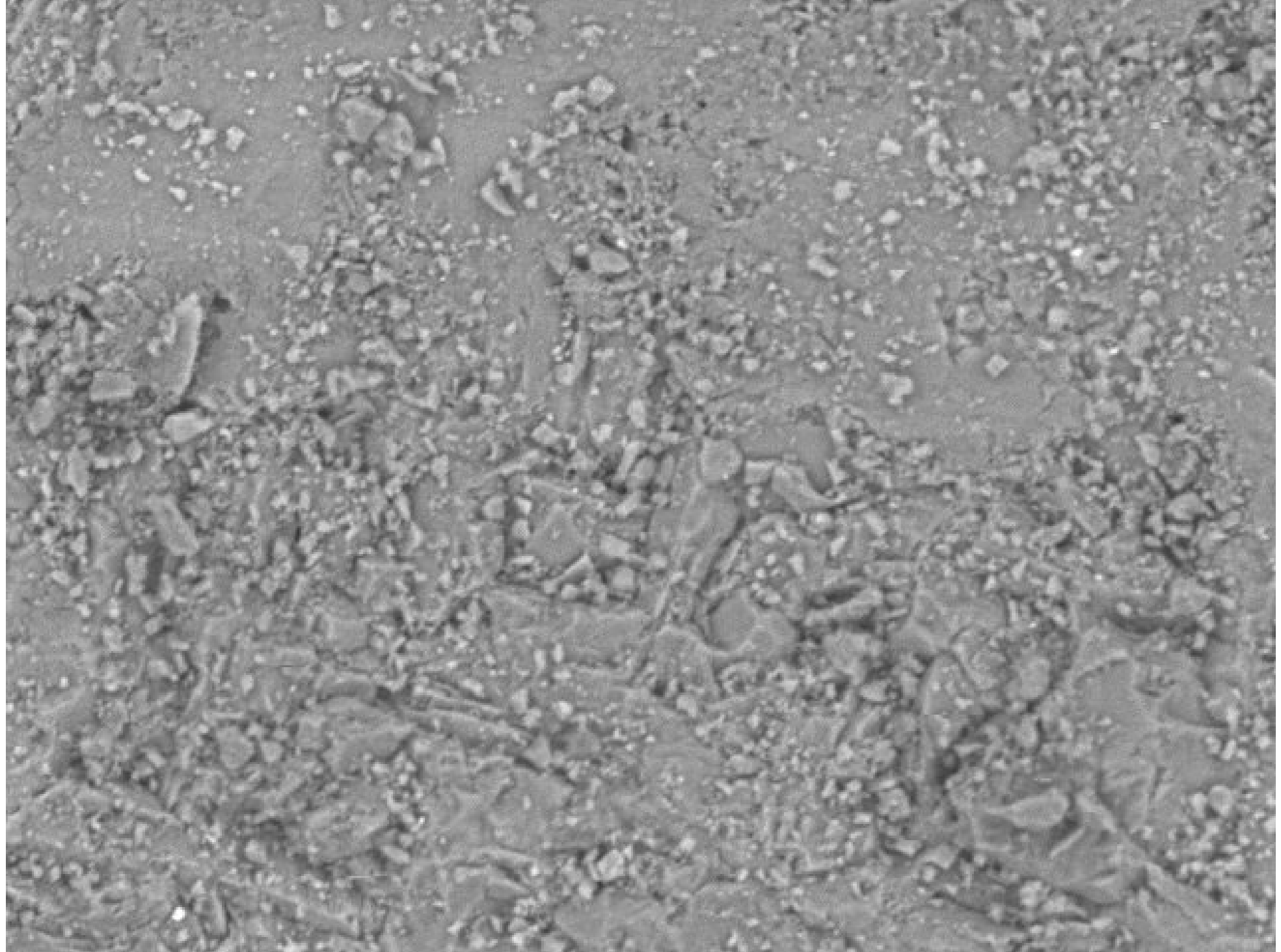
15:28

HL

D5.7

x600

100 um



DEMat-UFRN

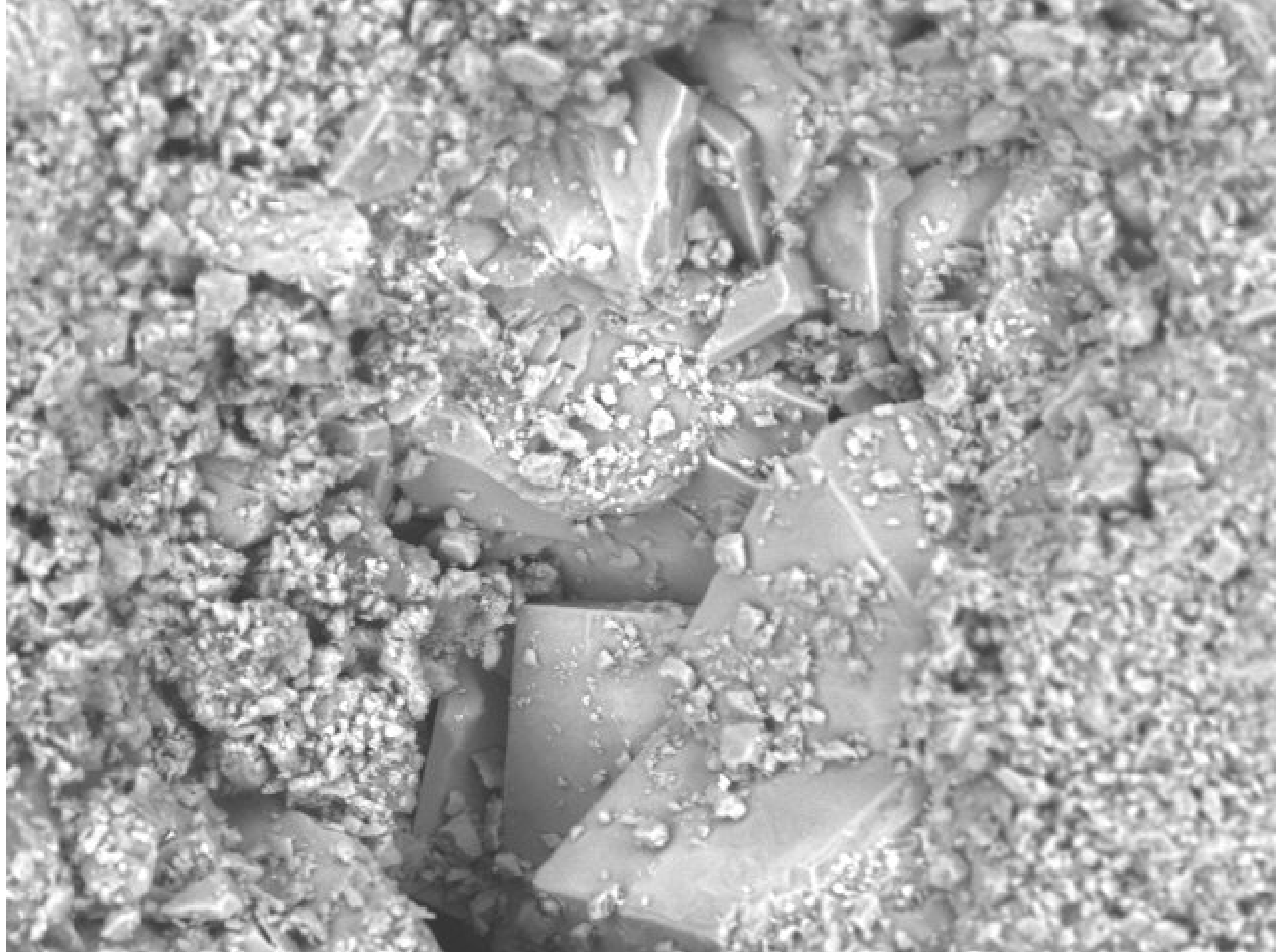
2014/04/08

15:22 NL

D5.8

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

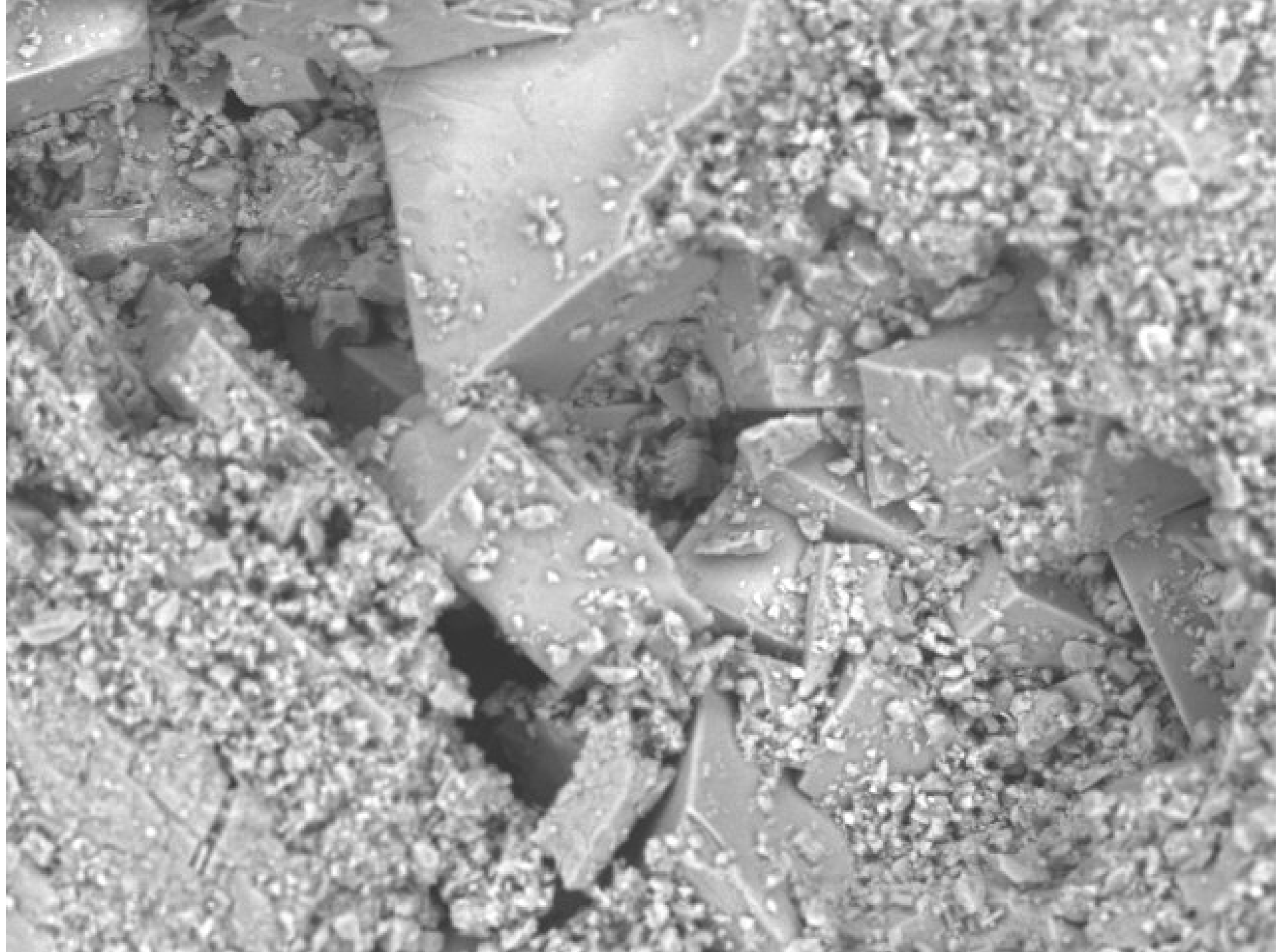
2014/04/08

15:29 HL

D5.7

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

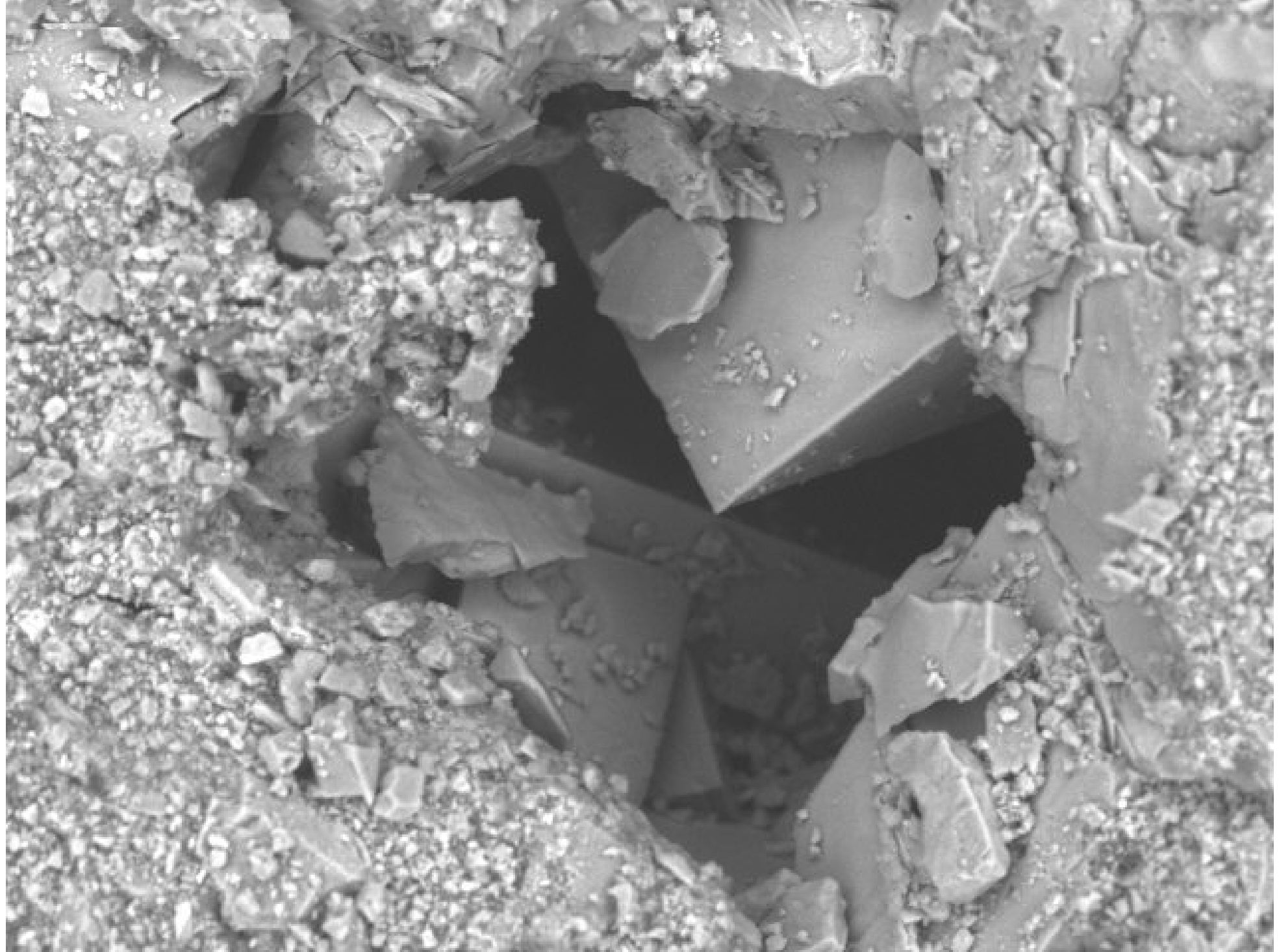
2014/04/08

15:35 HL

D5.7

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

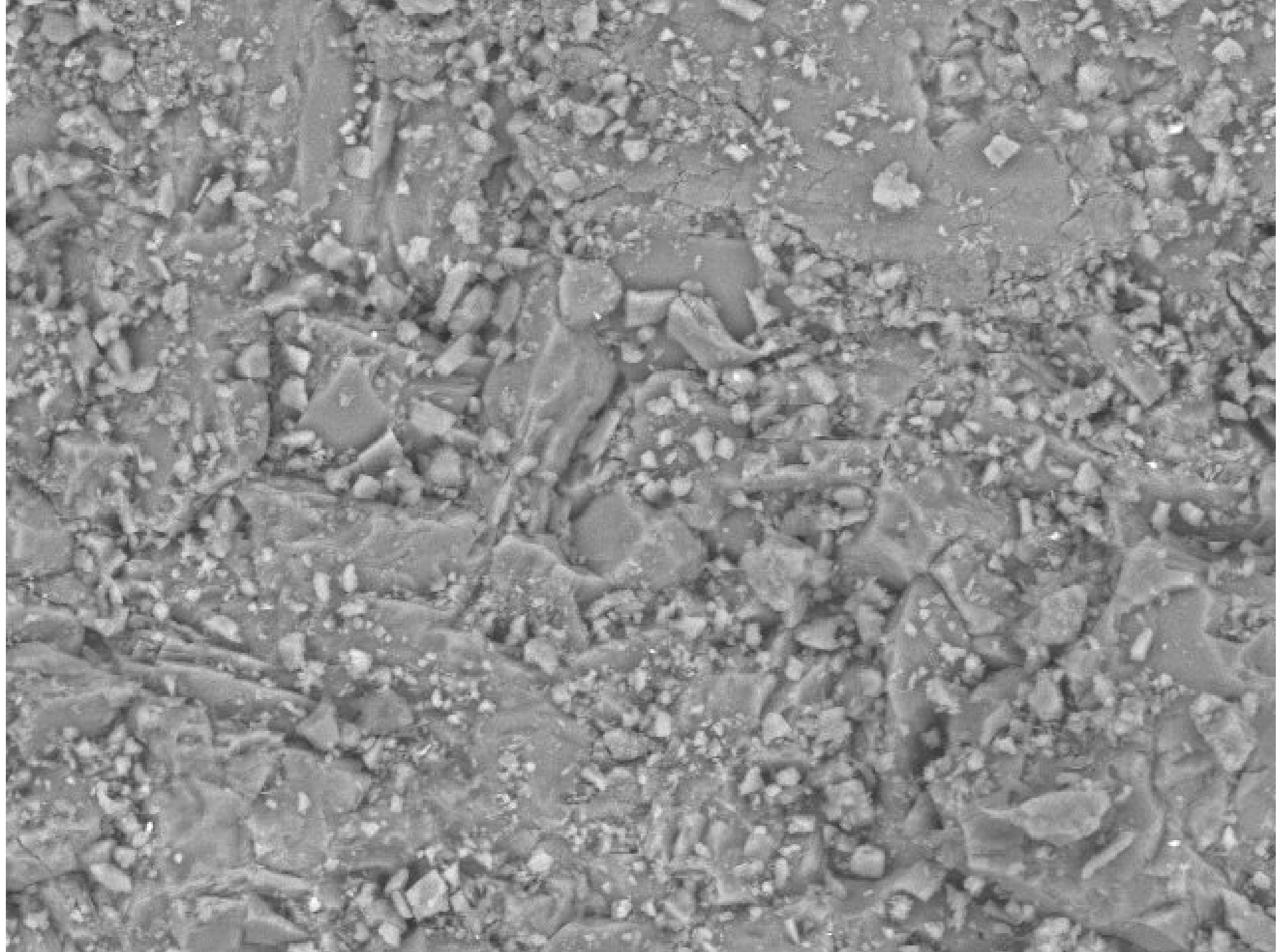
2014/04/08

15:37 HL

D5.9

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

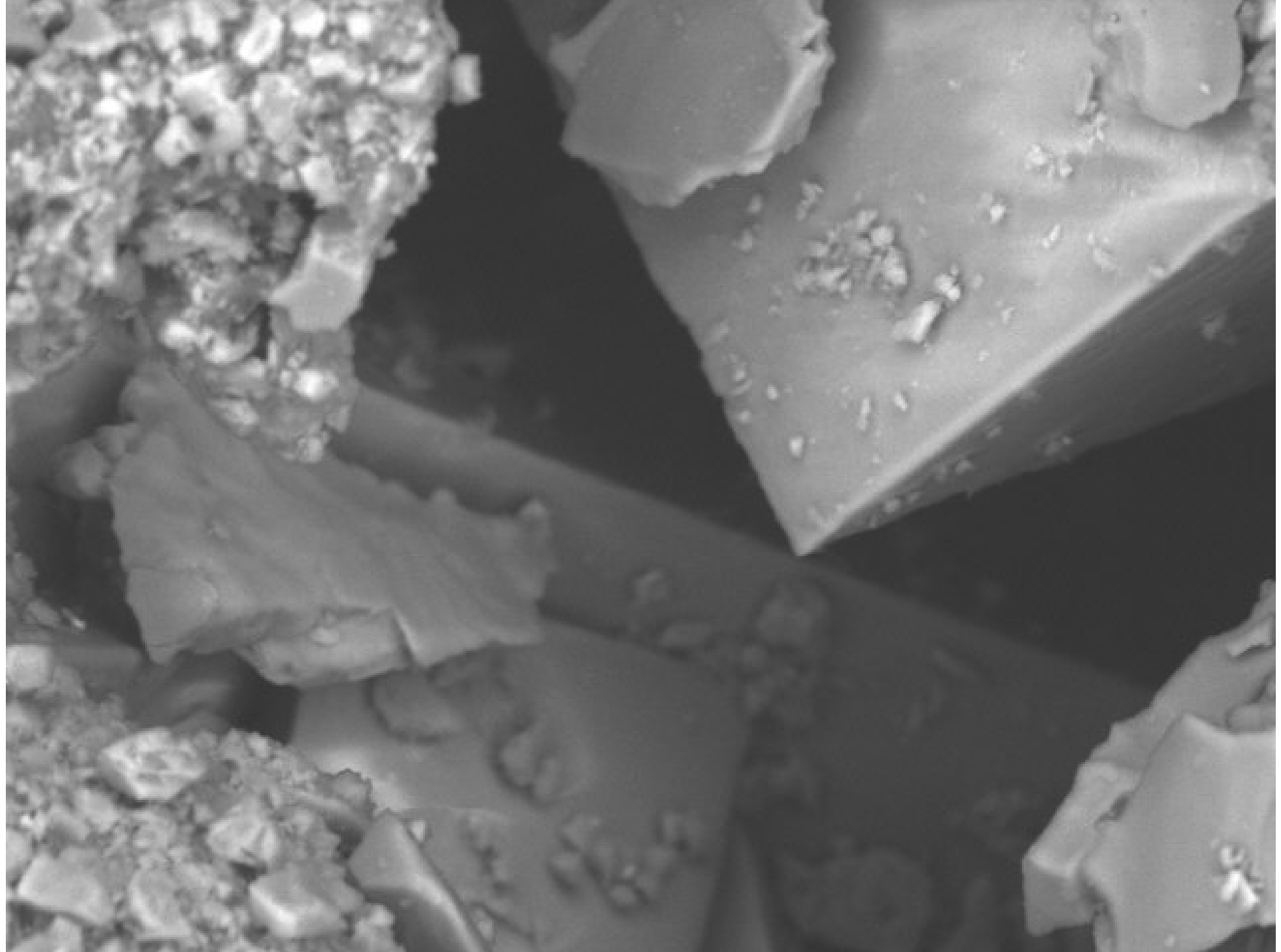
2014/04/08

15:22 NL

D5.7

x1.5k

50 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

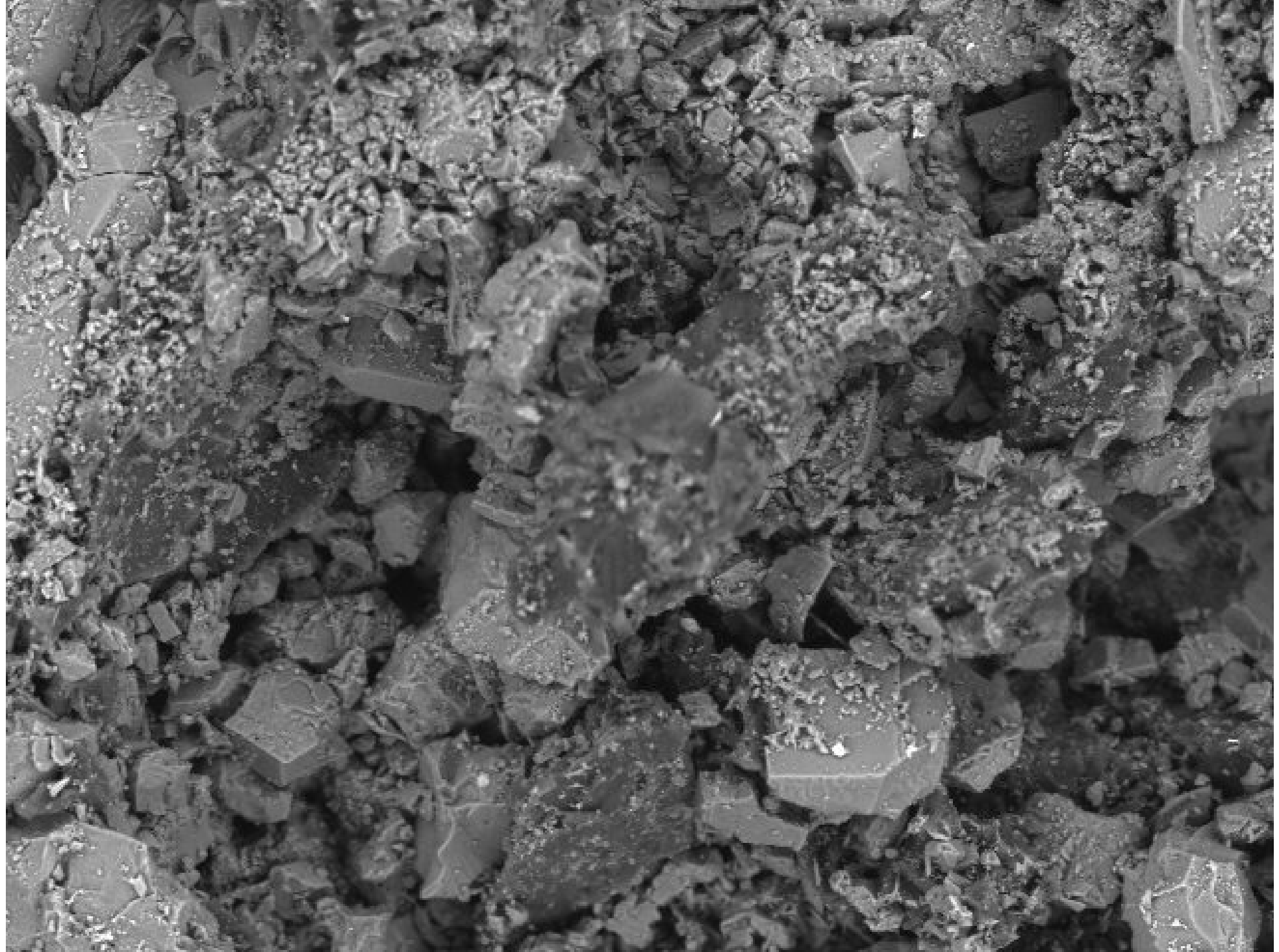
15:37

HL

D5.9

×2.0k

30 um



DEMat-UFRN

TBR-5-C

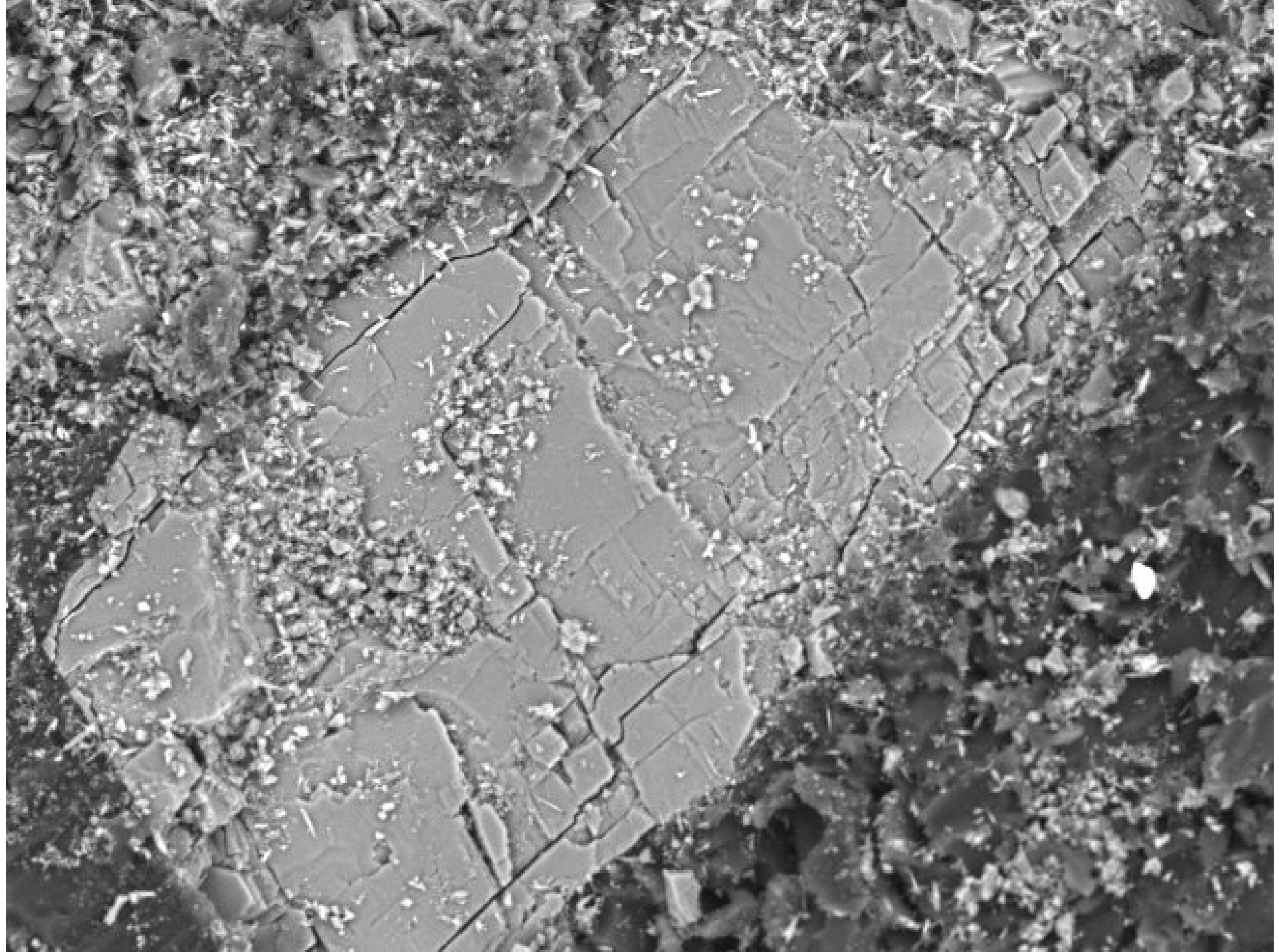
2014/04/08

16:10 HL

D4.2

x500

200 um



DEMat-UFRN

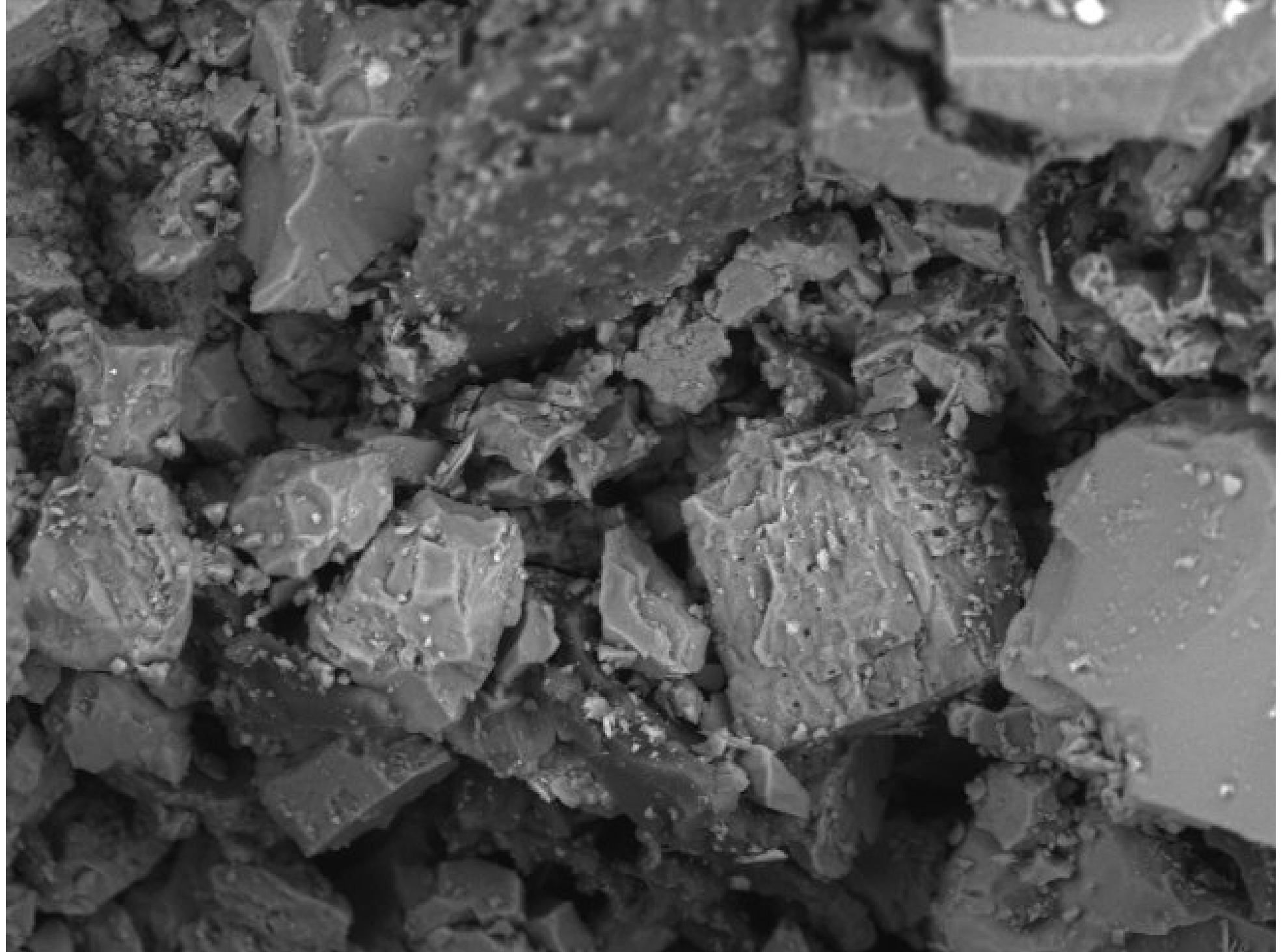
2014/04/08

16:11 HL

D4.2

x800

100 um



DEMat-UFRN

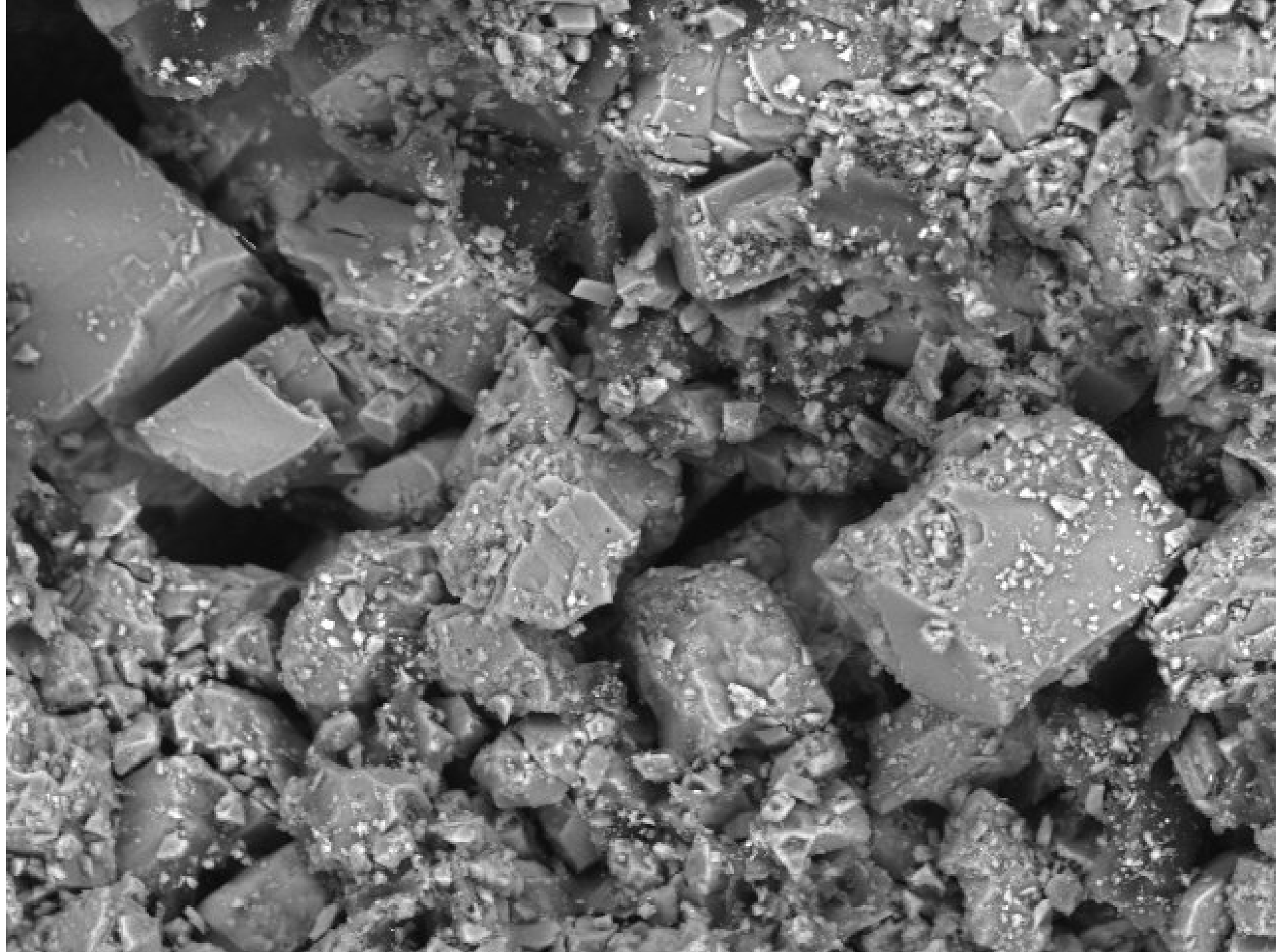
2014/04/08

16:12 HL

D4.3

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

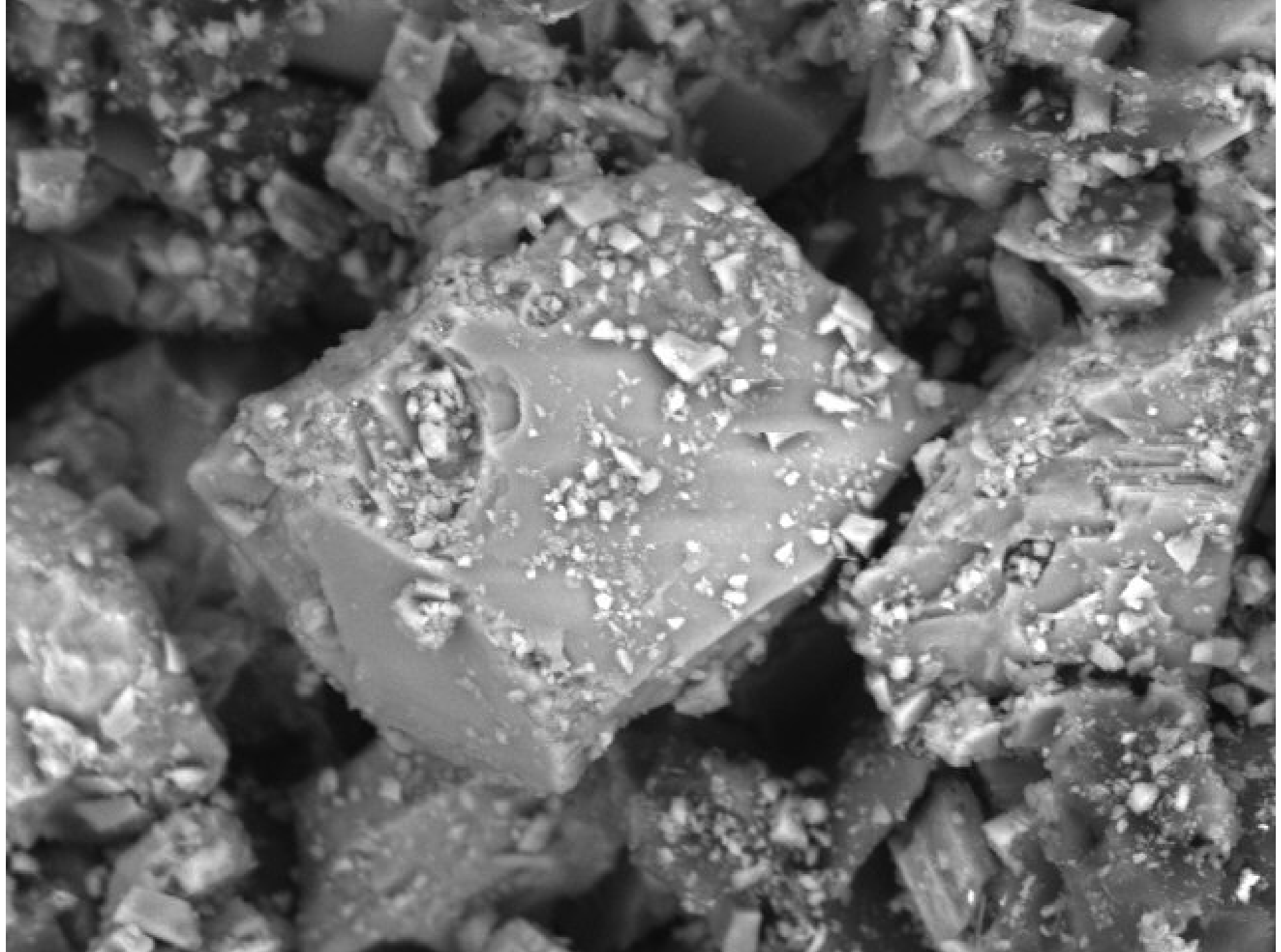
2014/04/08

16:20 HL

D4.0

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

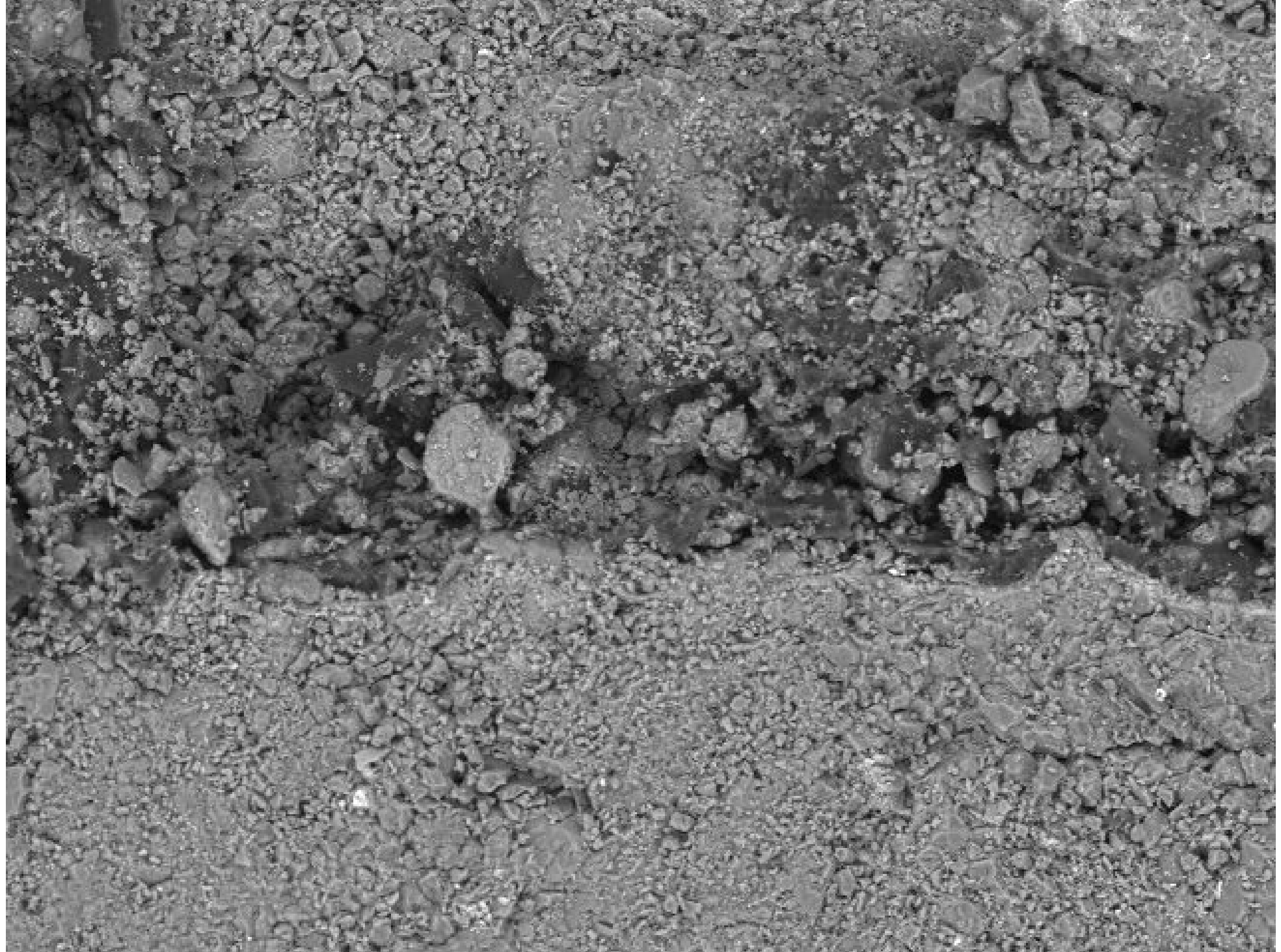
2014/04/08

16:21 HL

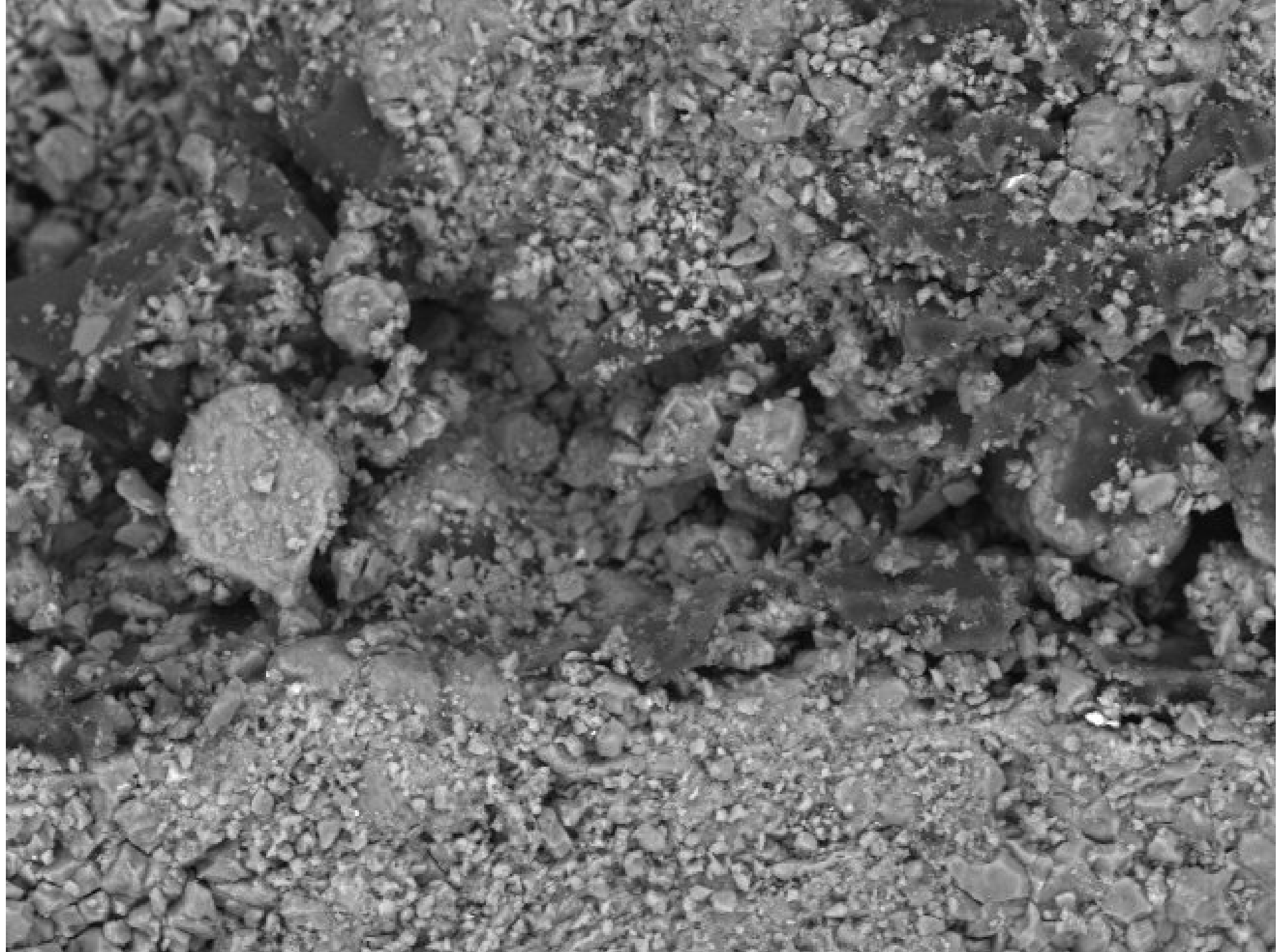
D3.9

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-2-A** 2014/04/08 15:45 HL D6.4 x500 200 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

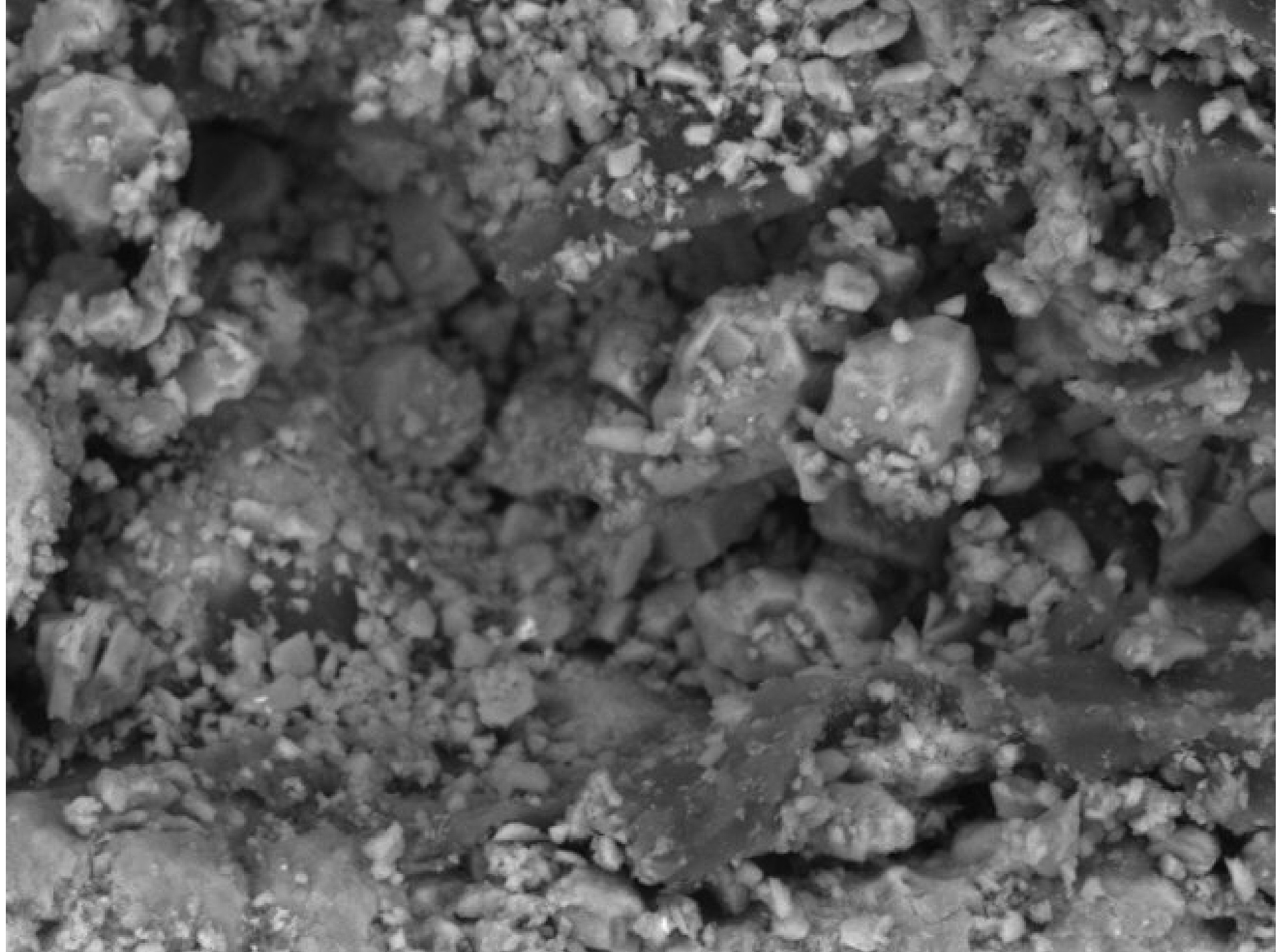
15:46

HL

D6.3

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

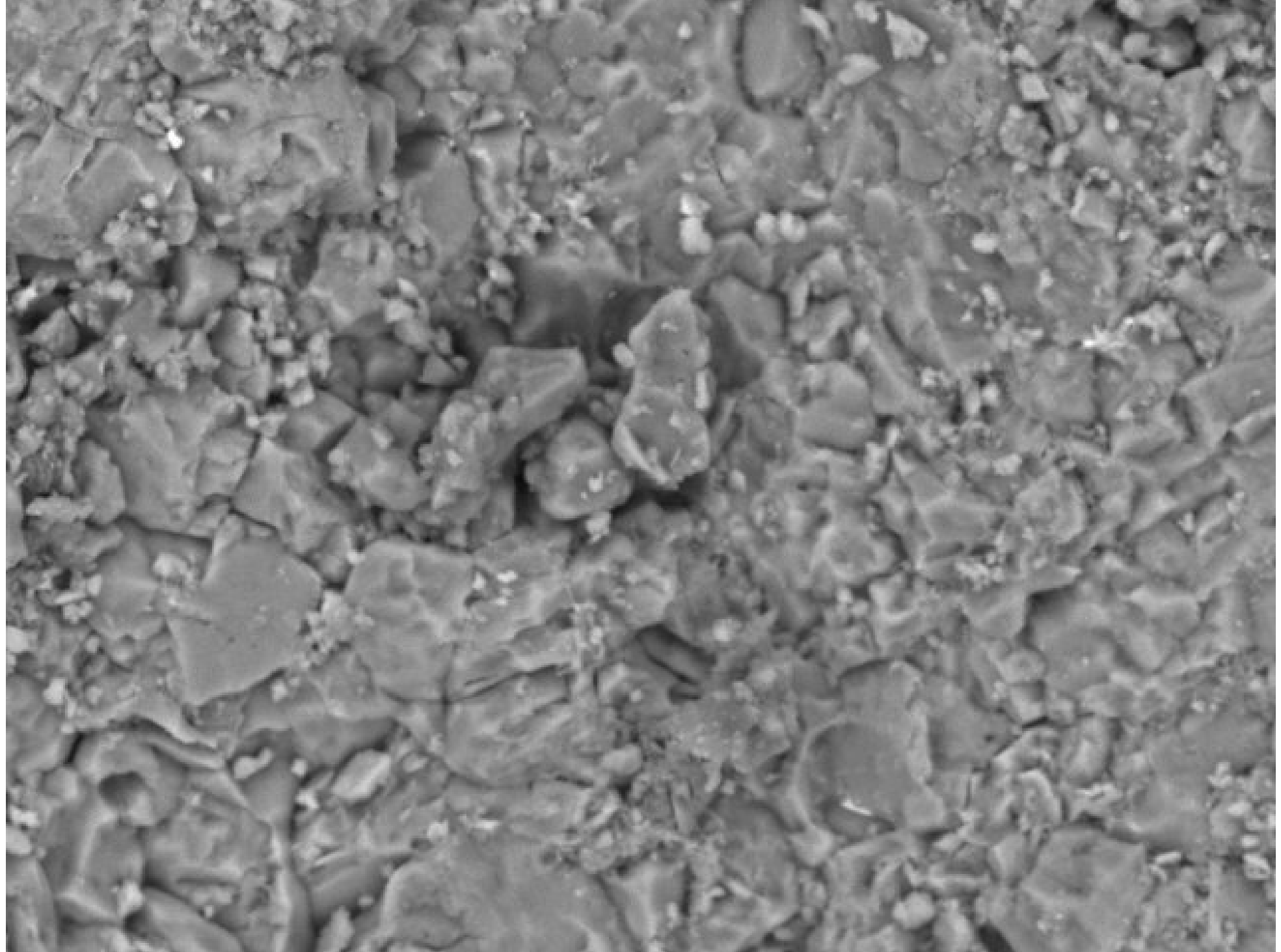
15:47

HL

D6.3

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

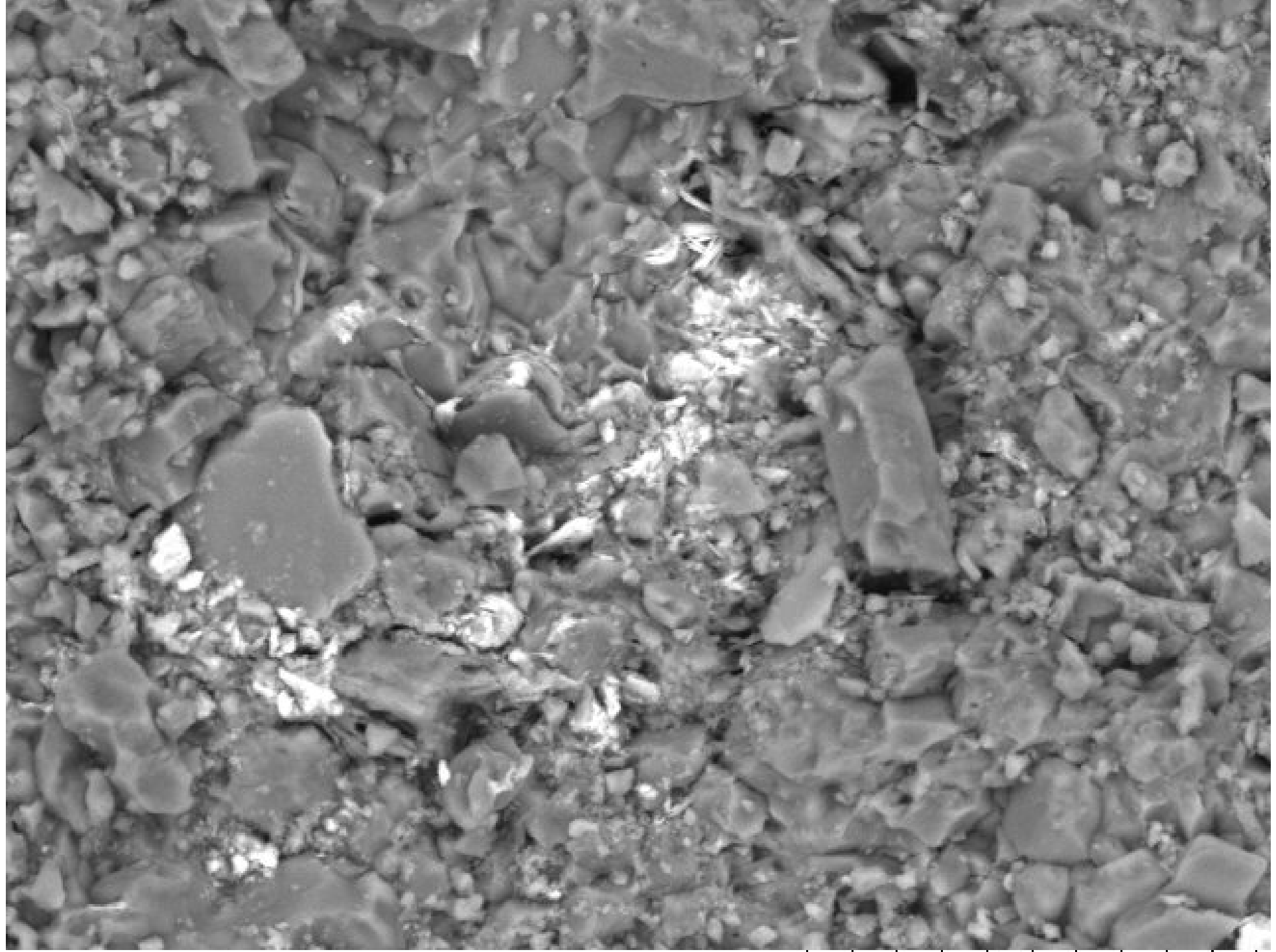
15:53

HL

D6.3

×2.0k

30 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

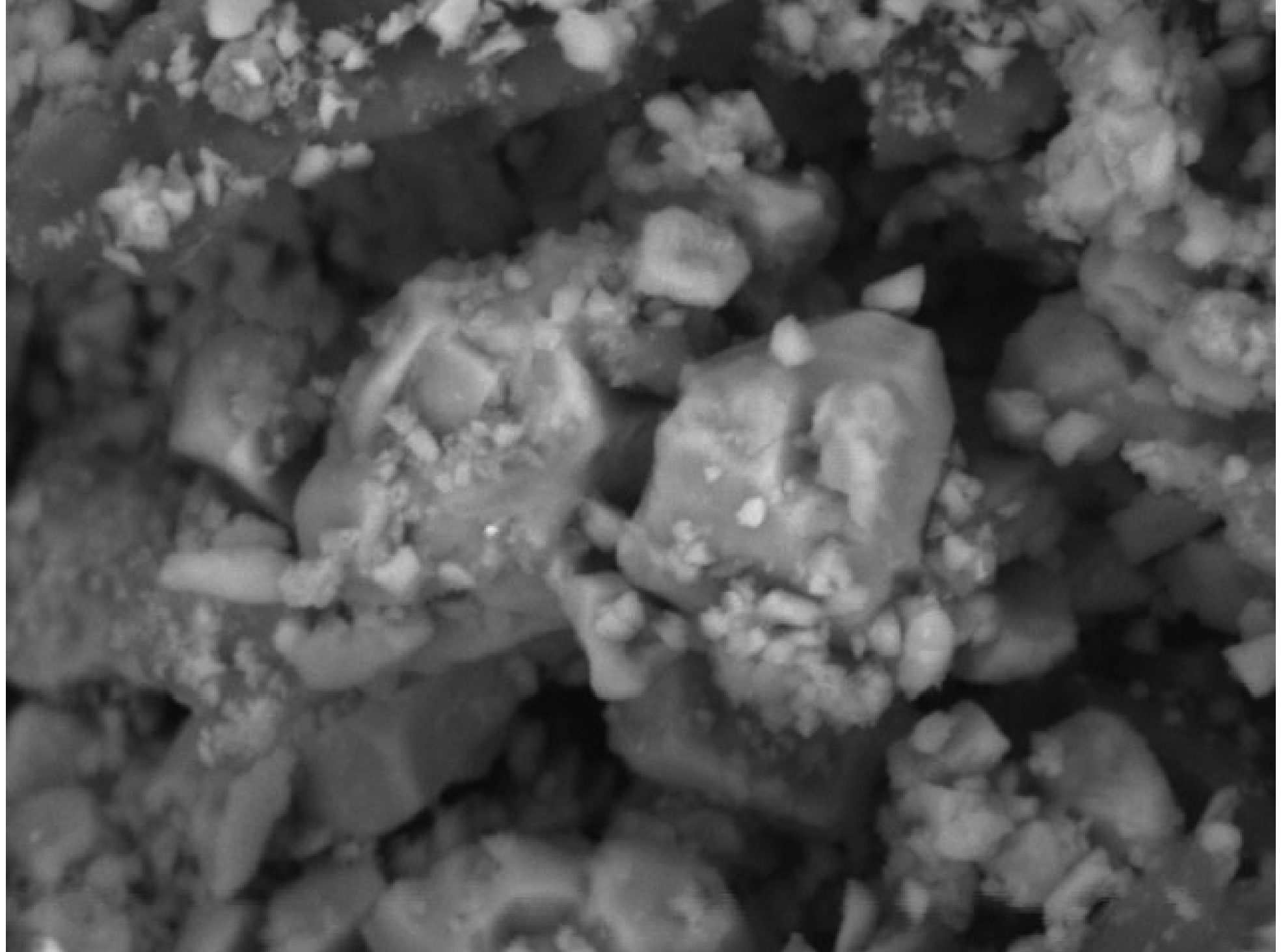
15:58

HL

D6.4

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN

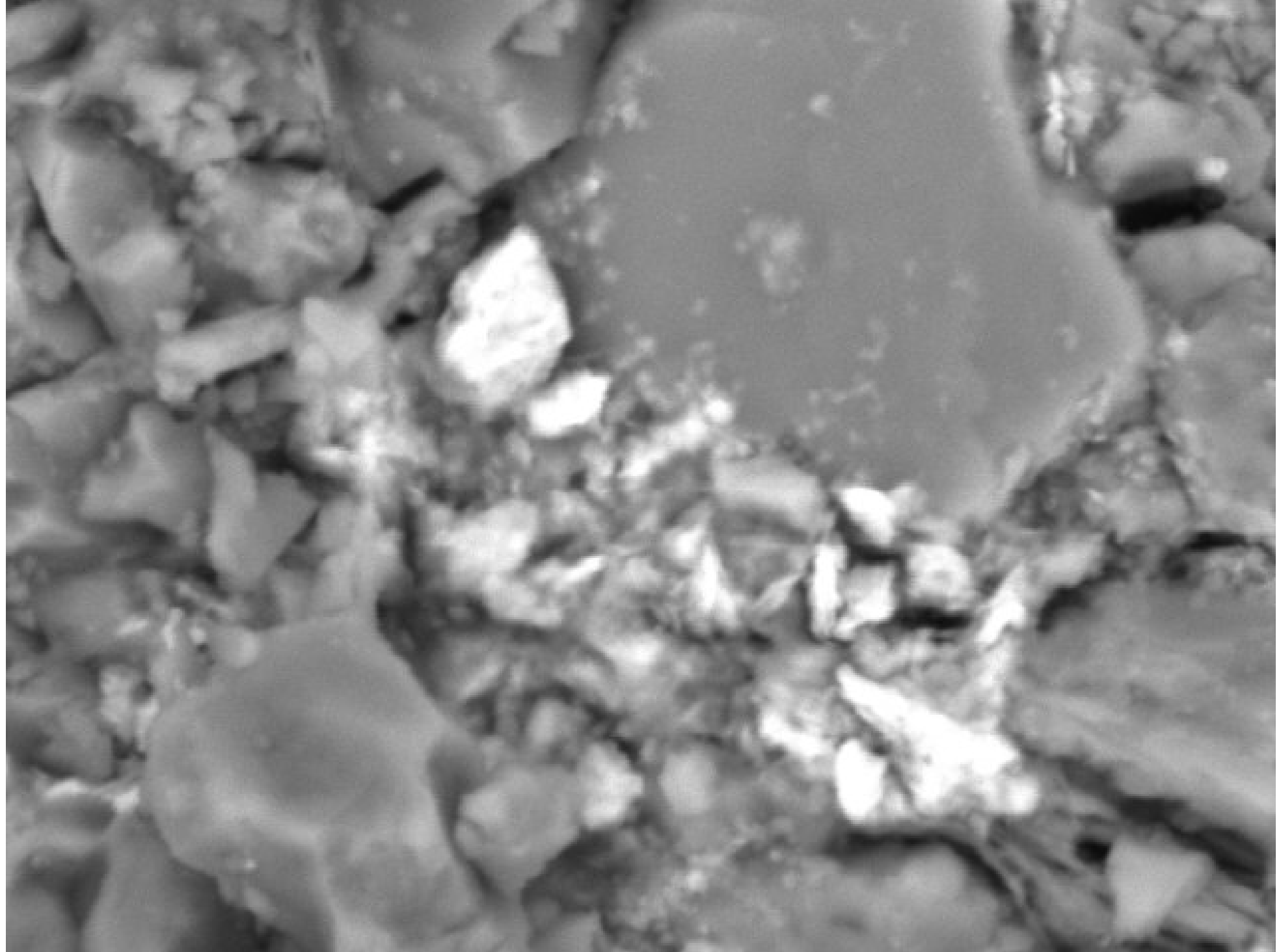
2014/04/08

15:47 HL

D6.3

x4.0k

20 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

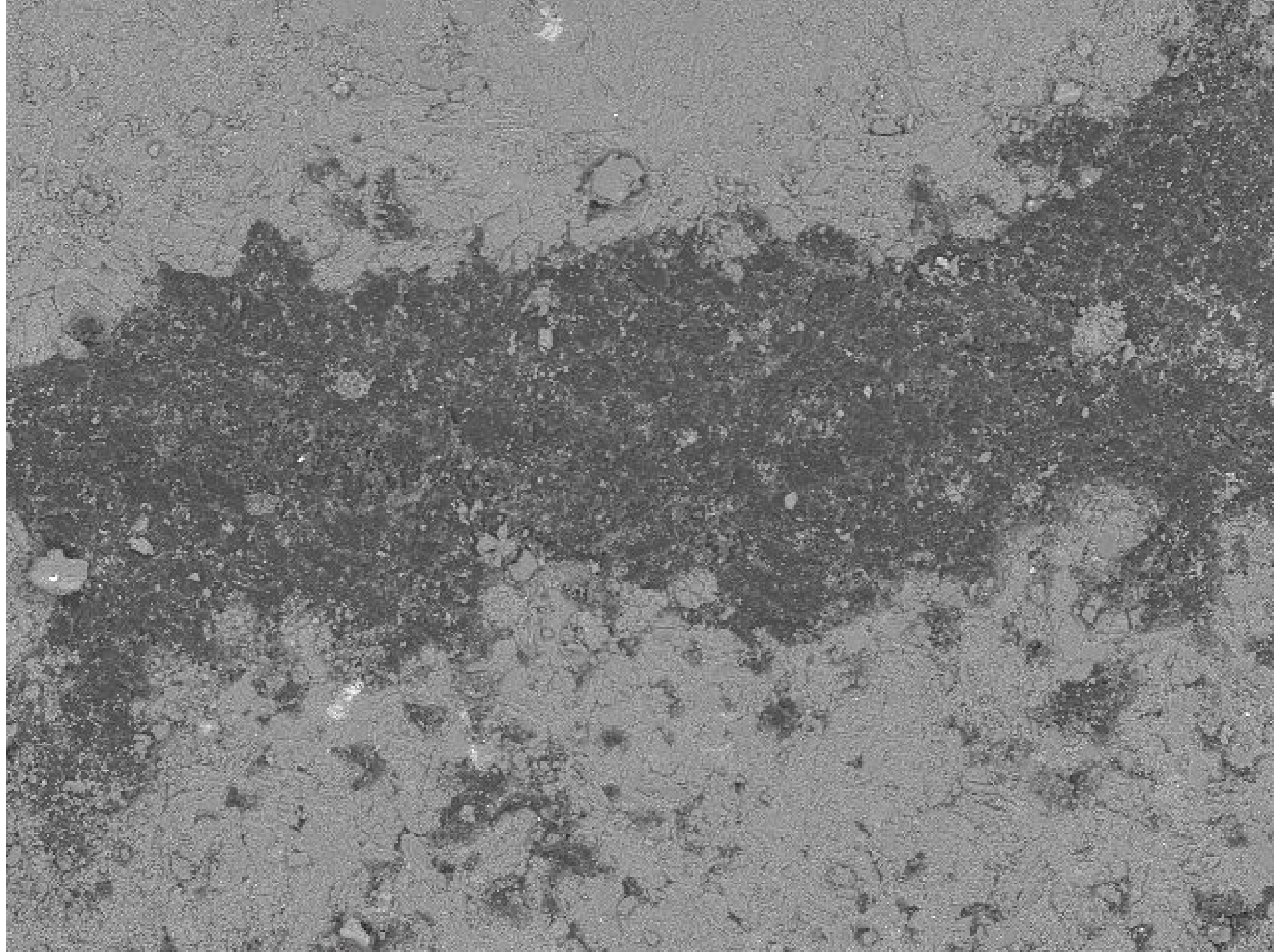
16:02

HL

D6.3

x6.0k

10 um



DEMat-UFRN **TBV-3-A**

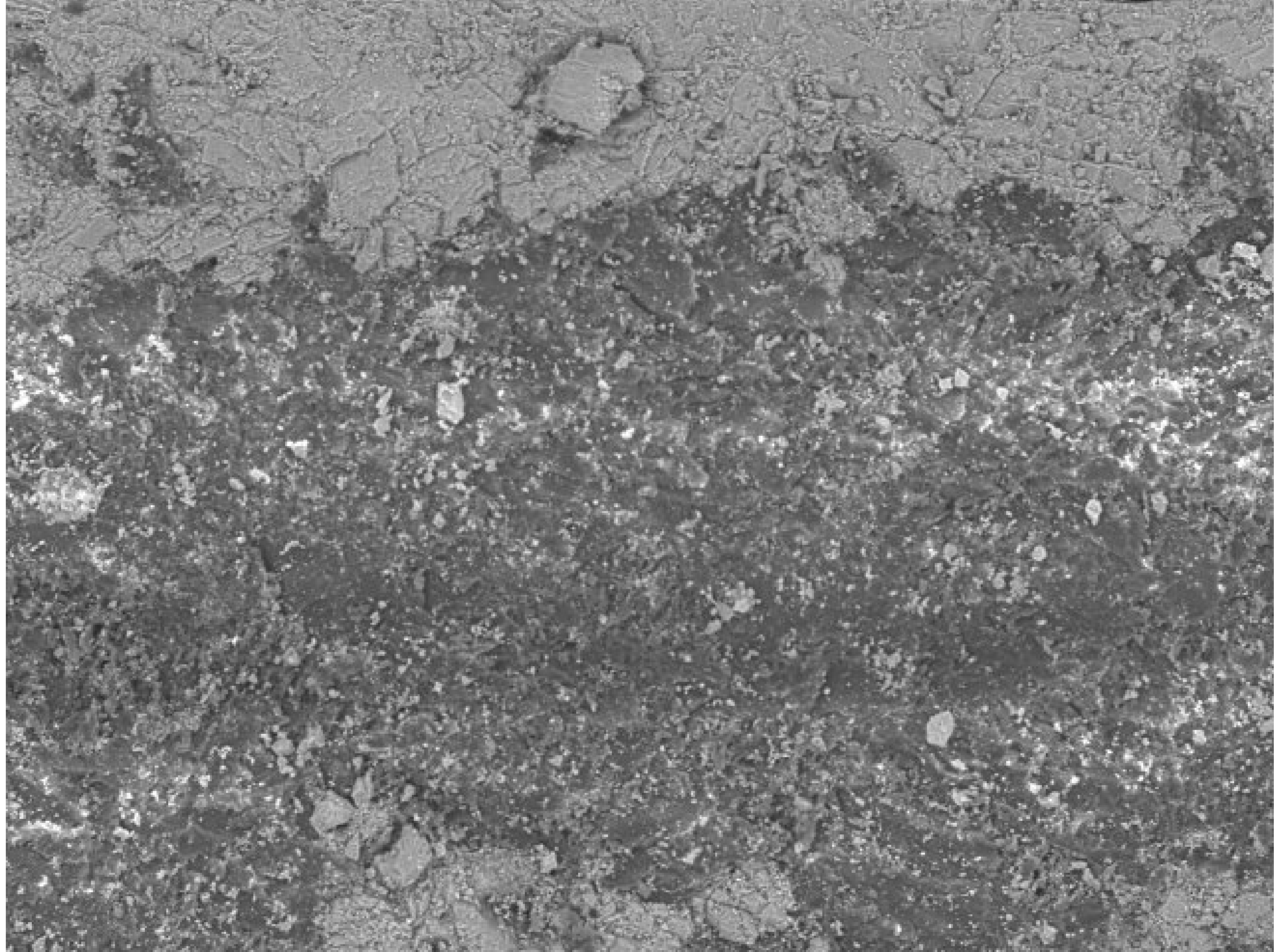
2014/04/08

14:19 HL

D6.0

x150

500 um



DEMat-UFRN

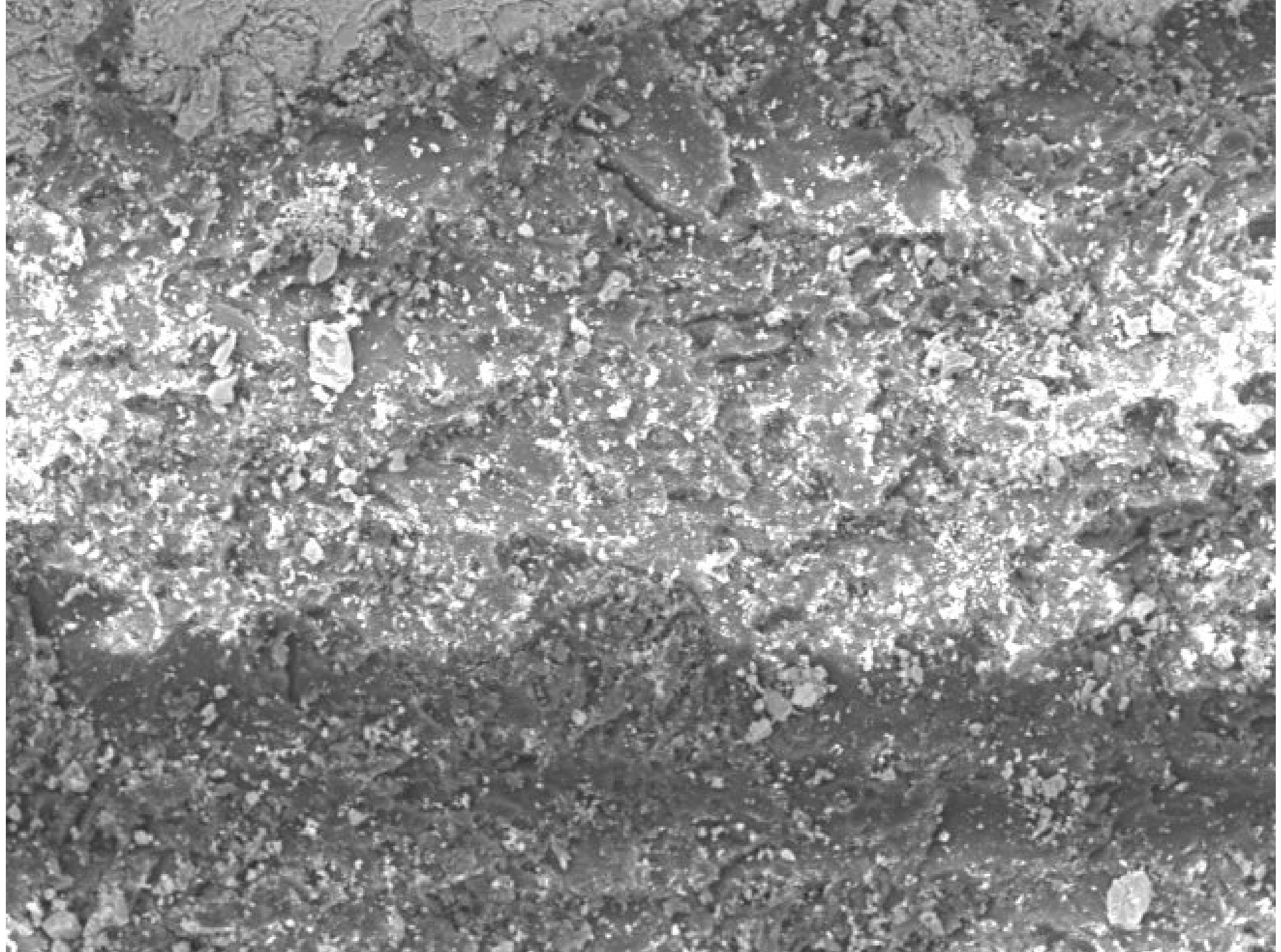
2014/04/08

14:20 HL

D5.9

×300

300 um



DEMat-UFRN

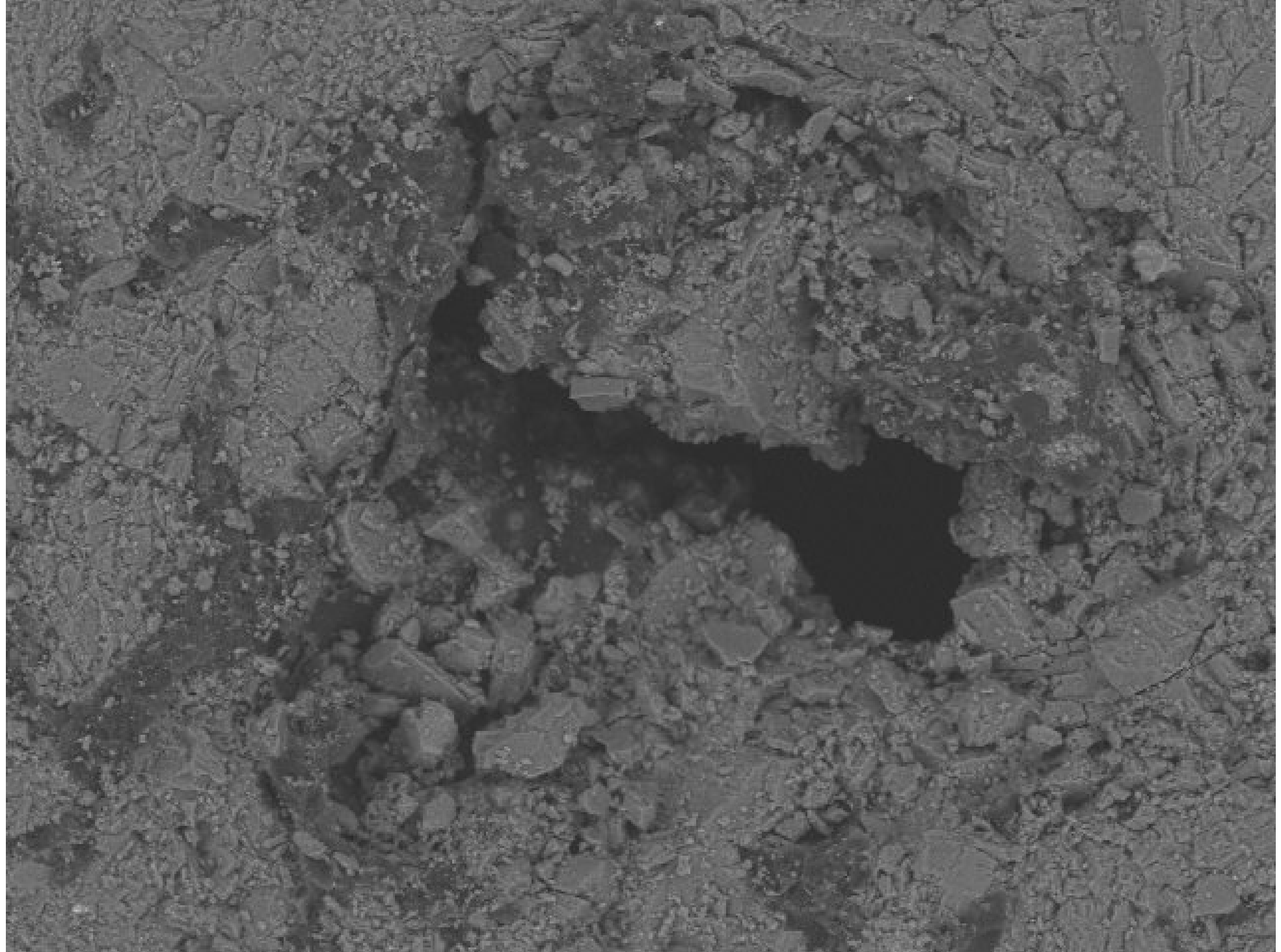
2014/04/08

14:21 HL

D5.8

x500

200 um



DEMat-UFRN

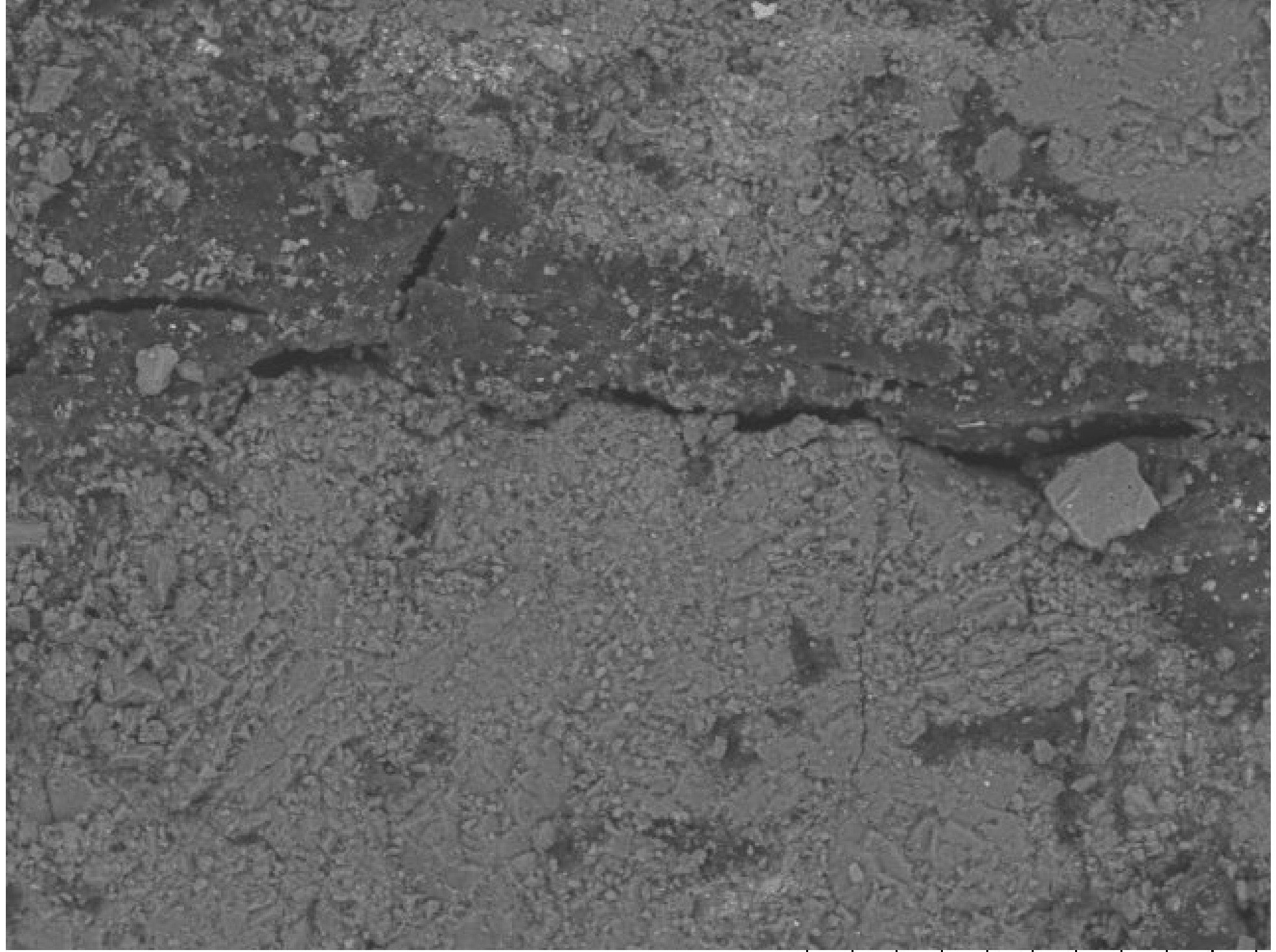
2014/04/08

14:26 NL

D5.9

x500

200 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

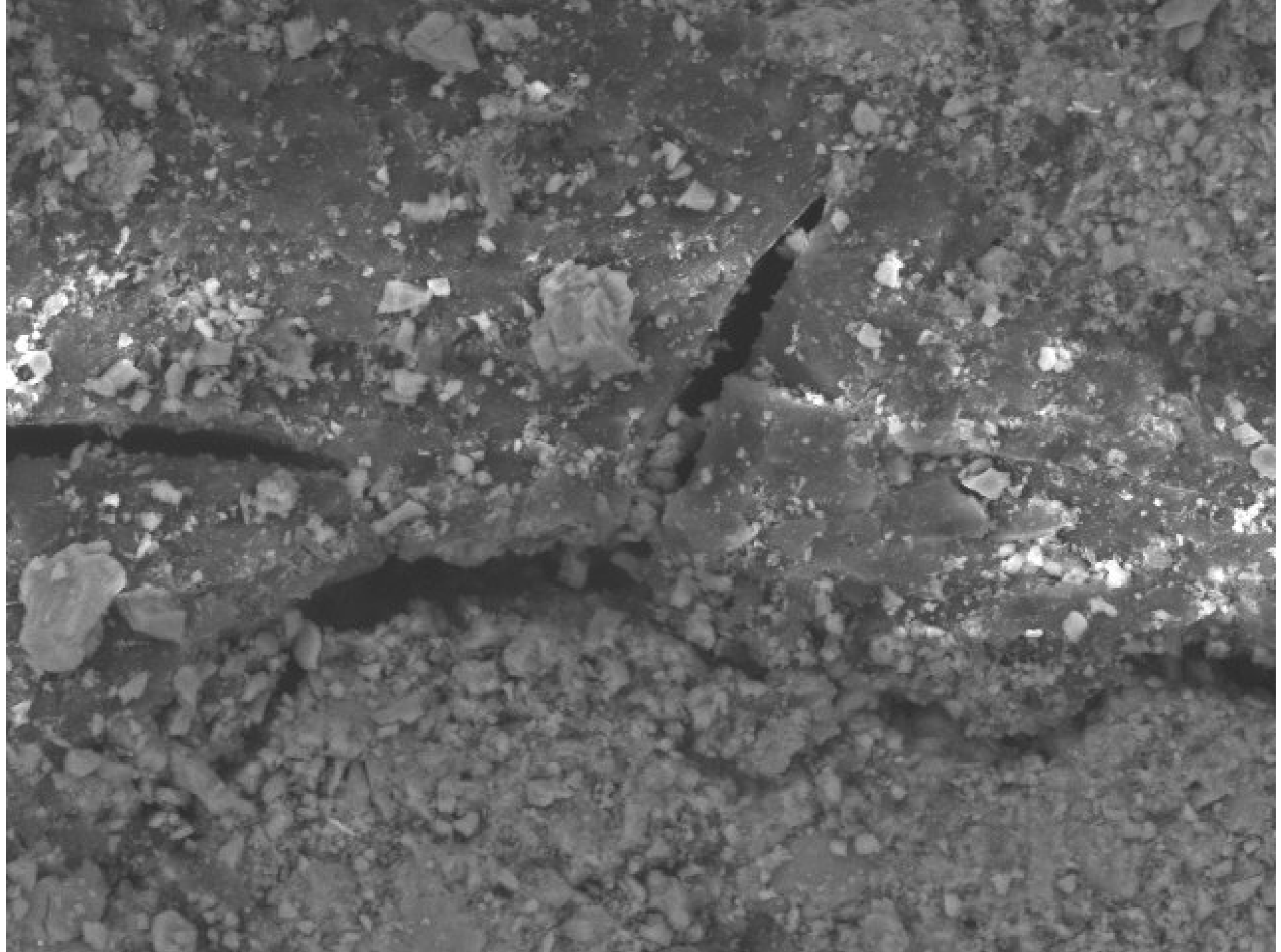
14:23

NL

D5.9

x600

100 um



DEMat-UFRN

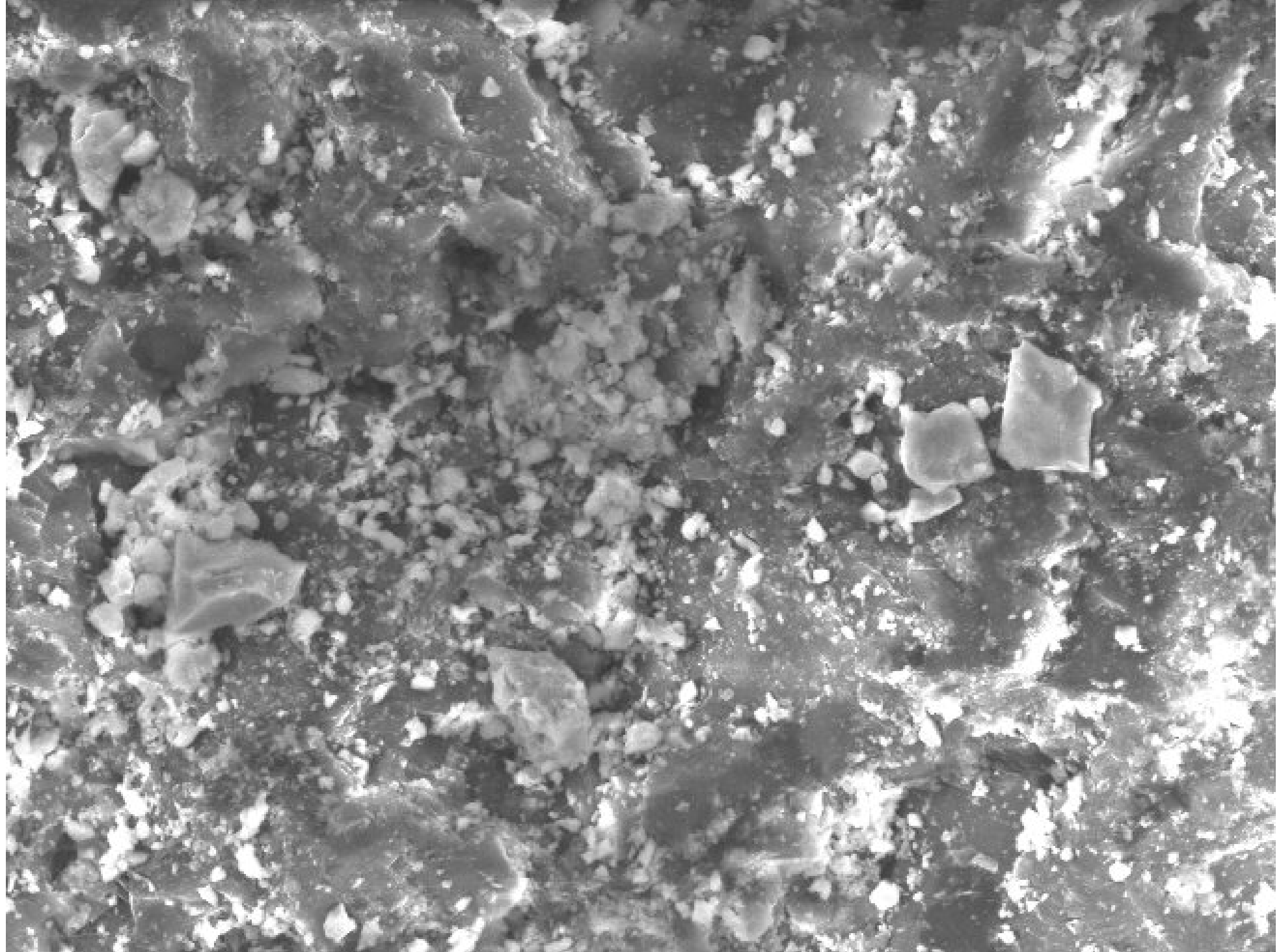
2014/04/08

14:24 NL

D5.9

x1.5k

50 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

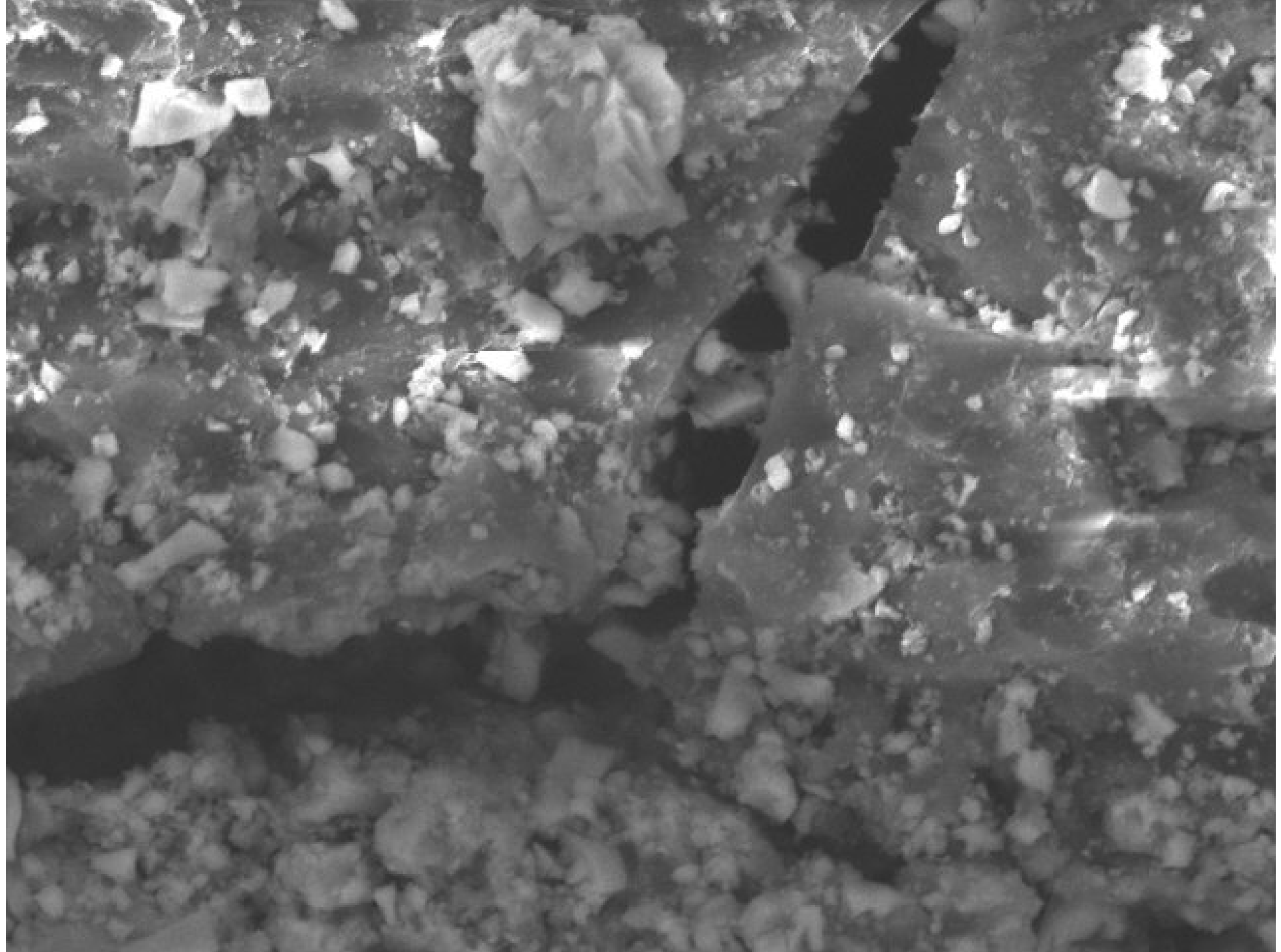
14:23

NL

D5.9

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

14:25 NL

D5.9

x3.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3-D**

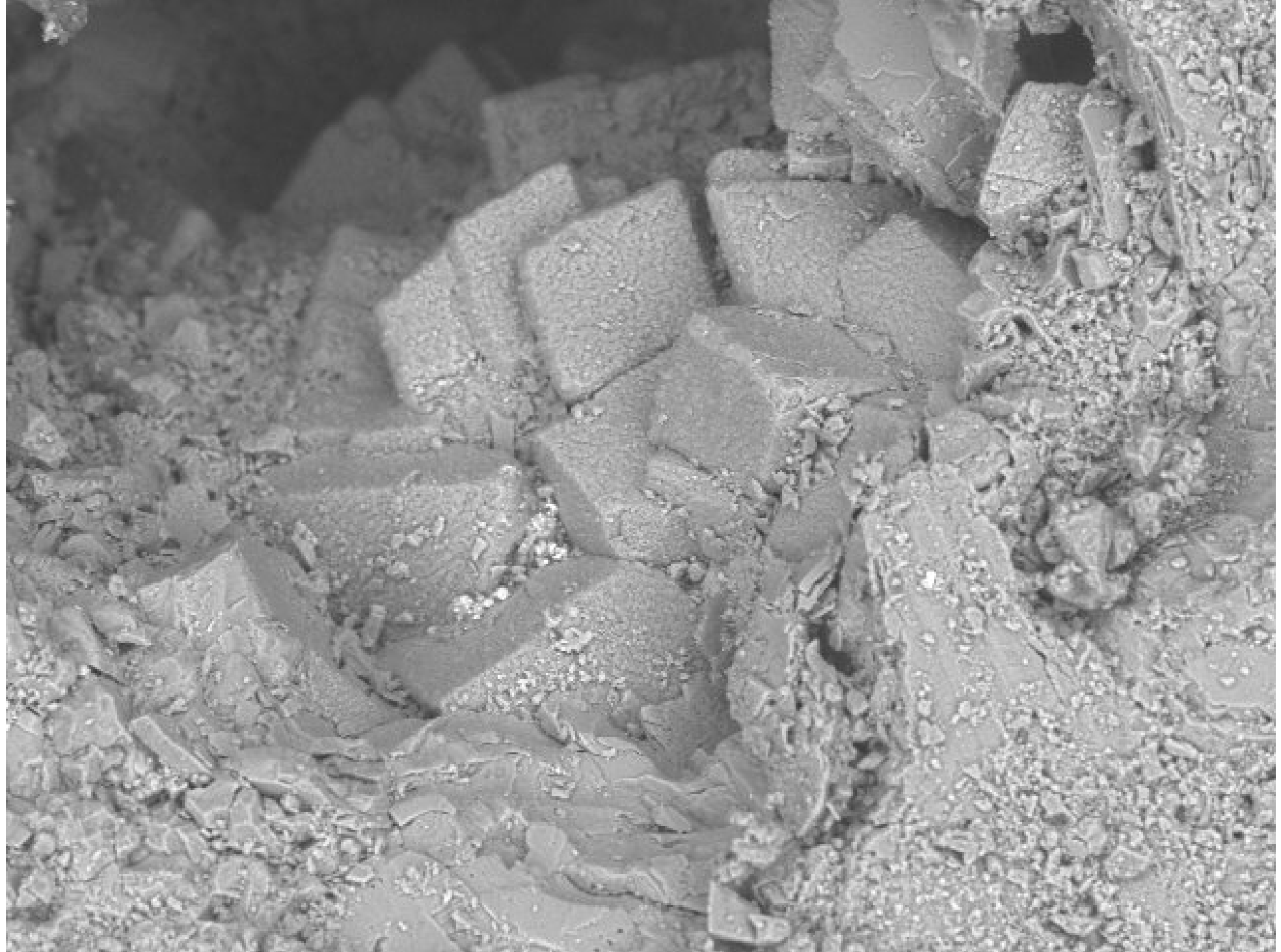
2014/04/08

14:39 HL

D6.6

x500

200 um



DEMat-UFRN

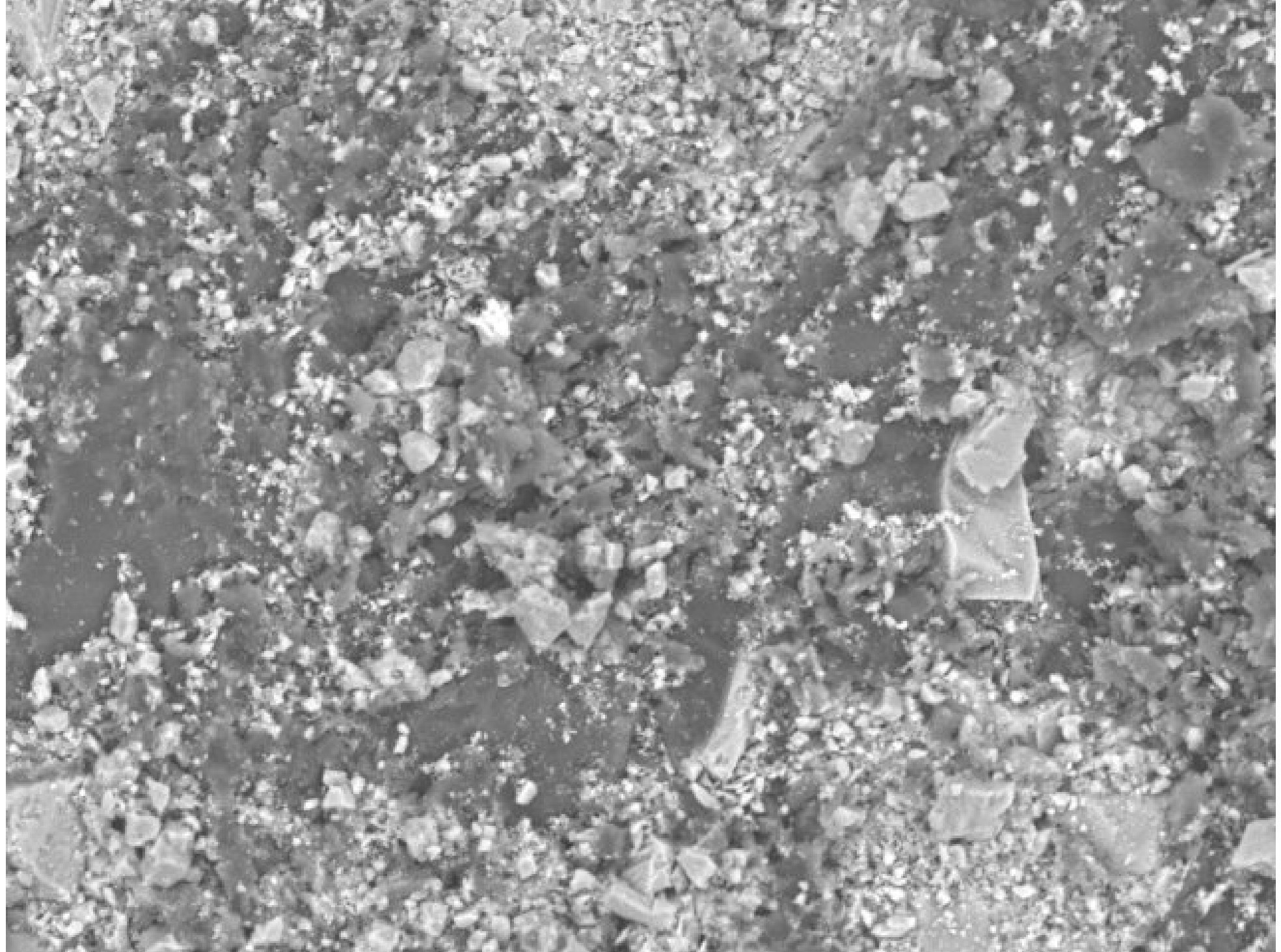
2014/04/08

14:43 HL

D6.7

x500

200 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

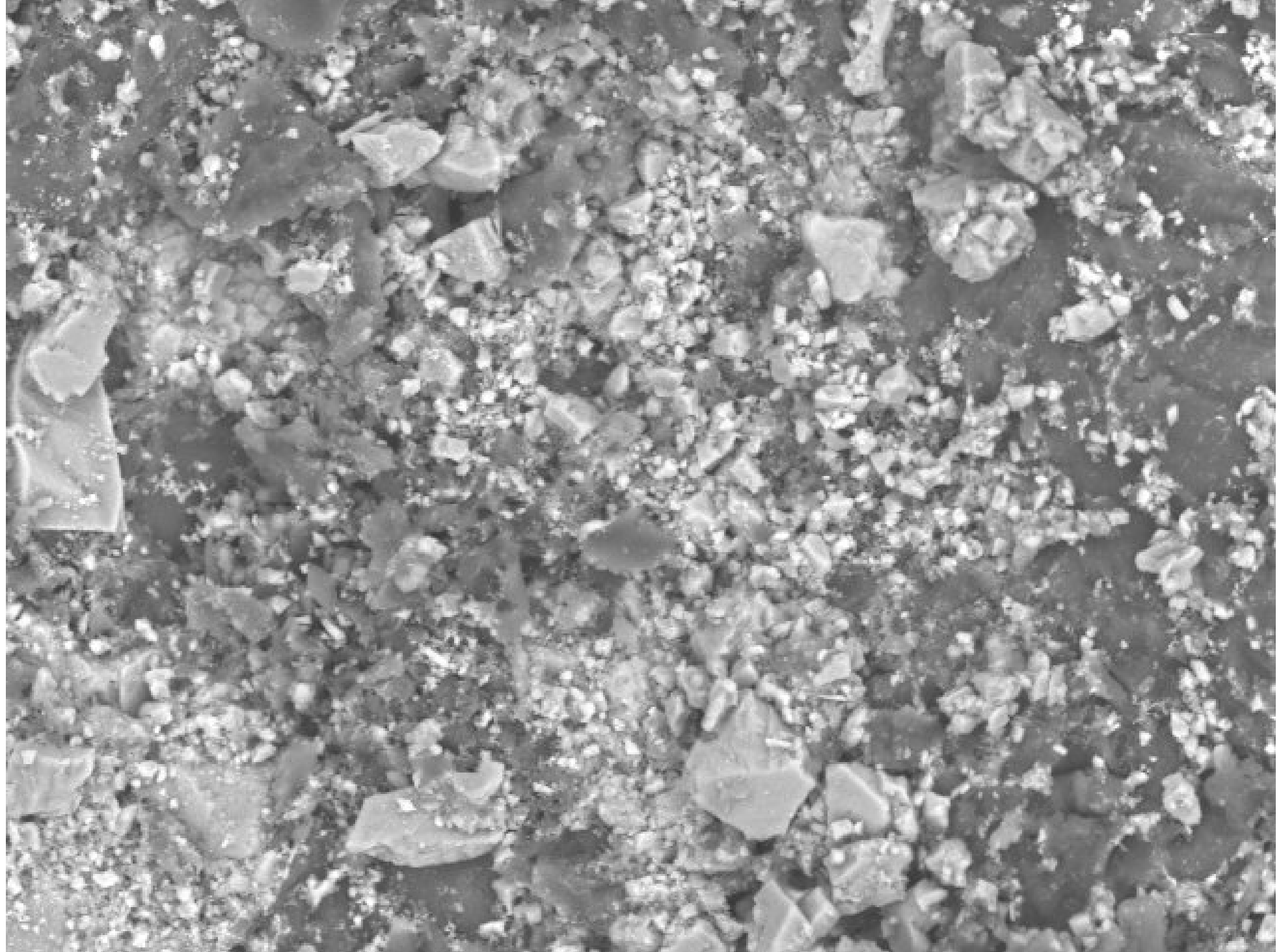
14:40

HL

D6.6

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

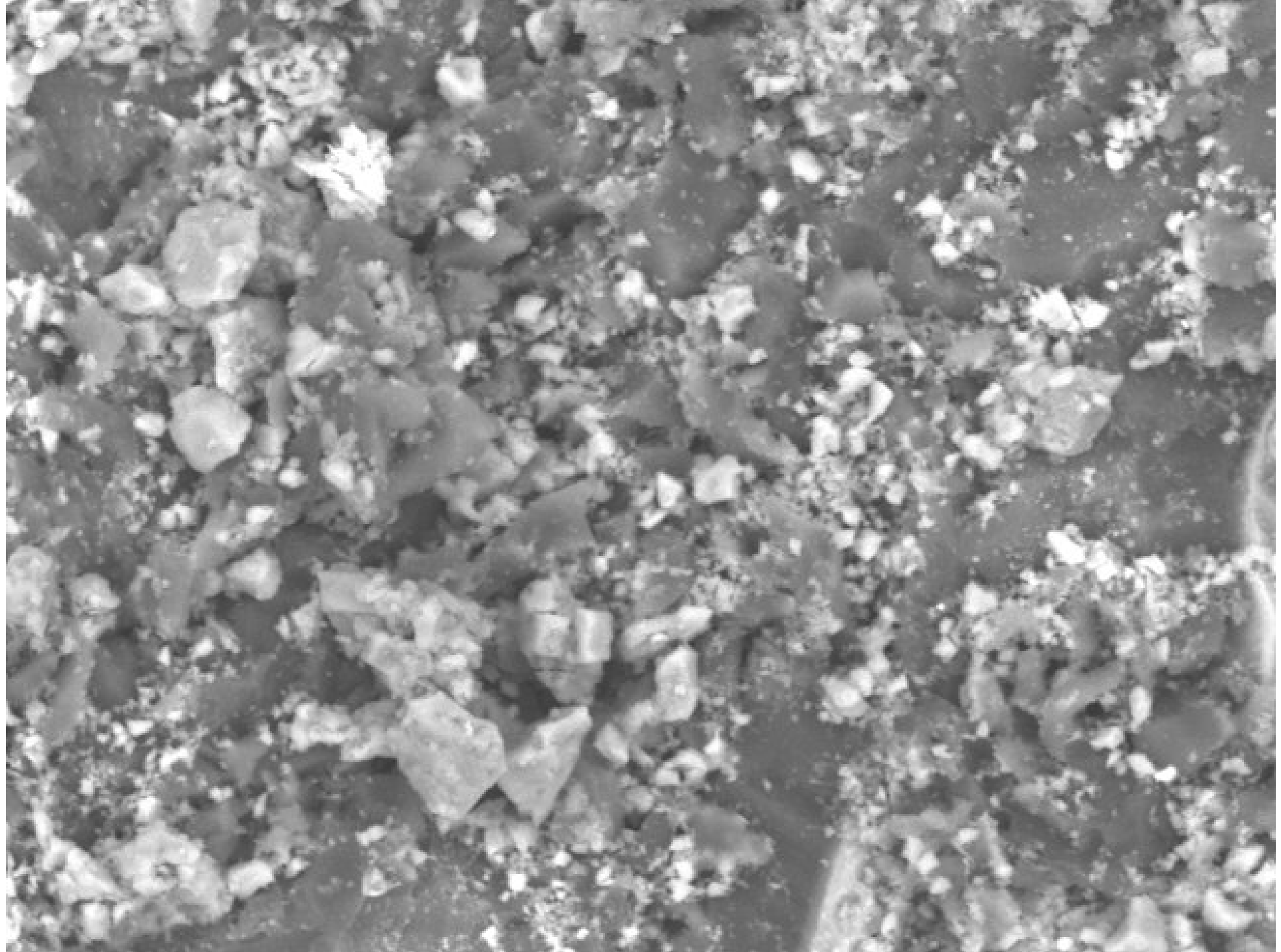
14:41

HL

D6.6

x1.2k

50 um



DEMat-UFRN

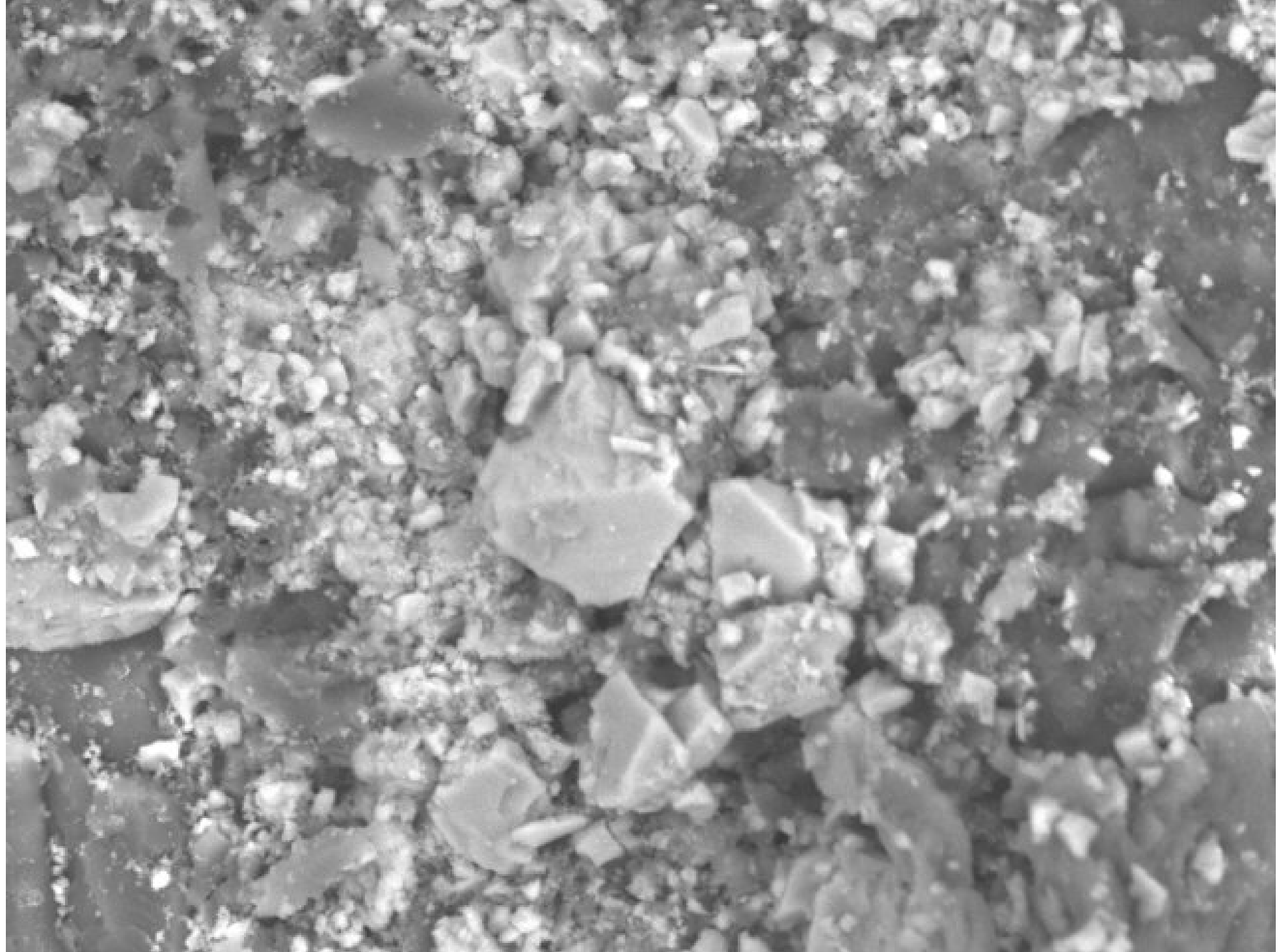
2014/04/08

14:41 HL

D6.6

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN

2014/04/08

14:42

HL

D6.6

×2.0k

30 um



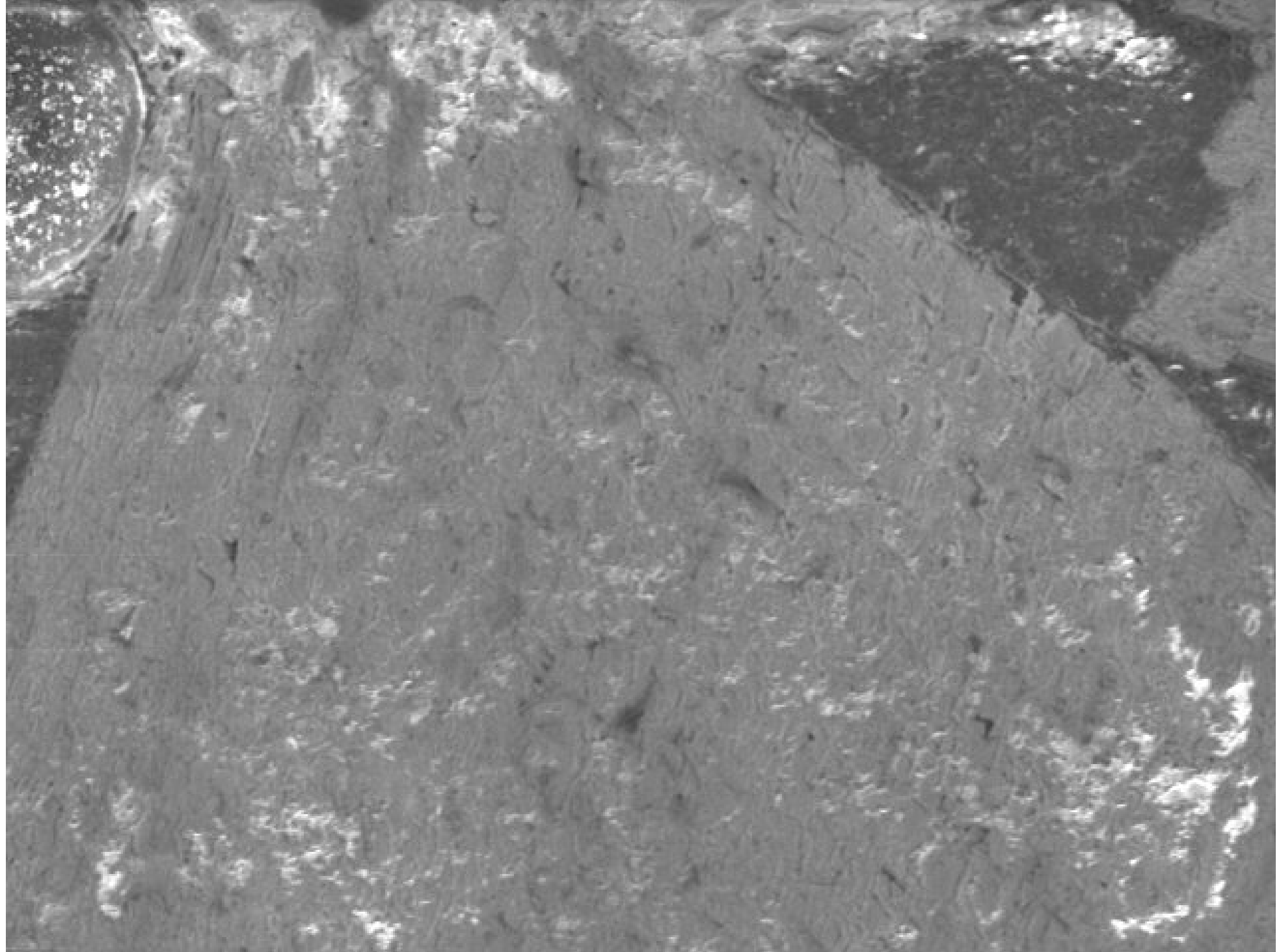
DEMat-UFRN **TBR-4-C**

2014/04/16

15:07 H

D11.7 x200

500 um



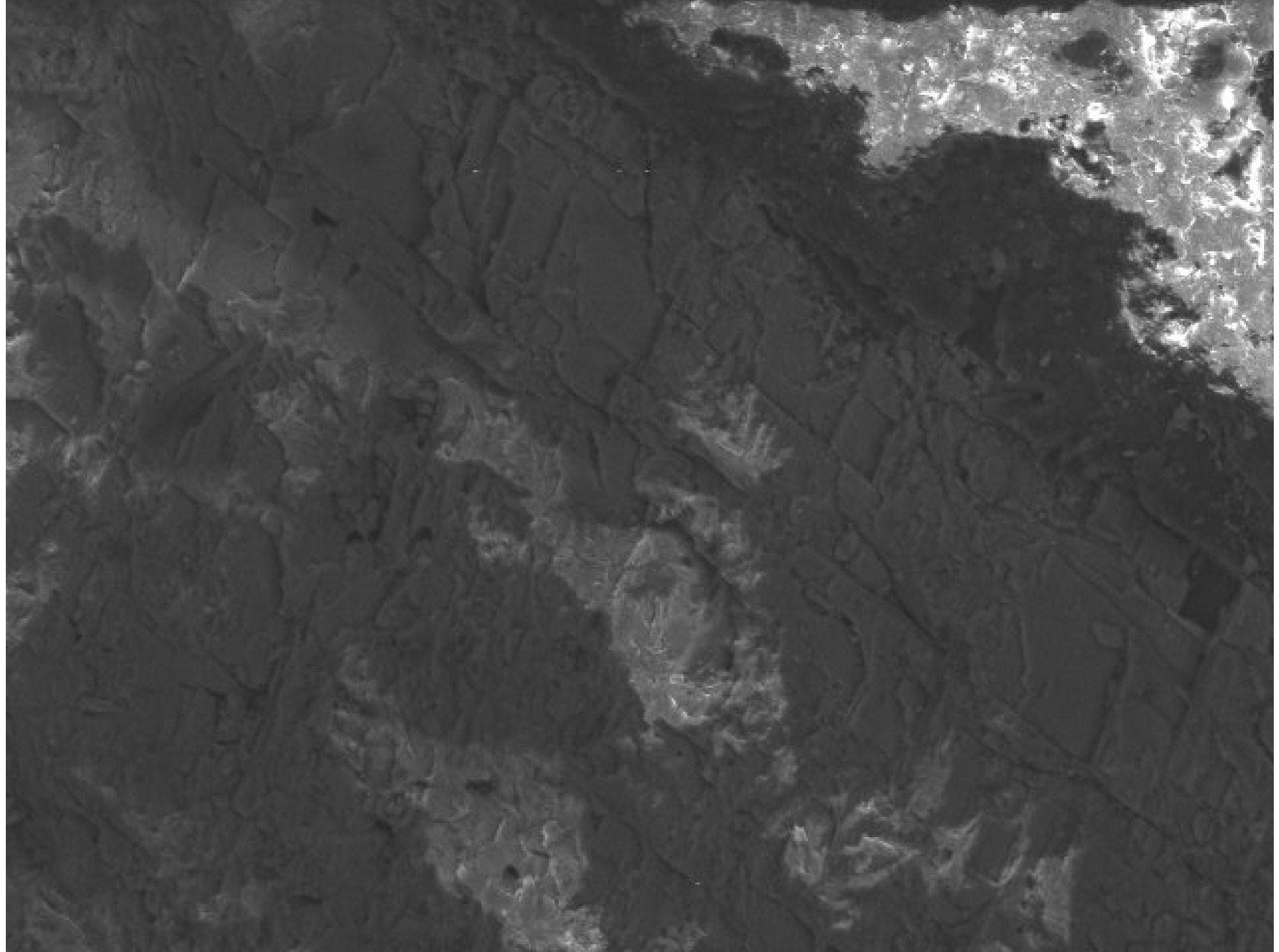
DEMat-UFRN

2014/04/16

15:08 H

D11.7 x300

300 um



DEMat-UFRN

2014/04/16

15:13 N

D11.4 x1.0k

100 um



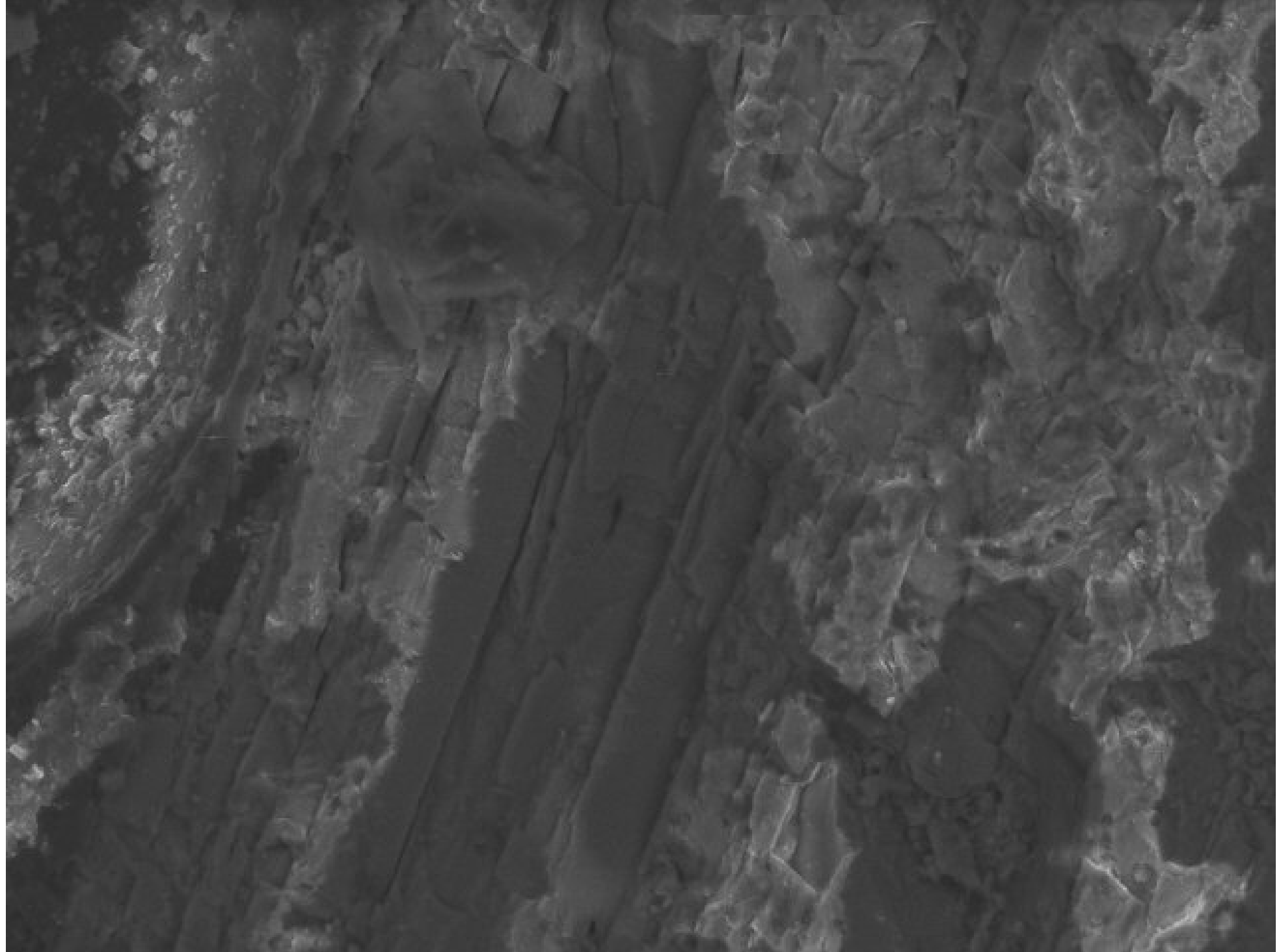
DEMat-UFRN

2014/04/16

15:10 N

D11.4 x1.5k

50 um



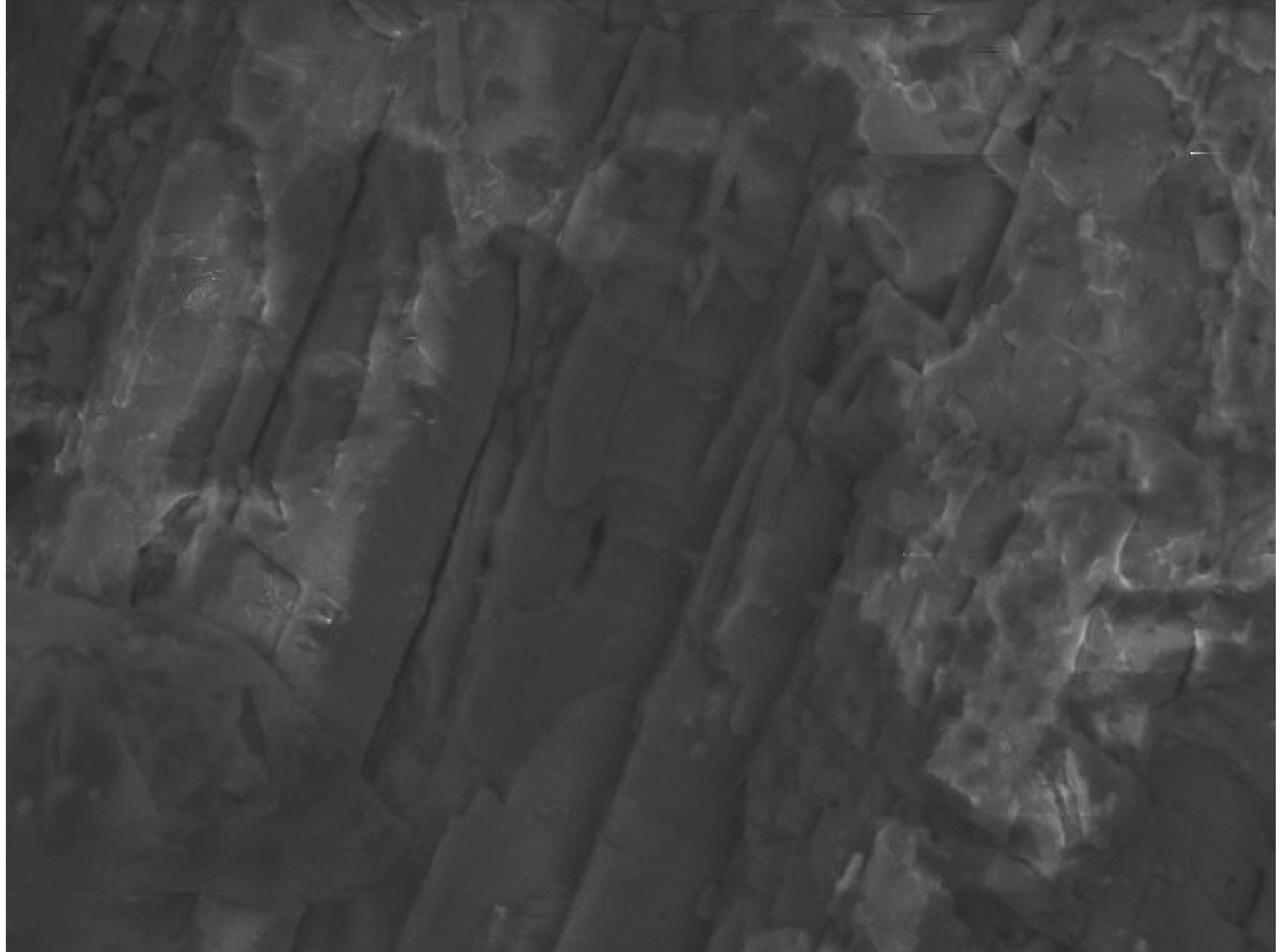
DEMat-UFRN

2014/04/16

15:11 N

D11.4 x1.5k

50 um



DEMat-UFRN

2014/04/16

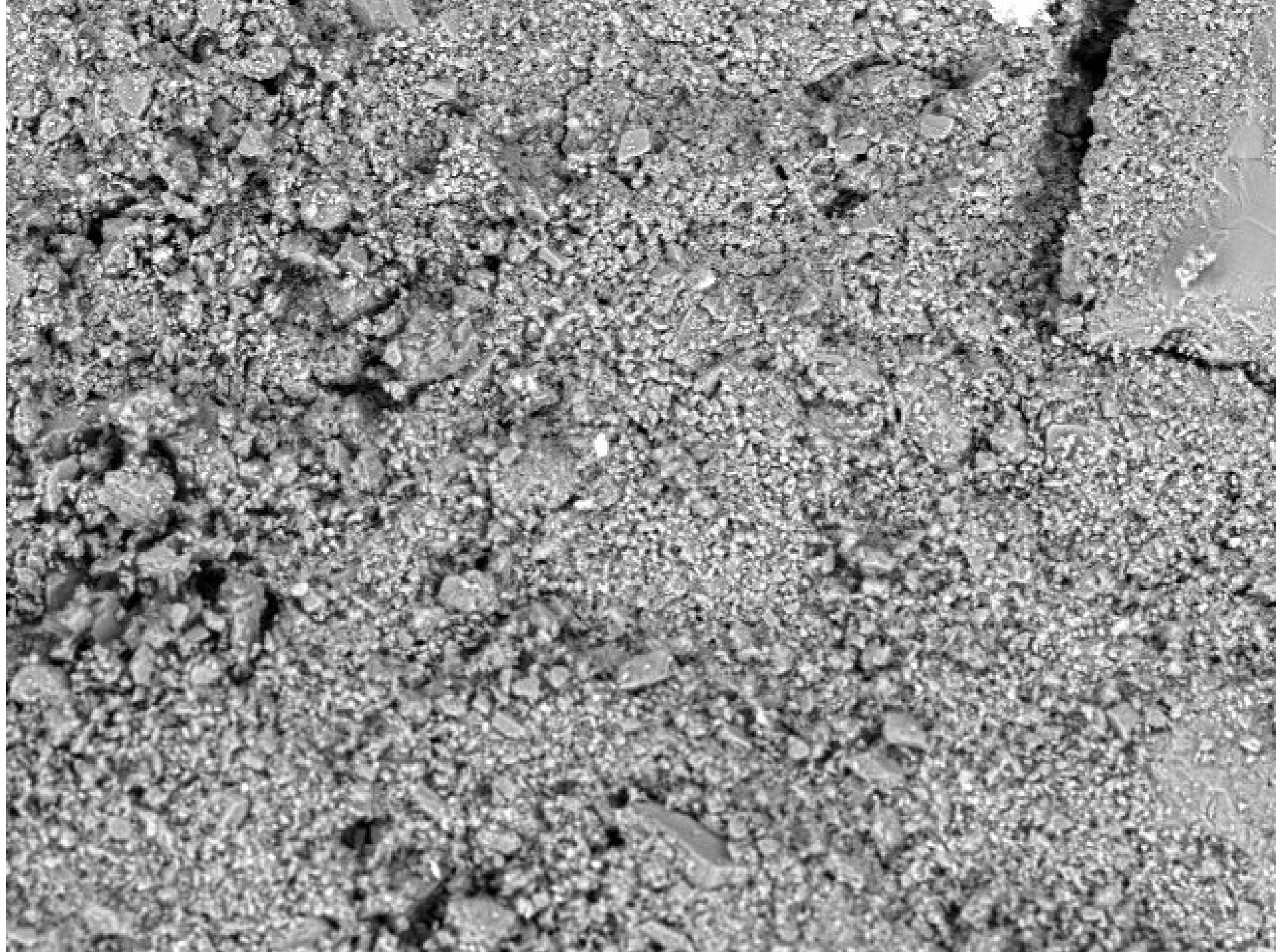
15:12 N

D11.4 x2.5k

30 um



DEMat-UFRN **TBR-4-CAM** 2014/04/16 15:16 H D6.0 x150 500 um



DEMat-UFRN

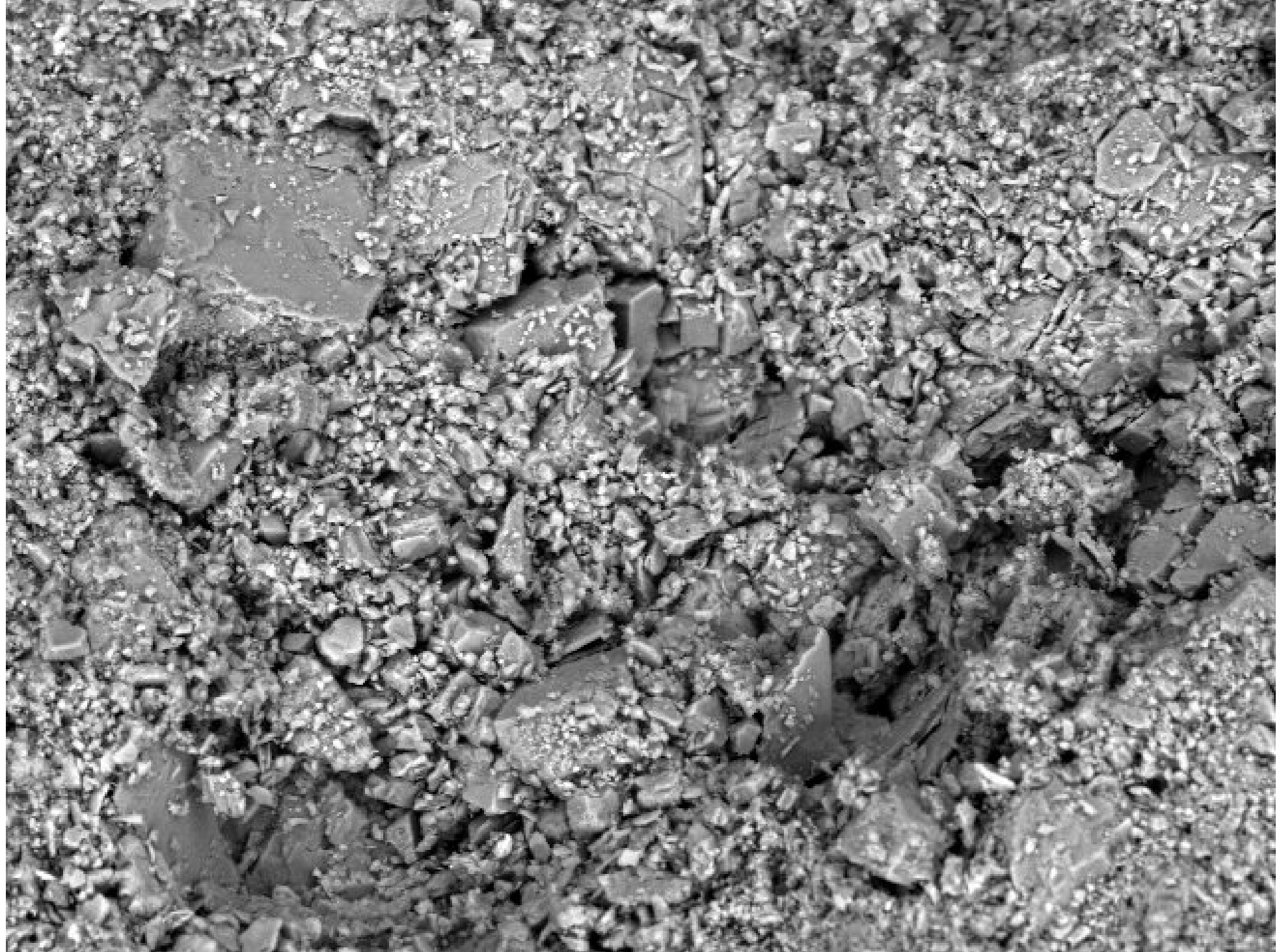
2014/04/16

15:17 H

D6.3

x500

200 um



DEMat-UFRN

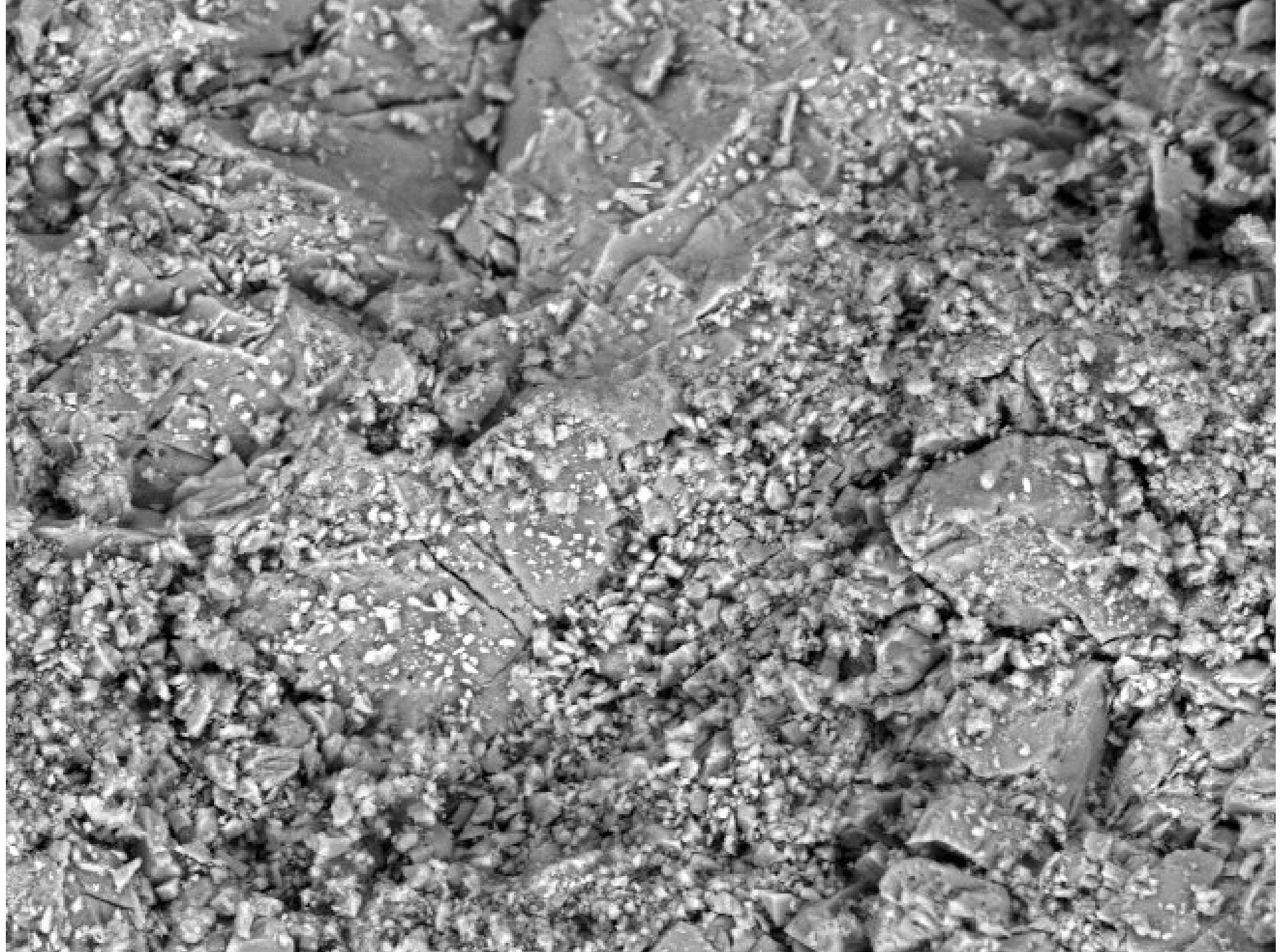
2014/04/16

15:18 H

D6.5

×800

100 um



DEMat-UFRN

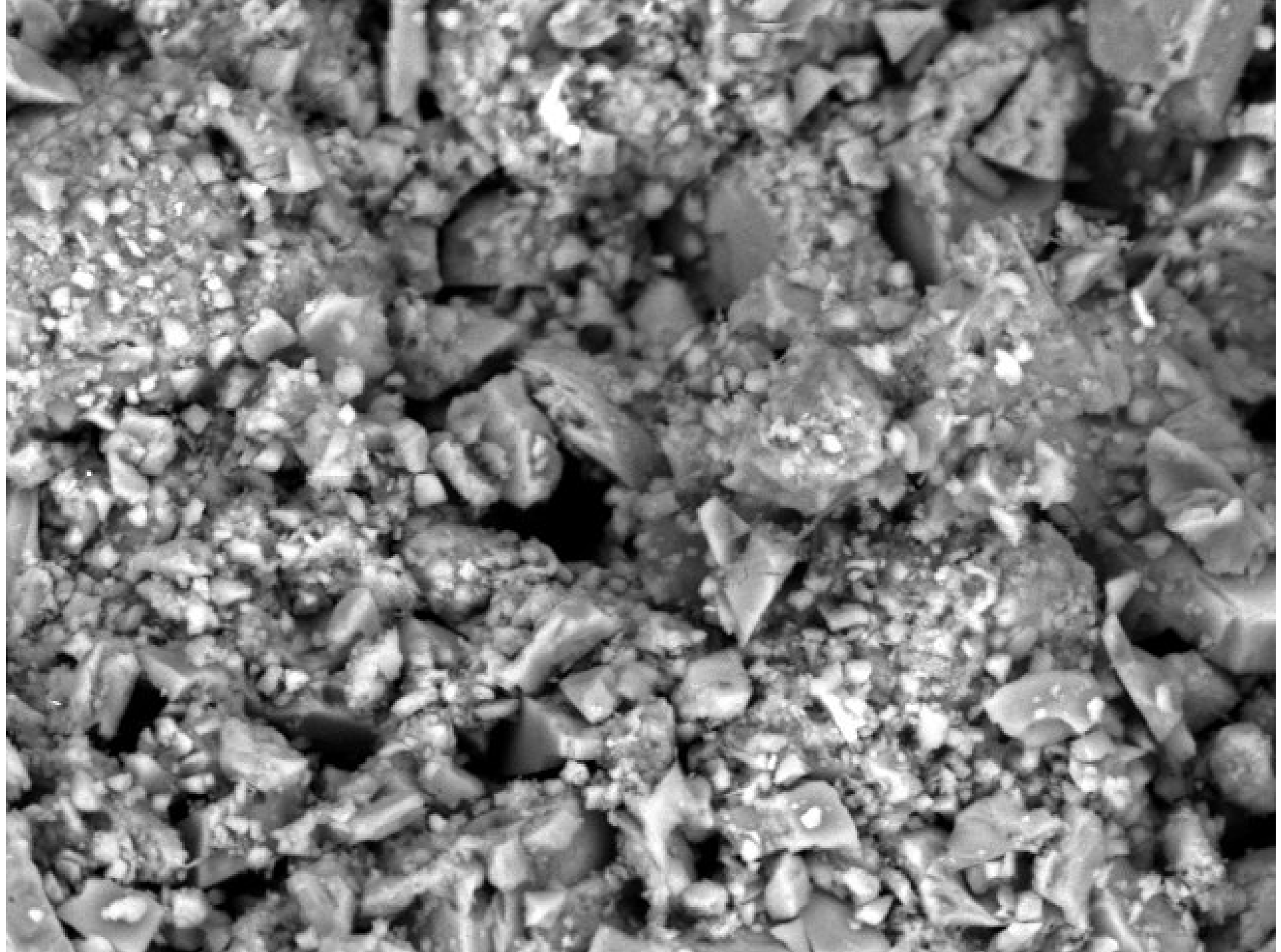
2014/04/16

15:20 H

D6.5

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

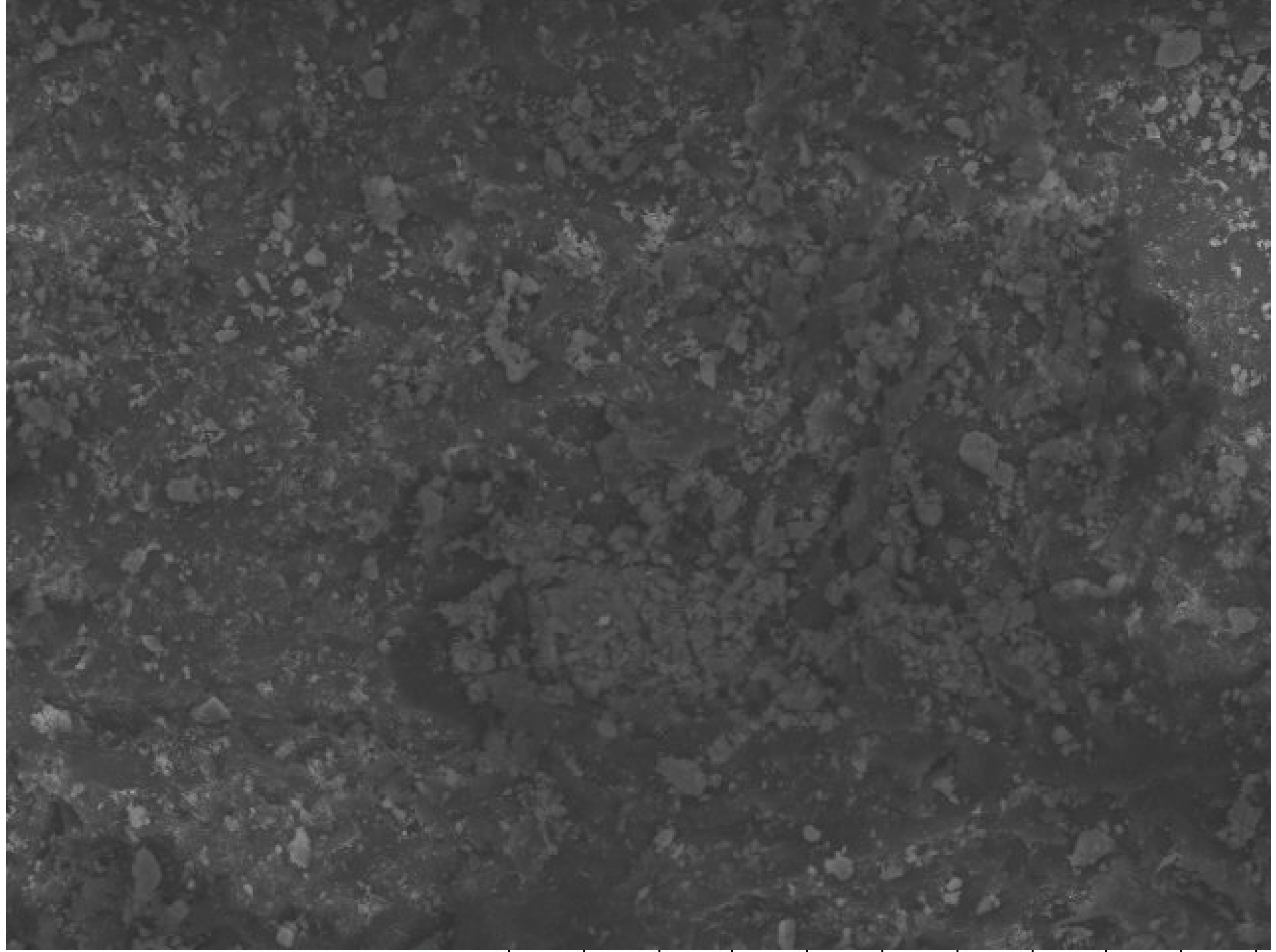
2014/04/16

15:22 H

D6.5

×2.0k

30 um



DEMat-UFRN TBV-3-A-FRA 2014/04/16 14:20 N D7.2 x1.0k 100 um



DEMat-UFRN

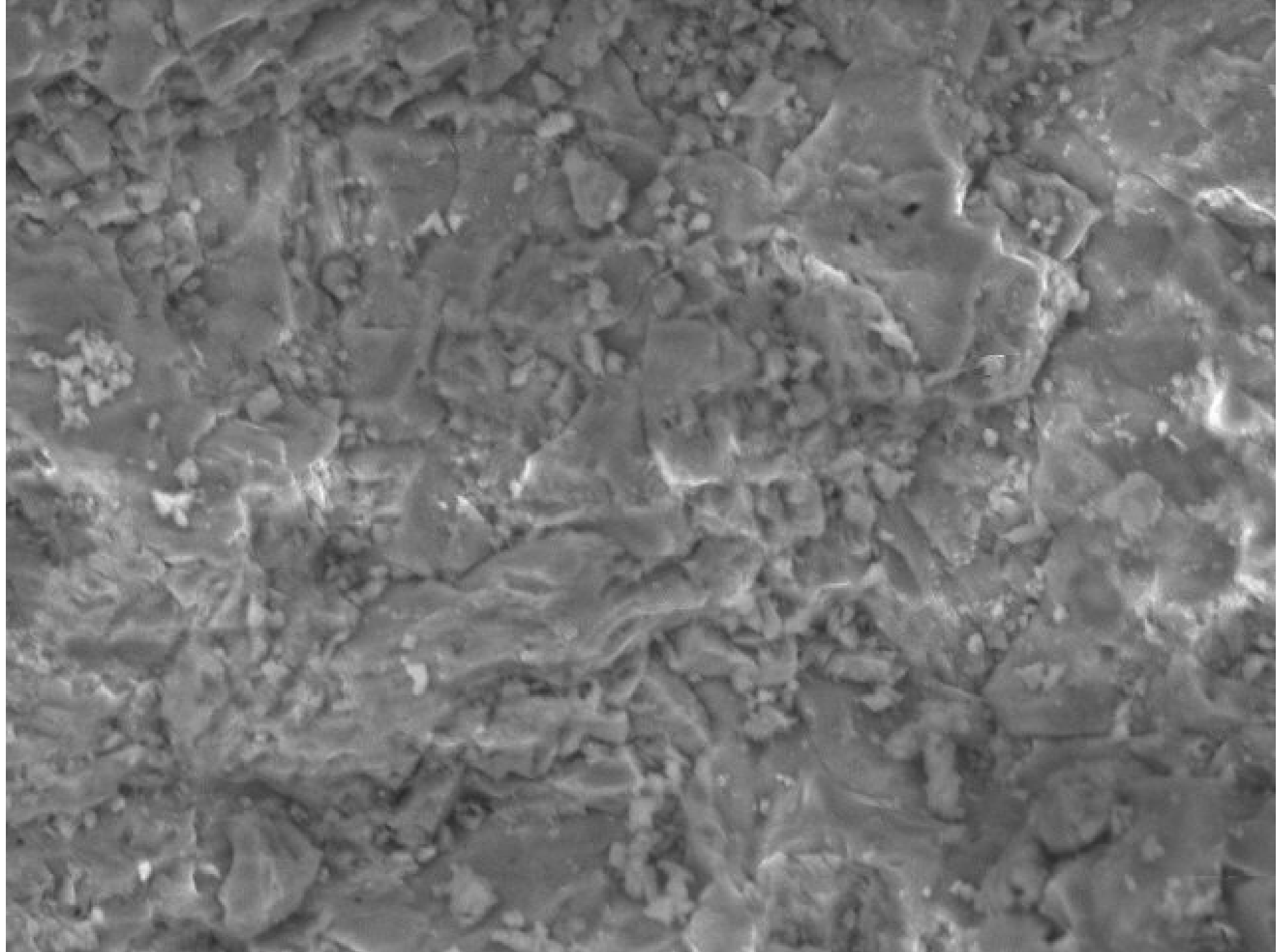
2014/04/16

14:22 H

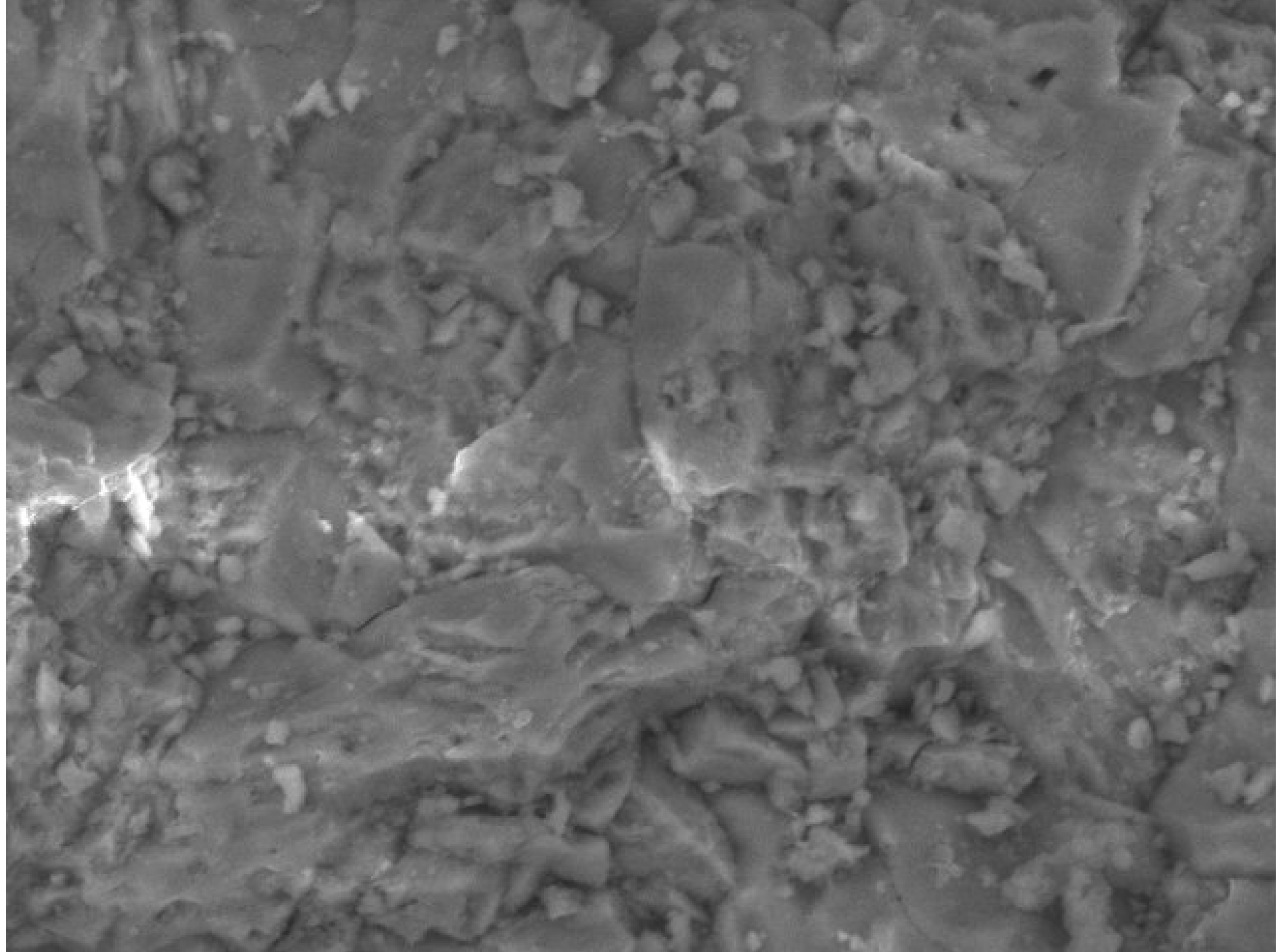
D7.1

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3A-ZD1** 2014/04/16 14:29 N D7.3 x2.0k 30 um



DEMat-UFRN

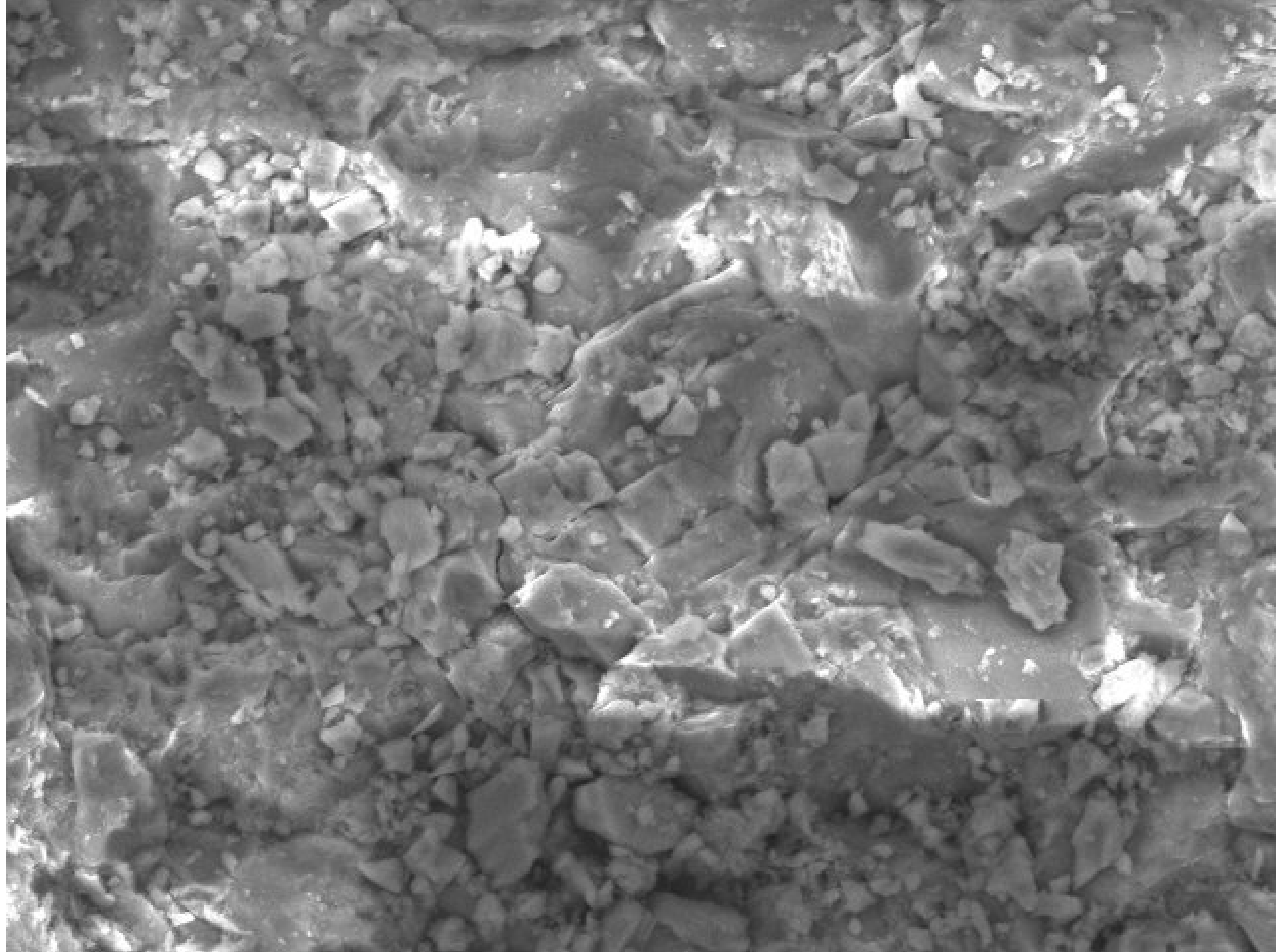
2014/04/16

14:31 N

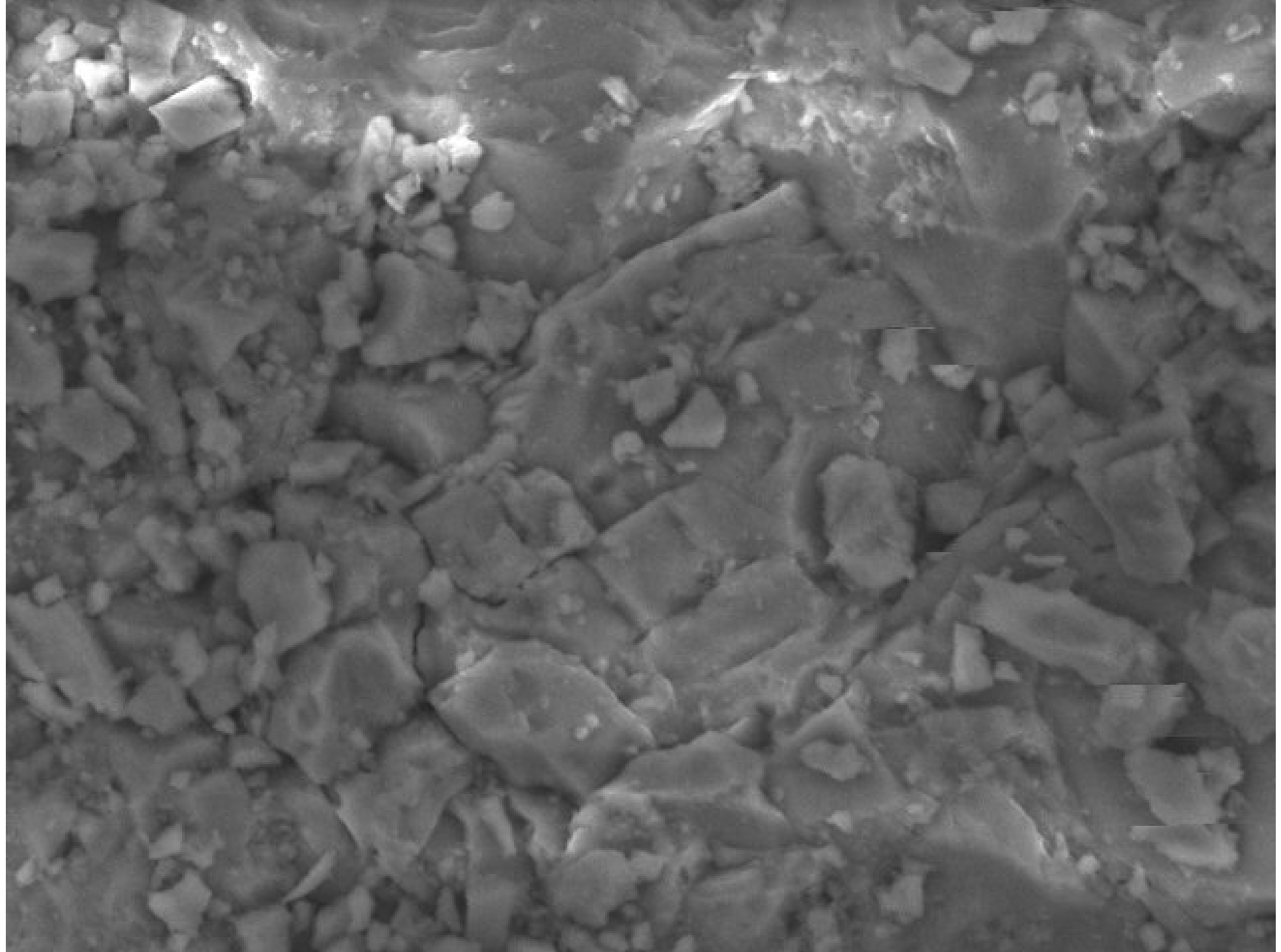
D7.2

x3.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3A-ZD2** 2014/04/16 14:45 N D7.0 x2.0k 30 um



DEMat-UFRN

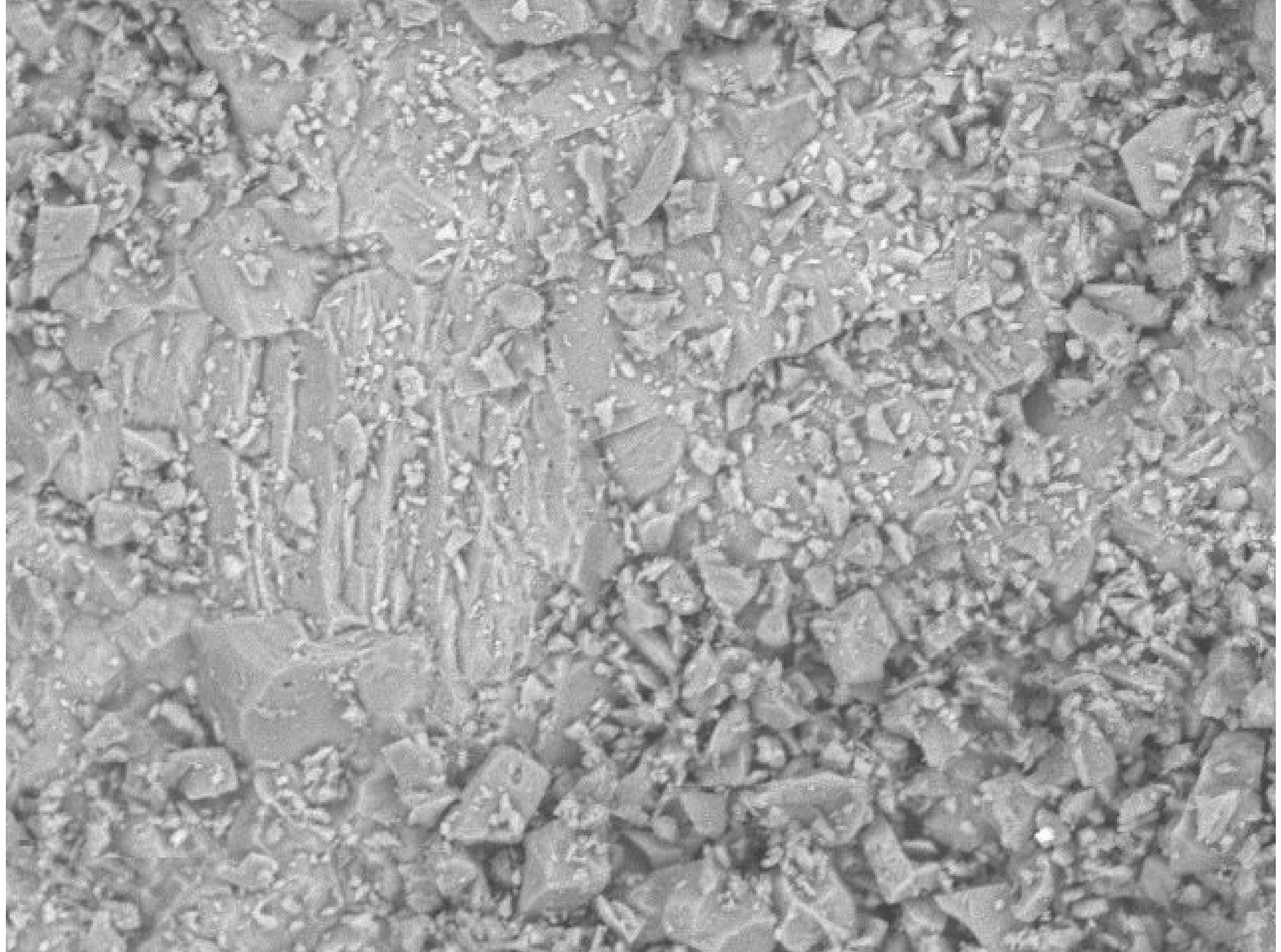
2014/04/16

14:46 N

D7.0

x3.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3-B**

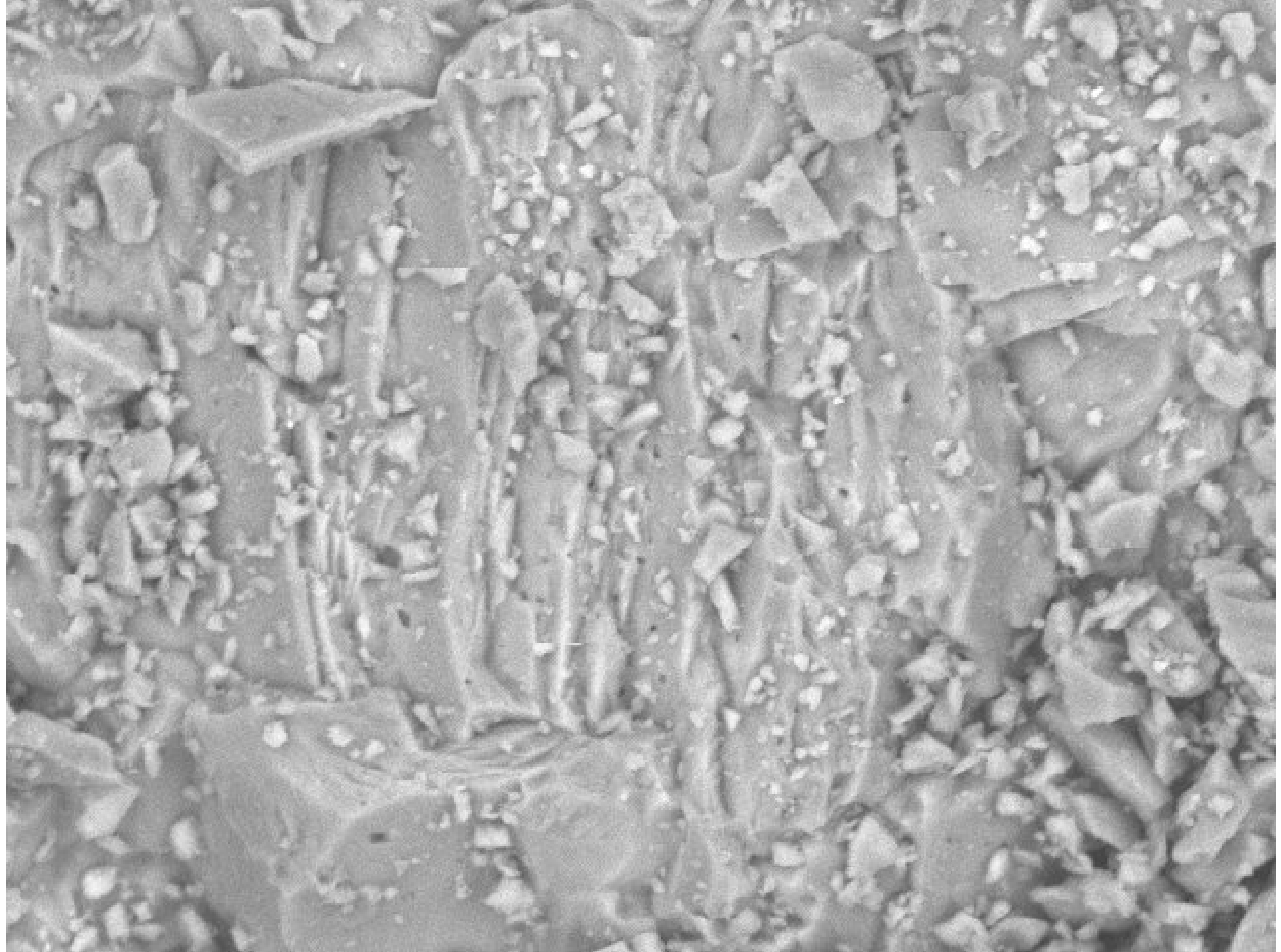
2014/04/16

14:48 N

D8.2

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

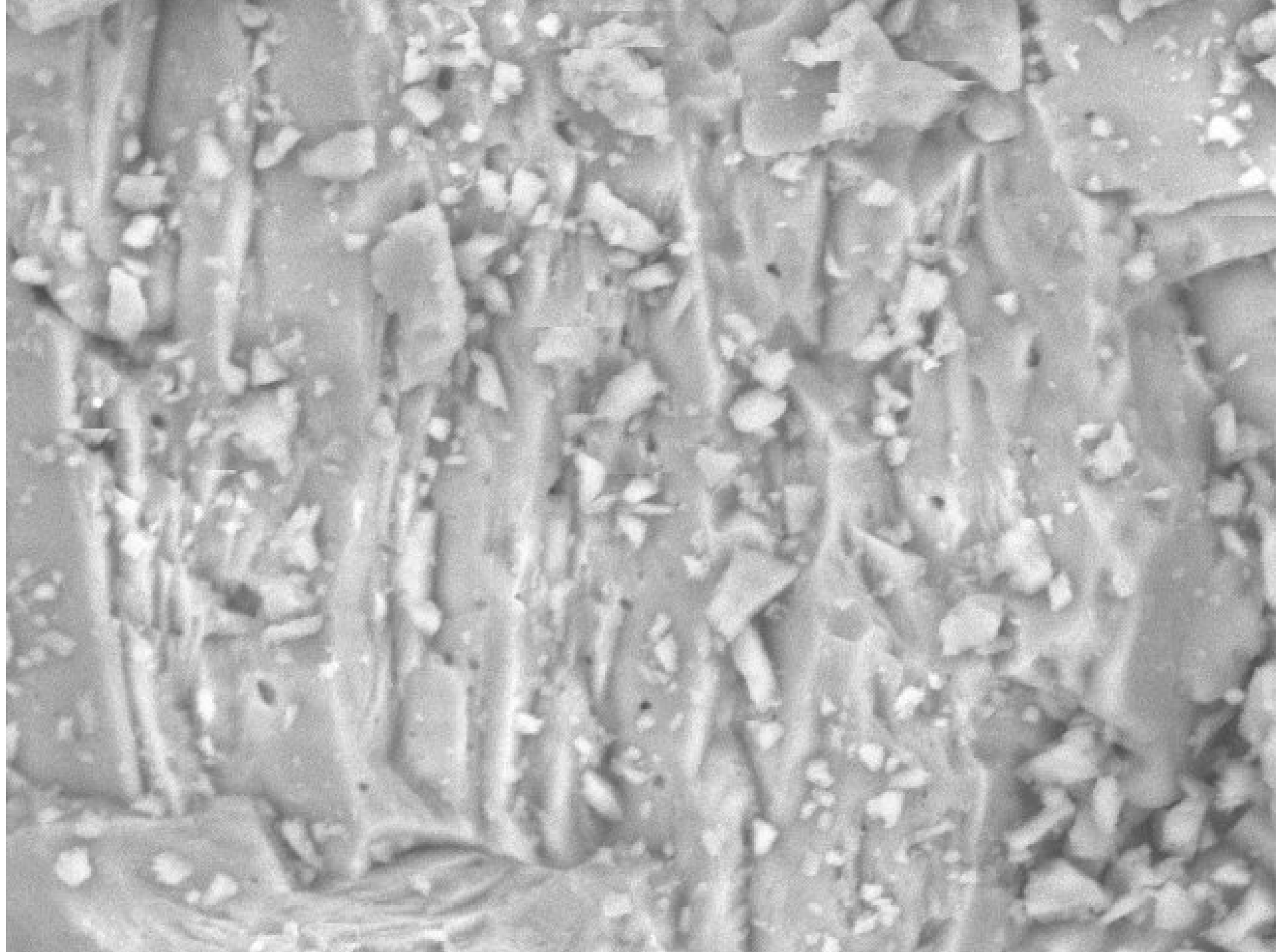
2014/04/16

14:50 N

D8.2

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN

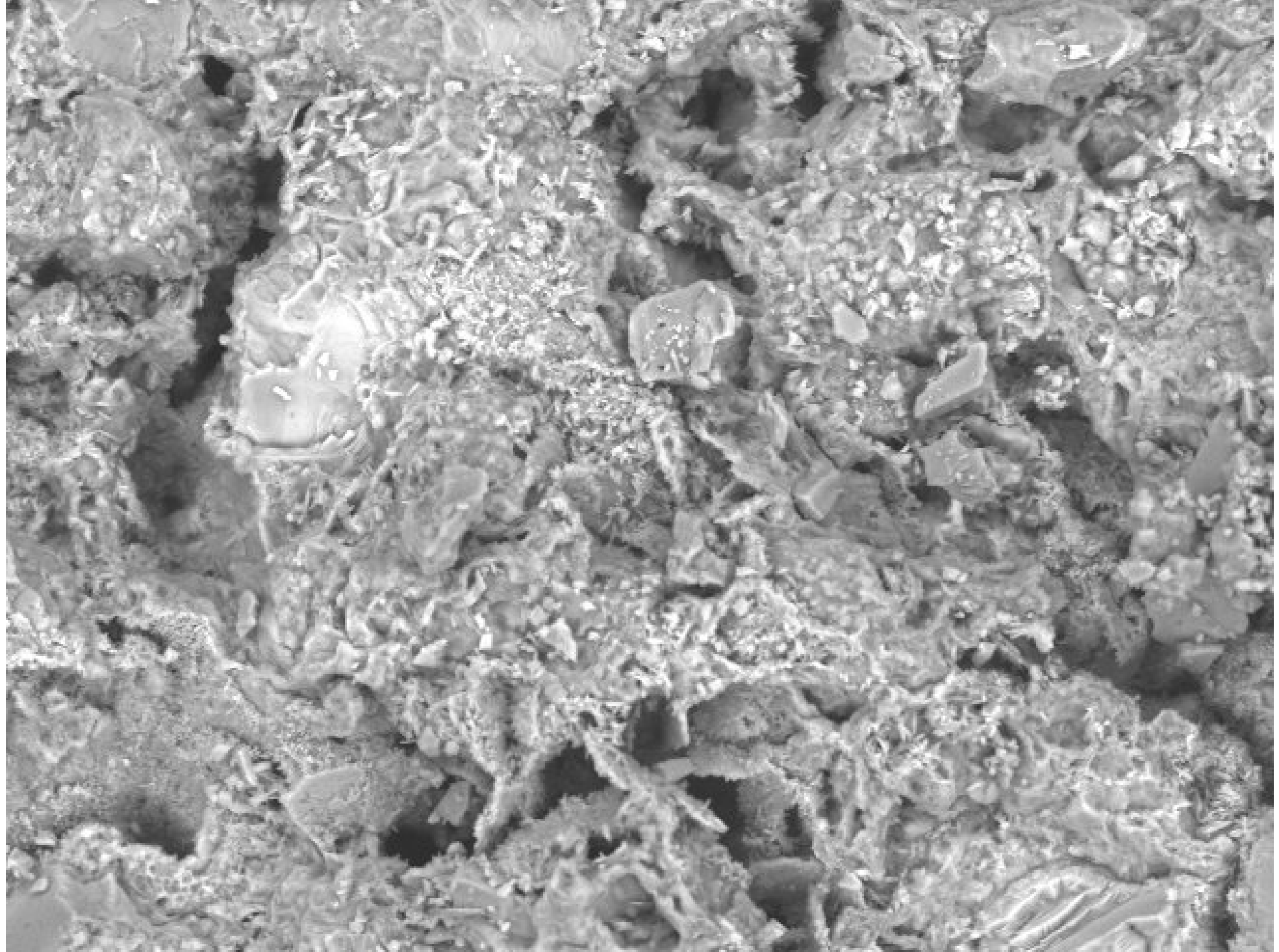
2014/04/16

14:50 N

D8.2

x3.0k

30 um



DEMat-UFRNTBV-3-C

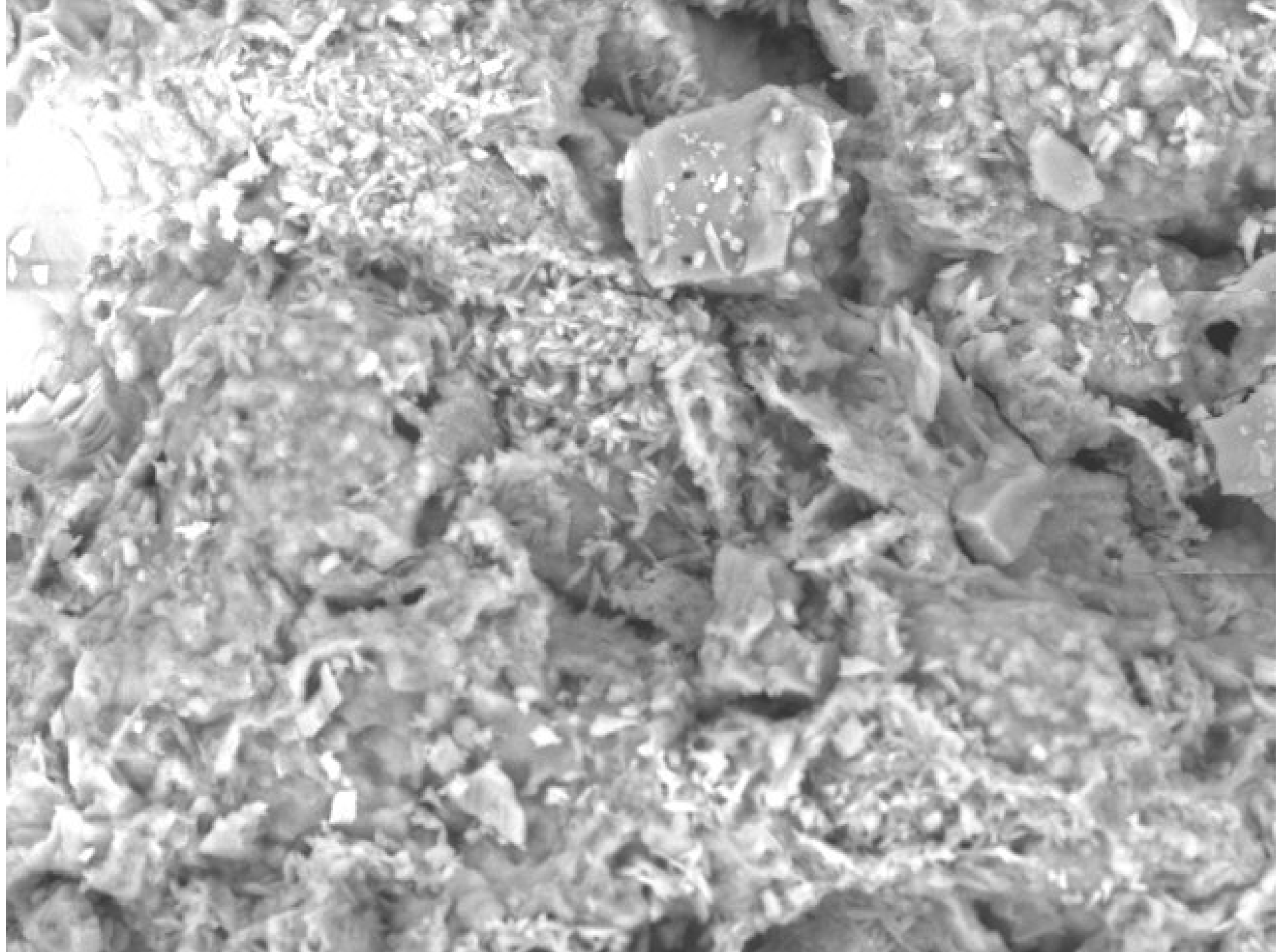
2014/04/16

14:52 H

D5.1

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

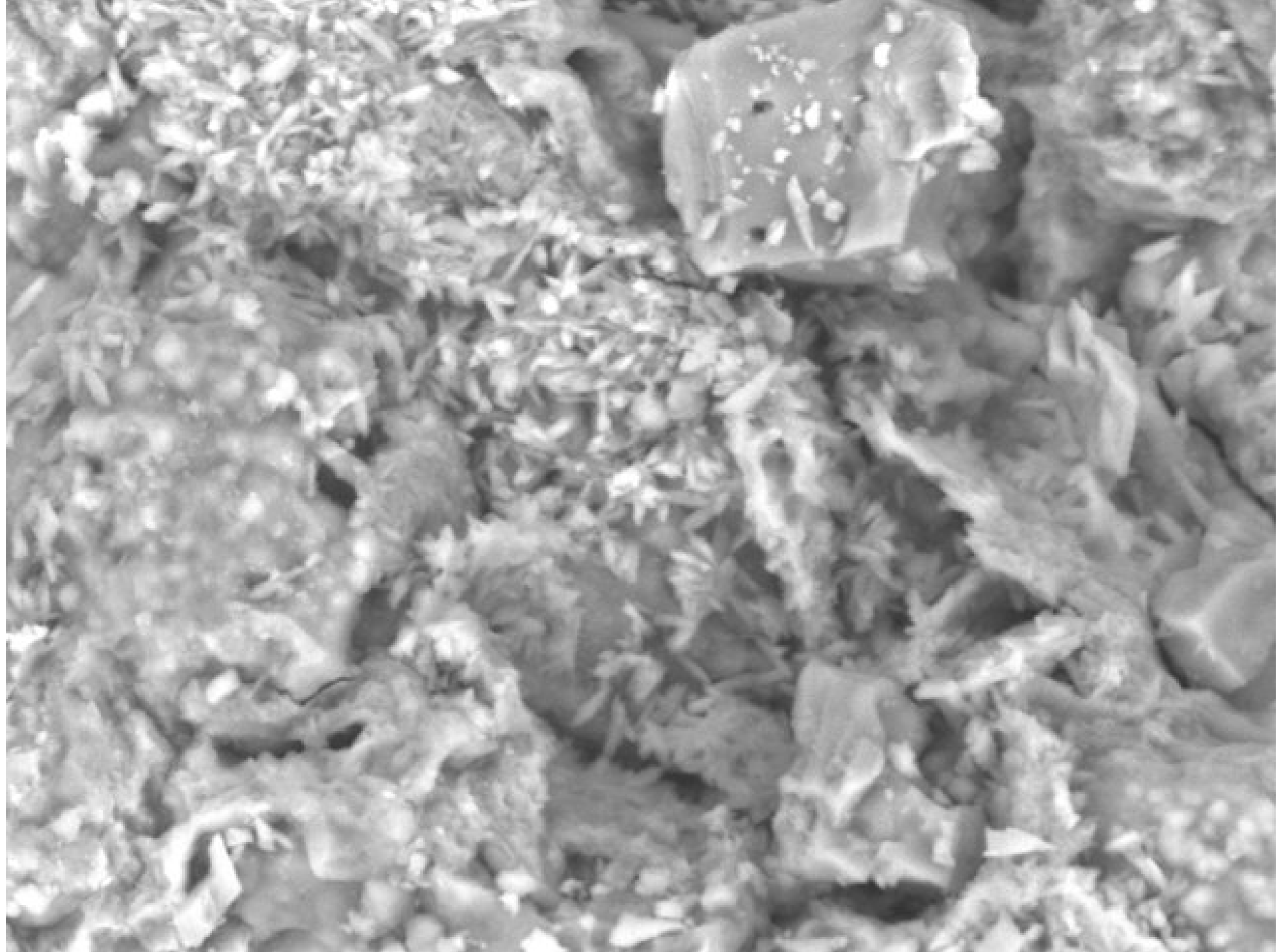
2014/04/16

14:52 H

D5.2

×2.0k

30 um



DEMat-UFRN

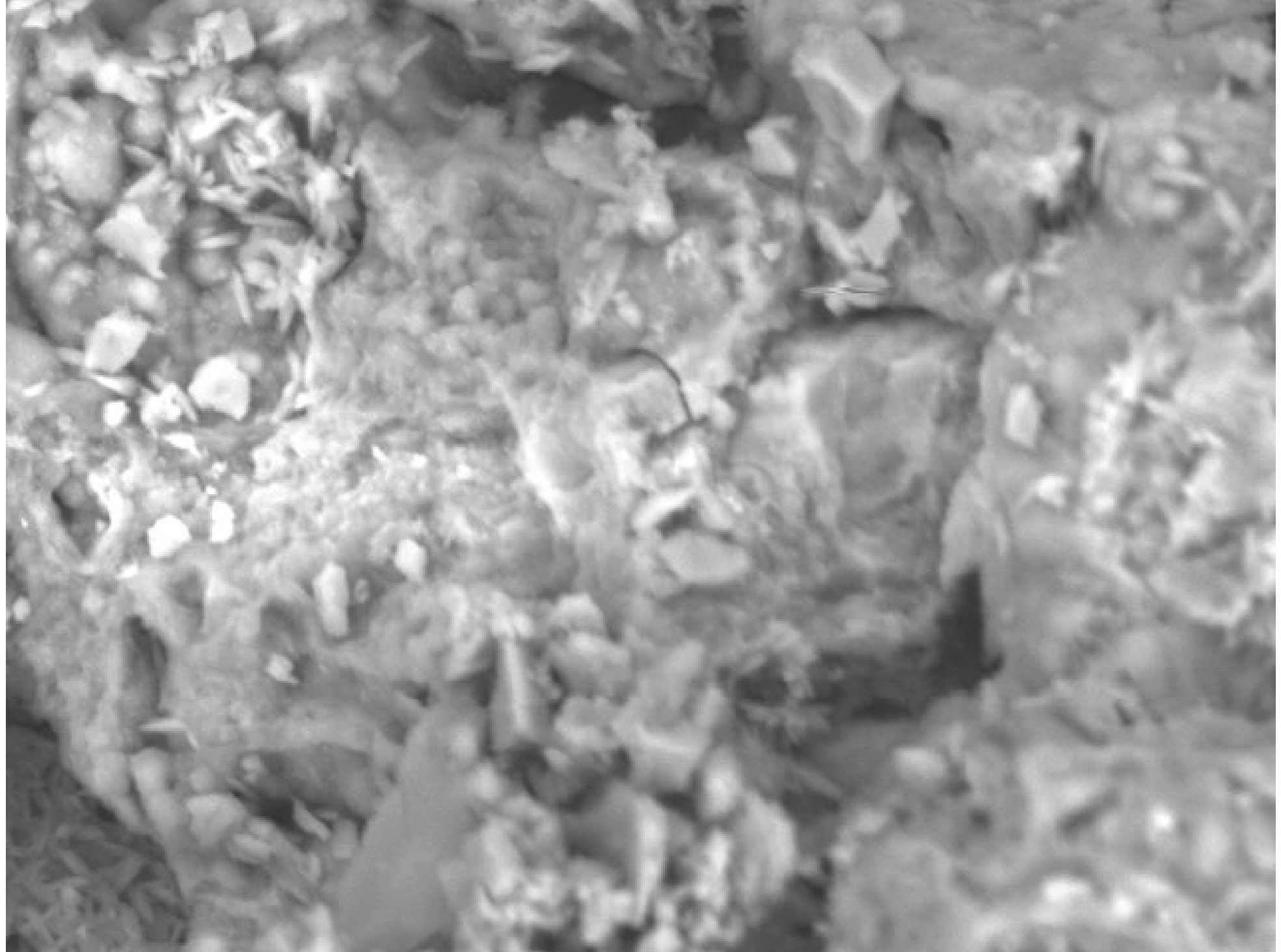
2014/04/16

14:53 H

D5.1

x3.0k

30 um



DEMat-UFRN

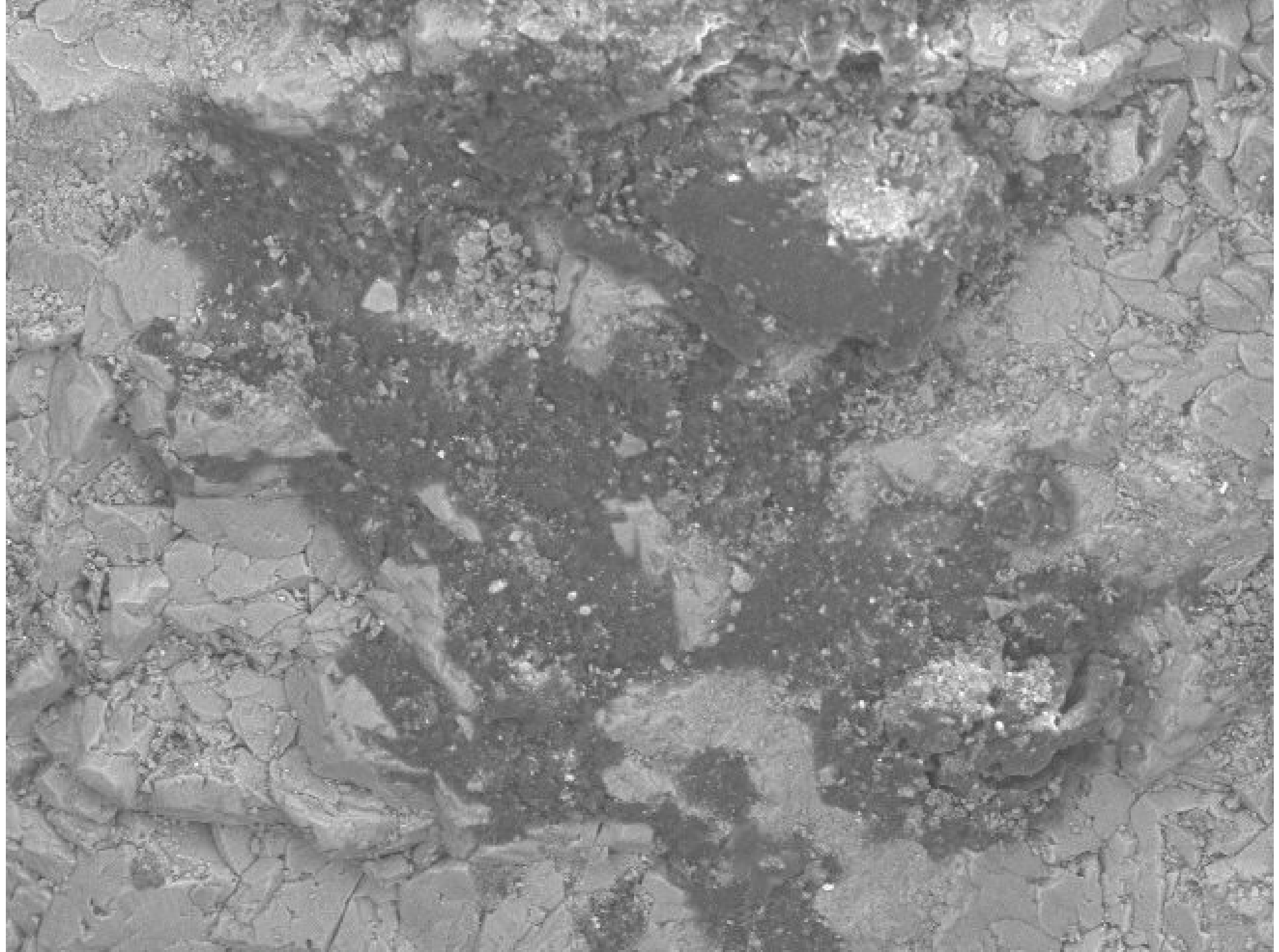
2014/04/16

14:53 H

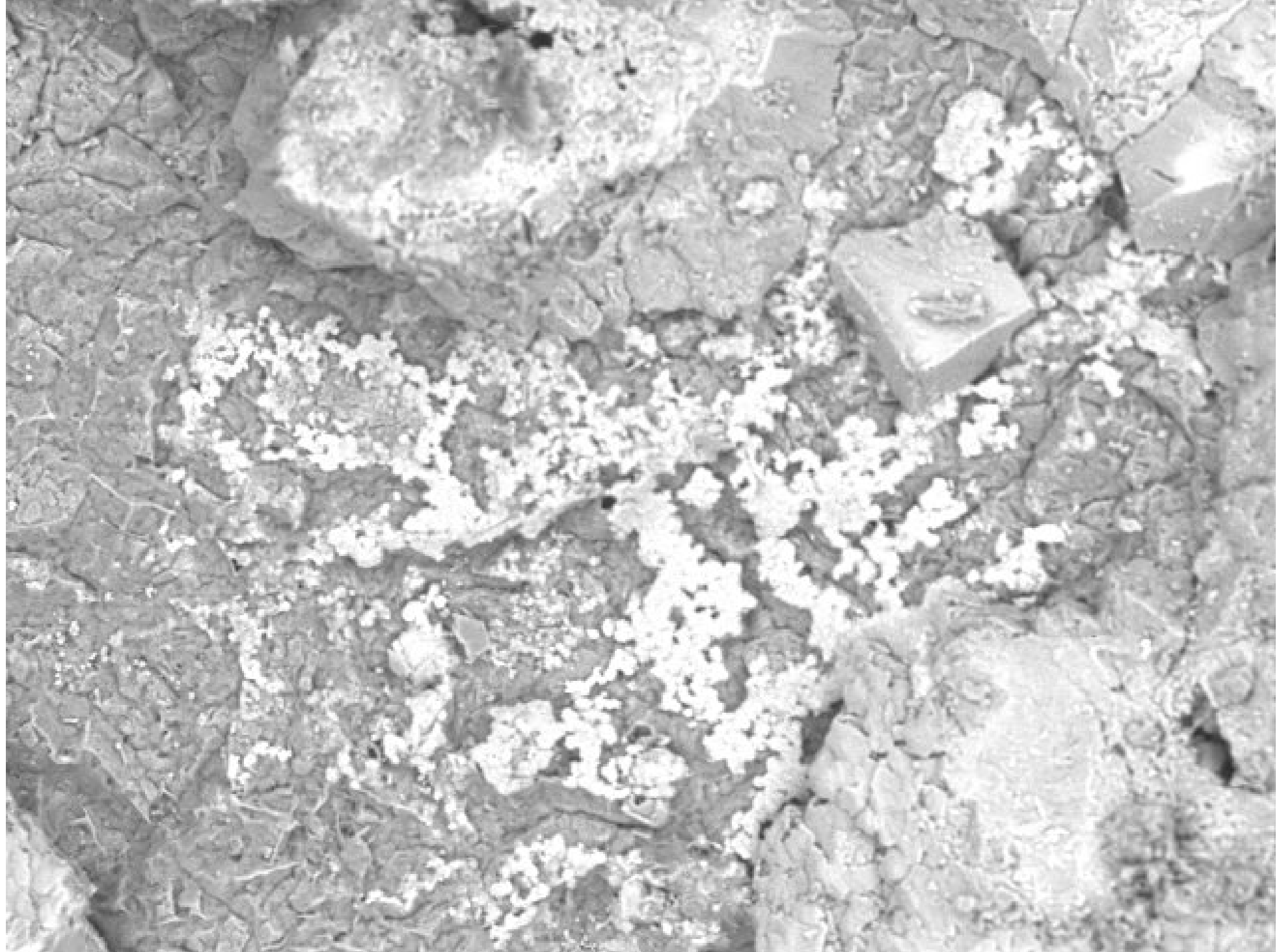
D5.2

x3.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-11-A** 2014/04/16 15:38 N D8.0 x500 200 um



DEMat-UFRN

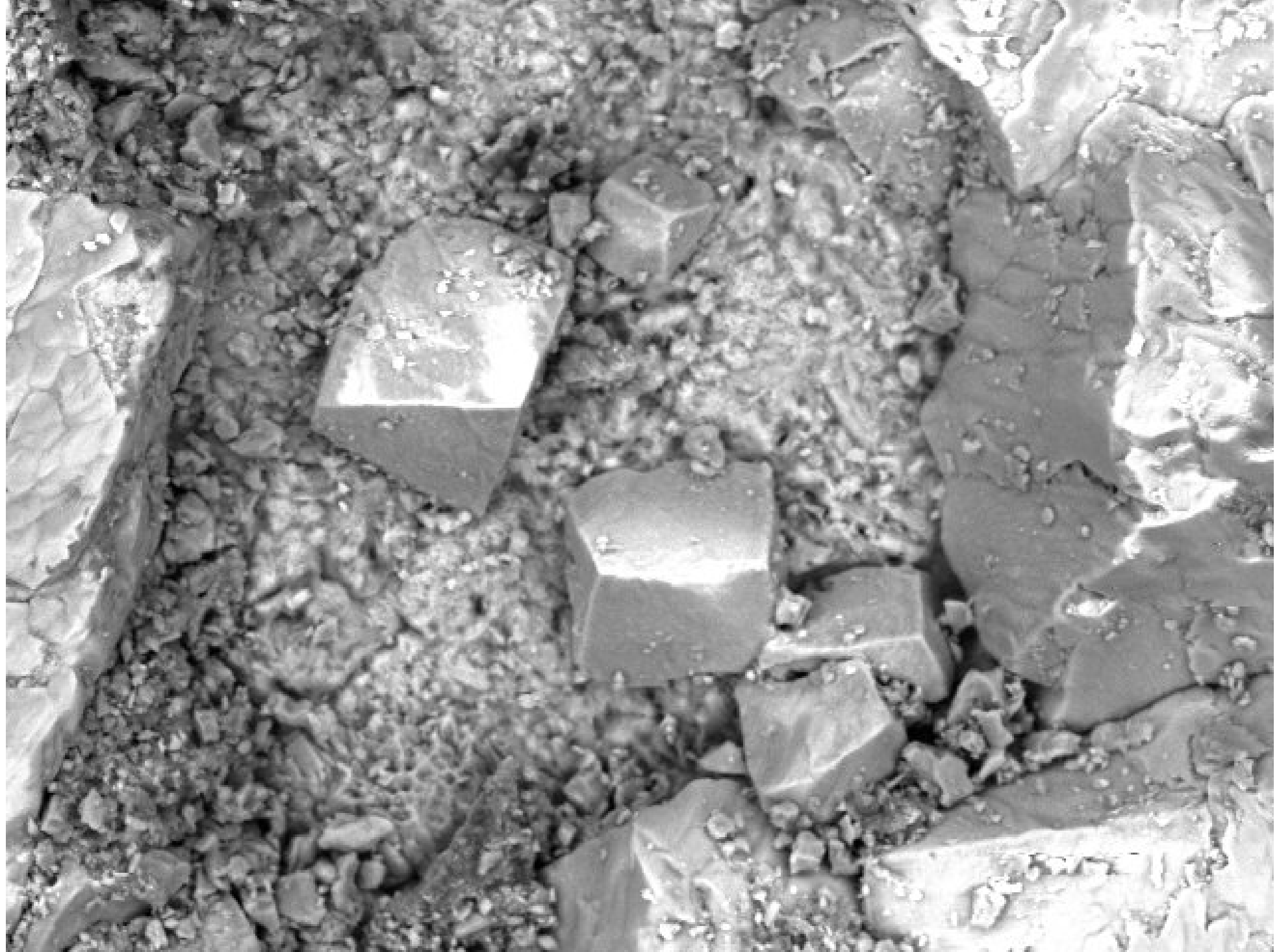
2014/04/16

15:41 H

D7.4

x500

200 um



DEMat-UFRN

2014/04/16

15:37 H

D7.7

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

2014/04/16

15:40 H

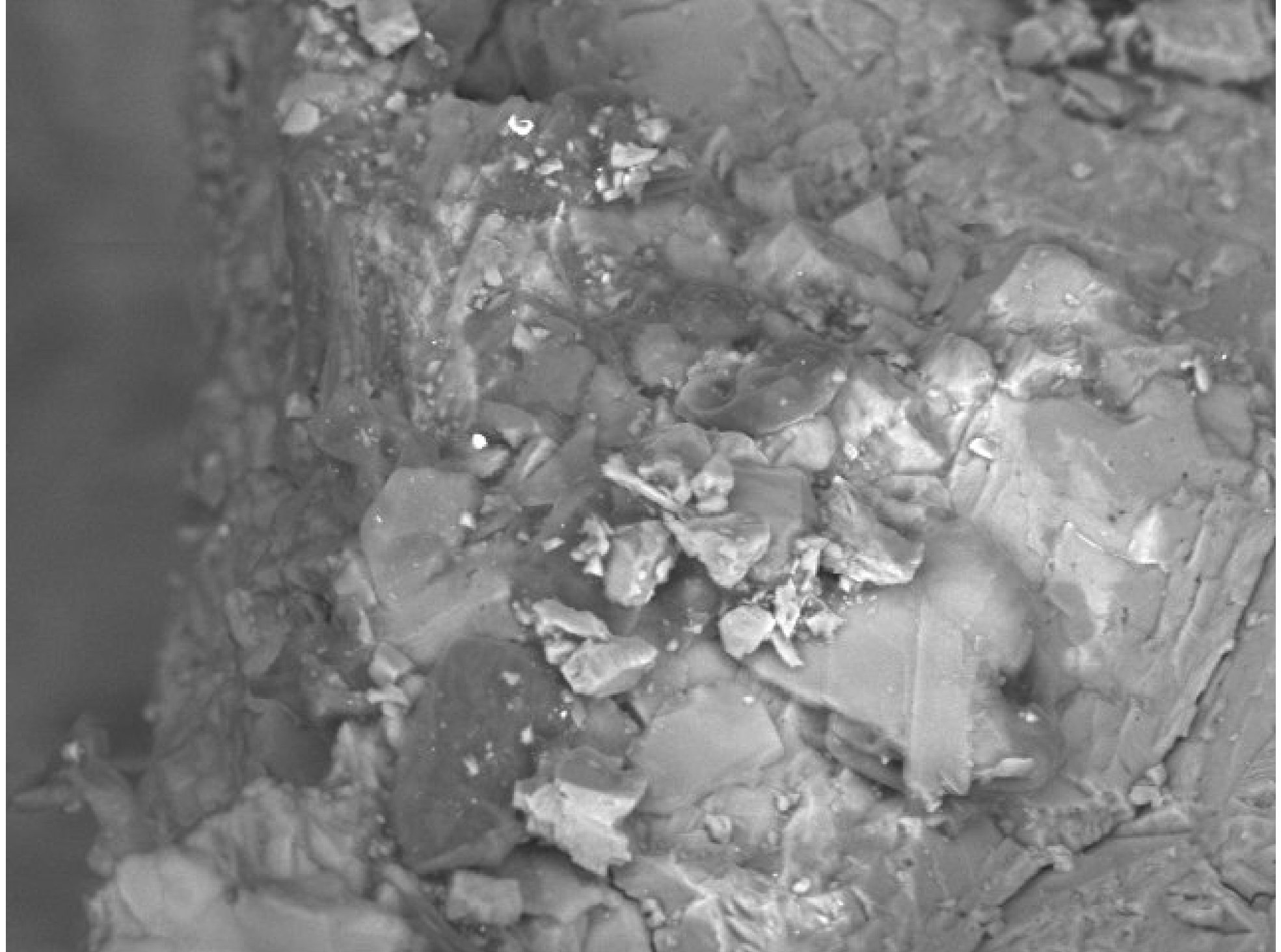
D7.8

x1.5k

50 um



DEMat-UFRN **TBV-11-B** 2014/04/16 15:42 H D7.7 x500 200 um



DEMat-UFRN

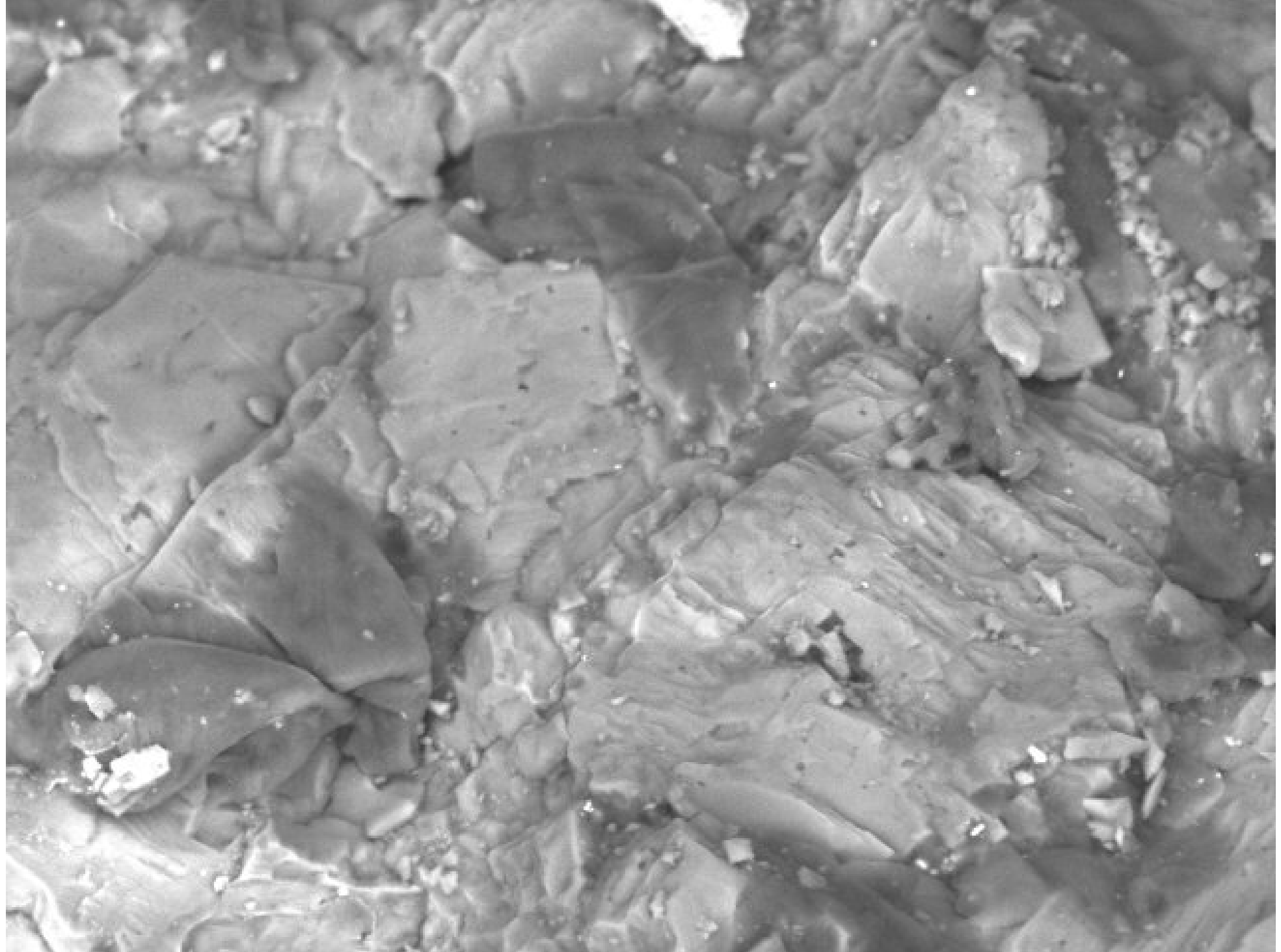
2014/04/16

15:47 H

D8.0

x1.2k

50 um



DEMat-UFRN

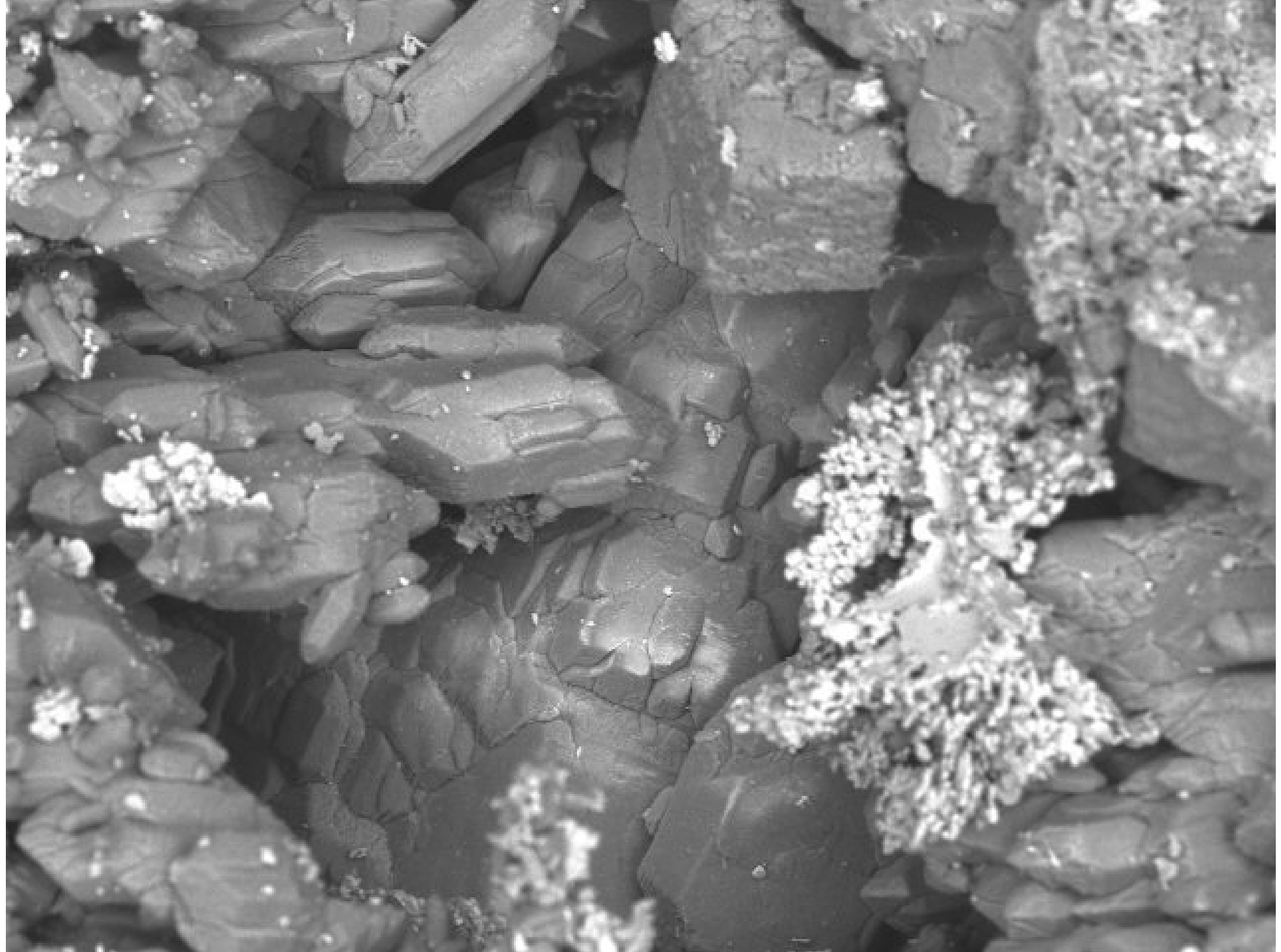
2014/04/16

15:46 H

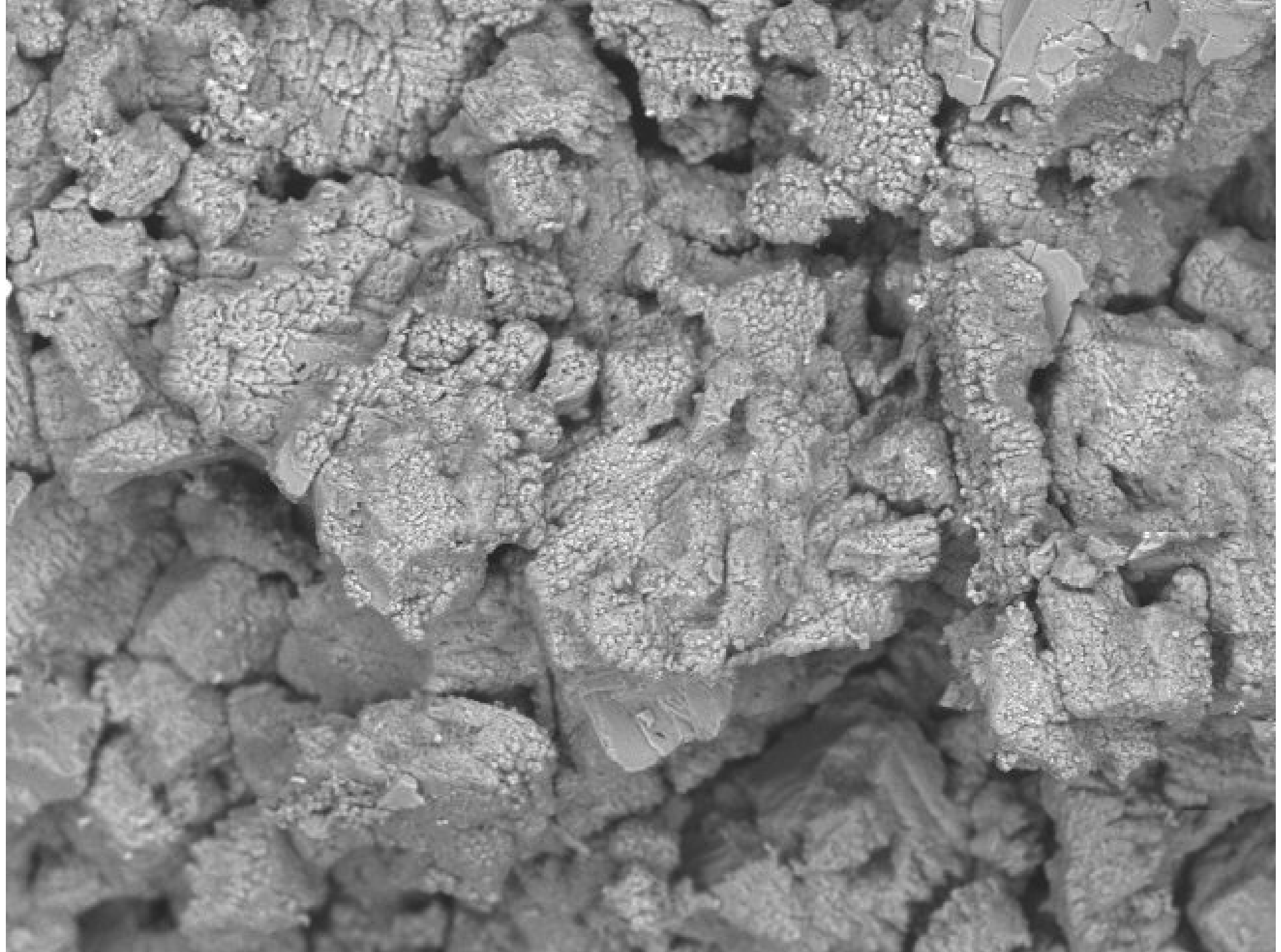
D7.7

x1.5k

50 um



DEMat-UFRN **TBV-11-C** 2014/04/16 15:49 H D8.9 x500 200 um



DEMat-UFRN

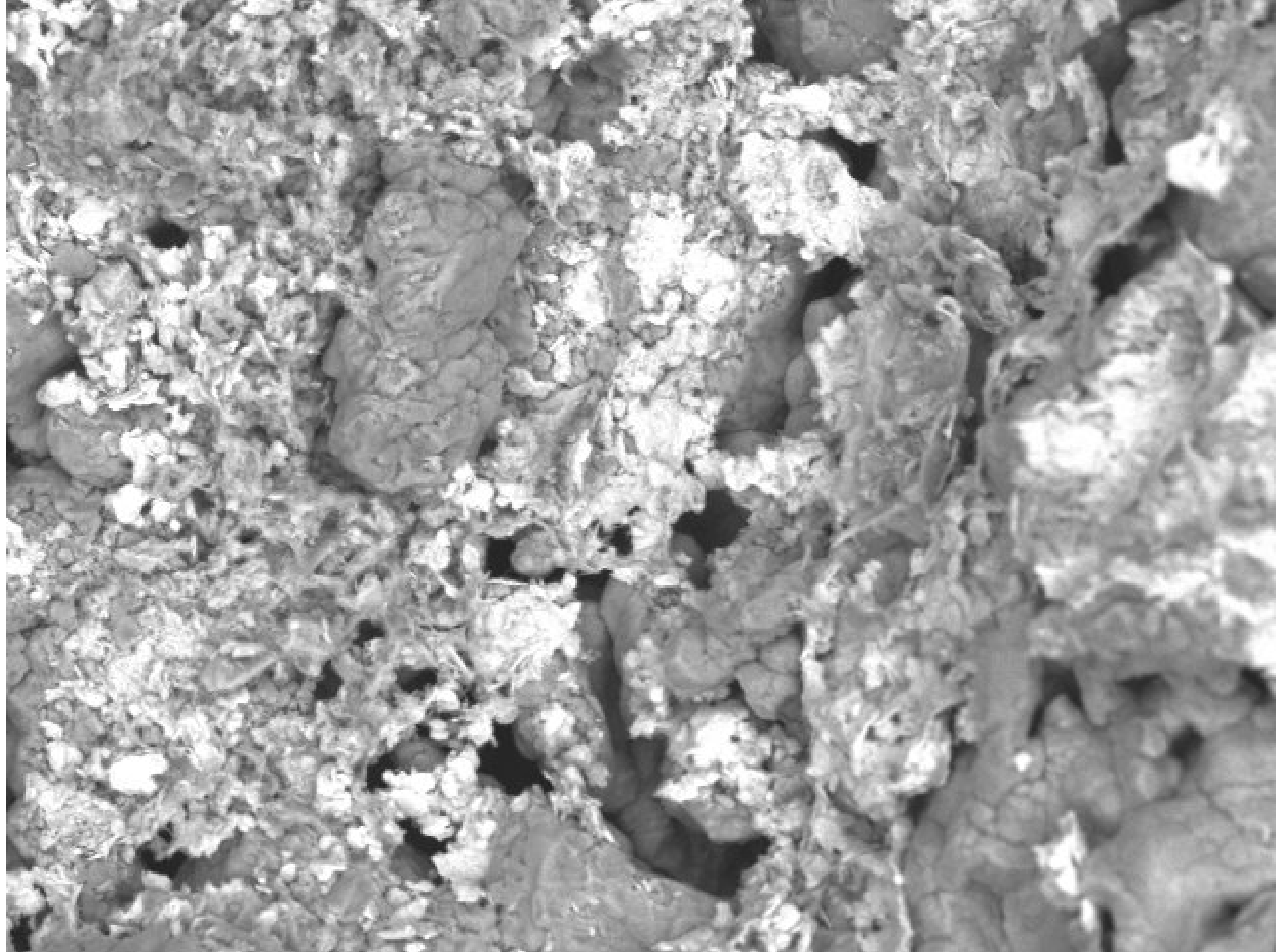
2014/04/16

15:53 H

D7.4

x500

200 um



DEMat-UFRN

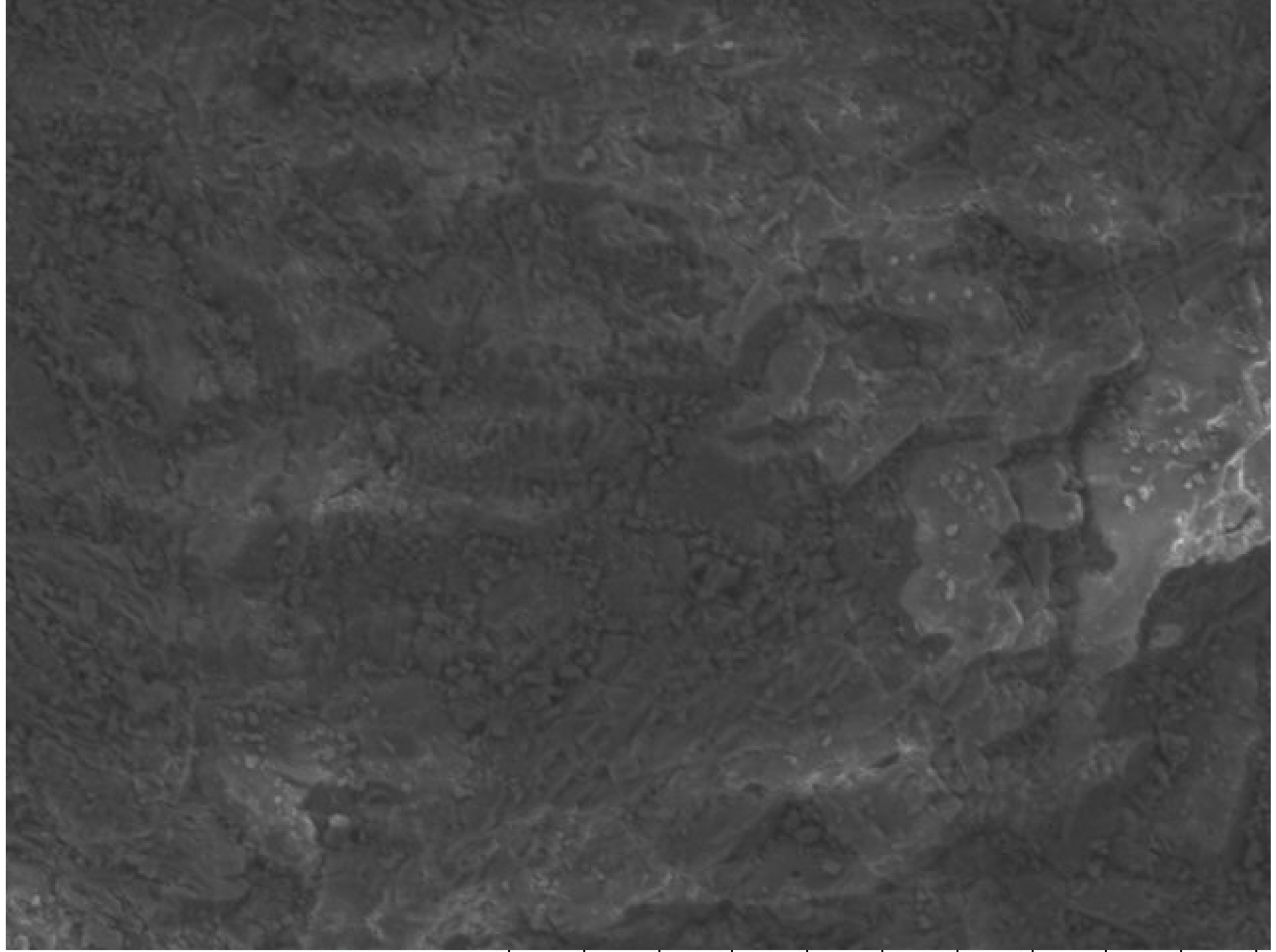
2014/04/16

15:50 H

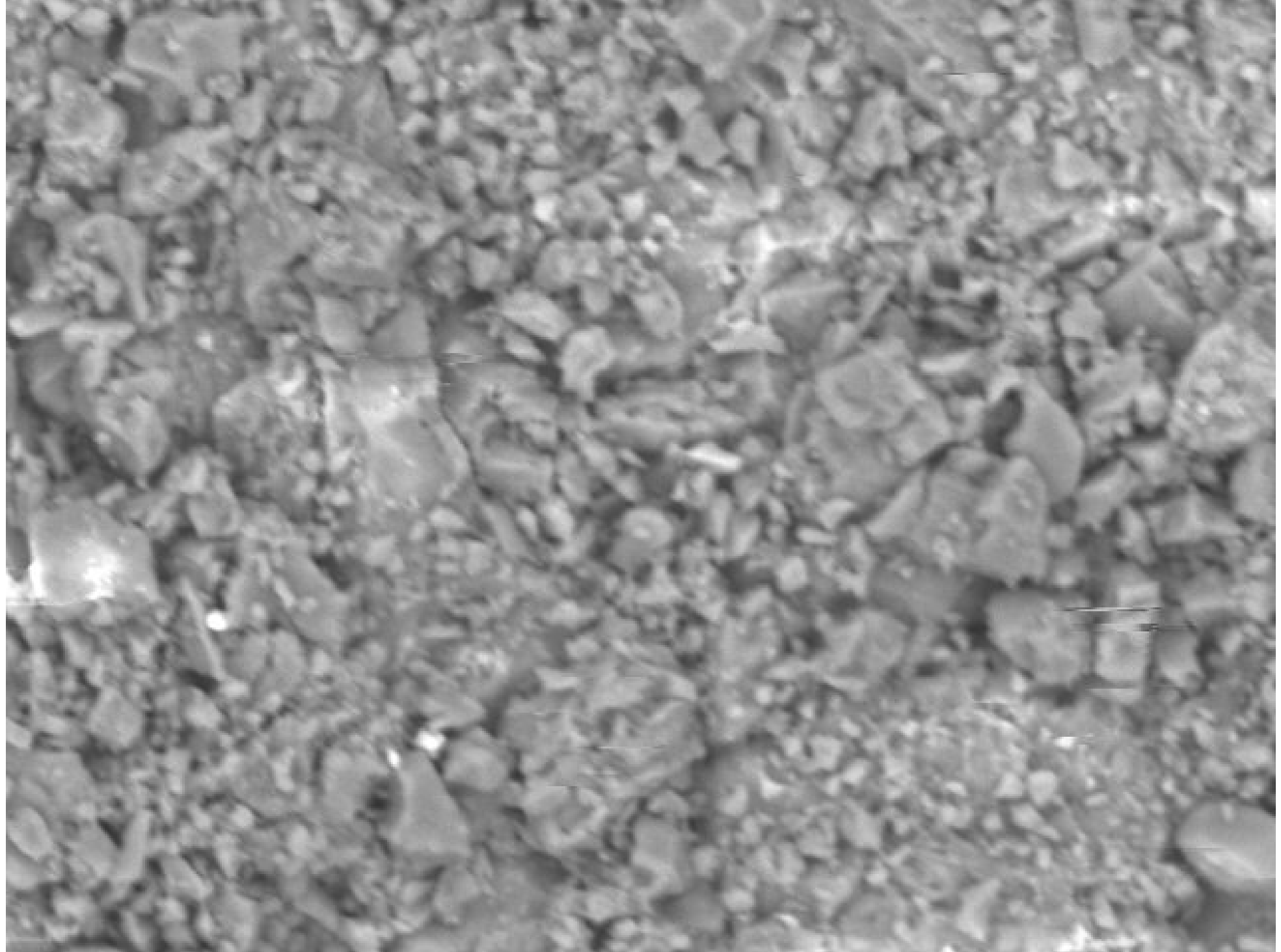
D8.7

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN **TBV-3A-ZD1** 2014/04/29 15:40 H D7.5 x1.0k 100 um



DEMat-UFRN

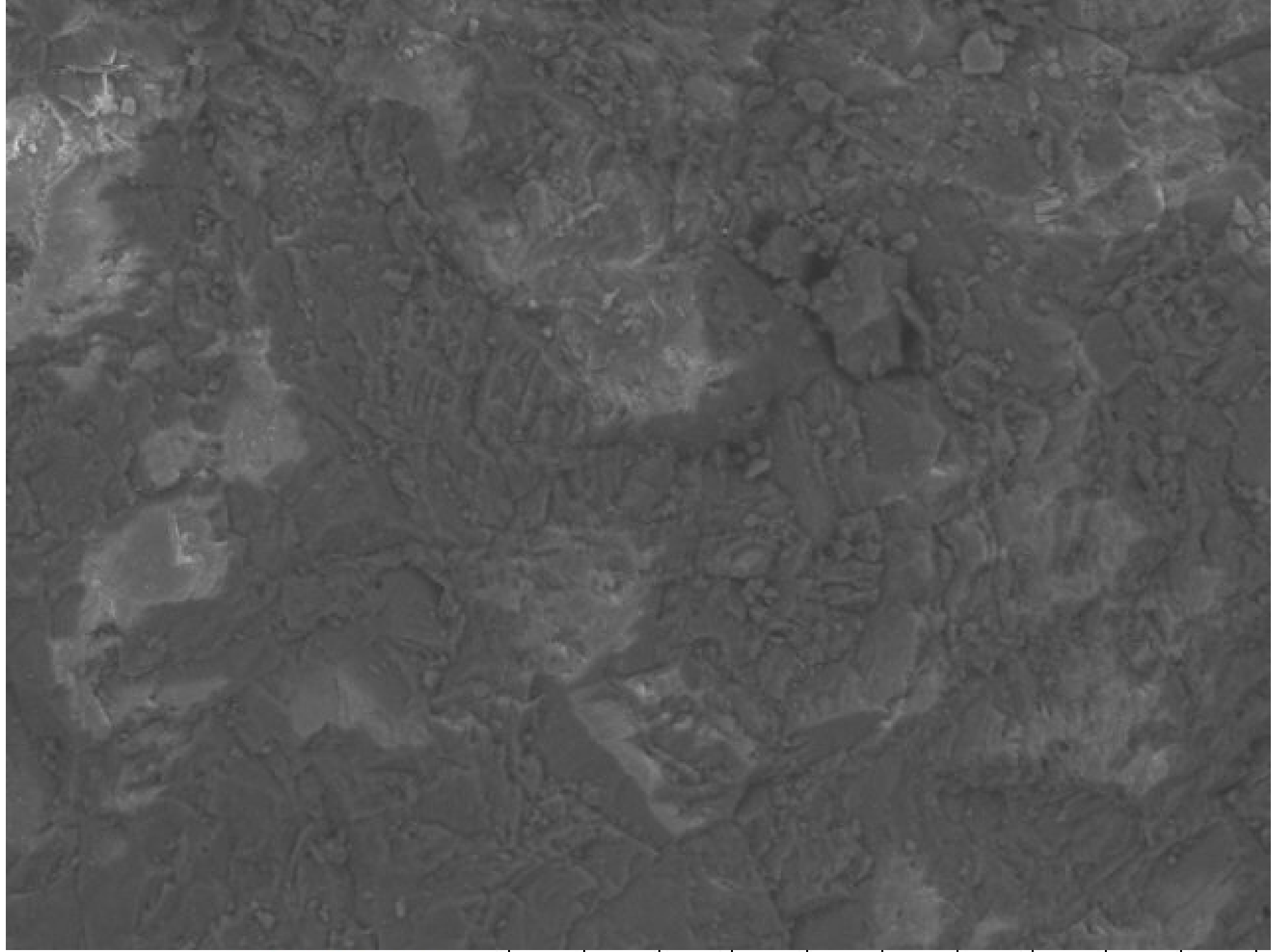
2014/04/29

15:55 H

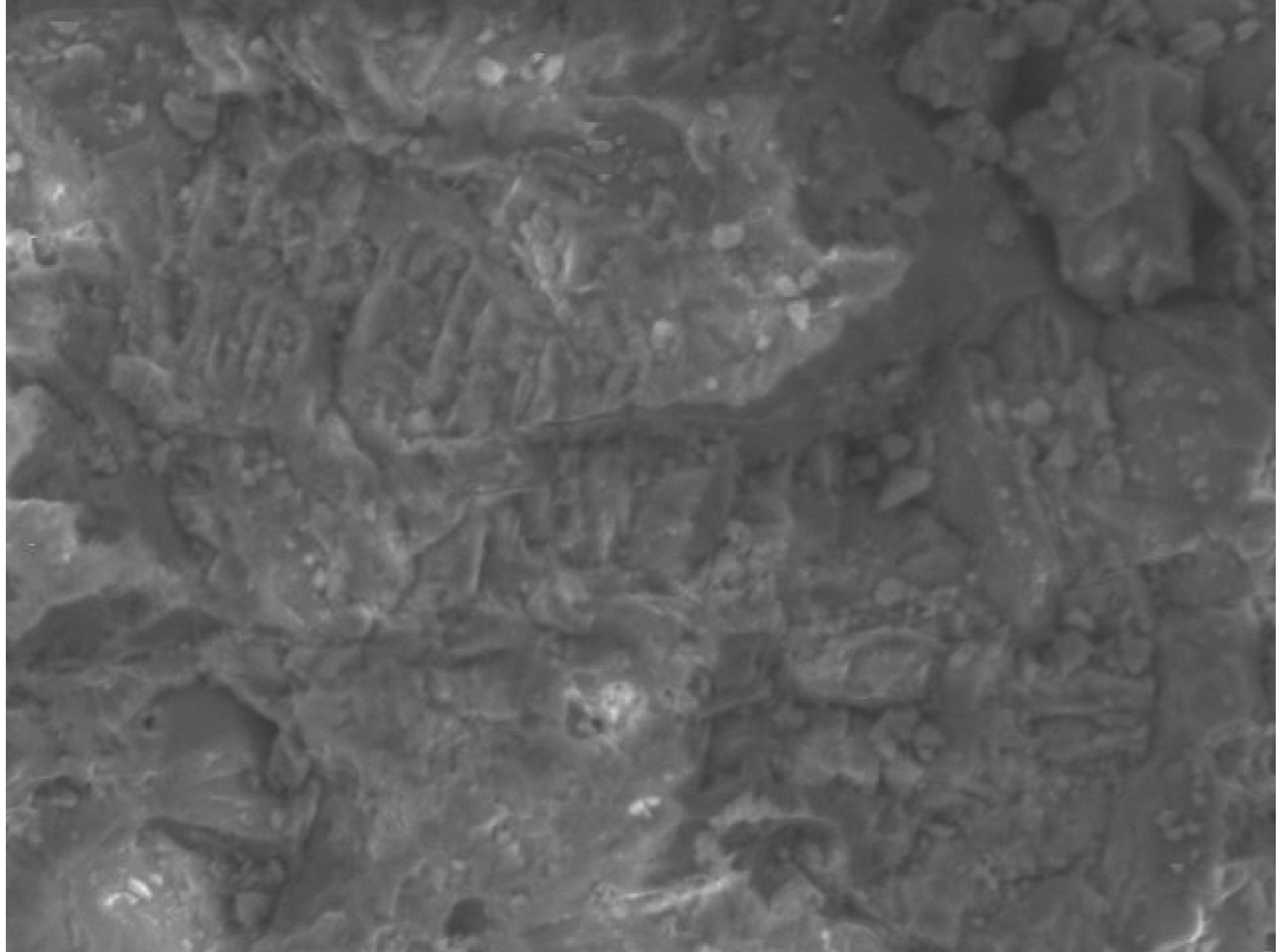
D7.6

×2.0k

30 um



DEMat-UFRN TBV-3A-ZD2 2014/04/29 15:48 N D7.9 x1.0k 100 um



DEMat-UFRN

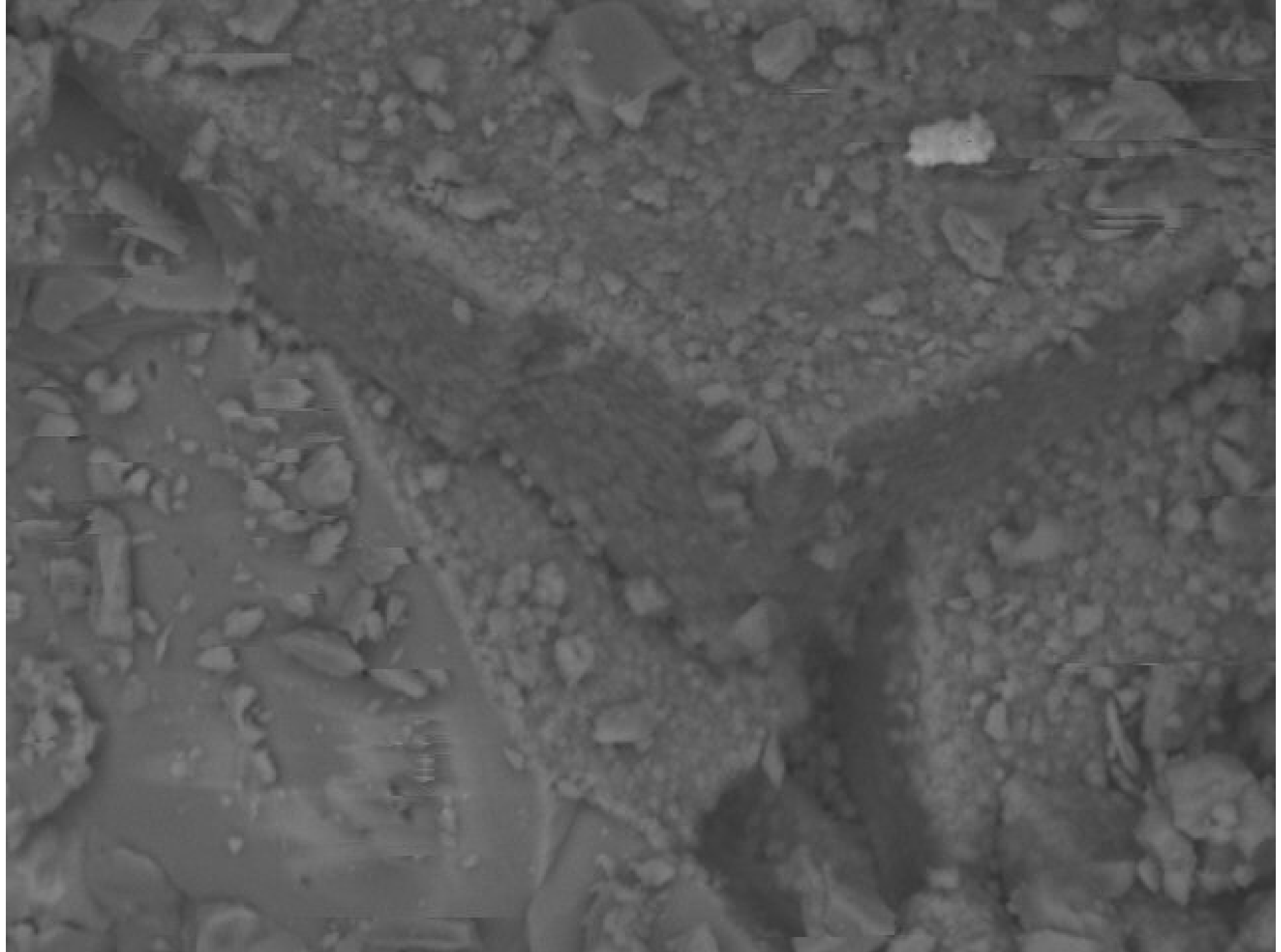
2014/04/29

15:51 N

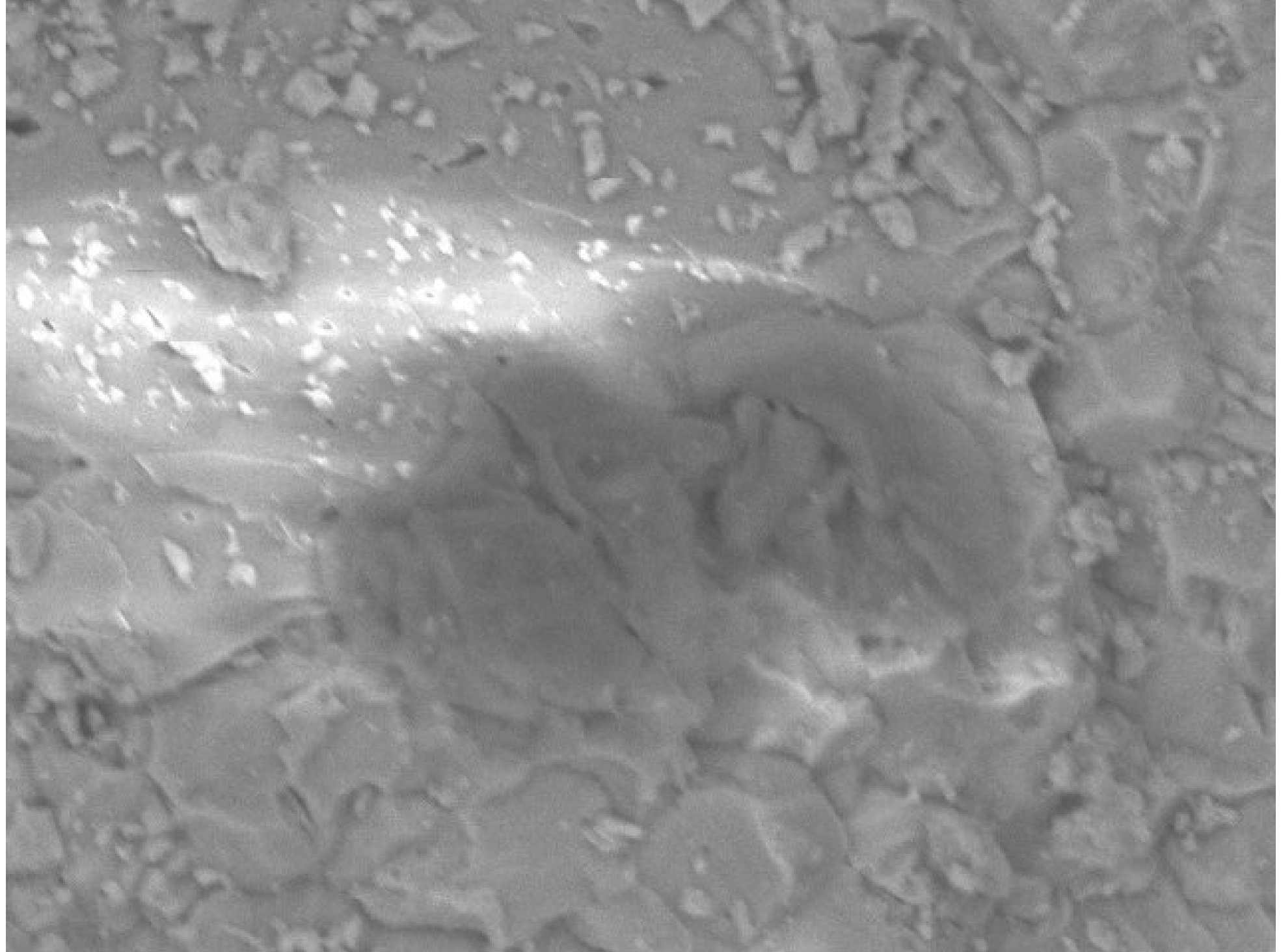
D7.9

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3-B** 2014/04/29 14:42 H D11.0 x2.0k 30 um



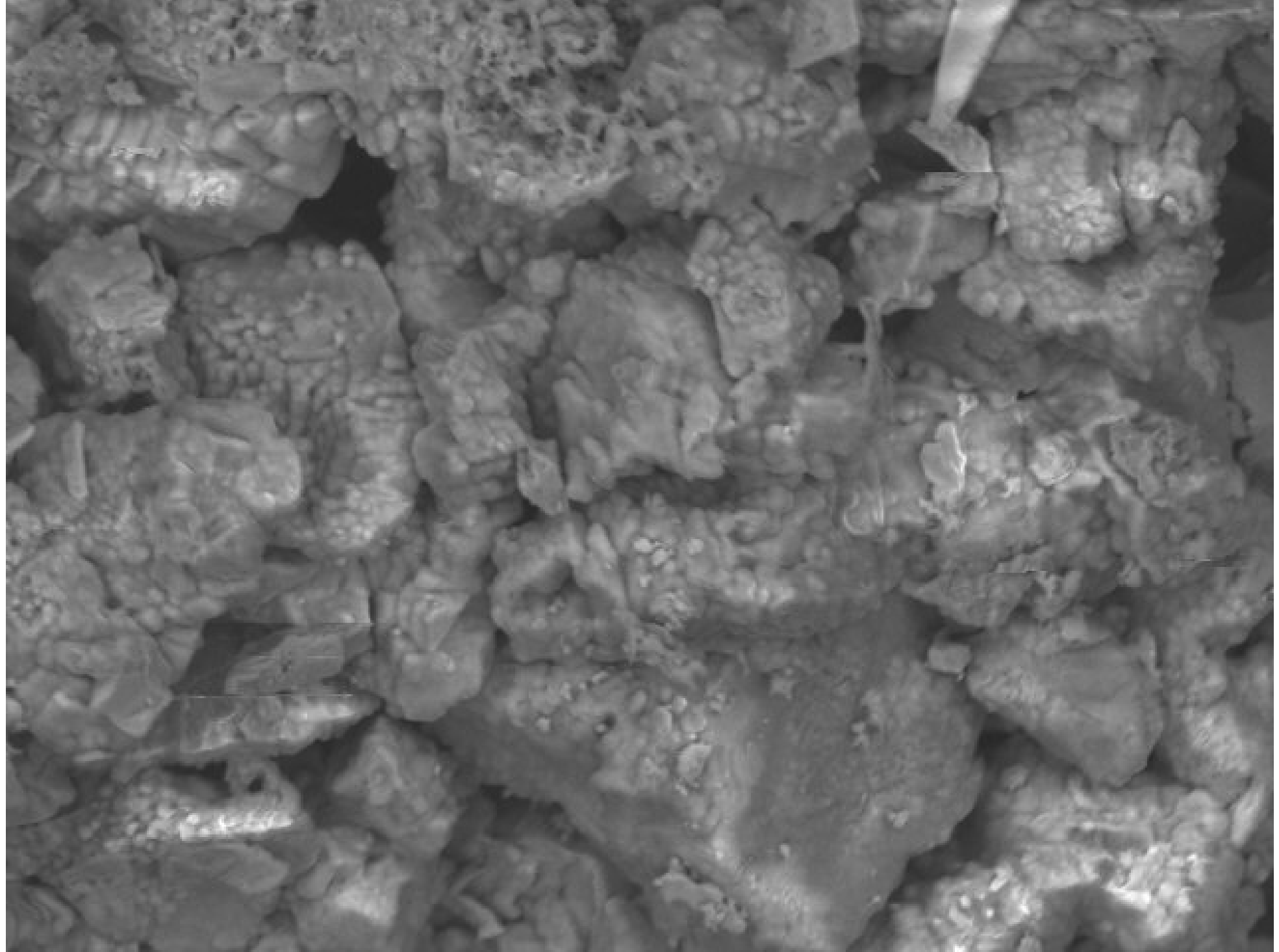
DEMat-UFRN

2014/04/29

14:53 N

D10.8 x2.0k

30 um



DEMat-UFRN **TBV-3-C**

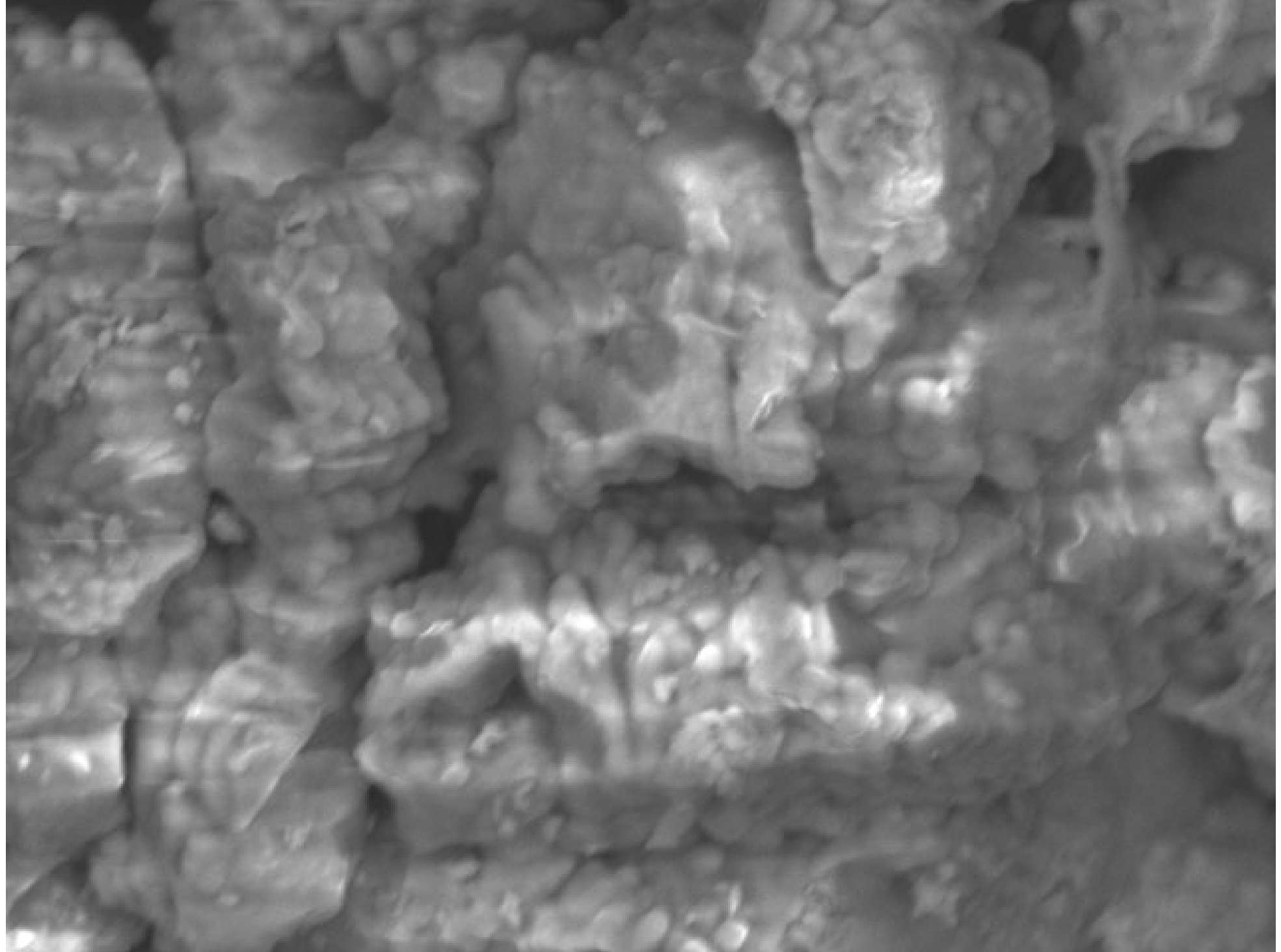
2014/04/29

15:07 H

D9.4

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

2014/04/29

15:17 H

D9.4

x2.0k

30 um



DEMat-UFRN TBV-11-A 2014/04/29 16:16 H D6.0 x600 100 um



DEMat-UFRN

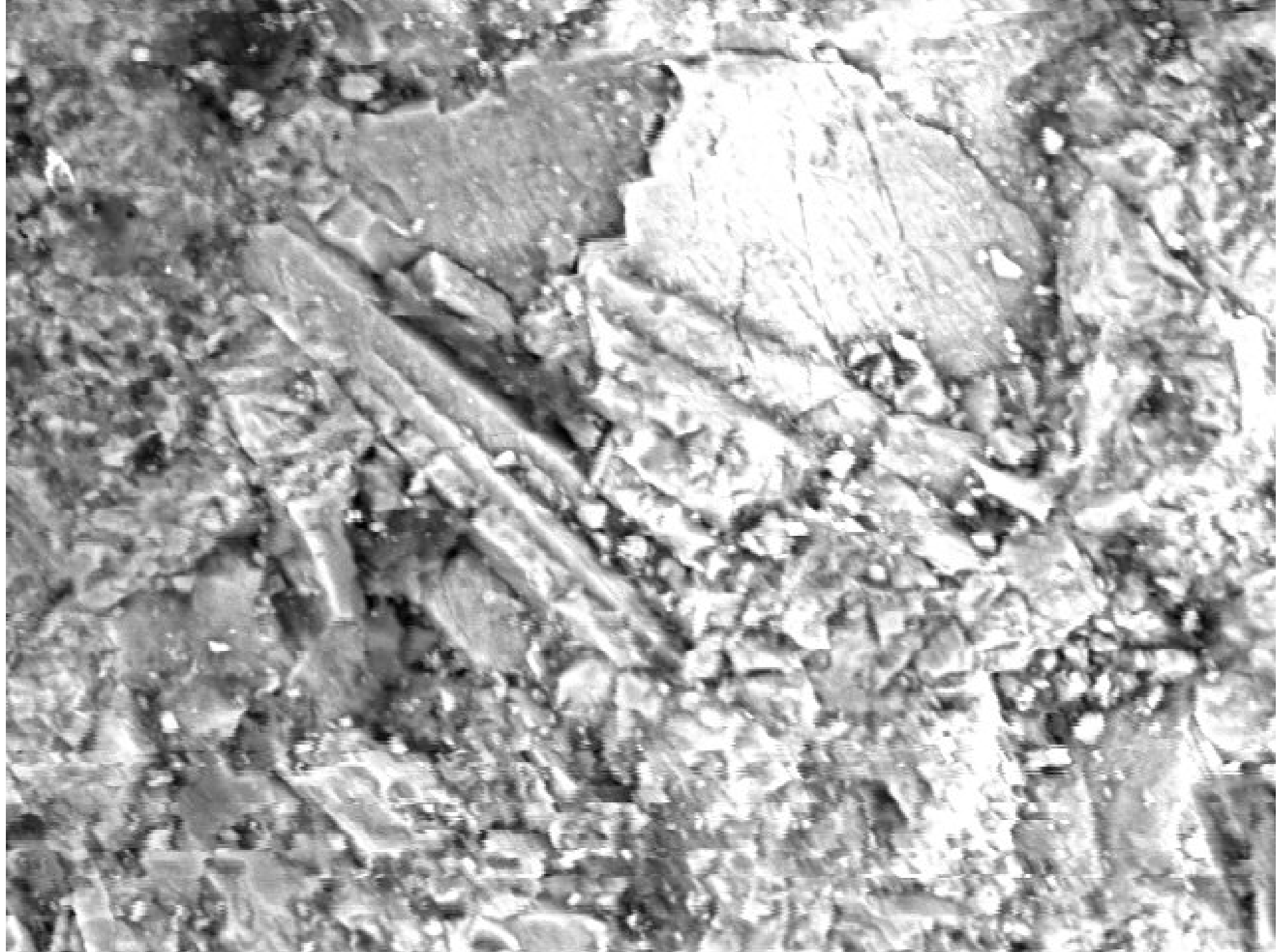
2014/04/29

16:18 H

D6.1

x1.0k

100 um



DEMat-UFRN

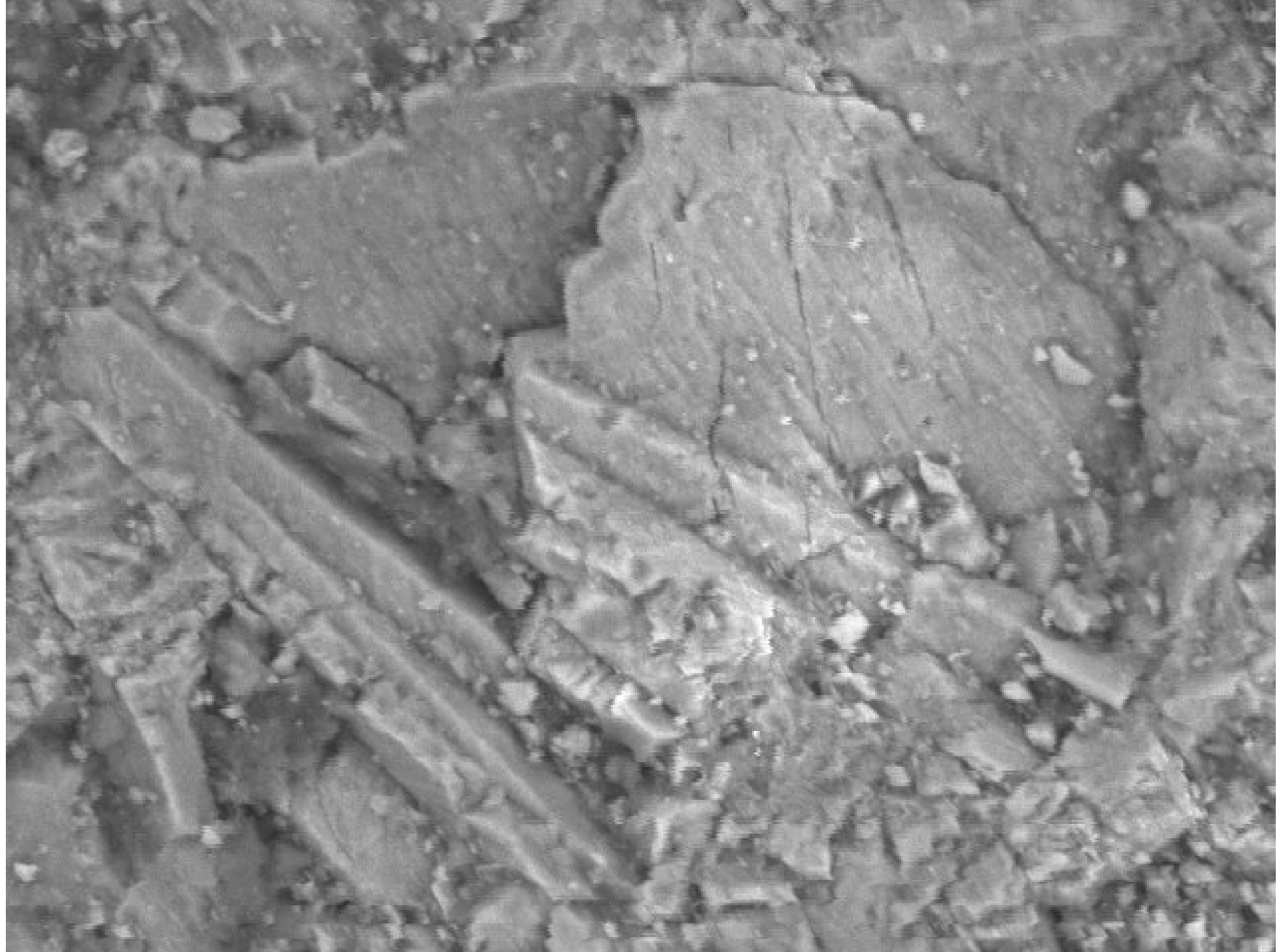
2014/04/29

16:16 H

D6.0

x1.5k

50 um



DEMat-UFRN

2014/04/29

16:29 N

D6.0

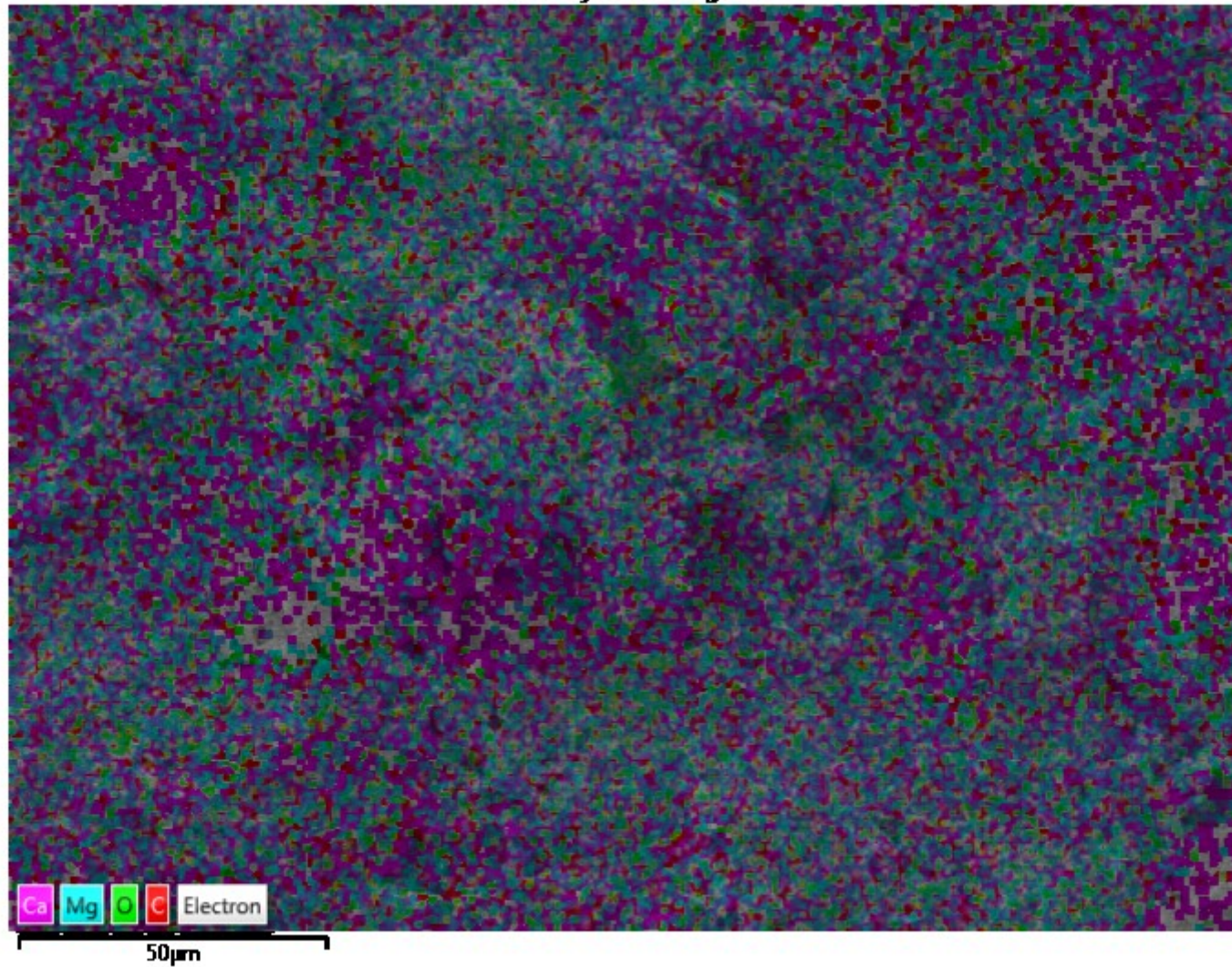
x2.0k

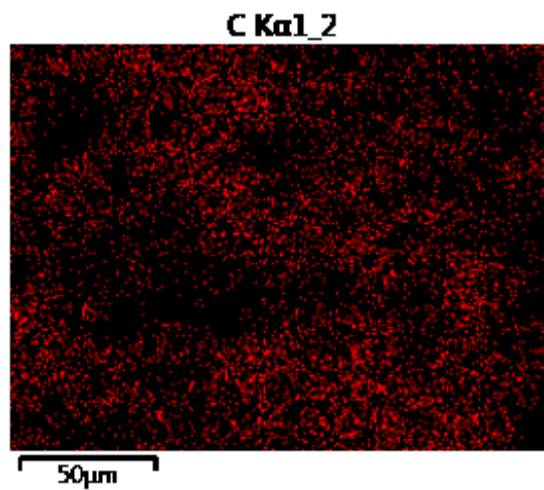
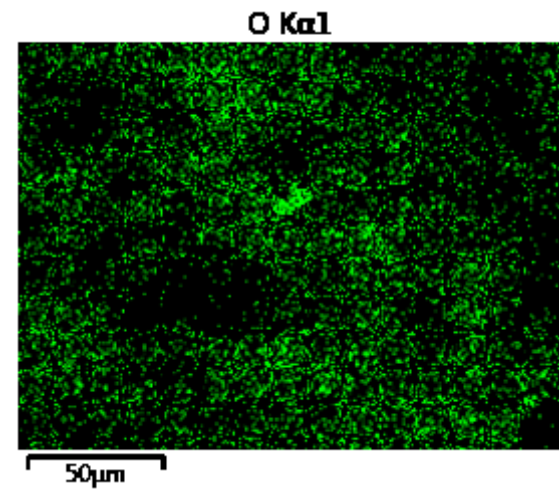
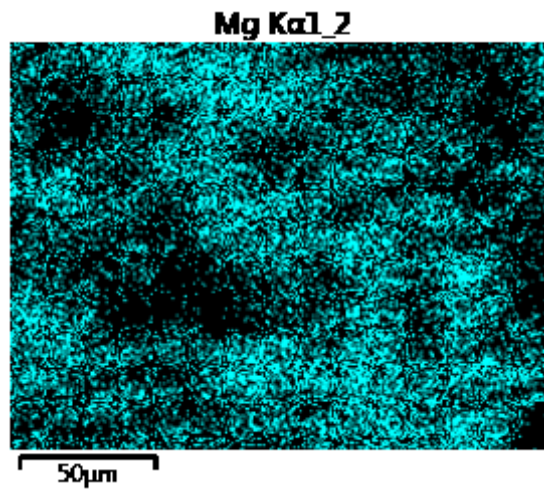
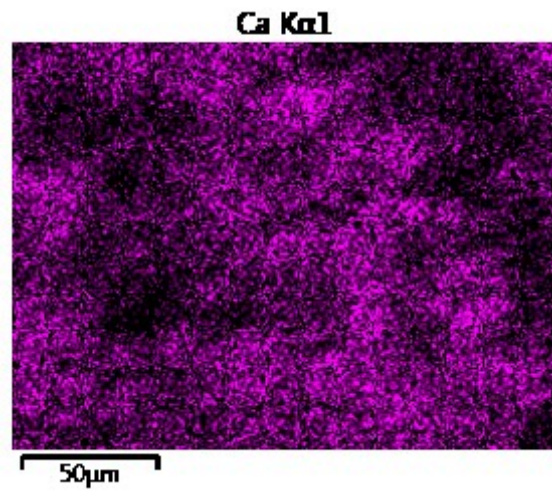
30 um

ANEXO-3:

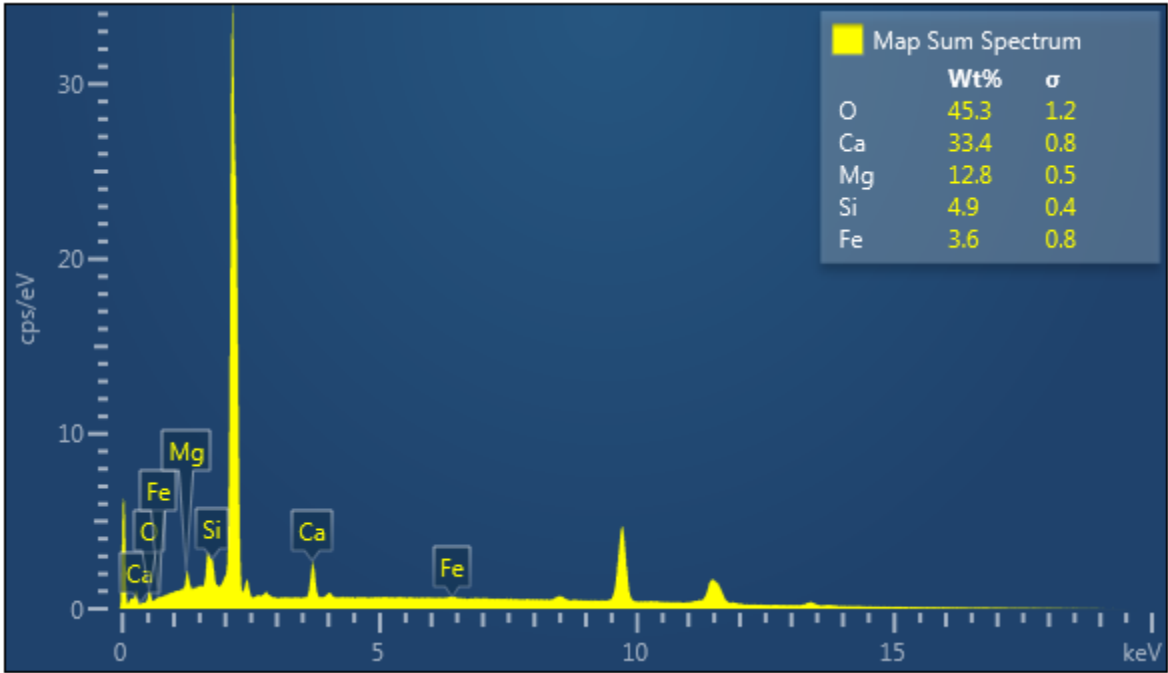
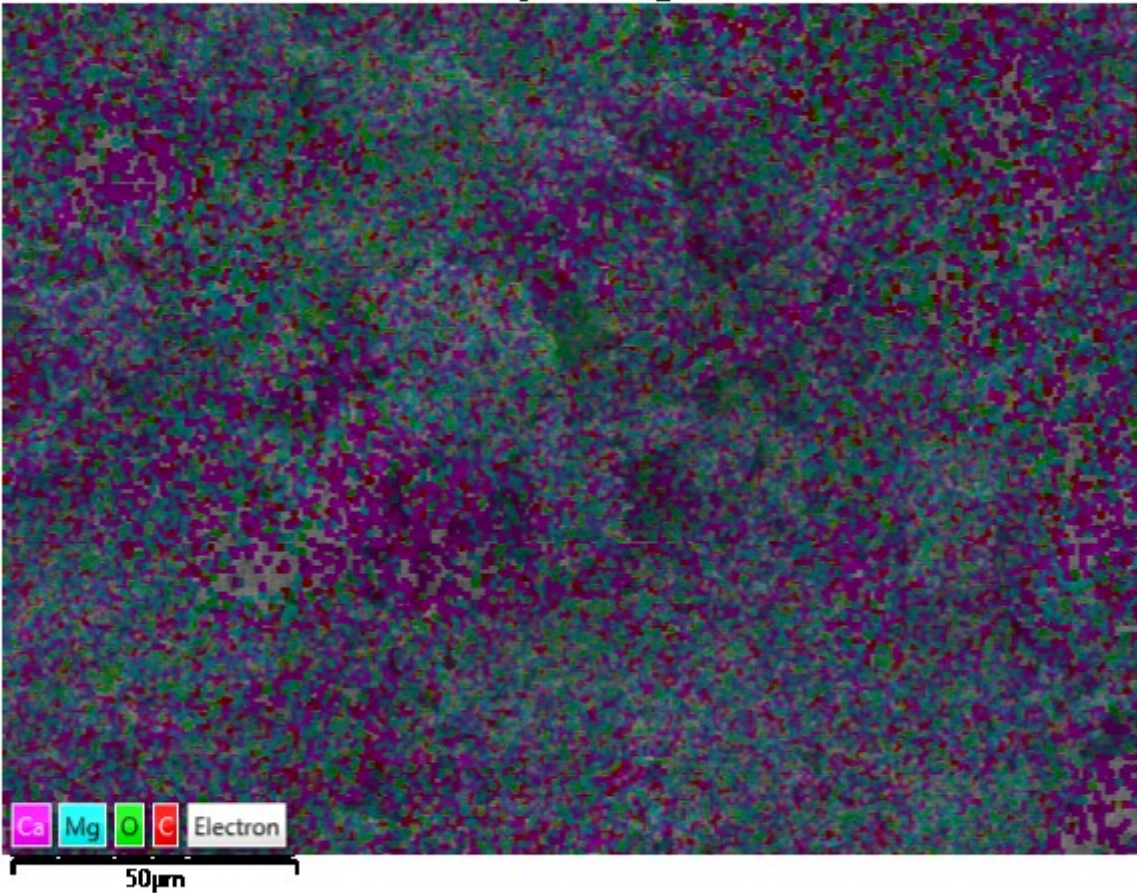
Resultados de EDS

EDS Layered Image 4

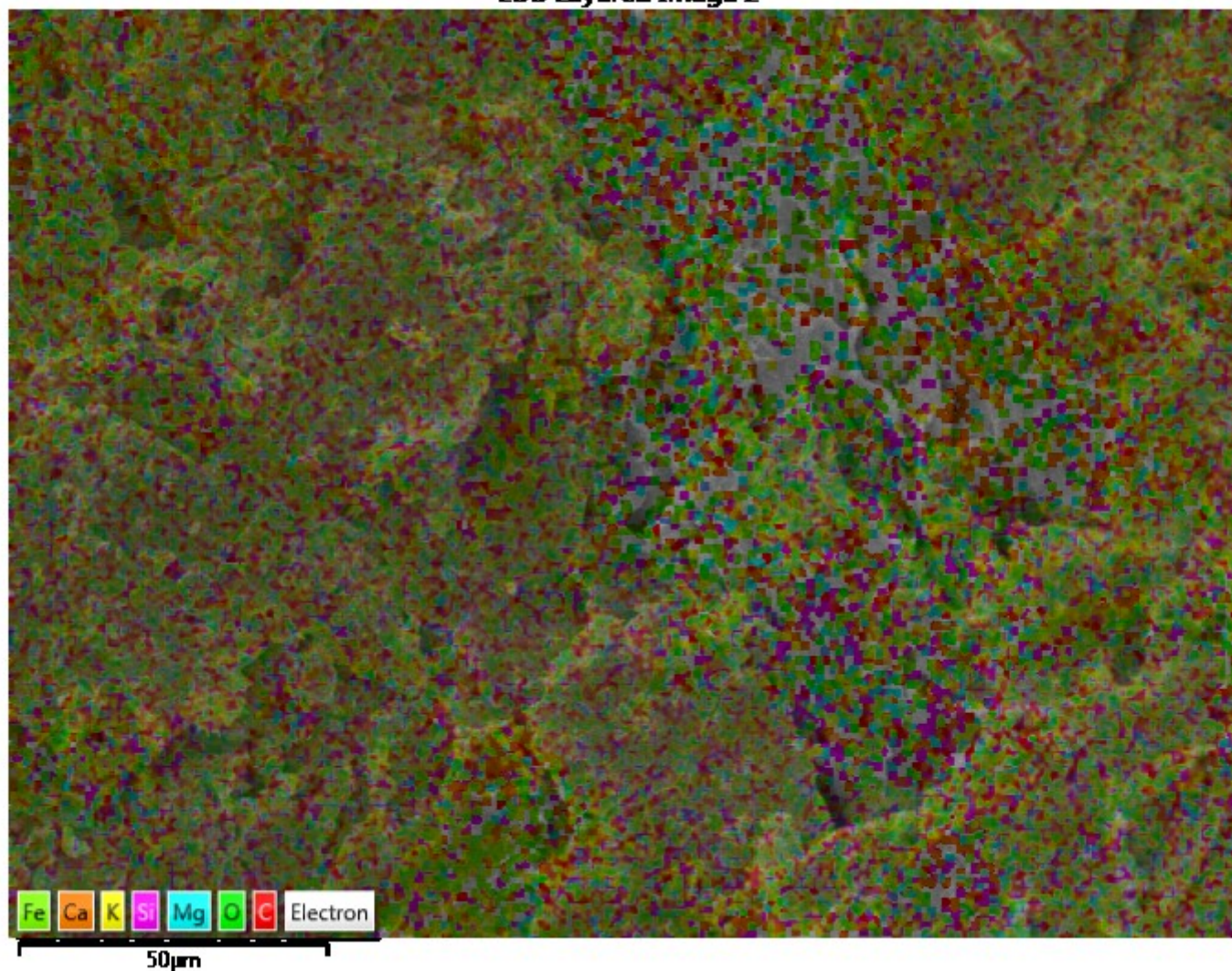


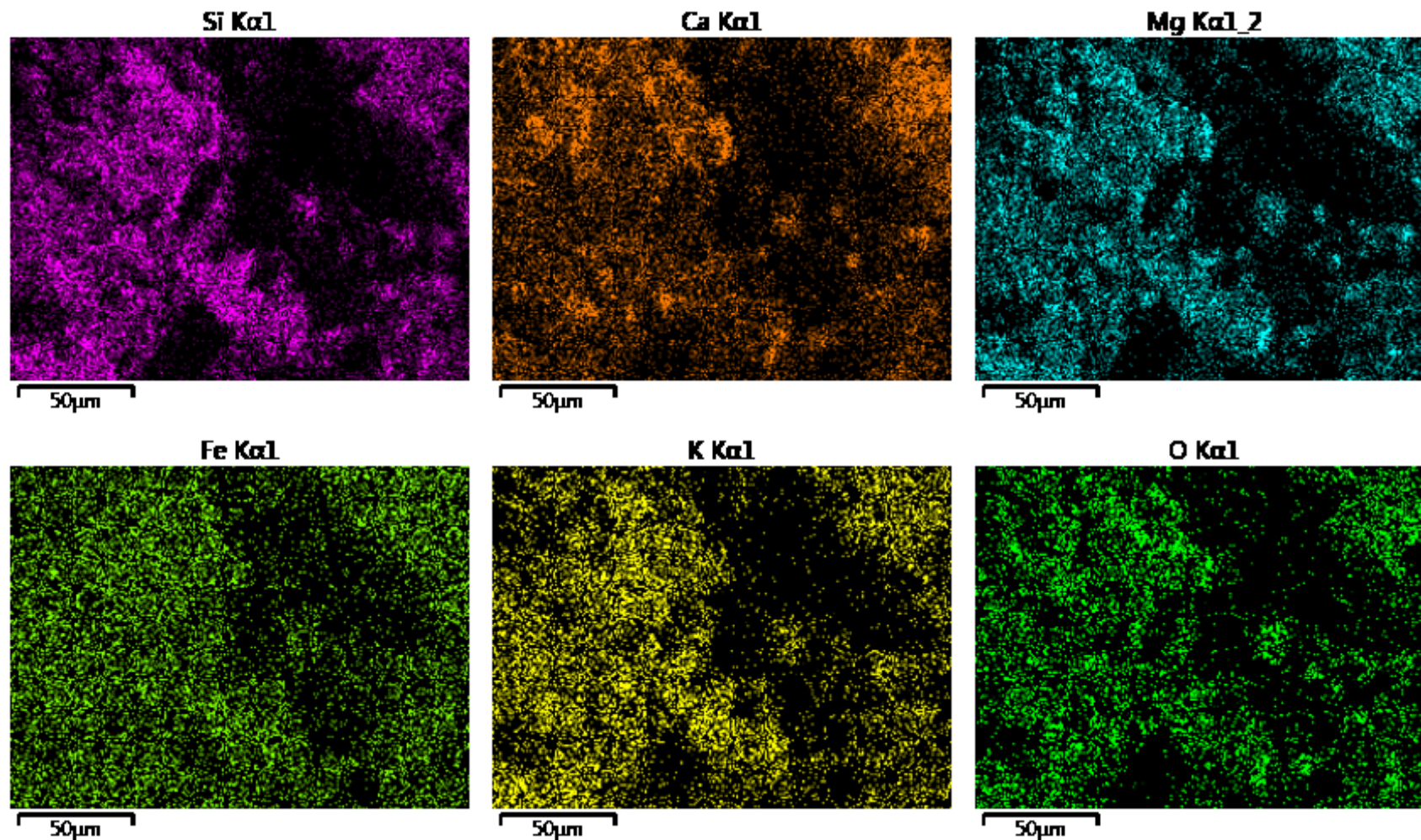


EDS Layered Image 4

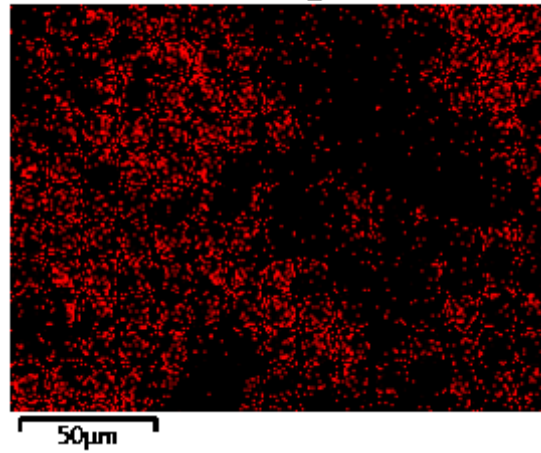


EDS Layered Image 2

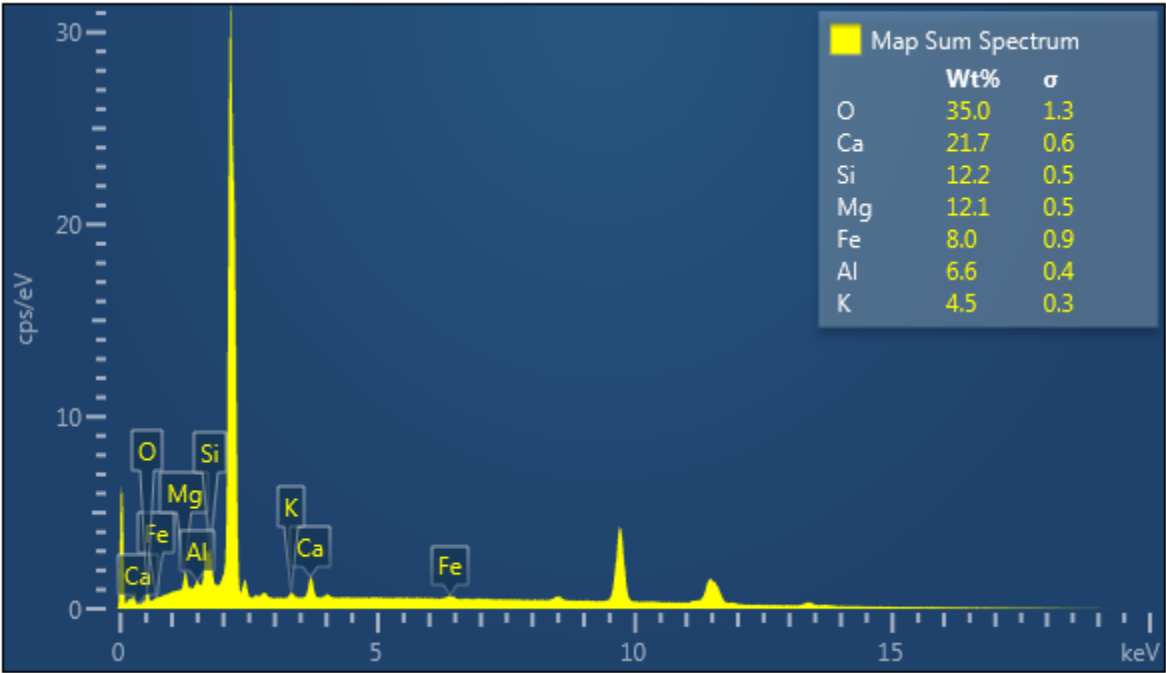
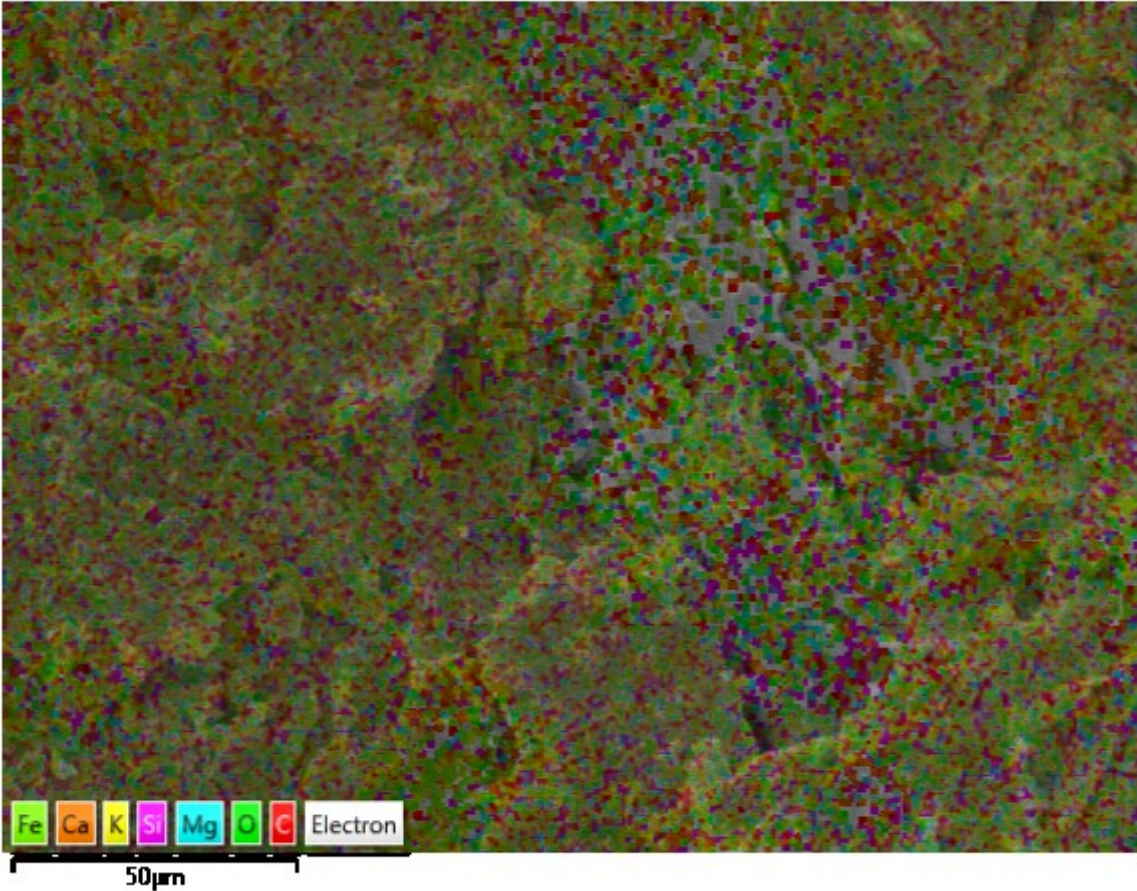




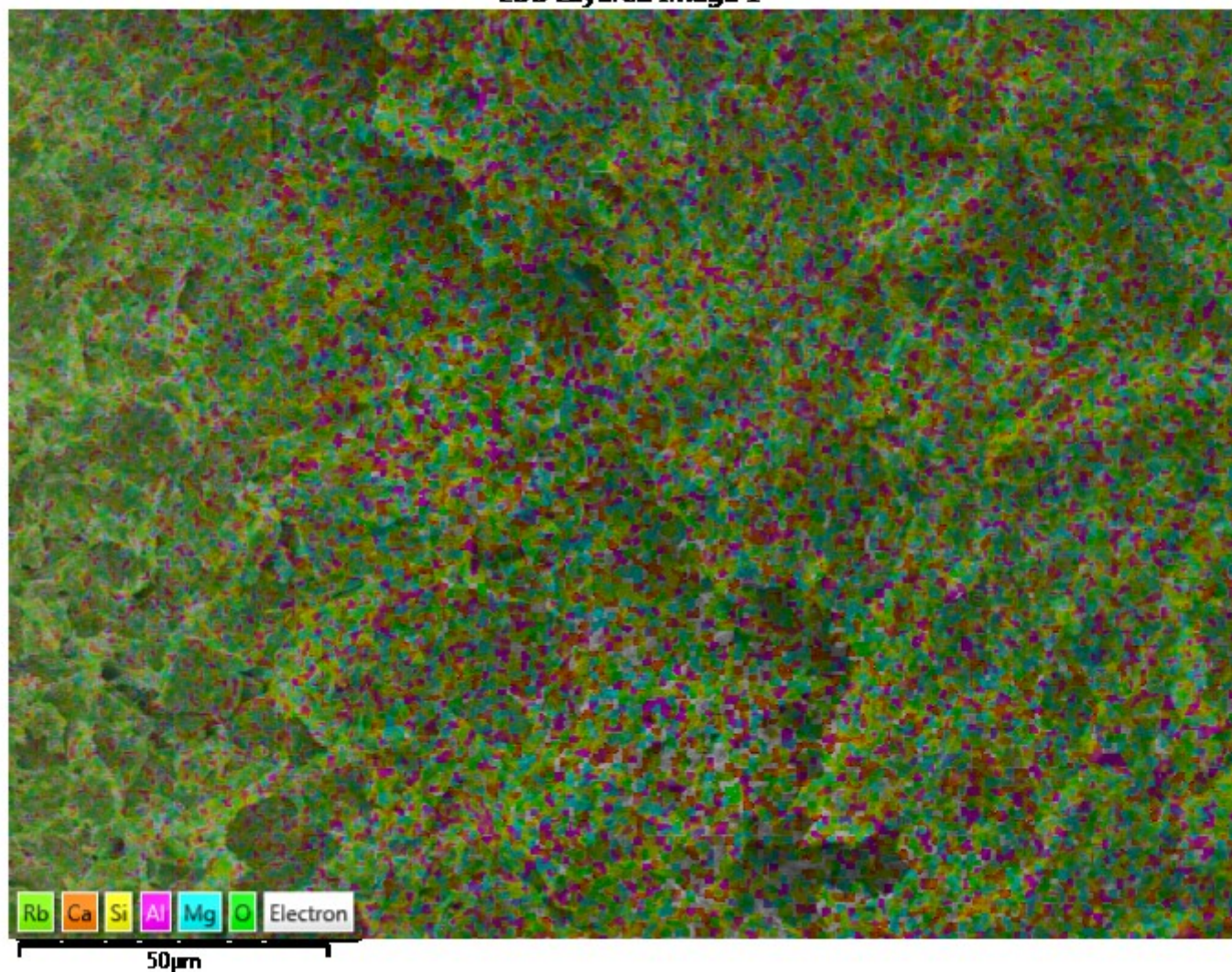
C K α 1,2

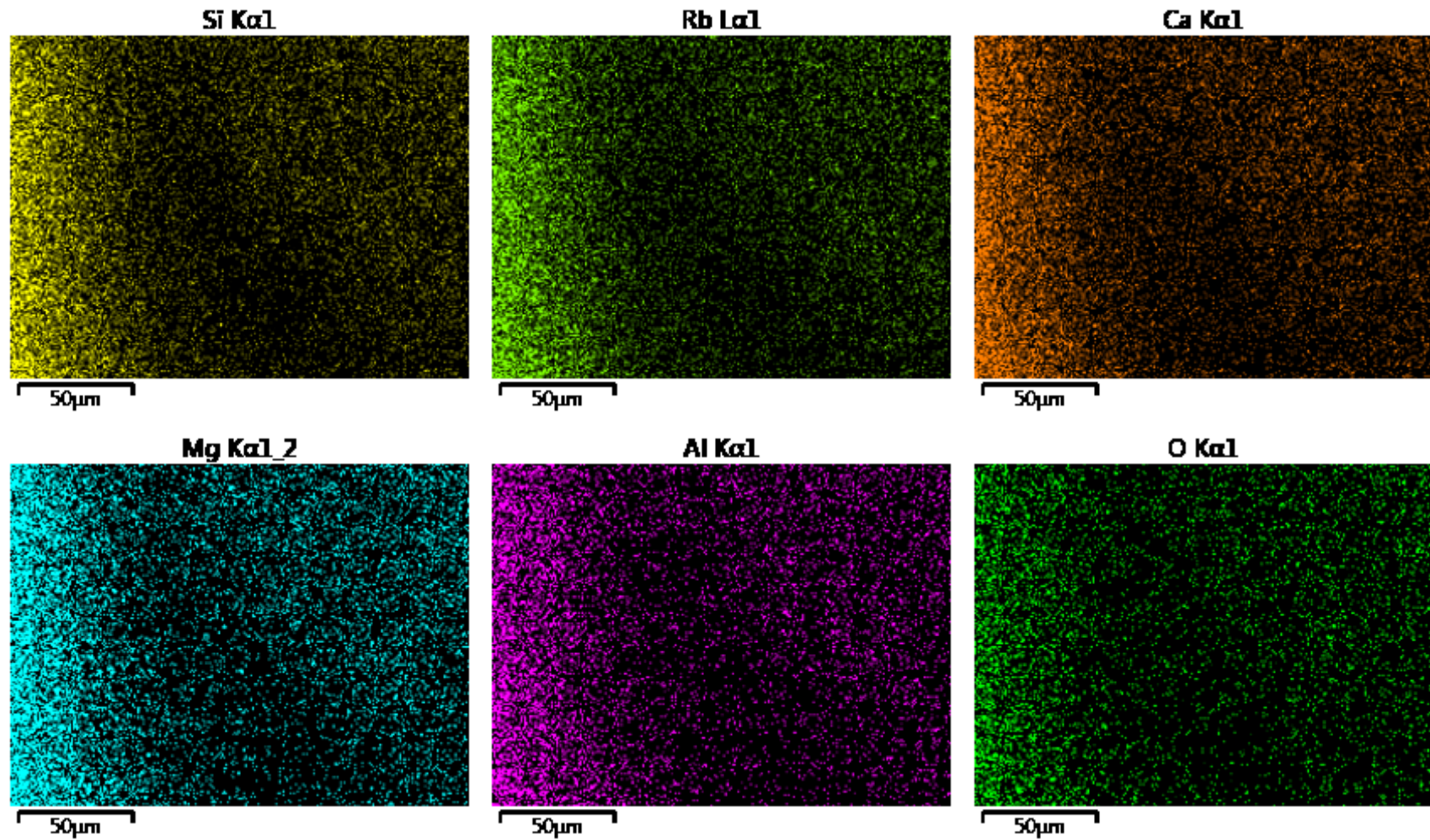


EDS Layered Image 2

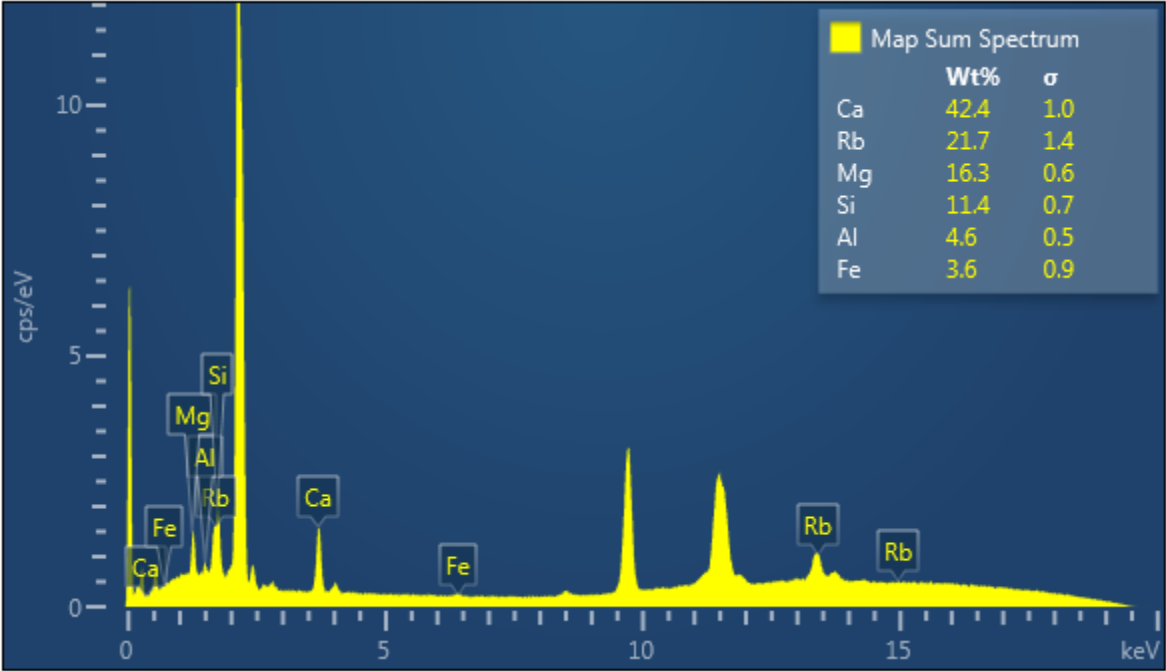
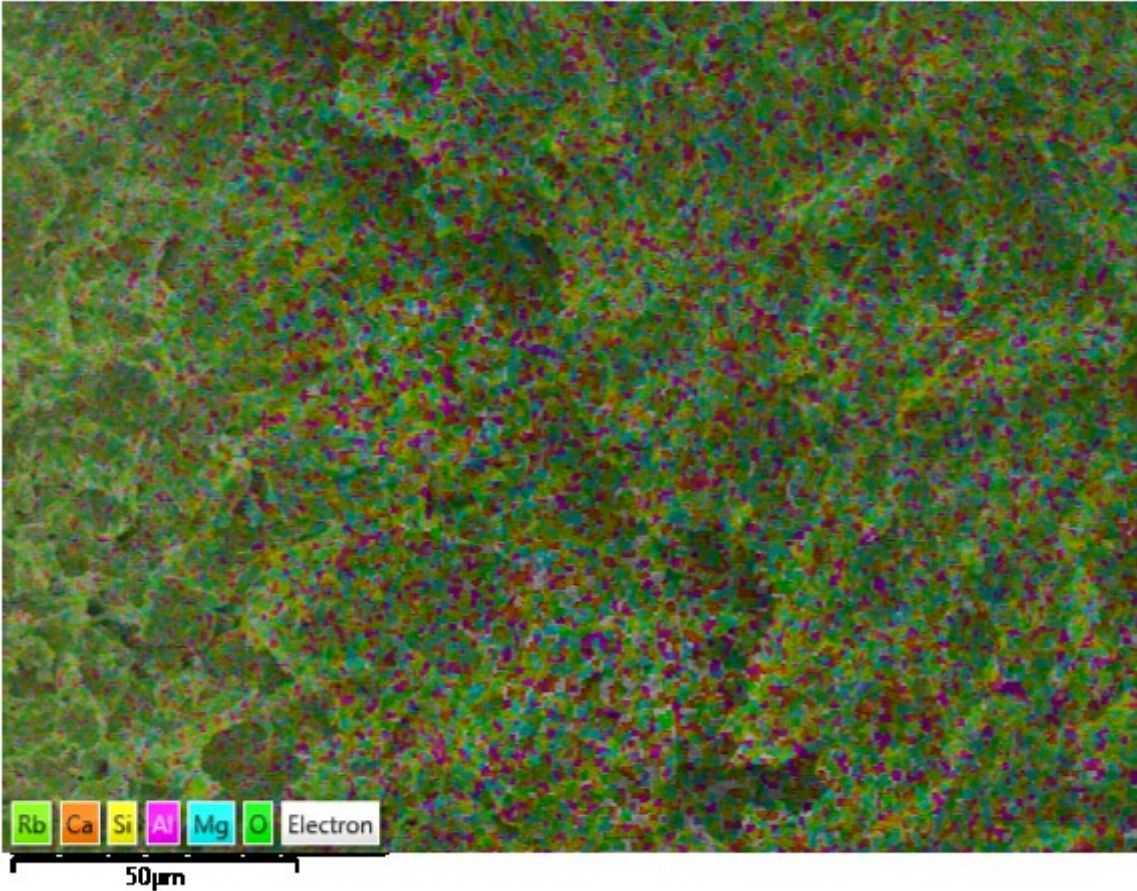


EDS Layered Image 1

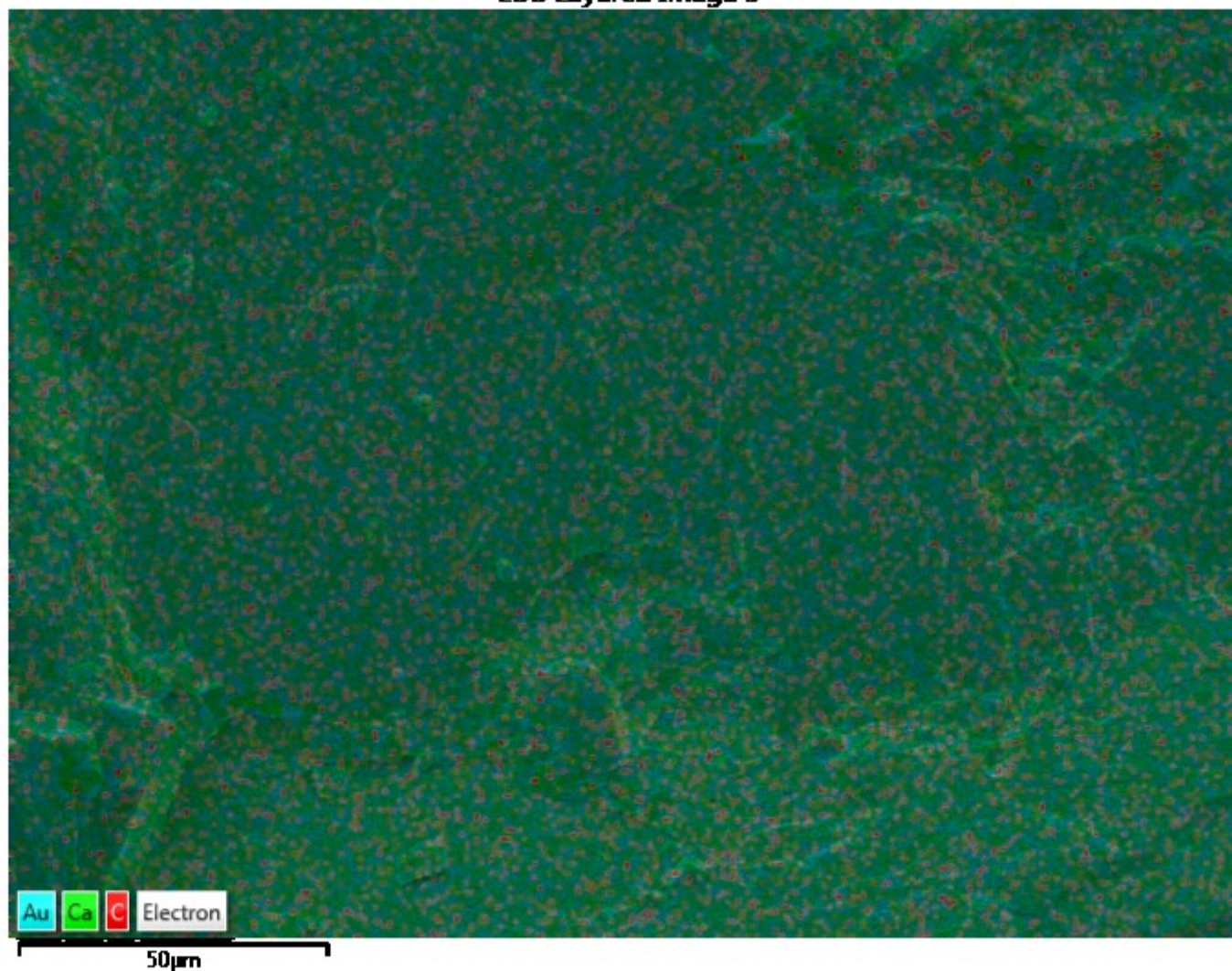


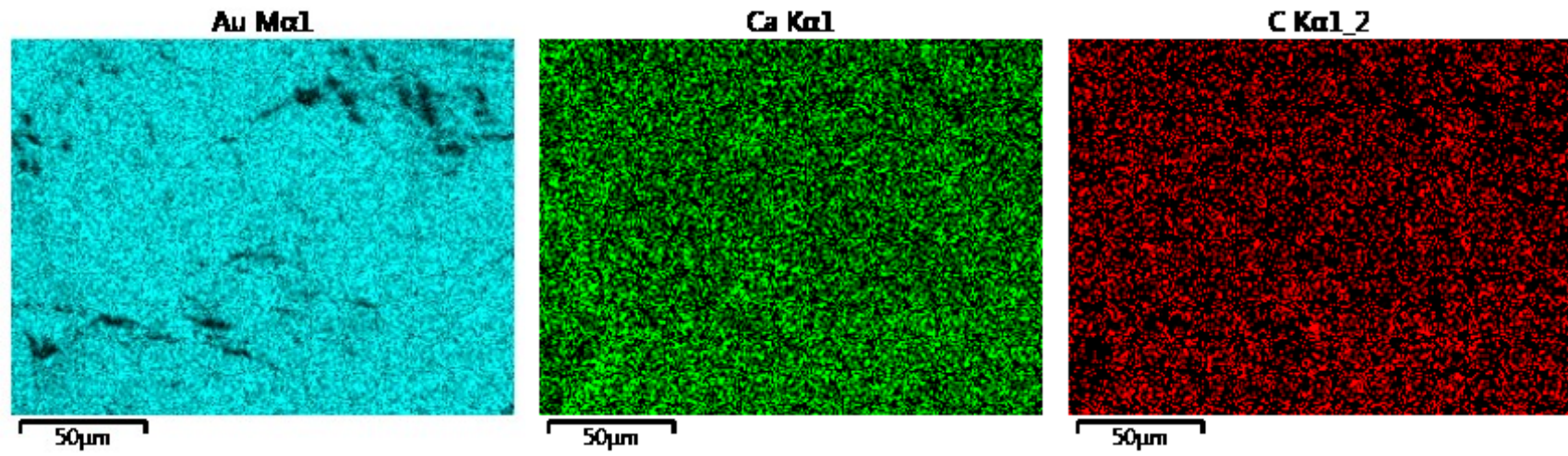


EDS Layered Image 1

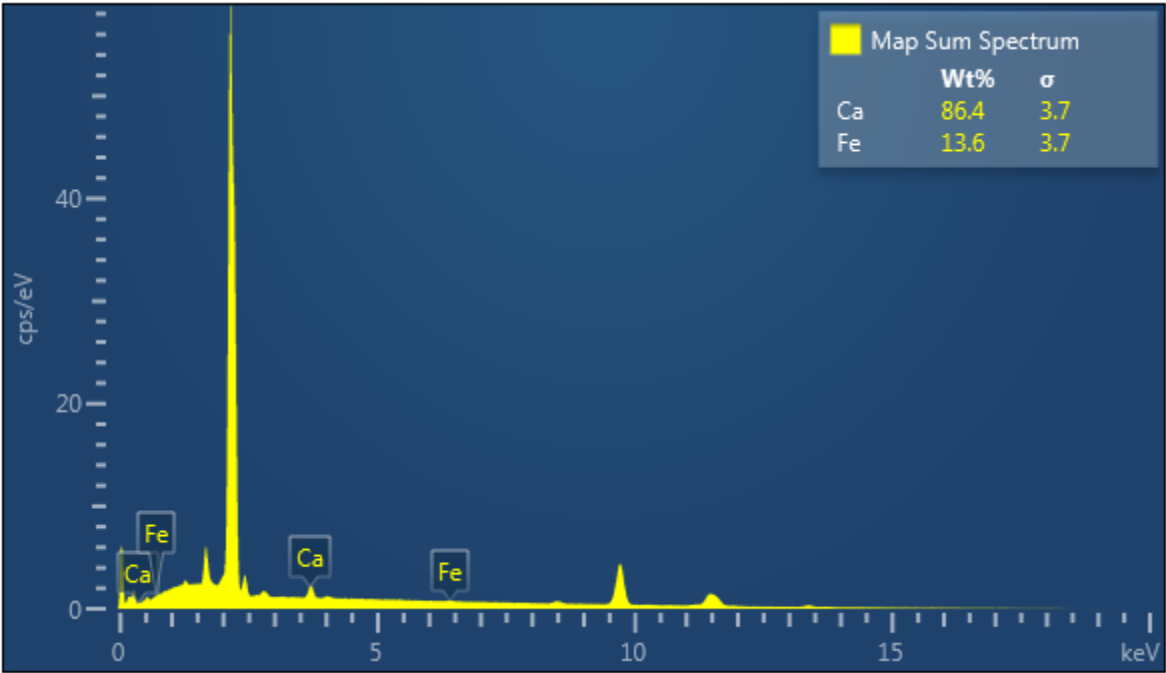
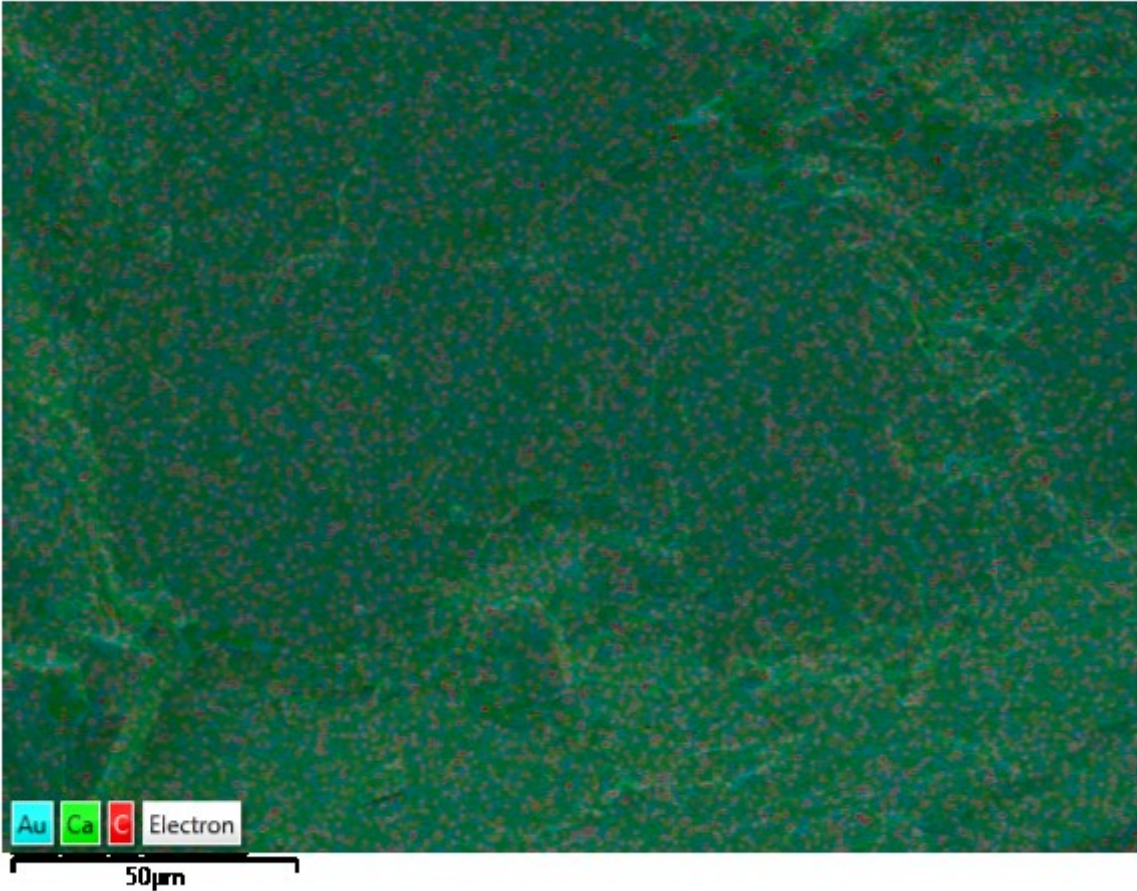


EDS Layered Image 5

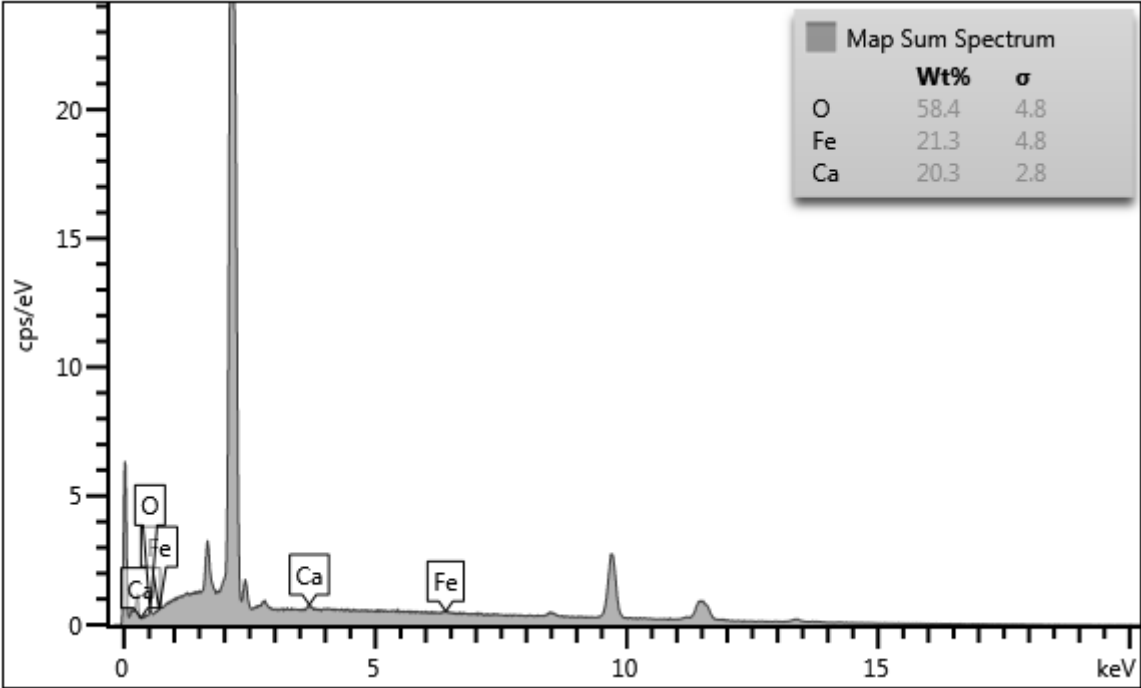
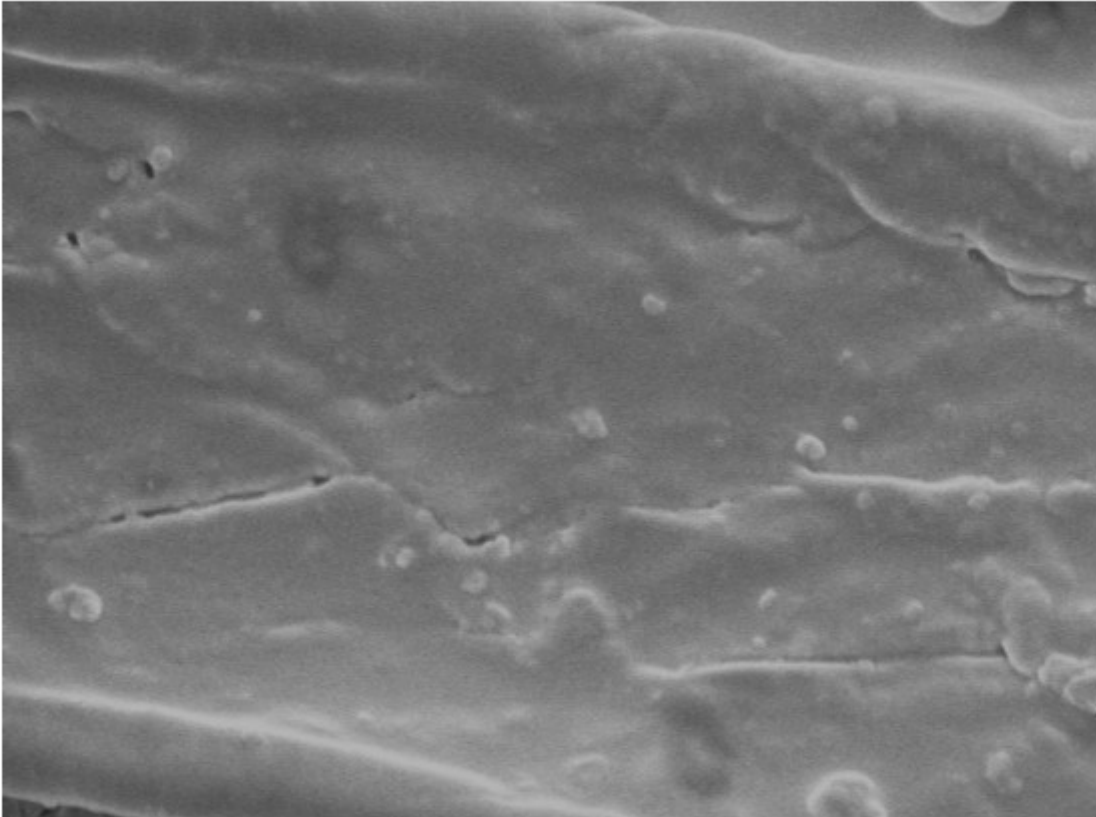




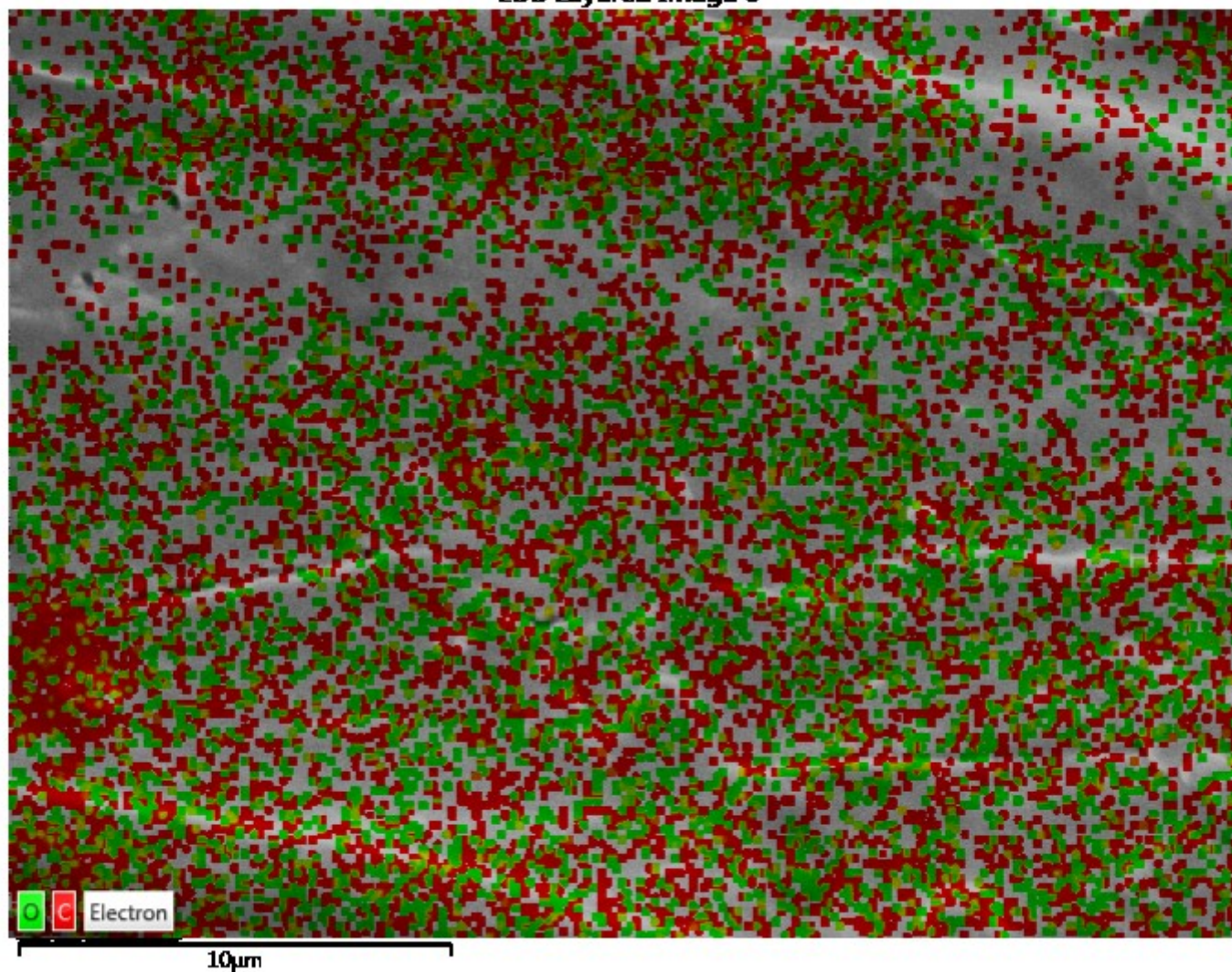
EDS Layered Image 5

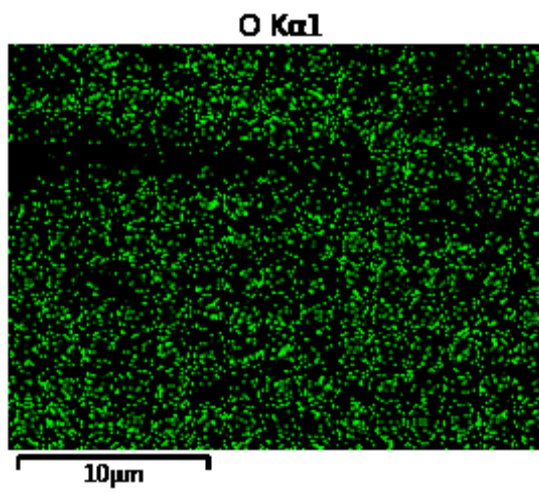


Electron Image 6

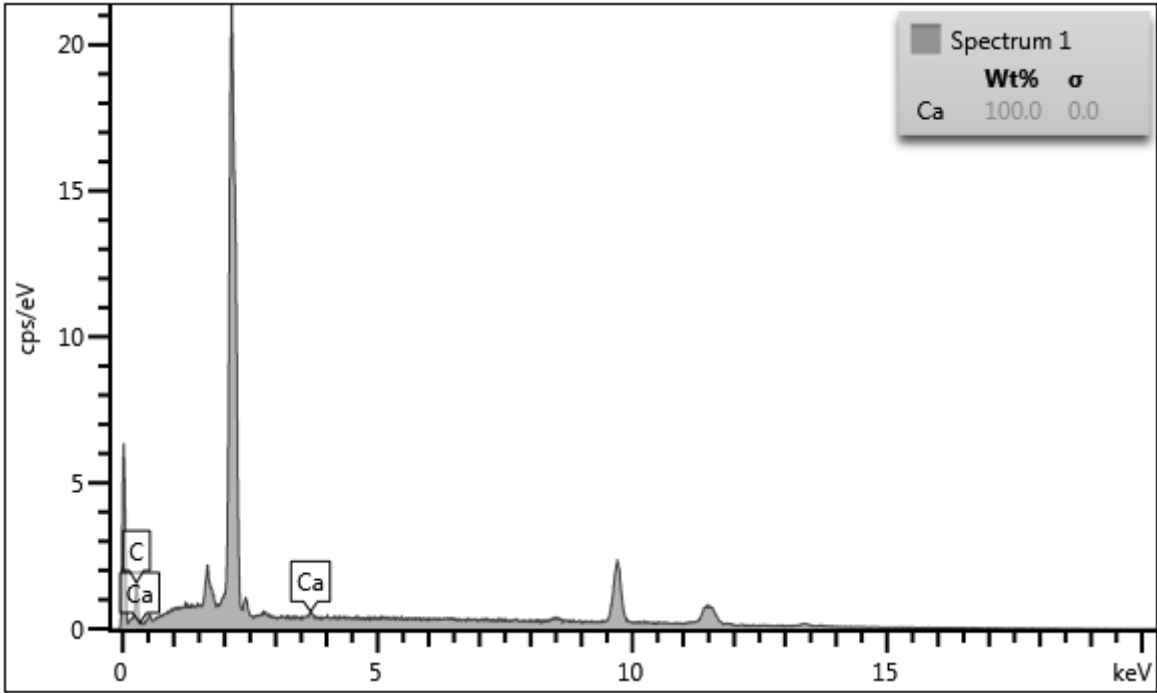
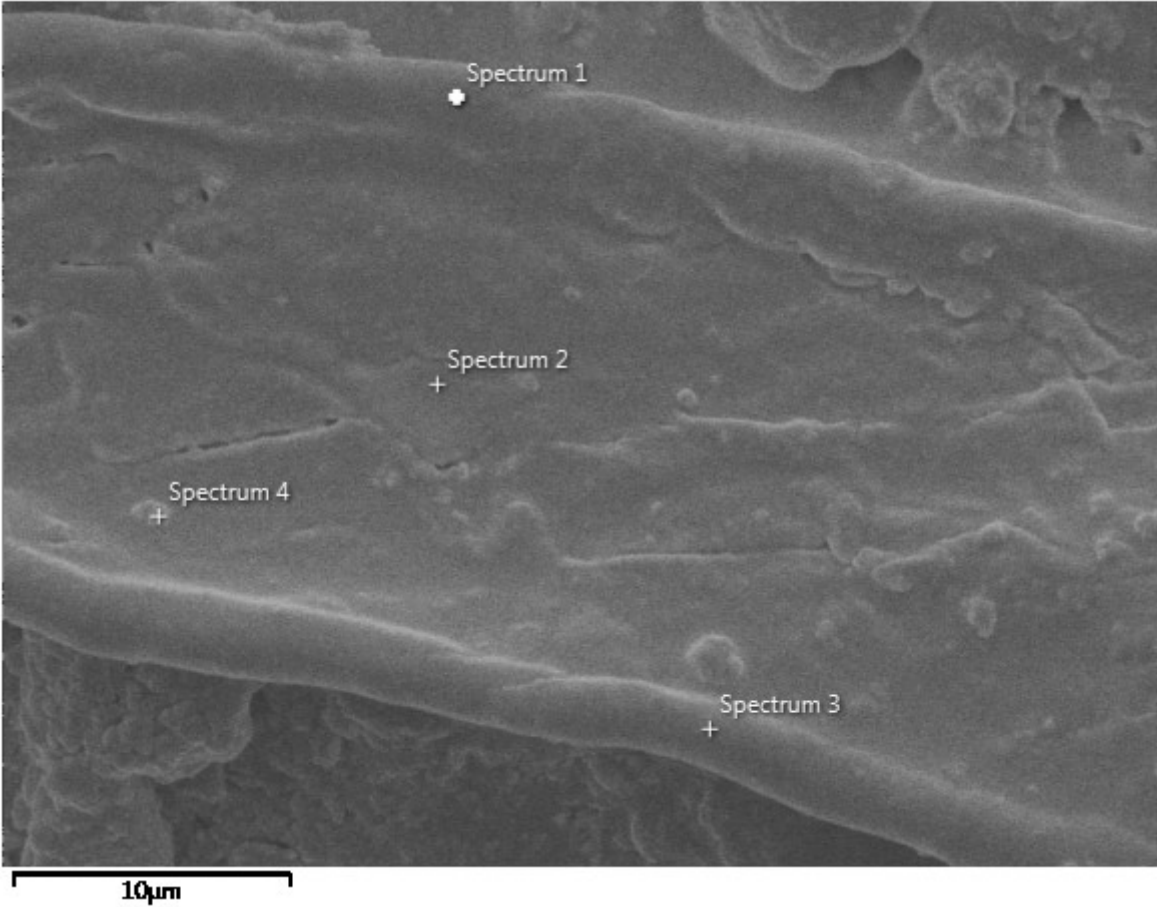


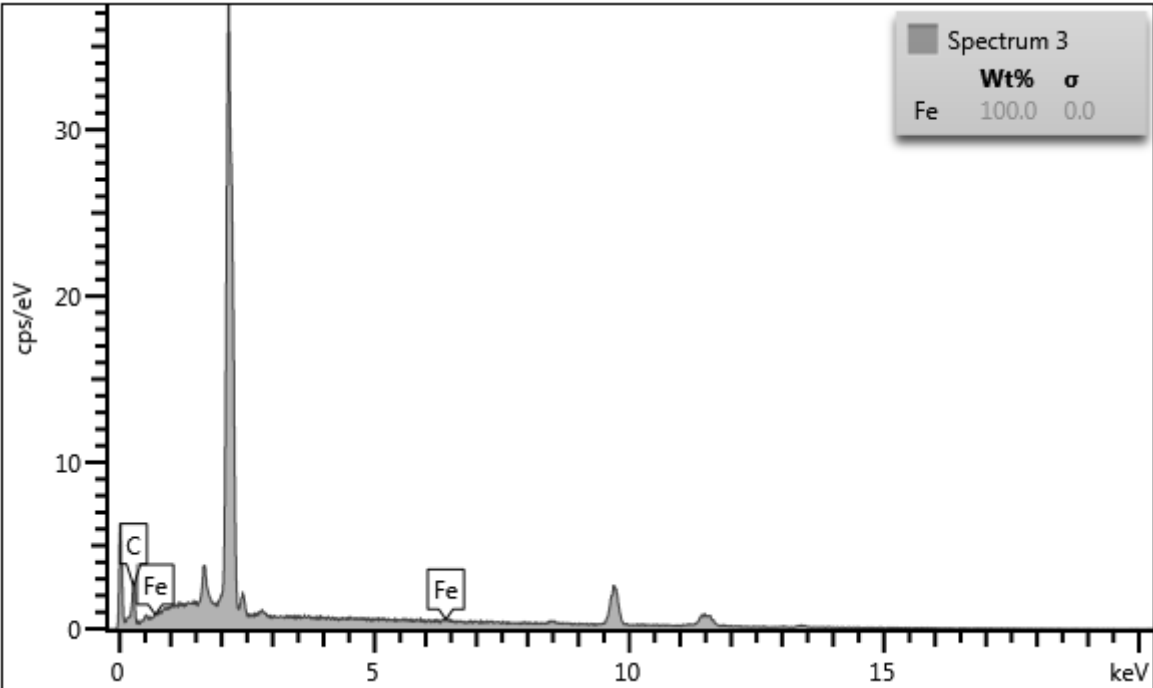
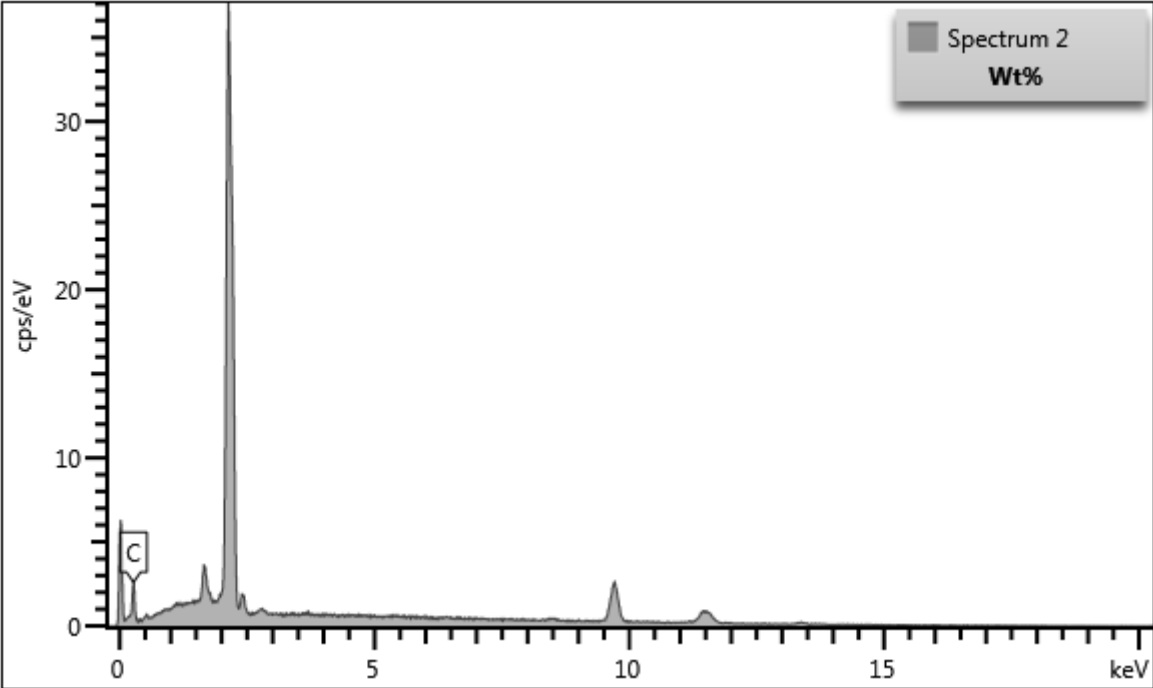
EDS Layered Image 6

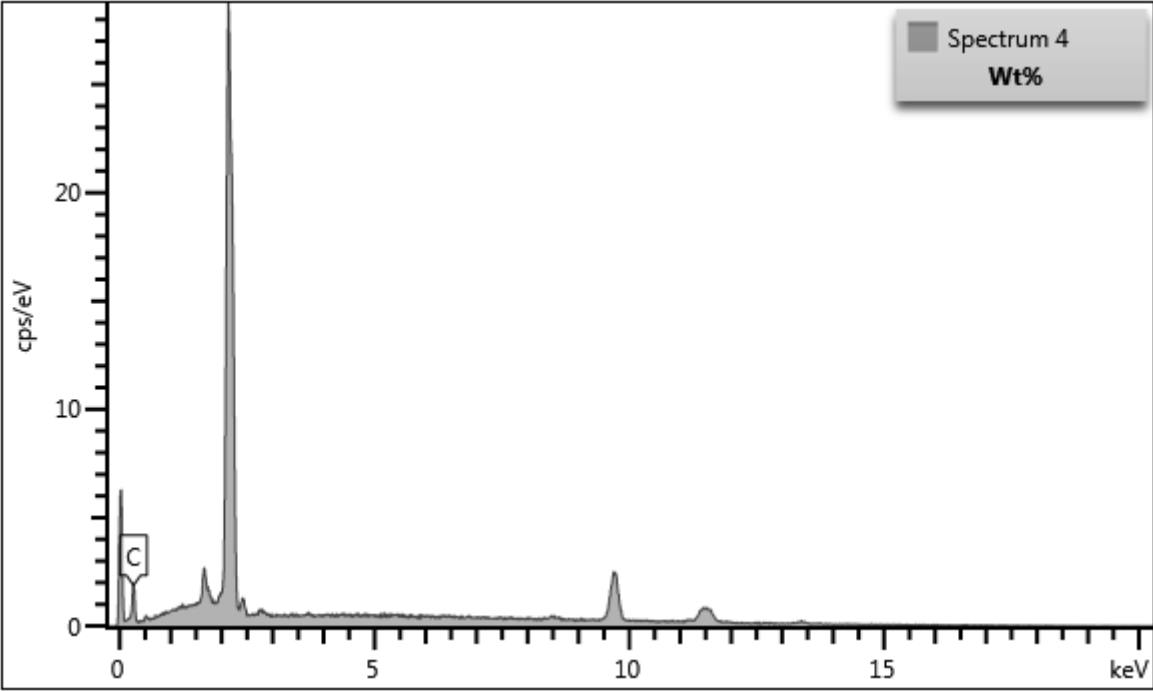




Electron Image 5







Spectrum details

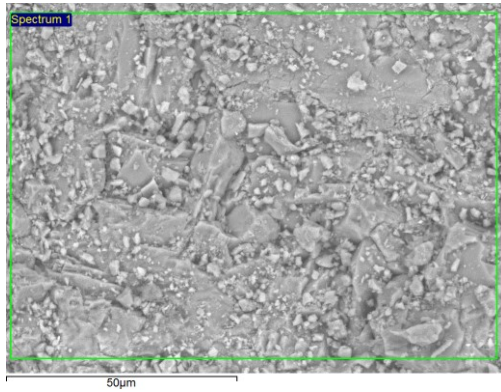
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 107.8 μm



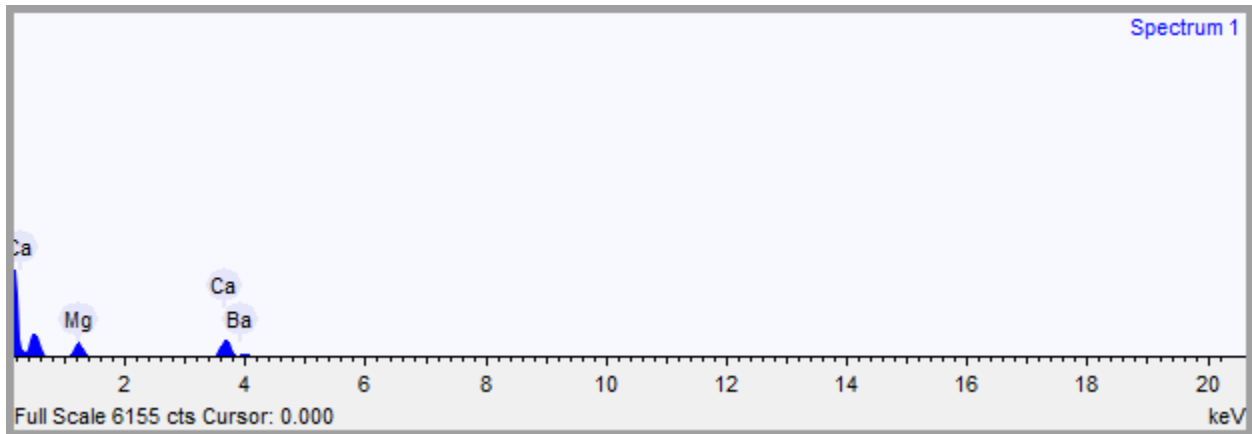
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	30.553	1.035	41.873
Silicon	2.347	0.529	2.785
Phosphorus	0.293	0.650	0.315
Calcium	65.940	1.525	54.817
Strontium	0.000	0.000	0.000
Barium	0.867	1.692	0.210

Spectrum details

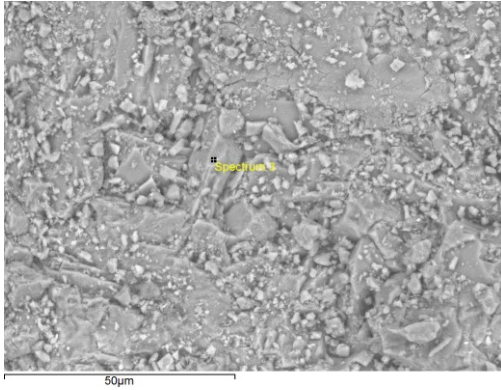
Project

New project

Spectrum name Spectrum 3

Electron Image

Image Width: 107.8 μm



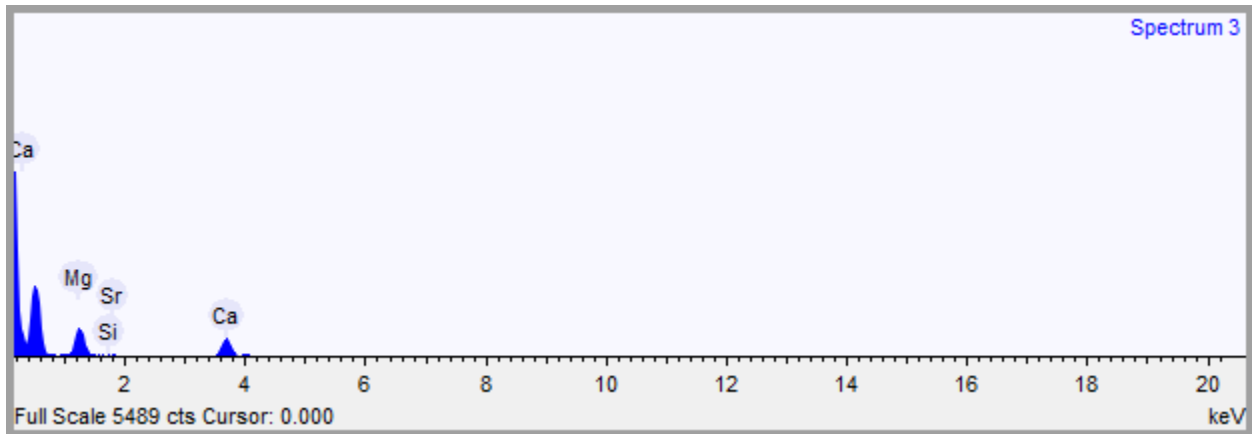
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	44.148	1.290	57.191
Silicon	0.226	0.560	0.254
Phosphorus	0.339	0.686	0.344
Calcium	52.481	1.440	41.239
Strontium	2.523	1.363	0.907
Barium	0.284	1.481	0.065

Spectrum details

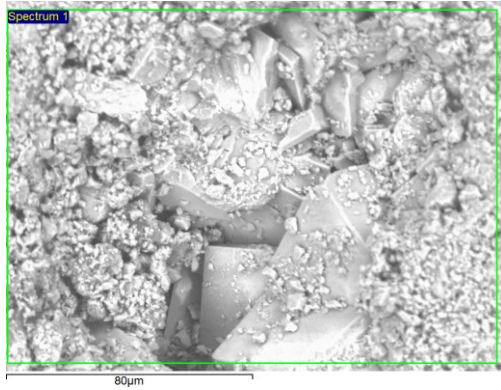
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



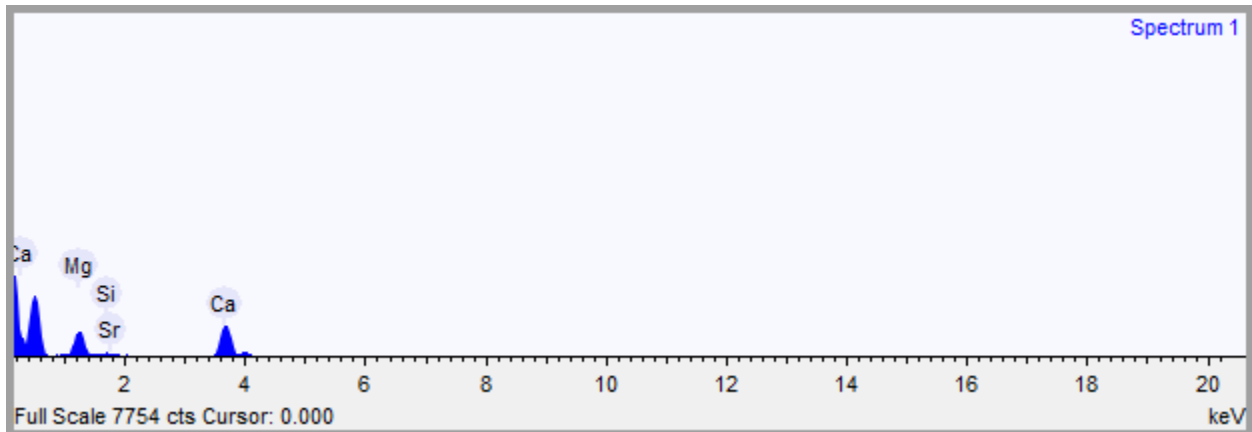
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.6

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	31.344	0.661	42.541
Silicon	2.922	0.379	3.432
Phosphorus	0.194	0.437	0.207
Calcium	65.231	0.923	53.704
Strontium	0.309	0.954	0.116

Spectrum details

Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



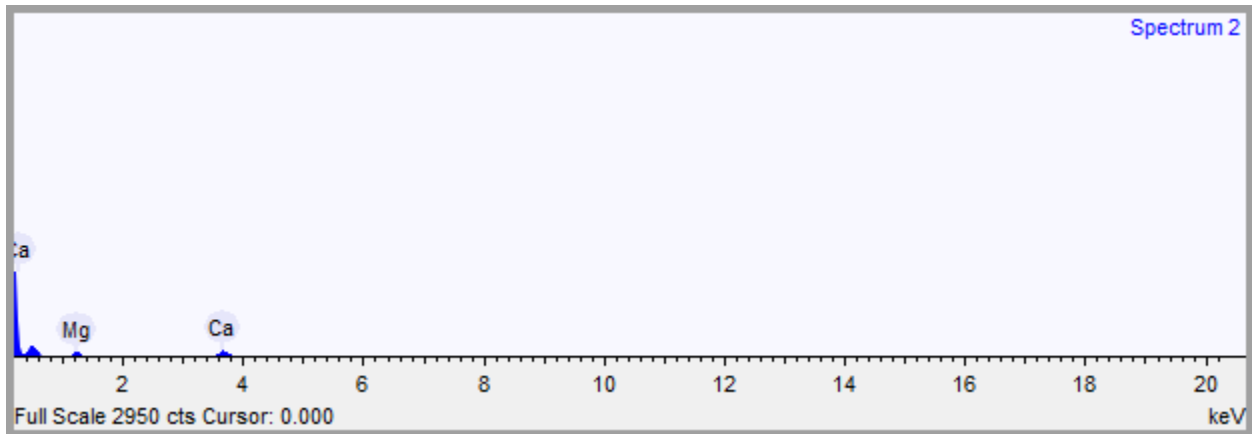
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	30.684	2.182	41.497
Silicon	3.985	1.284	4.665
Phosphorus	1.007	1.201	1.069
Calcium	64.324	2.420	52.768

Spectrum details

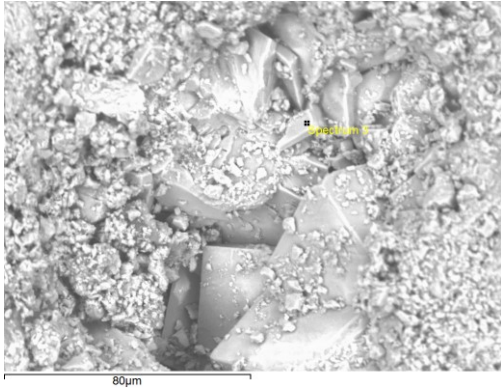
Project

New project

Spectrum name Spectrum 3

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



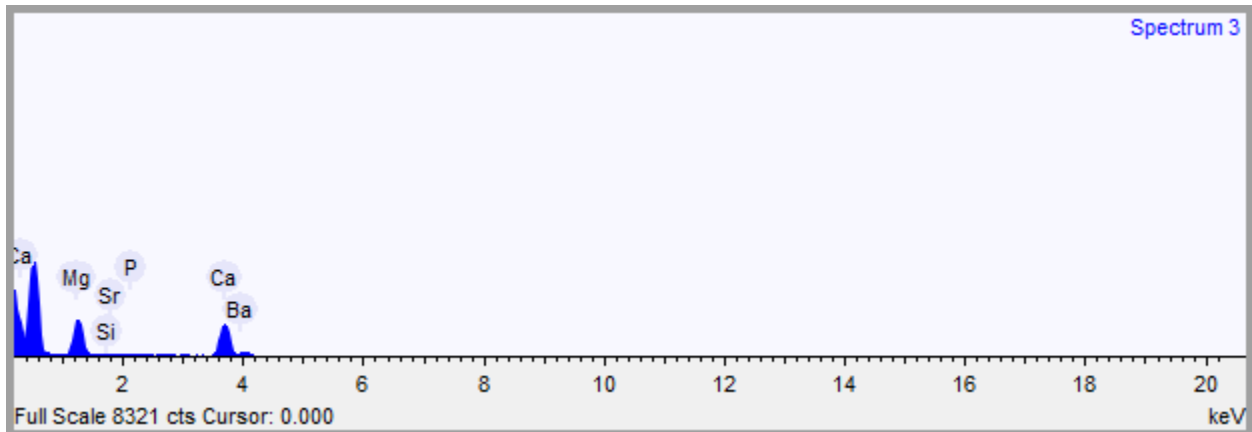
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	38.077	0.801	50.379
Silicon	0.655	0.346	0.751
Phosphorus	0.212	0.426	0.220
Calcium	60.280	1.083	48.379
Strontium	0.673	0.858	0.247
Barium	0.103	1.170	0.024

Spectrum details

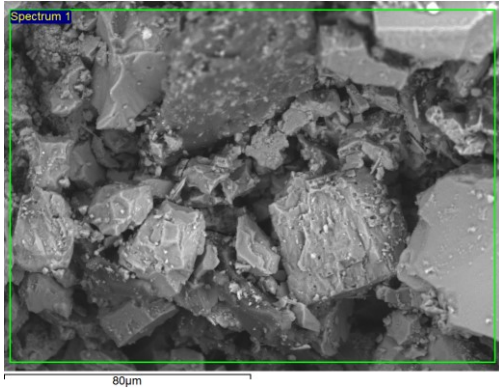
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



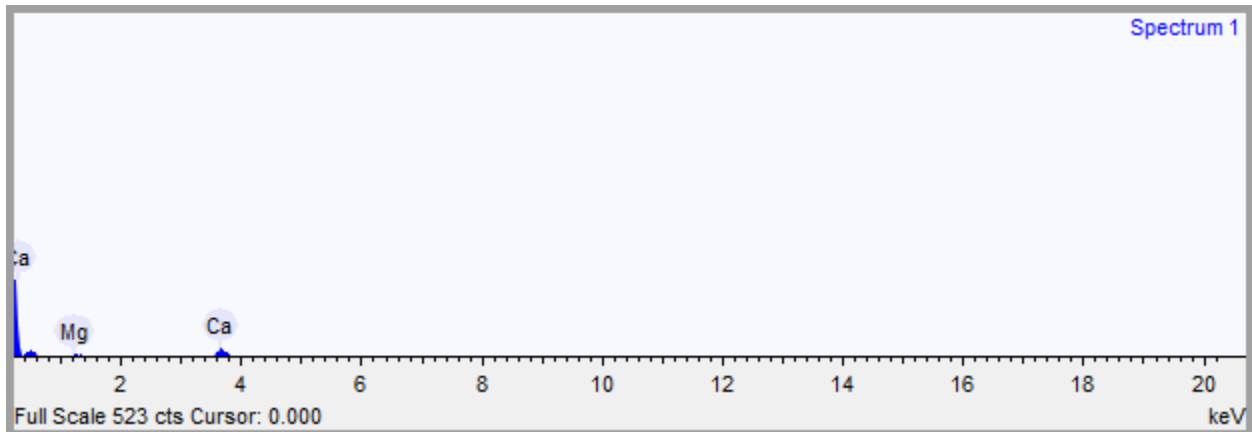
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.7

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	17.141	6.953	25.098
Silicon	6.752	4.698	8.557
Phosphorus	0.613	5.151	0.704
Calcium	73.254	23.235	65.060
Barium	2.241	29.669	0.581

Spectrum details

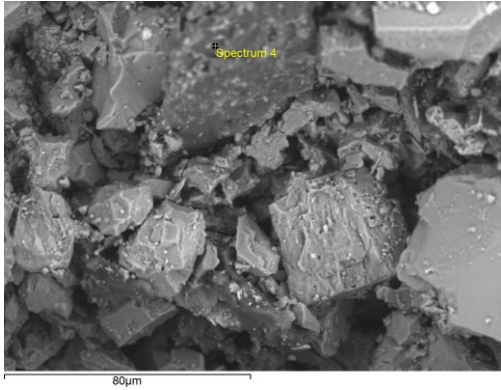
Project

New project

Spectrum name Spectrum 4

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



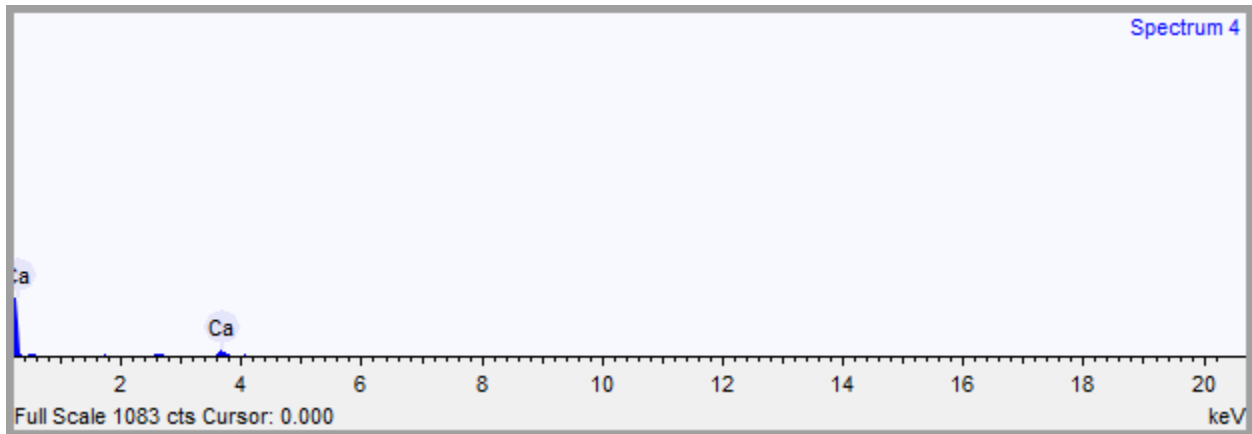
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	8.423	4.050	14.414
Calcium	77.037	18.120	79.967
Strontium	7.064	8.076	3.354
Barium	7.475	19.834	2.264

Spectrum details

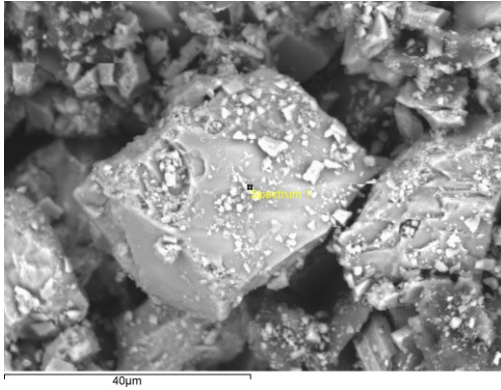
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



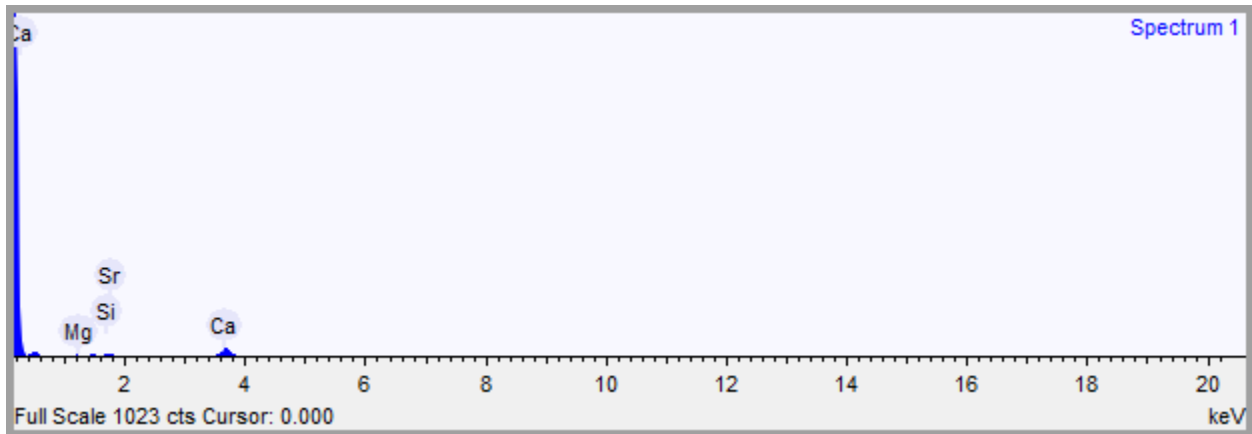
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	3.979	2.484	6.387
Silicon	14.722	3.527	20.458
Phosphorus	1.466	3.111	1.847
Calcium	69.295	11.075	67.476
Strontium	5.194	6.653	2.313
Barium	5.344	12.455	1.519

Spectrum details

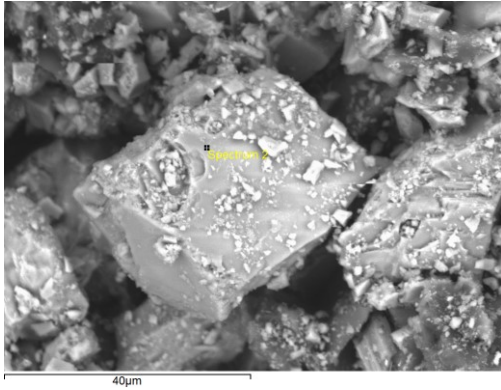
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



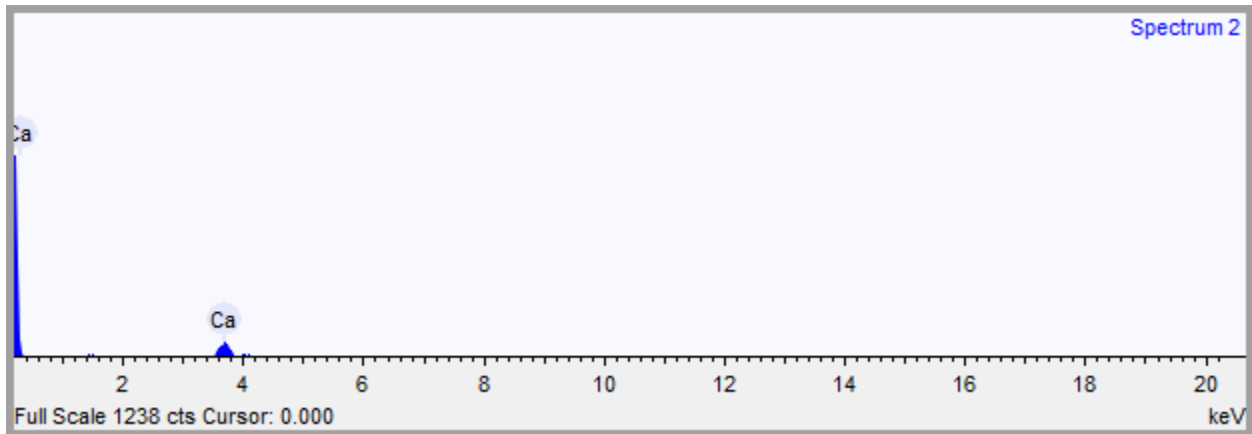
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	3.612	1.734	5.778
Silicon	0.798	1.123	1.105
Phosphorus	1.282	1.212	1.610
Calcium	94.308	2.327	91.508

Spectrum details

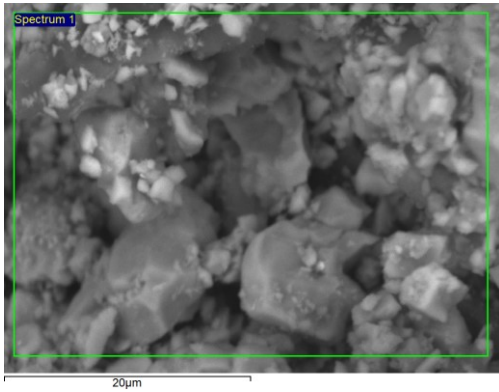
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 40.4 μm



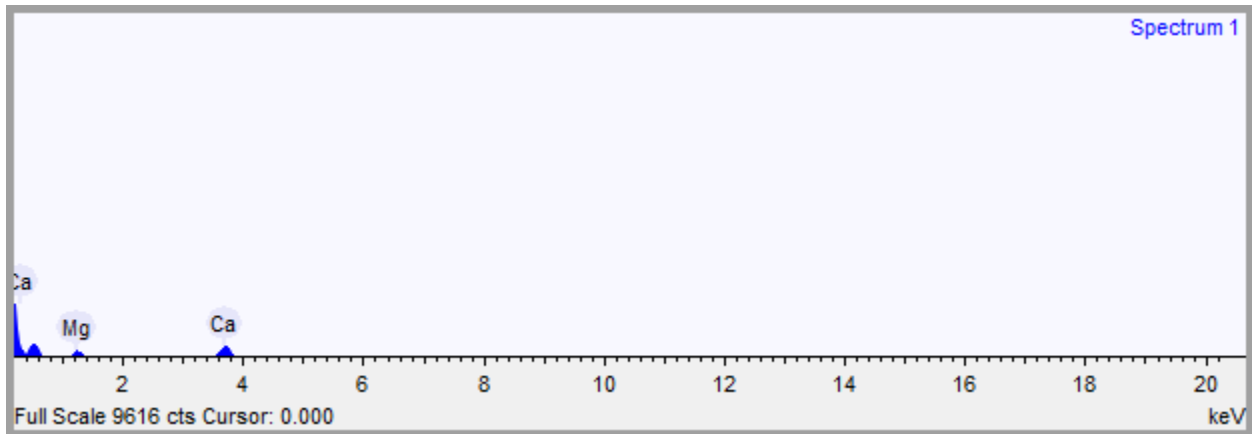
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.2

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	23.311	0.996	33.356
Silicon	2.924	0.527	3.622
Phosphorus	0.395	0.609	0.444
Calcium	71.415	1.885	61.986
Strontium	0.674	1.314	0.268
Barium	1.280	1.763	0.324

Spectrum details

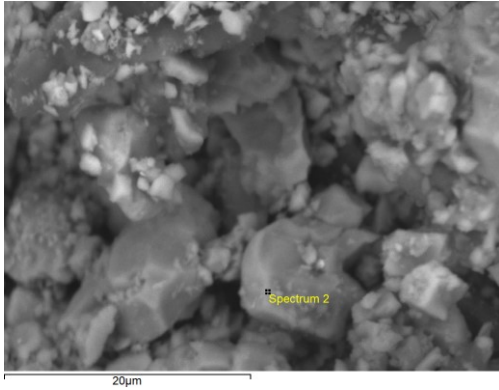
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 40.4 μm



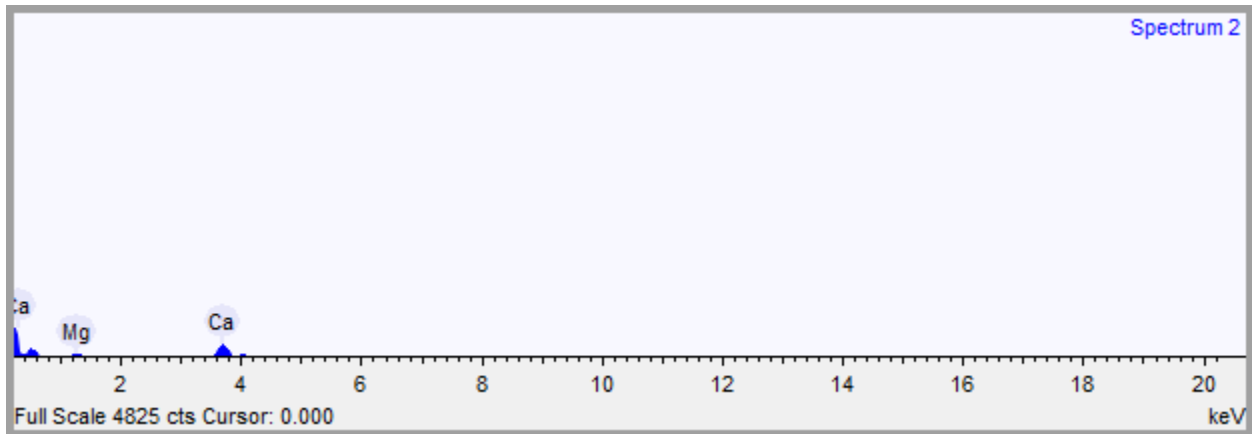
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	13.088	1.064	20.110
Silicon	1.111	0.566	1.477
Phosphorus	0.262	0.537	0.316
Calcium	83.072	2.195	77.425
Barium	2.467	2.152	0.671

Spectrum details

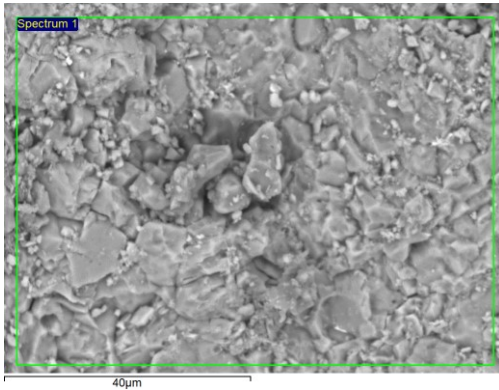
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



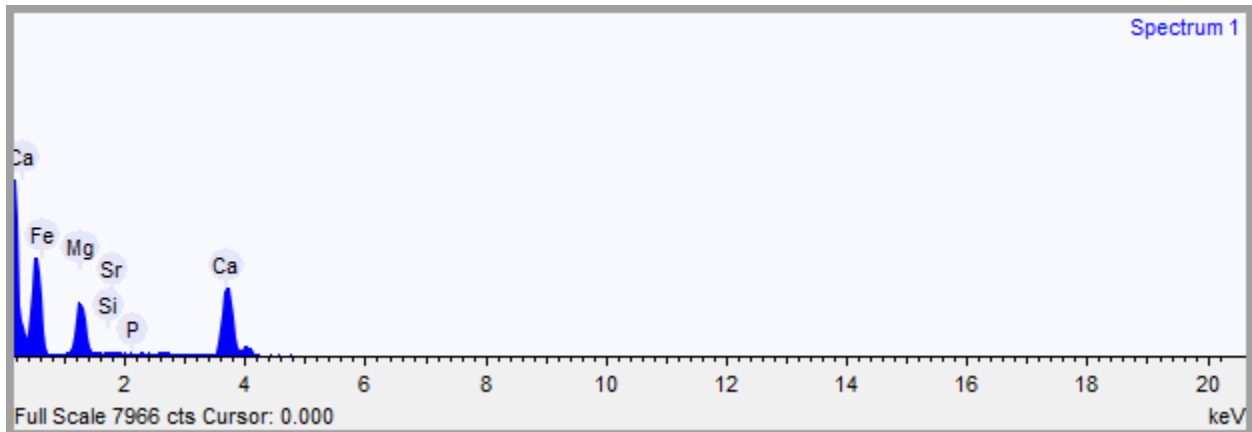
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

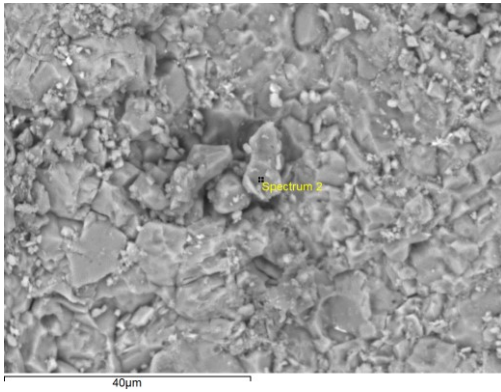
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	31.363	0.448	42.841
Silicon	1.085	0.221	1.282
Phosphorus	0.279	0.276	0.299
Calcium	66.641	0.654	55.216
Iron	0.563	0.461	0.335
Strontium	0.069	0.560	0.026

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

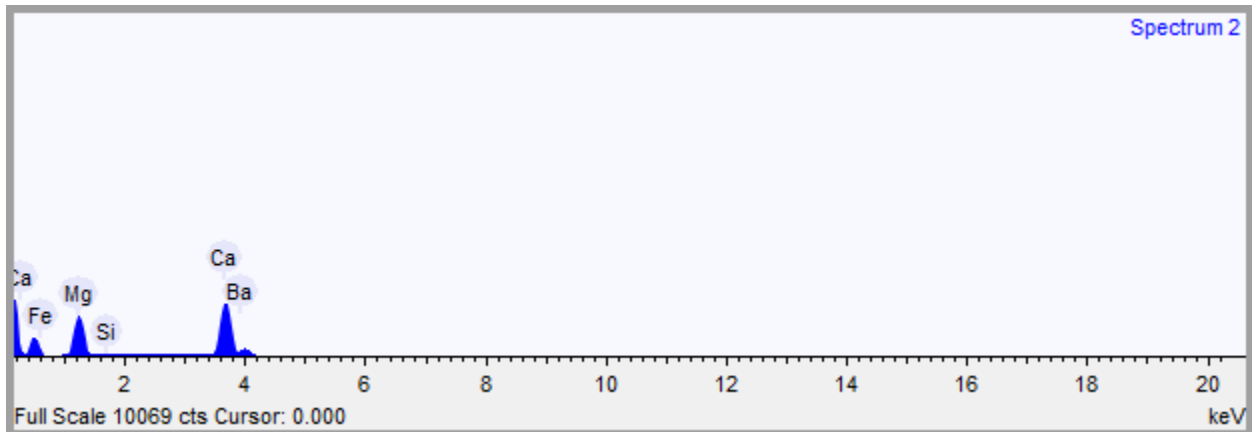
Image Width: 80.9 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

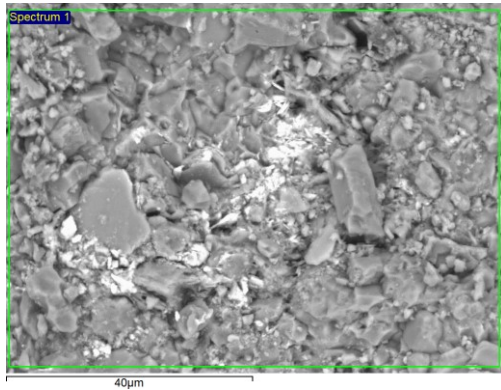
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	30.977	0.476	42.531
Silicon	0.611	0.221	0.726
Calcium	67.970	0.738	56.608
Iron	0.077	0.452	0.046
Barium	0.365	0.780	0.089

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

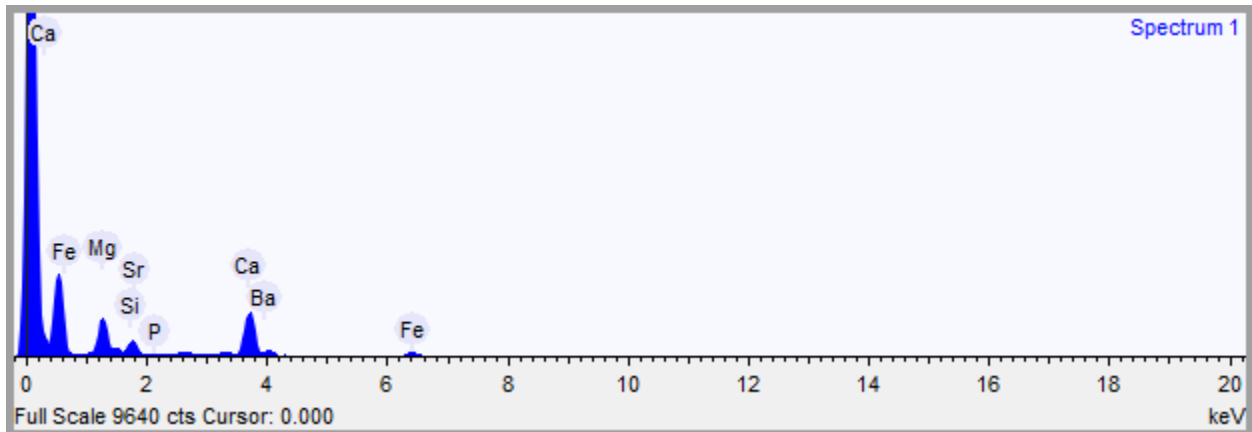
Image Width: 80.9 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.2 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	24.329	0.473	35.231
Silicon	9.317	0.317	11.678
Phosphorus	0.395	0.298	0.449
Calcium	47.337	0.714	41.580
Iron	15.983	0.614	10.076
Strontium	2.129	0.731	0.855
Barium	0.511	0.668	0.131

Spectrum details

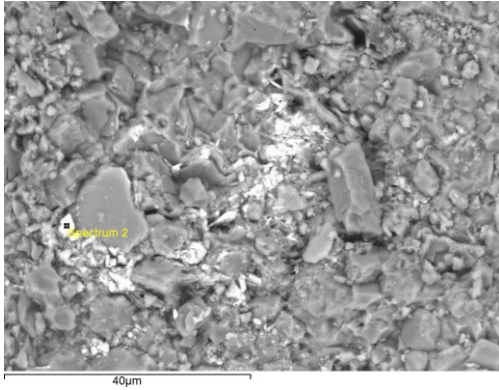
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



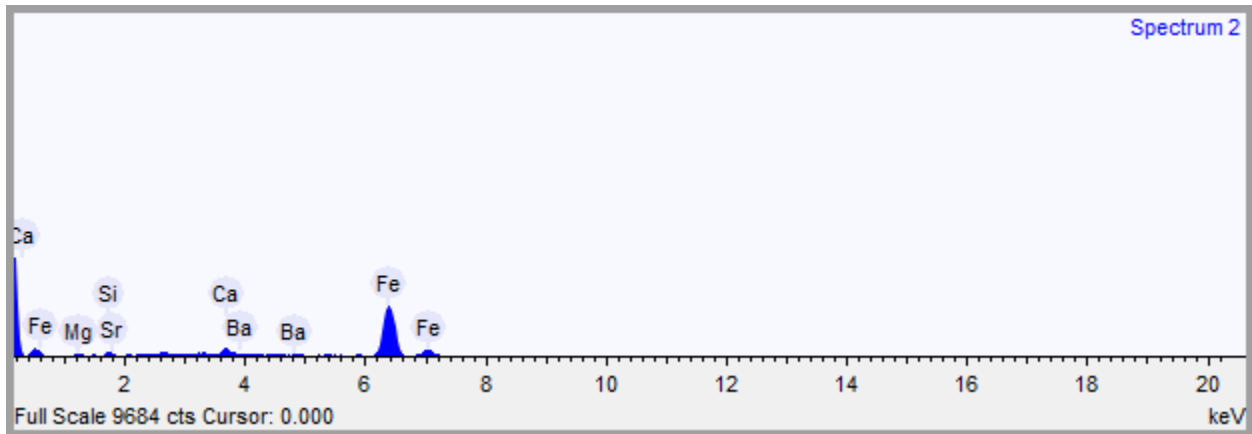
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	1.948	0.139	4.278
Silicon	1.634	0.114	3.107
Calcium	3.251	0.164	4.332
Iron	91.757	0.466	87.732
Strontium	0.013	0.226	0.008
Barium	1.397	0.369	0.543

Spectrum details

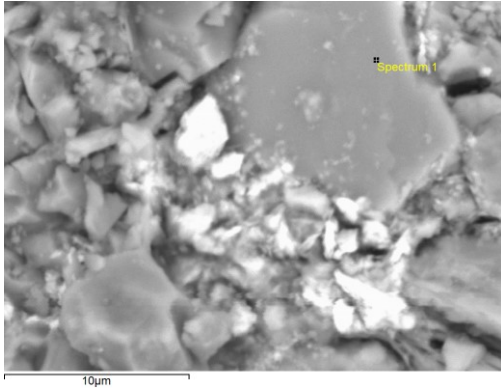
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 27.0 μm



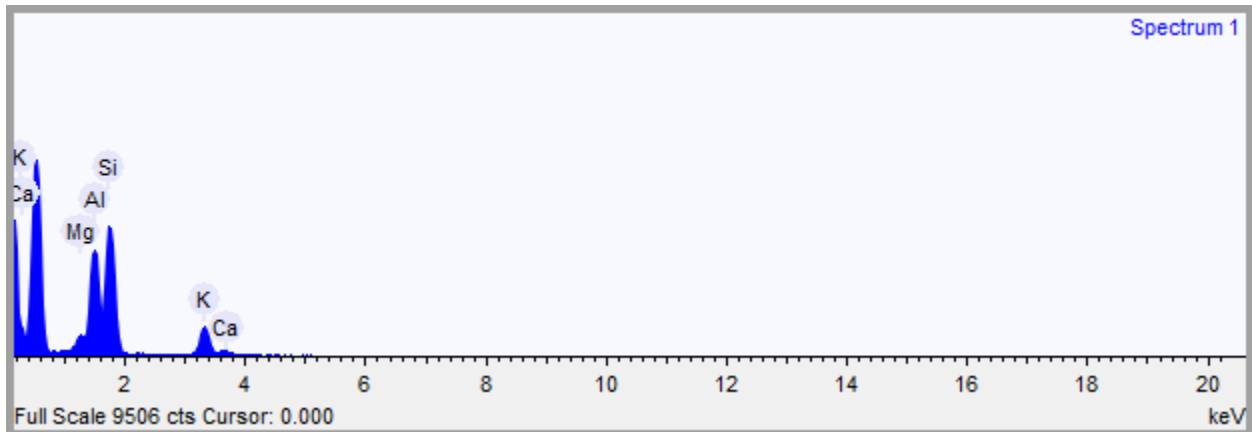
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

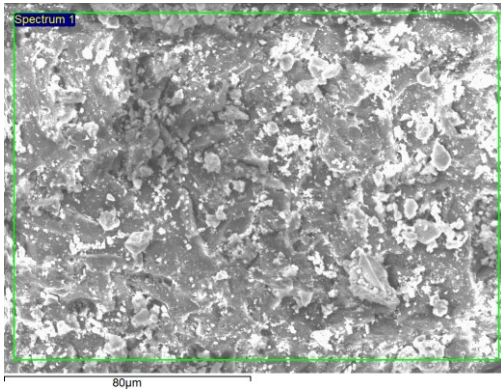
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	4.121	0.166	4.942
Aluminum	27.459	0.267	29.670
Silicon	49.294	0.323	51.169
Potassium	16.899	0.267	12.600
Calcium	2.227	0.196	1.620

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

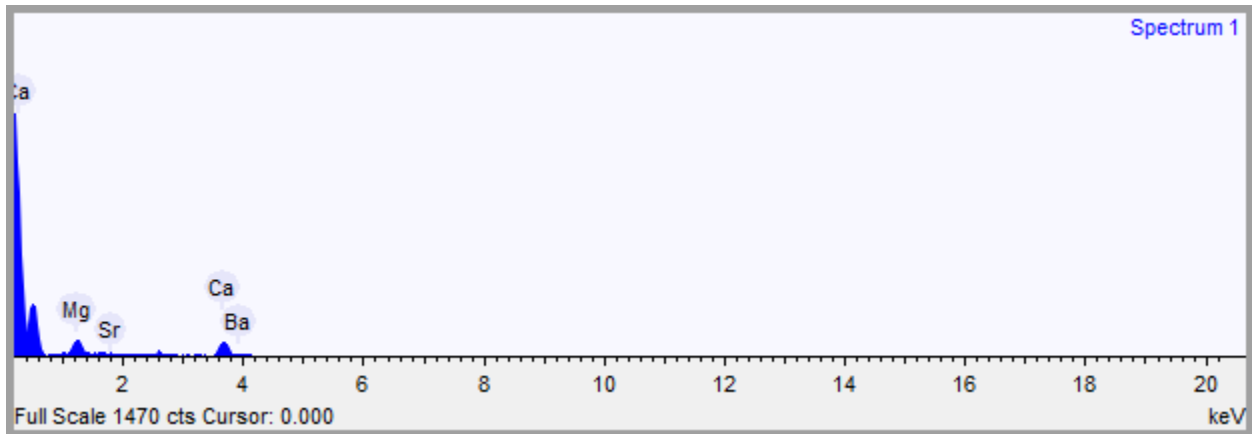
Image Width: 161.7 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.2 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	35.955	3.357	48.950
Calcium	60.870	4.812	50.267
Strontium	0.134	4.201	0.051
Barium	3.041	5.450	0.733

Spectrum details

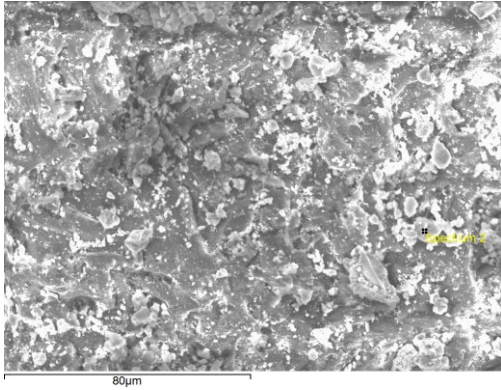
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



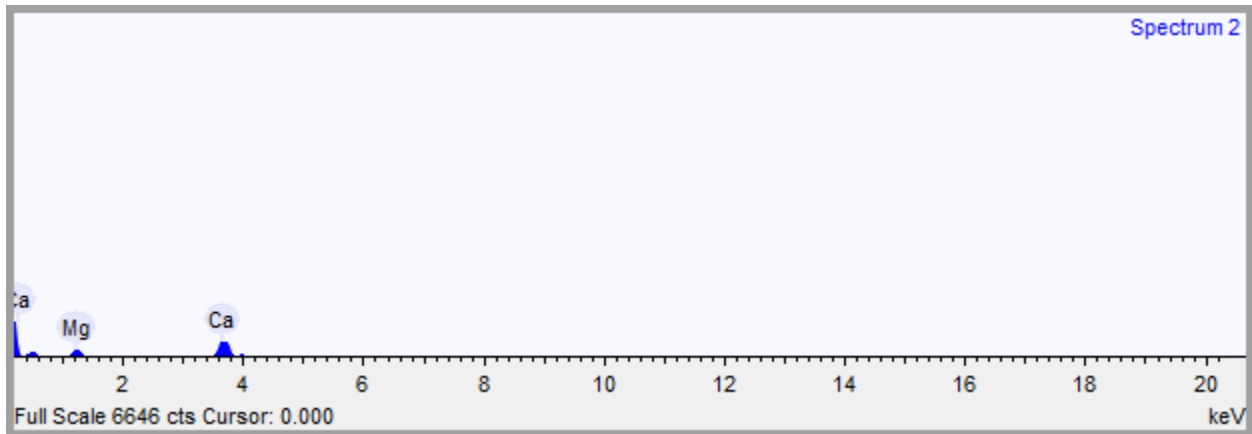
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	22.012	0.868	31.822
Calcium	77.547	1.130	68.001
Strontium	0.440	0.969	0.177

Spectrum details

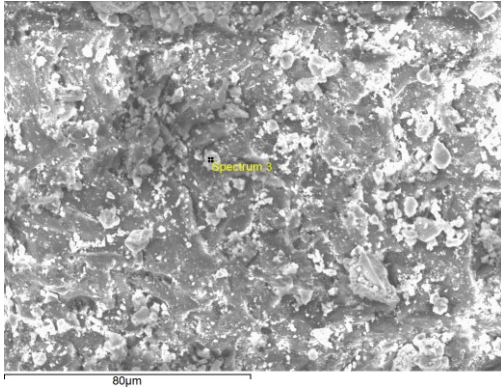
Project

New project

Spectrum name Spectrum 3

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



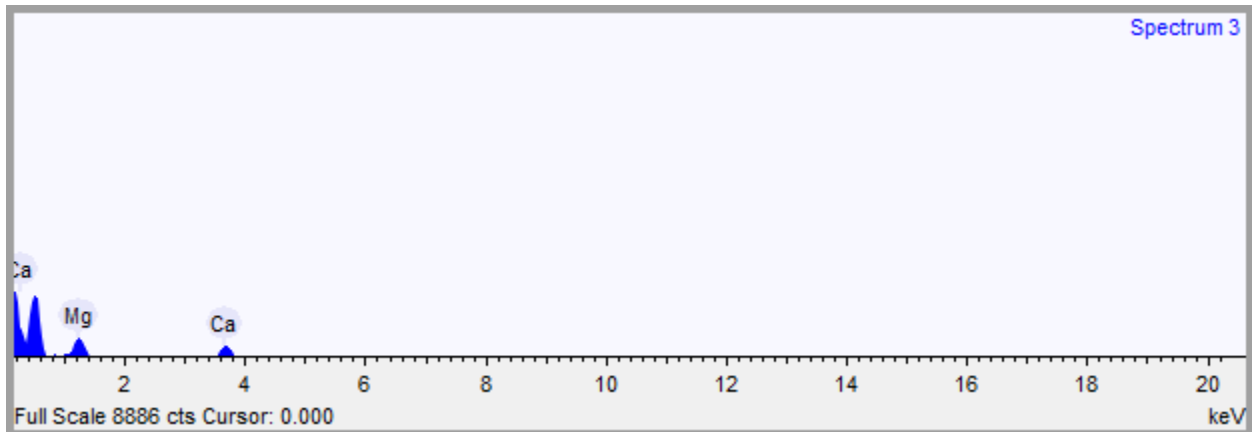
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	47.702	1.007	60.097
Calcium	52.146	1.036	39.850
Strontium	0.152	1.134	0.053

Spectrum details

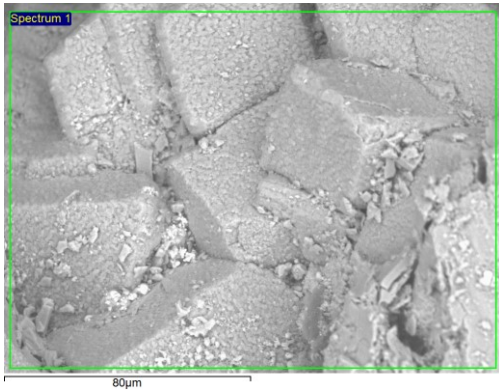
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



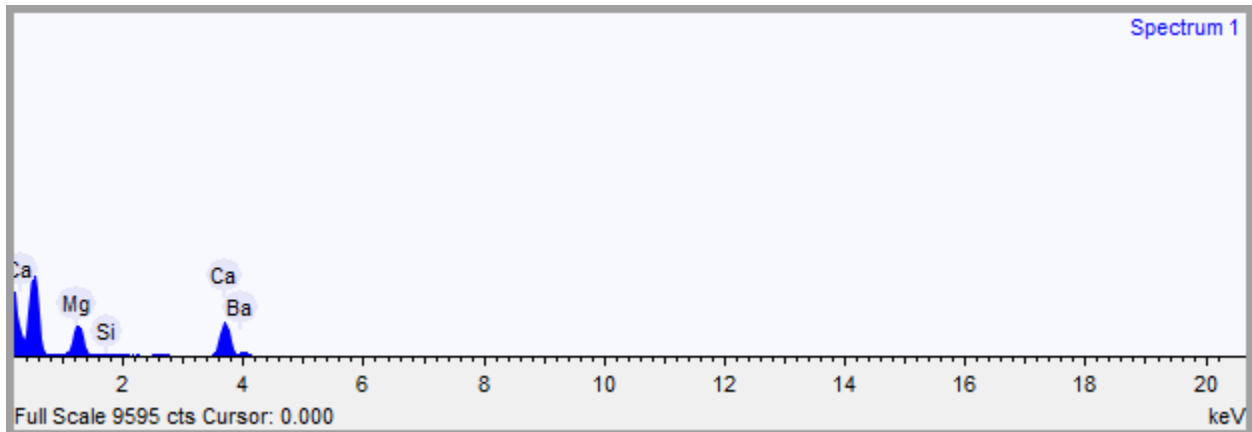
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.7

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	35.789	0.607	48.079
Silicon	0.693	0.293	0.806
Calcium	62.402	0.789	50.850
Barium	1.116	0.924	0.265

Spectrum details

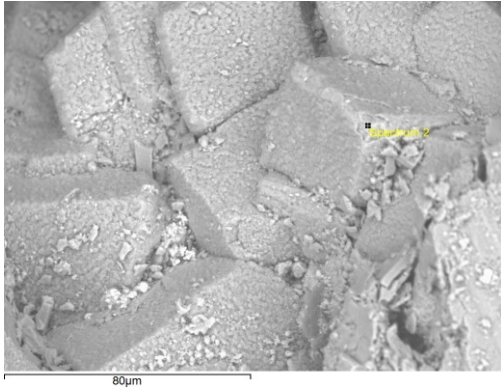
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



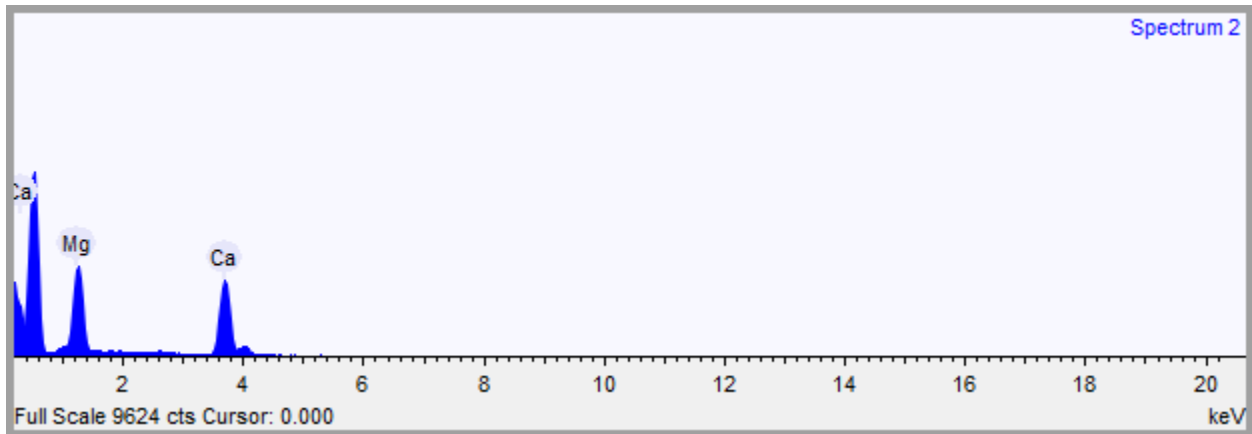
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	39.940	0.324	52.297
Calcium	60.060	0.324	47.703

Element Maps

Project: New project

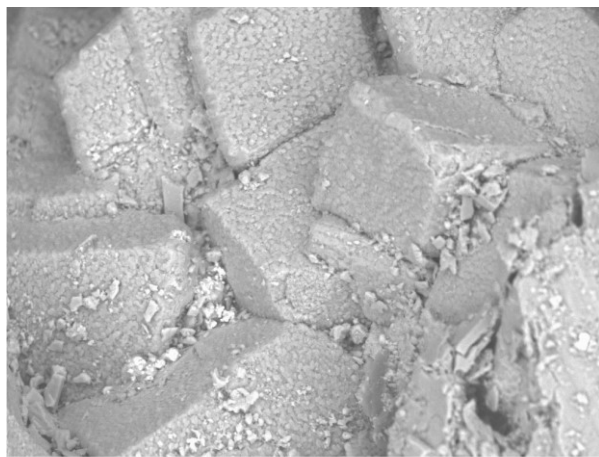
Acc. Voltage: 15.0 kV

Resolution: 512 x 384 pixels

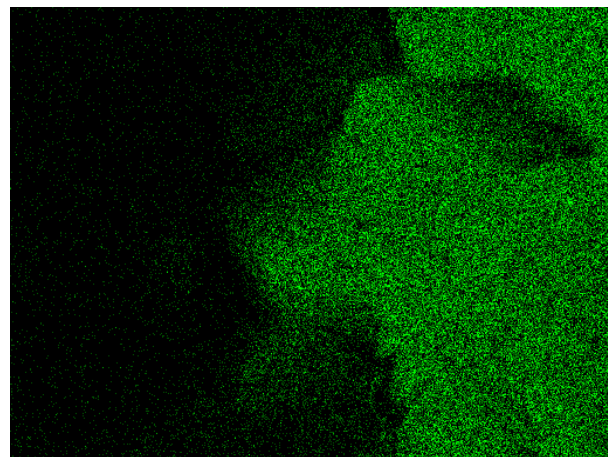
Viewed Resolution: 100%

Process Time: 5

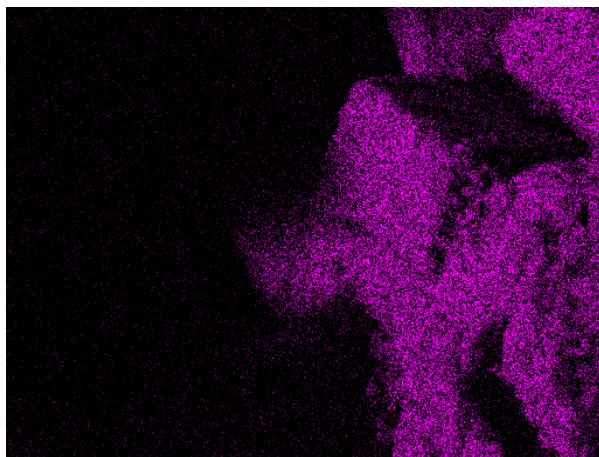
Image Width: 161.7 μm



80 μm Mixed



80 μm Calcium Ka1



80 μm Magnesium Ka1_2

Spectrum details

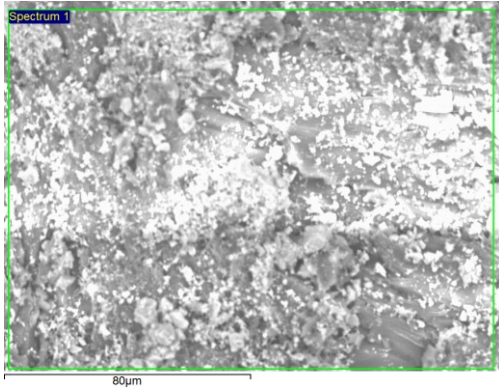
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



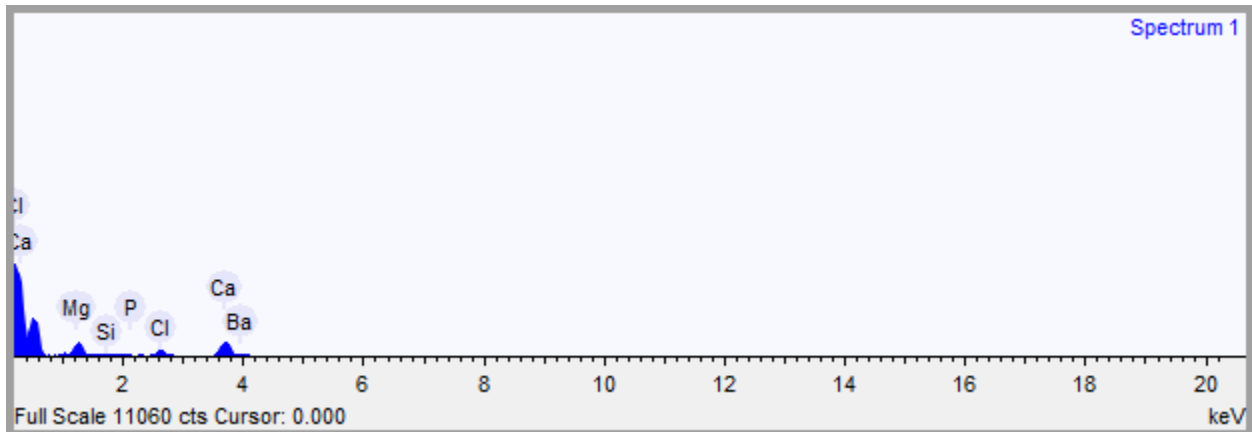
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	26.550	0.814	36.668
Silicon	1.434	0.493	1.715
Phosphorus	1.289	0.512	1.397
Chlorine	14.335	0.686	13.577
Calcium	55.381	1.252	46.396
Barium	1.010	1.616	0.247

Spectrum details

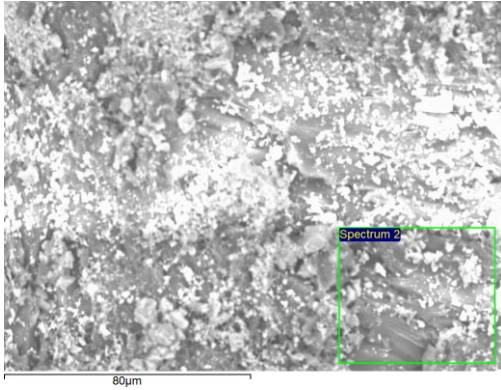
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



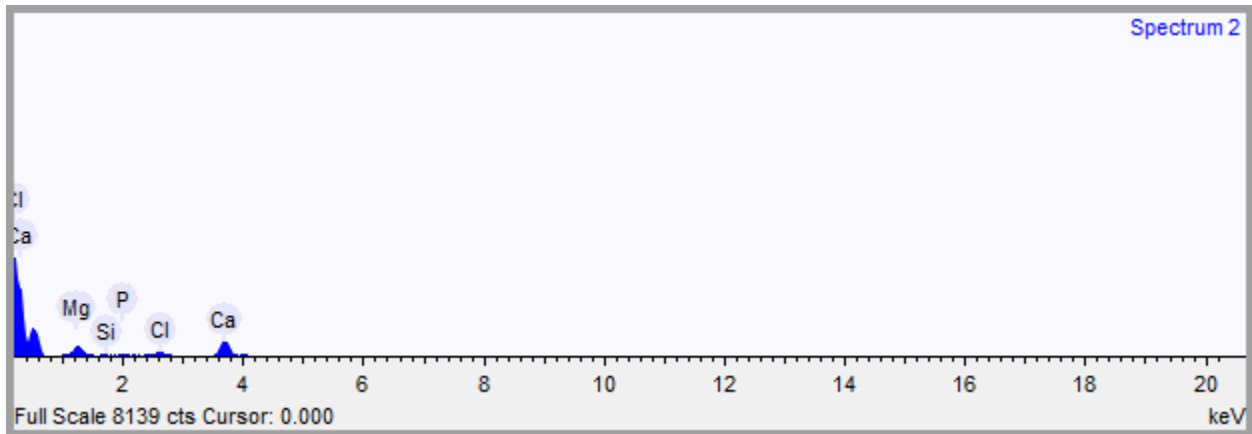
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	24.078	0.900	33.744
Silicon	0.955	0.633	1.159
Phosphorus	1.008	0.697	1.109
Chlorine	10.076	0.843	9.684
Calcium	63.882	1.196	54.305

Spectrum details

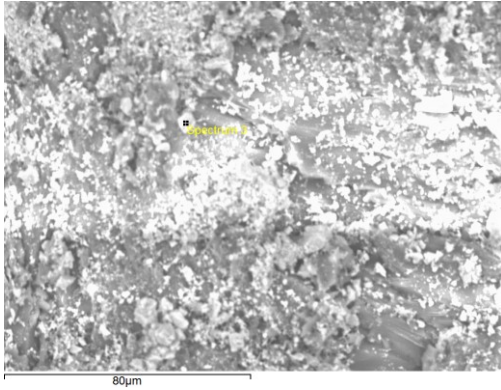
Project

New project

Spectrum name Spectrum 3

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



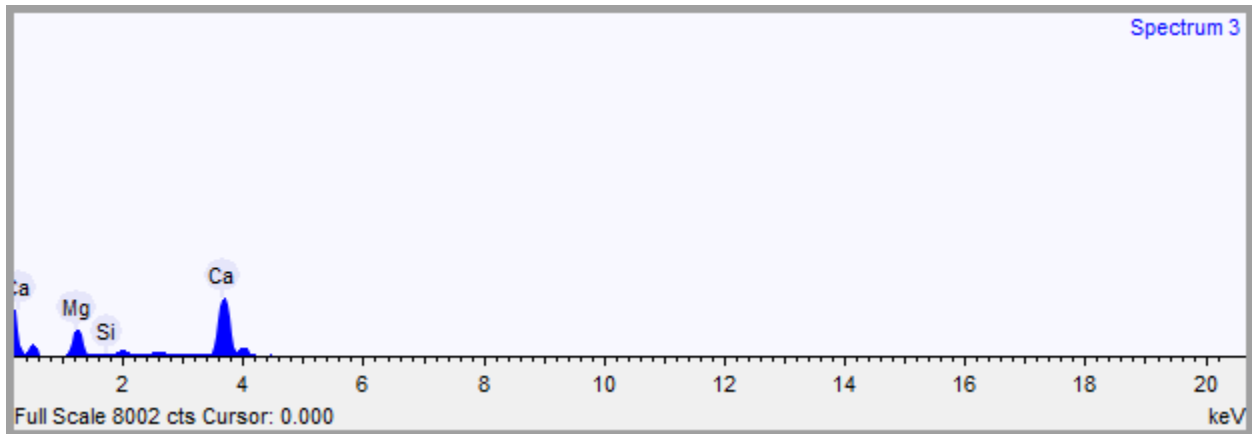
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	22.995	0.398	32.987
Silicon	0.009	0.247	0.011
Calcium	76.996	0.437	67.001

Spectrum details

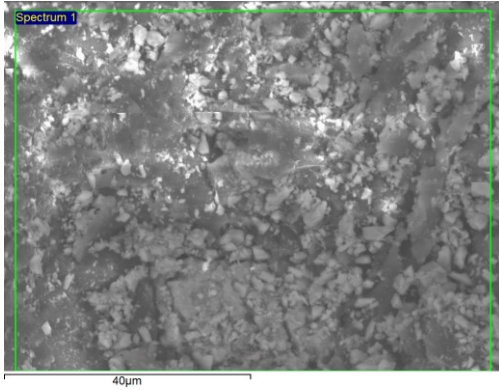
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



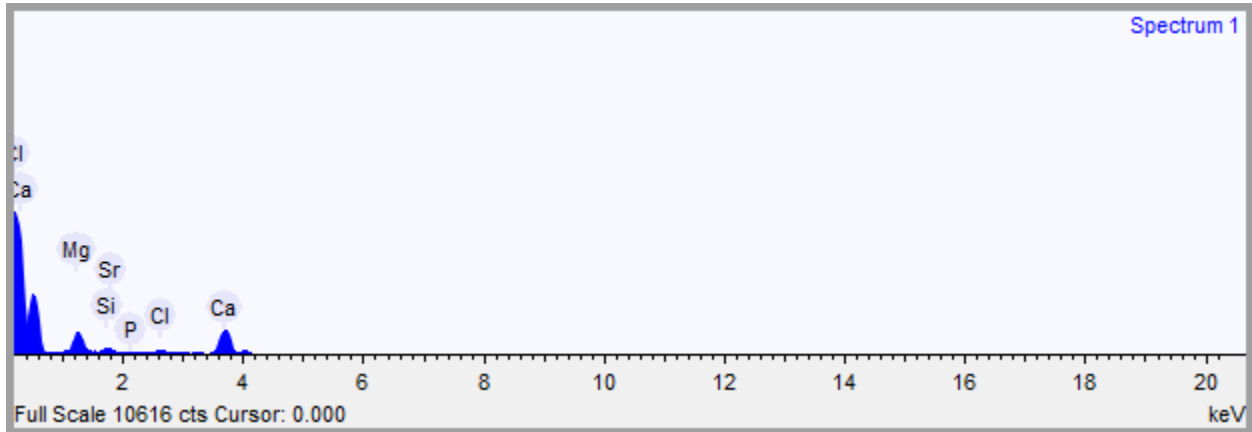
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.8

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	28.655	0.691	38.940
Silicon	5.529	0.476	6.504
Phosphorus	1.089	0.585	1.161
Chlorine	4.068	0.464	3.791
Calcium	59.771	1.058	49.269
Strontium	0.887	1.198	0.334

Spectrum details

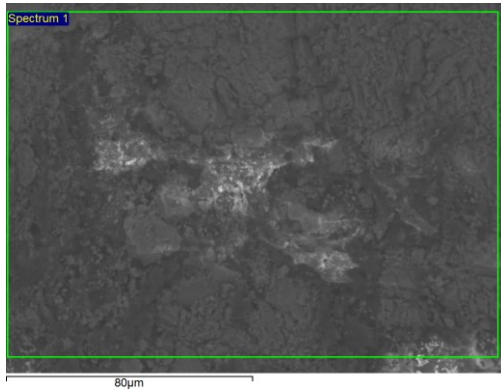
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



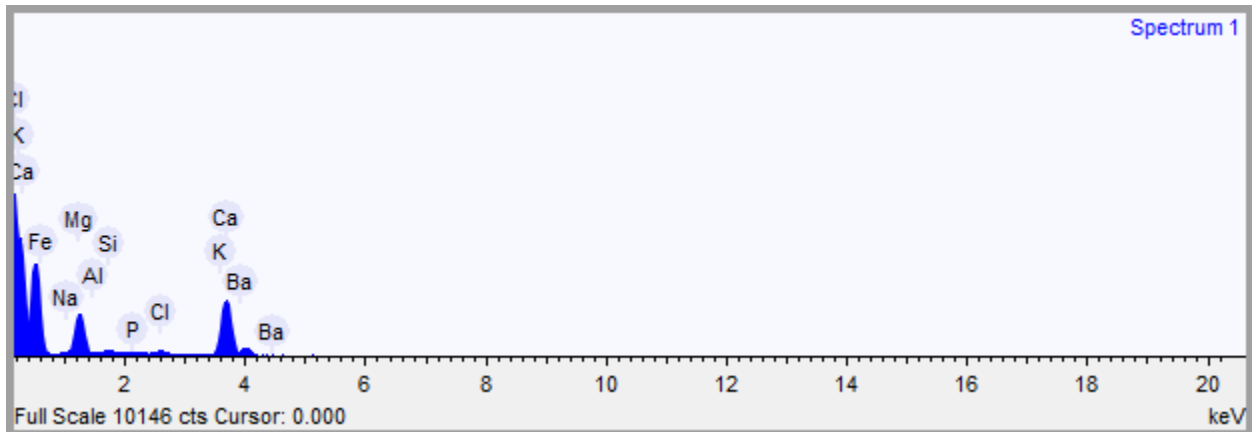
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.8

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	7.927	0.329	10.889
Magnesium	30.322	0.466	39.390
Aluminum	1.253	0.309	1.466
Silicon	1.811	0.226	2.036
Phosphorus	0.191	0.217	0.195
Chlorine	2.028	0.223	1.807
Potassium	0.466	0.200	0.376
Calcium	55.298	0.652	43.575
Iron	0.308	0.379	0.174
Barium	0.396	0.647	0.091

Spectrum details

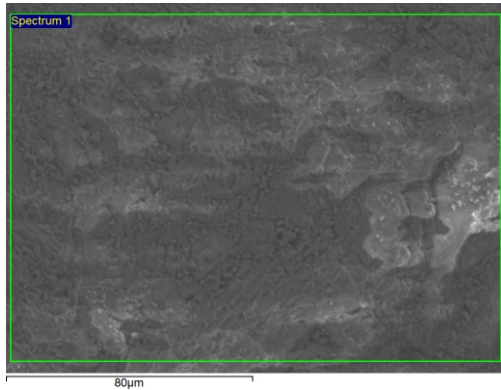
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



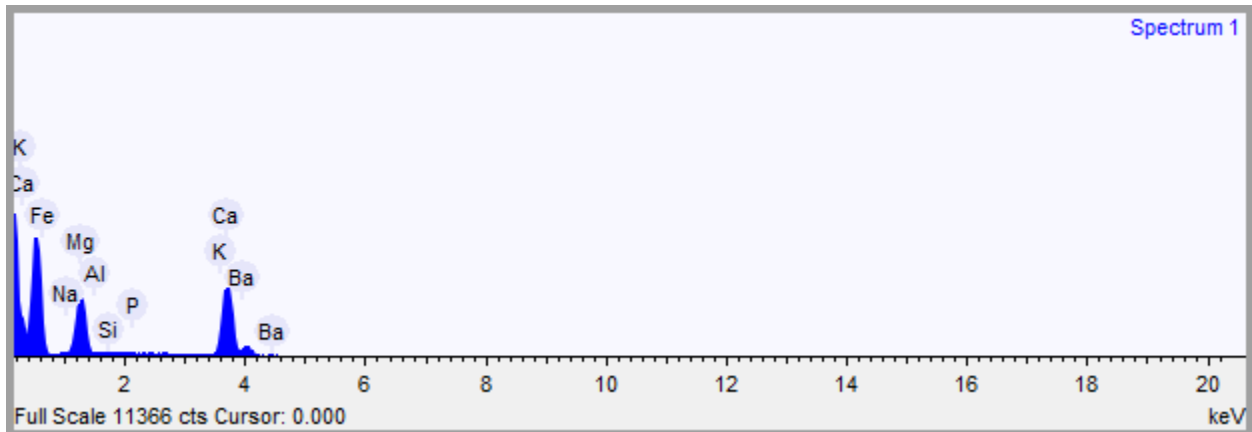
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	8.054	0.258	10.909
Magnesium	34.659	0.390	44.394
Aluminum	0.962	0.248	1.111
Silicon	0.544	0.165	0.603
Phosphorus	0.215	0.161	0.216
Potassium	0.261	0.153	0.208
Calcium	54.468	0.498	42.320
Iron	0.151	0.295	0.084
Barium	0.686	0.486	0.156

Spectrum details

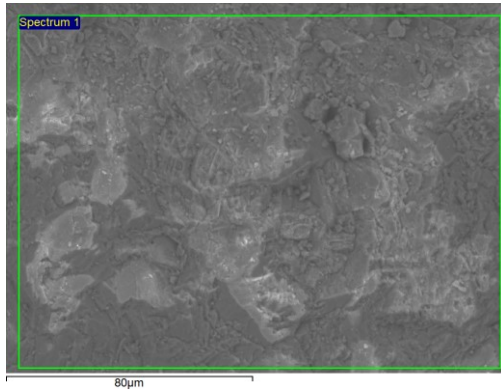
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



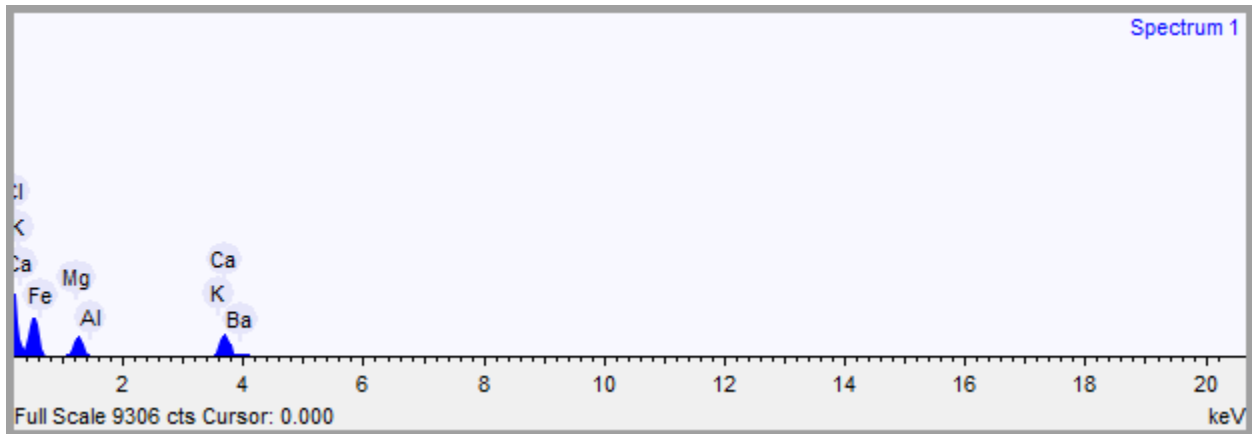
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	8.415	0.507	11.304
Magnesium	35.348	0.749	44.902
Aluminum	1.092	0.493	1.250
Silicon	0.899	0.322	0.989
Chlorine	0.442	0.299	0.385
Potassium	0.137	0.302	0.108
Calcium	53.133	0.914	40.942
Iron	0.000	0.000	0.000
Barium	0.533	0.948	0.120

Spectrum details

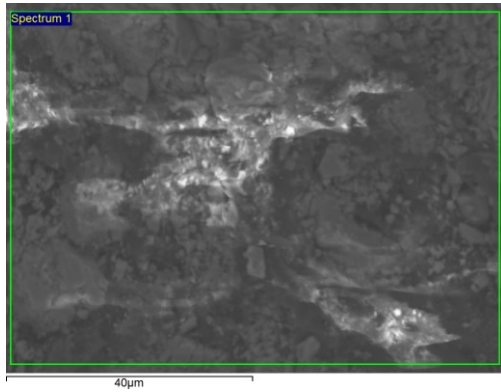
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



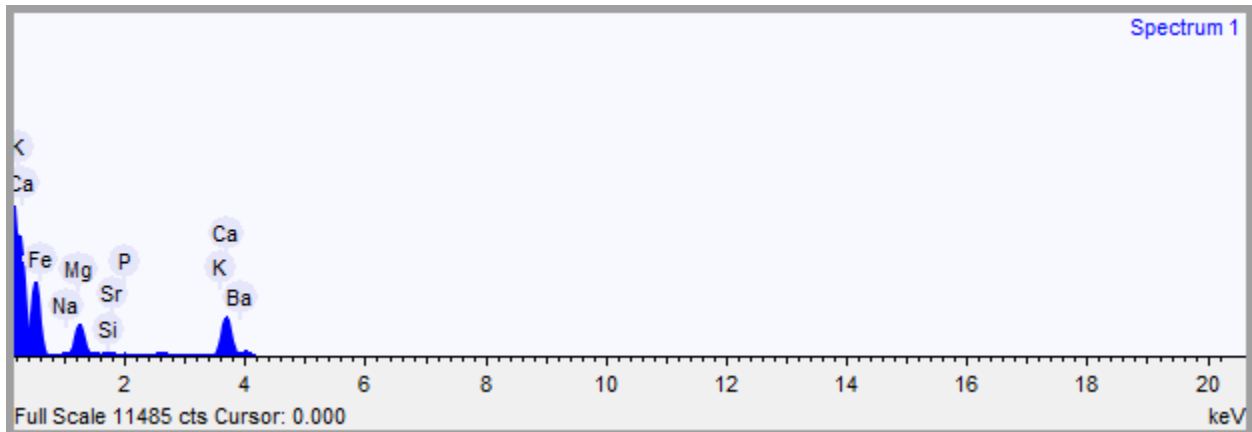
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	8.505	0.391	11.682
Magnesium	31.952	0.566	41.504
Silicon	2.128	0.272	2.393
Phosphorus	0.475	0.325	0.485
Potassium	0.447	0.235	0.361
Calcium	54.398	0.799	42.862
Iron	0.582	0.441	0.329
Strontium	0.282	0.679	0.101
Barium	1.231	0.740	0.283

Spectrum details

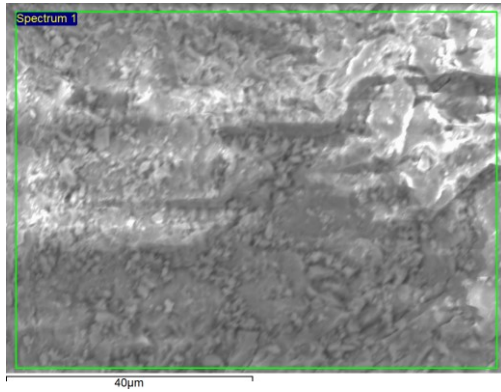
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



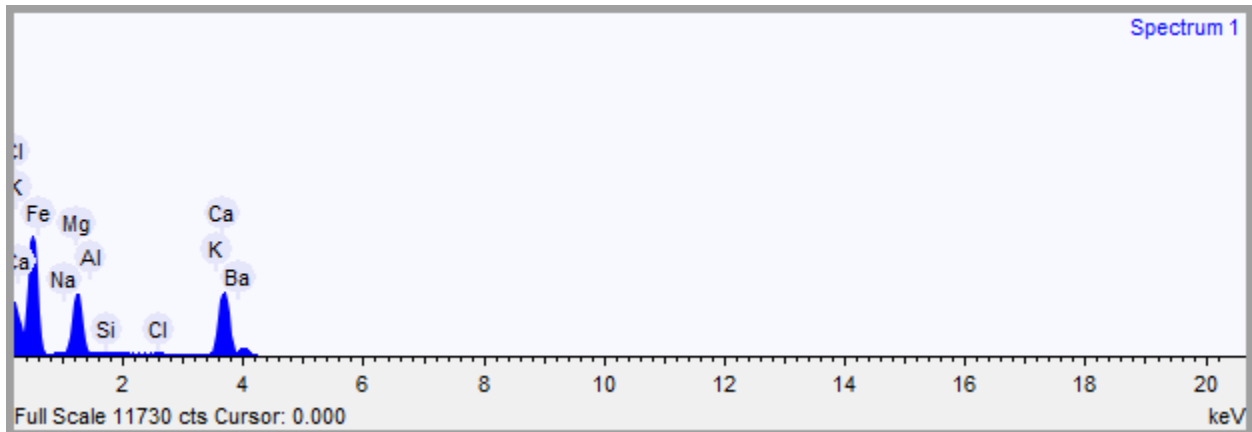
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.8

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

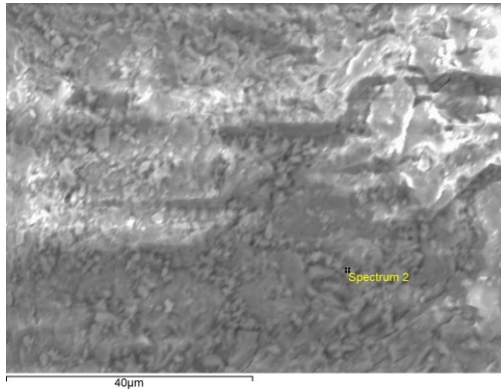
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	8.055	0.256	10.762
Magnesium	36.222	0.359	45.763
Aluminum	1.372	0.256	1.562
Silicon	0.838	0.170	0.916
Chlorine	0.450	0.161	0.390
Potassium	0.296	0.154	0.233
Calcium	52.469	0.419	40.210
Iron	0.298	0.294	0.164
Barium	0.000	0.000	0.000

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

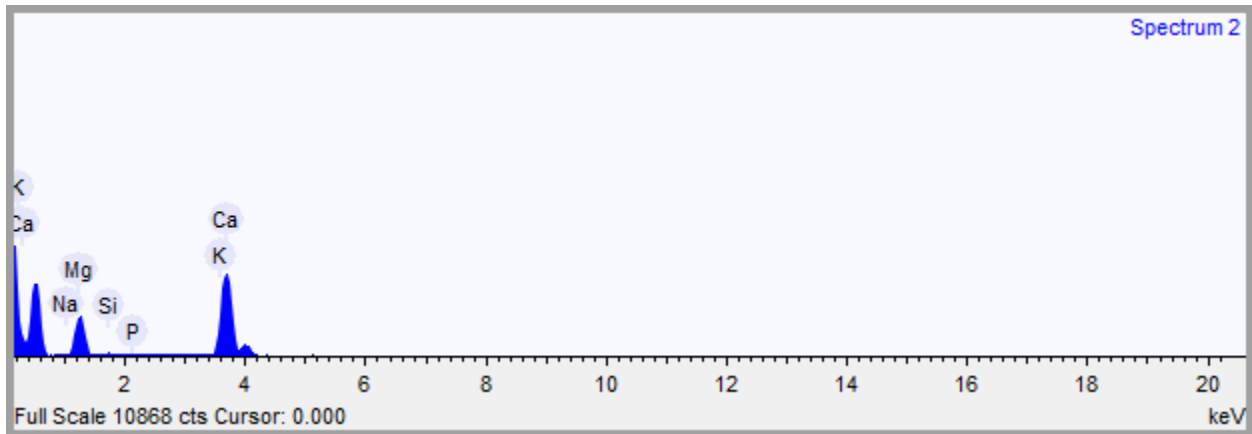
Image Width: 80.9 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

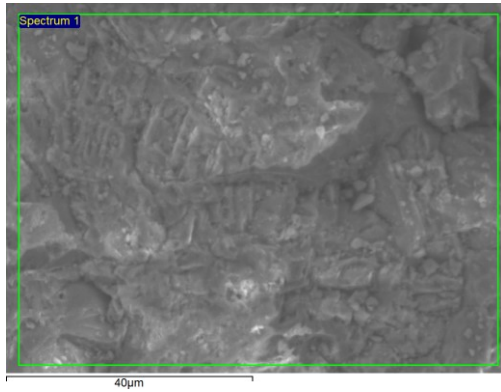
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	0.891	0.261	1.334
Magnesium	23.979	0.310	33.942
Silicon	0.456	0.148	0.558
Phosphorus	0.187	0.158	0.208
Potassium	0.187	0.177	0.165
Calcium	74.299	0.412	63.792

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

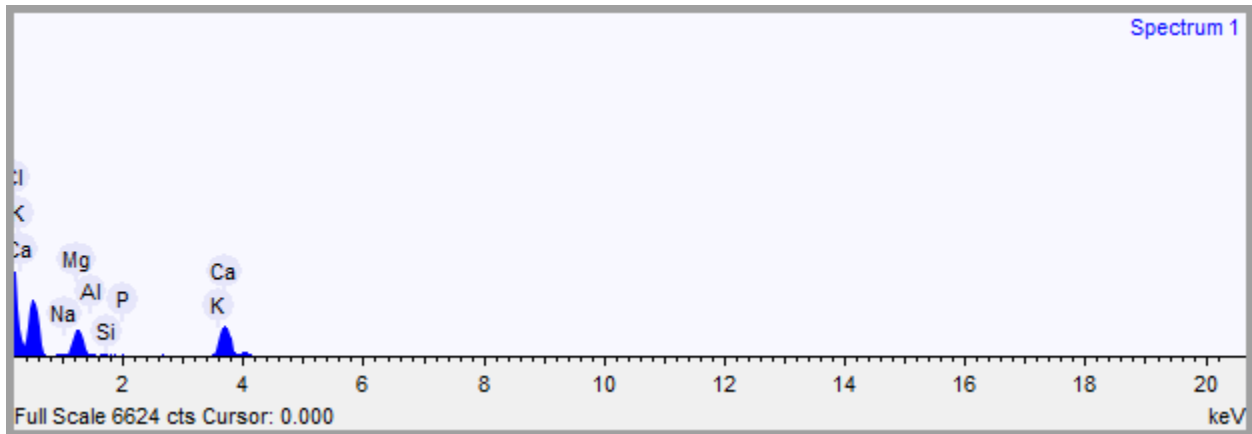
Image Width: 80.9 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	1.123	0.622	1.593
Magnesium	33.535	0.759	44.973
Aluminum	0.063	0.553	0.076
Silicon	0.473	0.358	0.549
Phosphorus	0.231	0.342	0.244
Chlorine	0.250	0.352	0.230
Potassium	0.461	0.355	0.384
Calcium	63.863	0.964	51.951

Spectrum details

Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



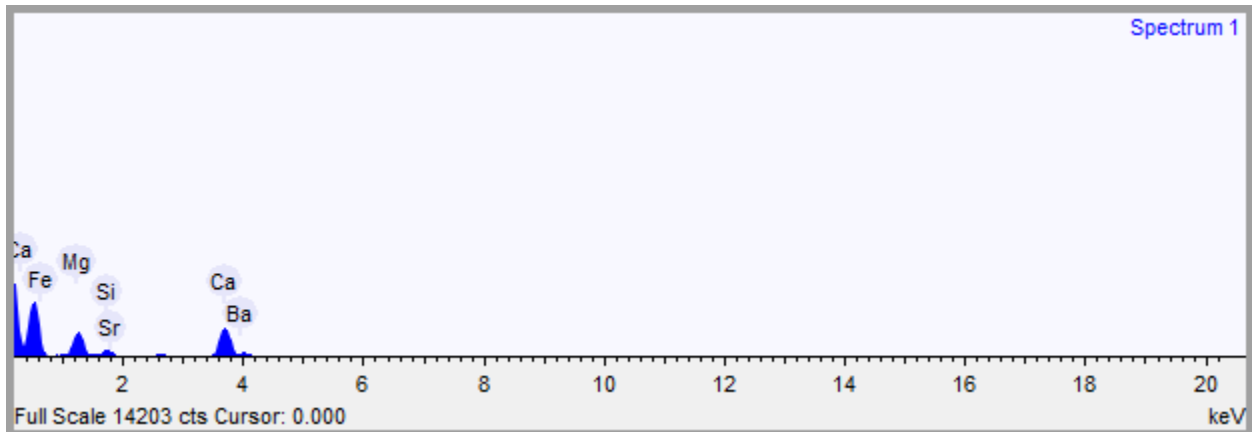
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	29.453	0.536	40.120
Silicon	7.584	0.321	8.943
Phosphorus	0.789	0.321	0.844
Calcium	59.190	0.850	48.908
Iron	0.708	0.494	0.420
Strontium	1.588	0.743	0.600
Barium	0.688	0.757	0.166

Spectrum details

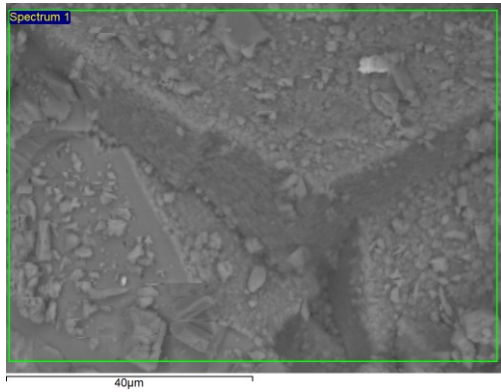
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



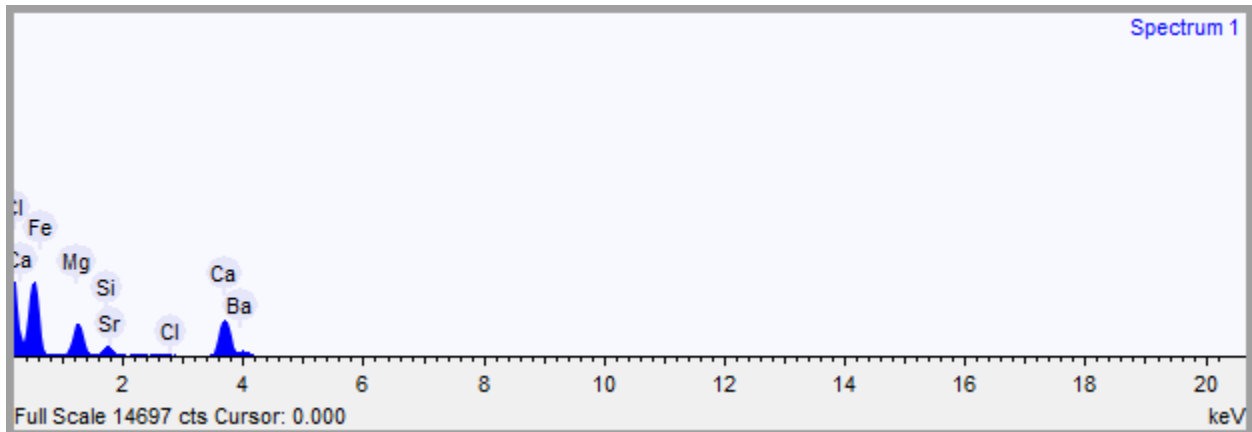
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 59.8

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	30.027	0.445	40.494
Silicon	8.390	0.282	9.794
Chlorine	1.420	0.214	1.313
Calcium	57.870	0.676	47.340
Iron	1.083	0.414	0.636
Strontium	0.991	0.534	0.371
Barium	0.219	0.648	0.052

Spectrum details

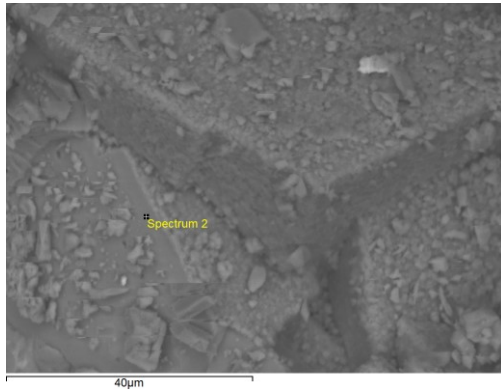
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



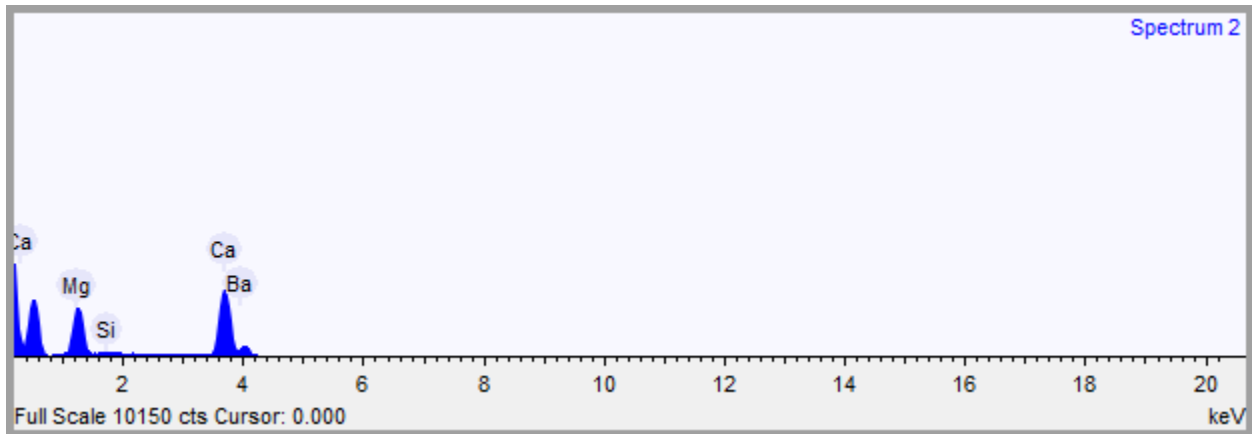
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	31.024	0.393	42.503
Silicon	0.682	0.196	0.808
Calcium	68.181	0.579	56.661
Barium	0.114	0.670	0.028

Spectrum details

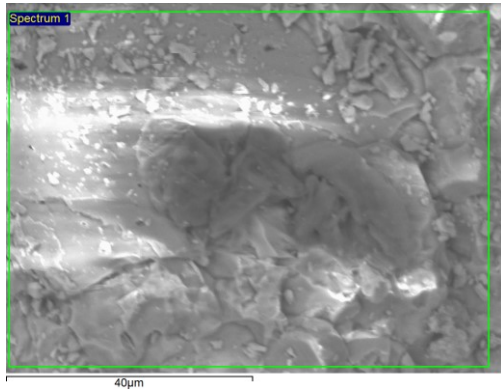
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



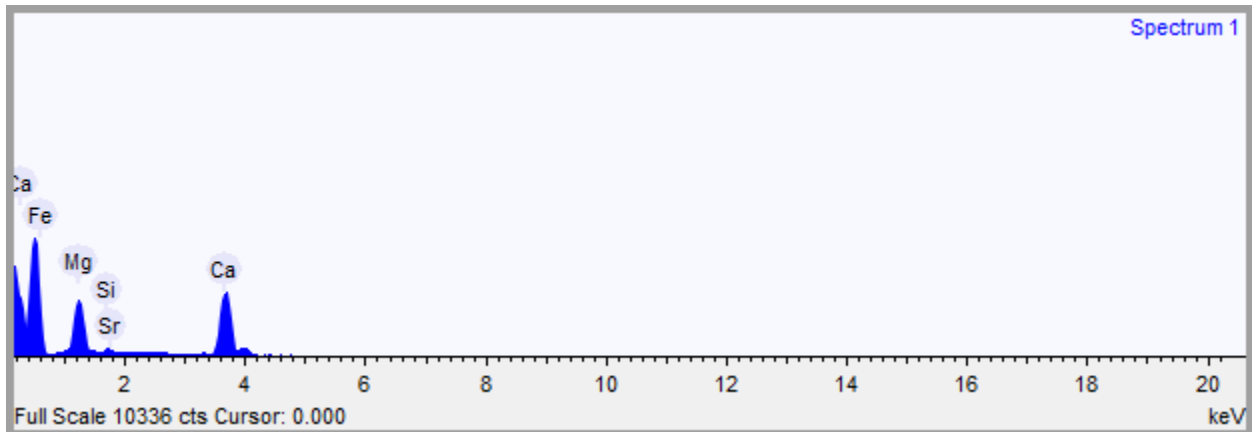
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.1

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	32.361	0.399	43.868
Silicon	2.429	0.231	2.851
Calcium	64.413	0.540	52.966
Iron	0.071	0.387	0.042
Strontium	0.726	0.462	0.273

Spectrum details

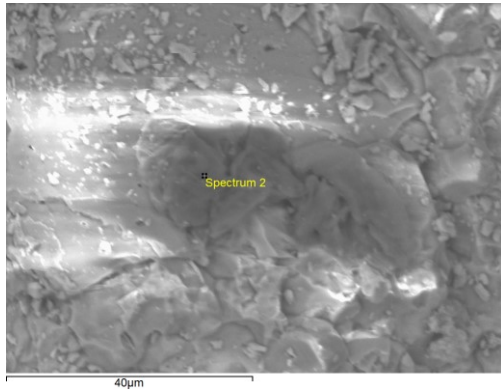
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



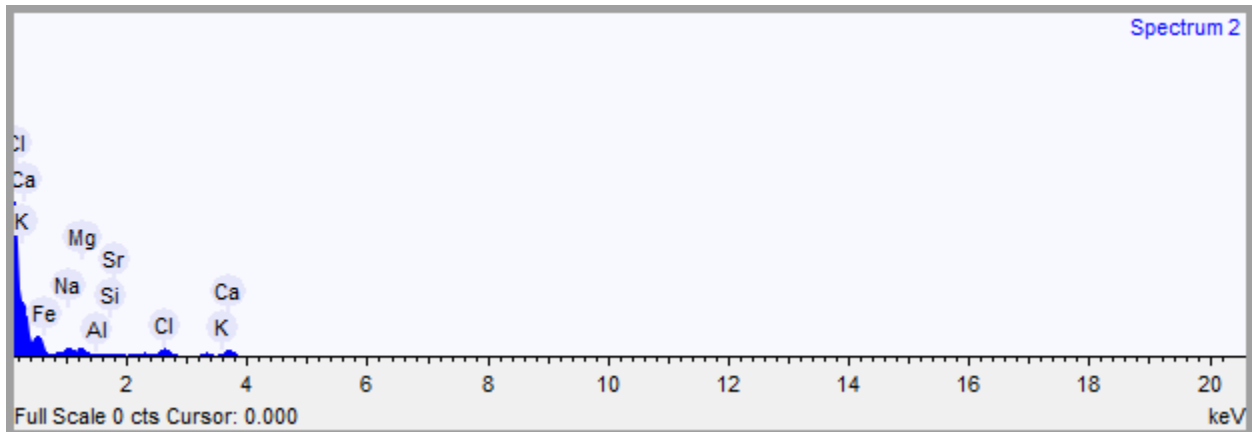
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

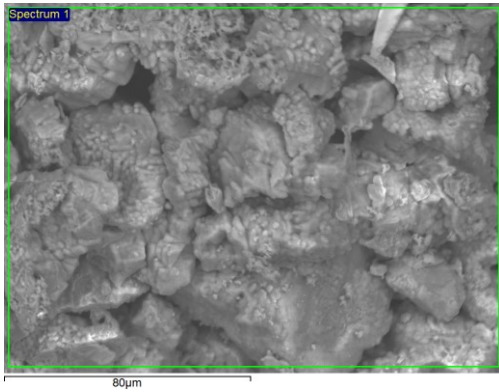
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	18.222	0.740	24.343
Magnesium	17.864	0.742	22.567
Aluminum	3.414	0.563	3.886
Silicon	2.162	0.452	2.364
Chlorine	19.779	0.663	17.134
Potassium	10.459	0.558	8.215
Calcium	27.976	0.779	21.437
Iron	0.048	0.671	0.026
Strontium	0.075	0.894	0.026

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

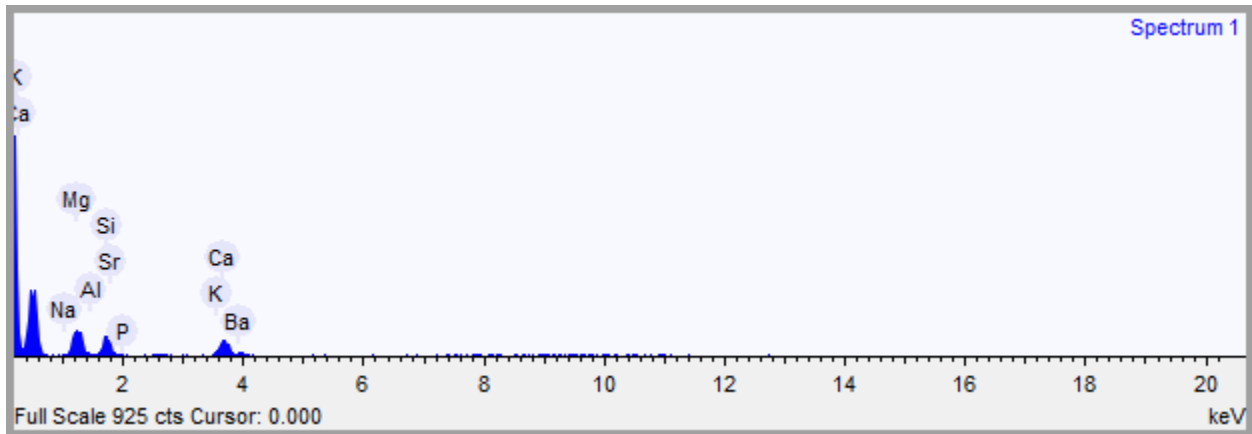
Image Width: 161.7 μm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0 Process time 5

Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)

Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	1.021	1.342	1.345
Magnesium	32.125	2.545	40.012
Aluminum	2.500	1.640	2.806
Silicon	26.718	2.289	28.805
Phosphorus	1.102	1.560	1.077
Potassium	1.006	0.999	0.779
Calcium	32.174	2.676	24.308
Strontium	1.031	4.287	0.356
Barium	2.323	2.821	0.512

Spectrum details

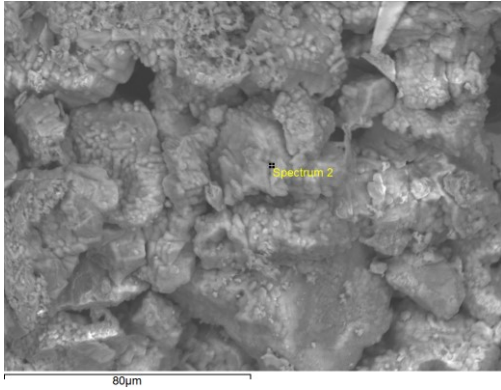
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



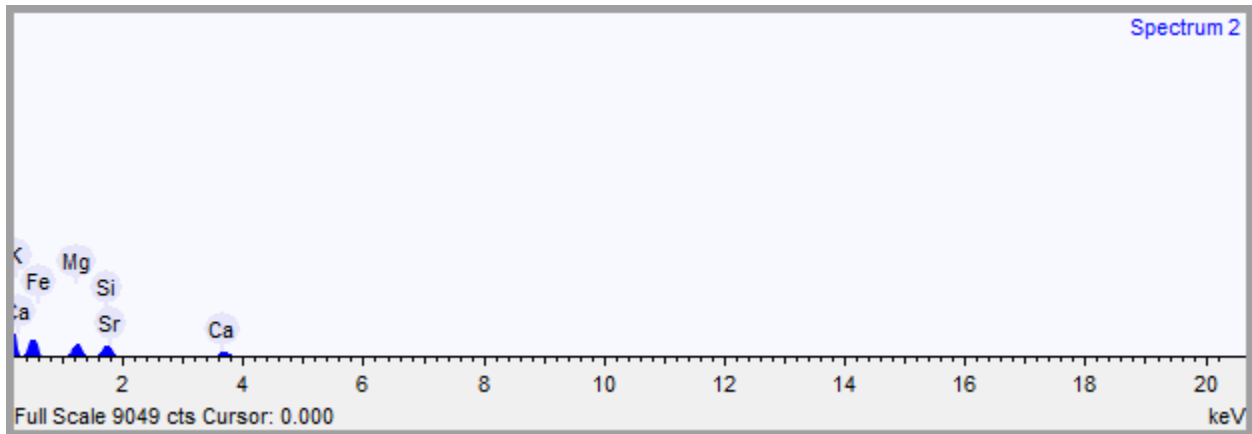
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	5.131	0.492	6.471
Magnesium	32.508	1.170	38.765
Aluminum	1.877	0.700	2.017
Silicon	32.522	1.194	33.571
Phosphorus	1.268	0.717	1.186
Potassium	0.141	0.421	0.104
Calcium	22.879	1.018	16.549
Iron	0.870	1.052	0.451
Strontium	2.435	1.958	0.806
Barium	0.370	1.275	0.078

Spectrum details

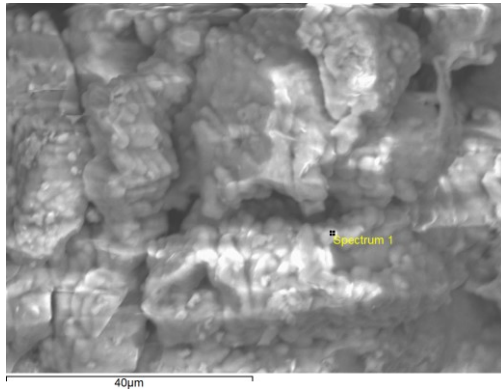
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



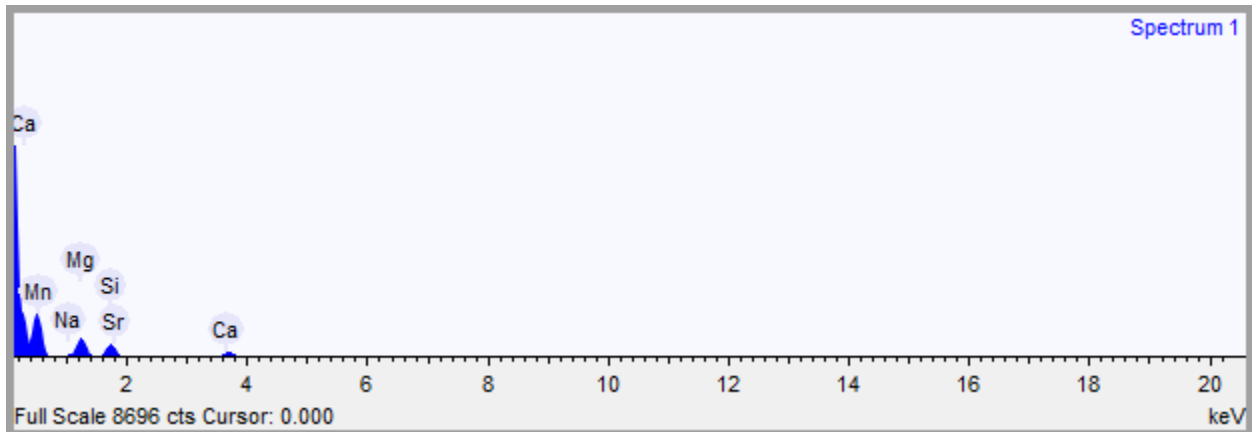
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	0.931	0.644	1.174
Magnesium	35.391	1.287	42.206
Aluminum	2.557	0.828	2.748
Silicon	36.191	1.331	37.361
Phosphorus	1.677	0.939	1.569
Calcium	17.890	0.948	12.941
Manganese	1.150	0.930	0.607
Strontium	4.213	2.252	1.394

Spectrum details

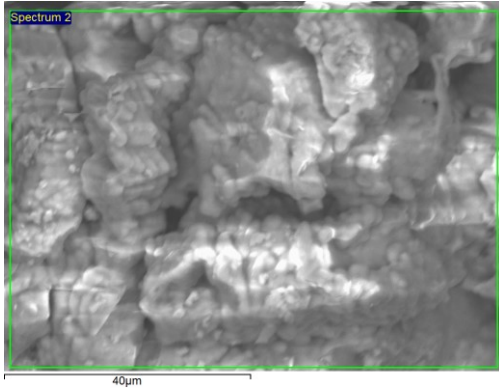
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



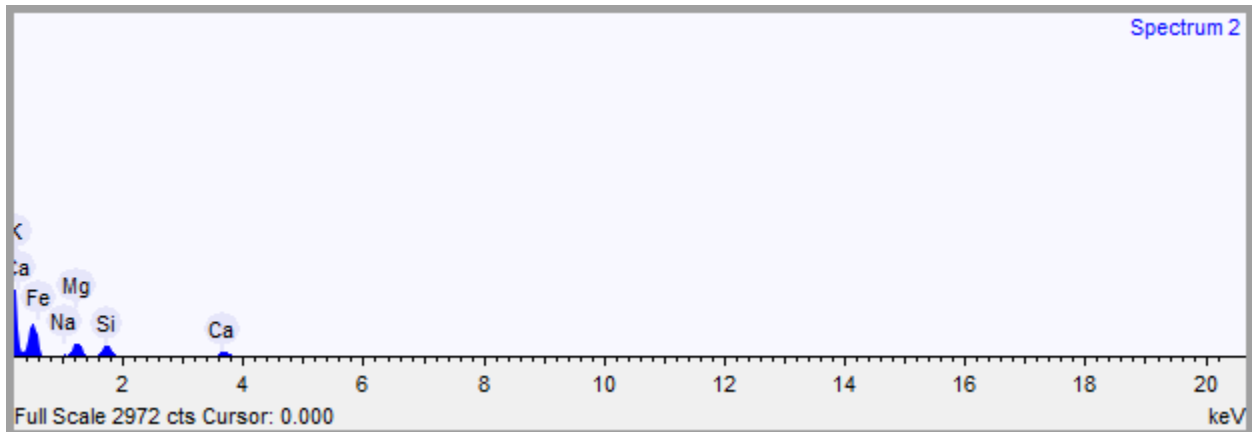
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Sodium	7.189	0.883	8.864
Magnesium	33.029	1.494	38.511
Aluminum	3.074	1.182	3.230
Silicon	31.831	1.504	32.126
Phosphorus	1.338	0.862	1.224
Potassium	0.782	0.747	0.567
Calcium	19.670	1.377	13.912
Iron	3.087	1.853	1.567

Spectrum details

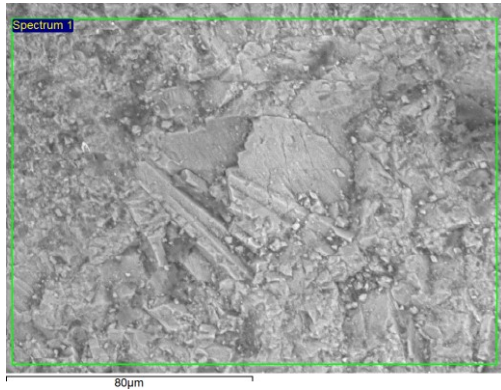
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



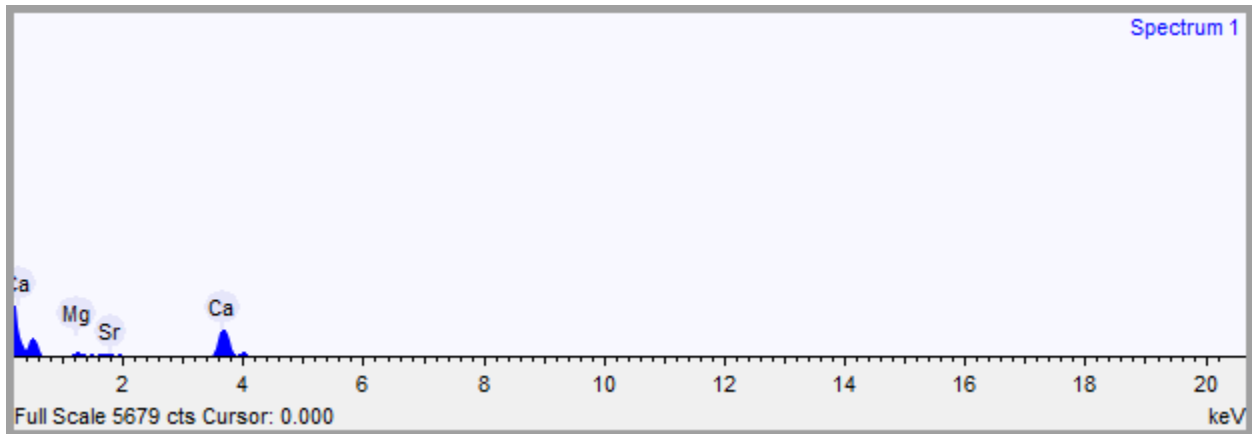
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	6.411	0.684	10.140
Phosphorus	0.268	0.642	0.333
Calcium	93.303	1.573	89.519
Strontium	0.018	1.379	0.008

Spectrum details

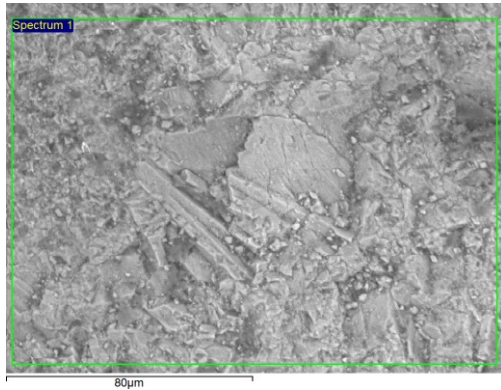
Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



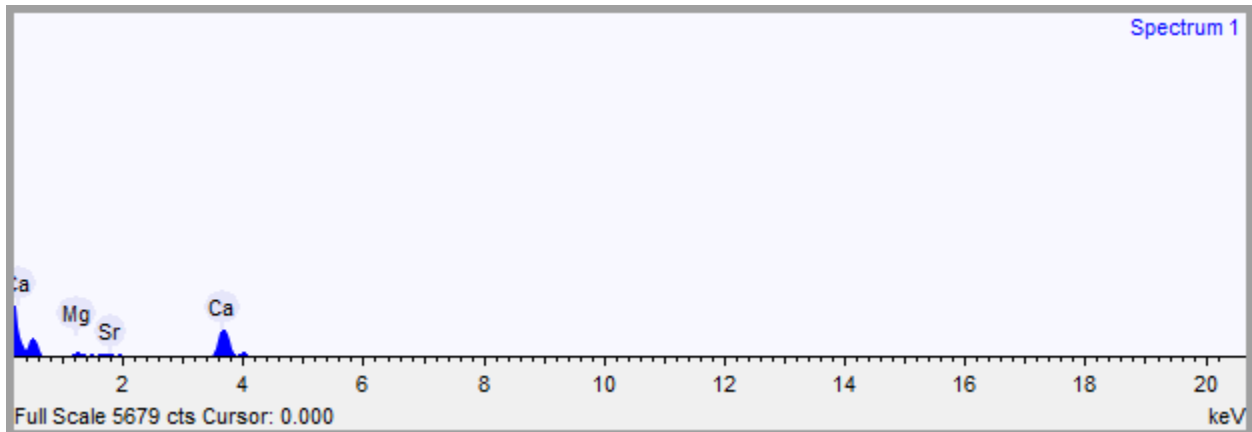
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	6.411	0.684	10.140
Phosphorus	0.268	0.642	0.333
Calcium	93.303	1.573	89.519
Strontium	0.018	1.379	0.008

Spectrum details

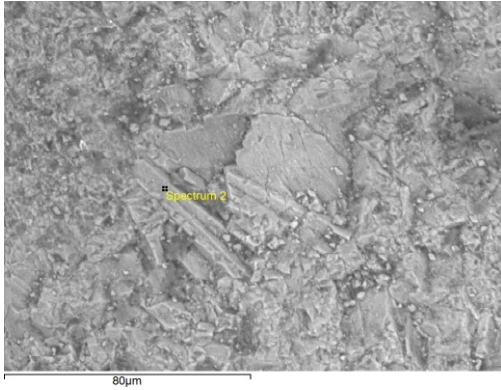
Project

New project

Spectrum name Spectrum 2

Electron Image

Image Width: 161.7 μm



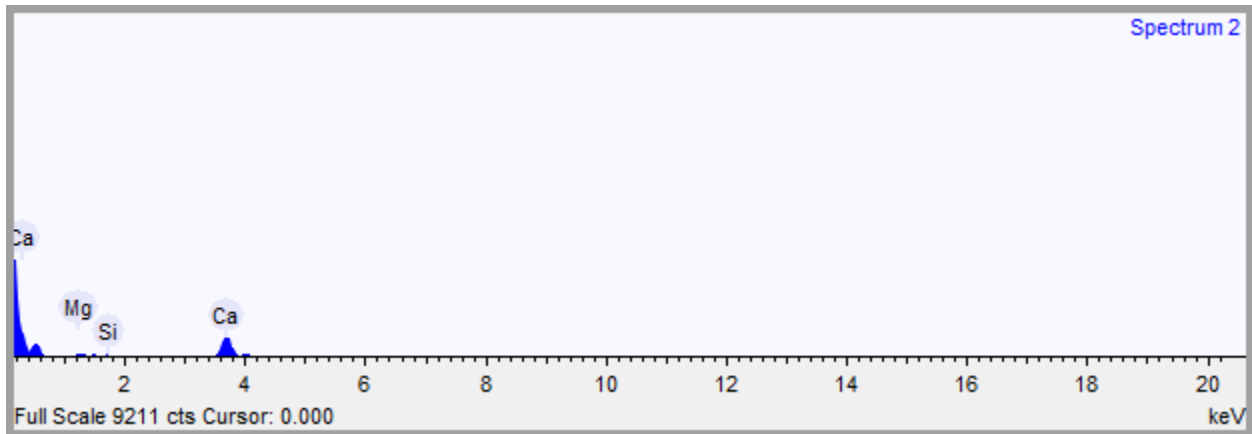
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	5.393	0.632	8.545
Silicon	2.461	0.499	3.375
Phosphorus	0.689	0.602	0.856
Calcium	90.186	2.112	86.674
Strontium	1.211	1.248	0.532
Barium	0.061	1.675	0.017

Spectrum details

Project

New project

Spectrum name Spectrum 1

Electron Image

Image Width: 80.9 μm



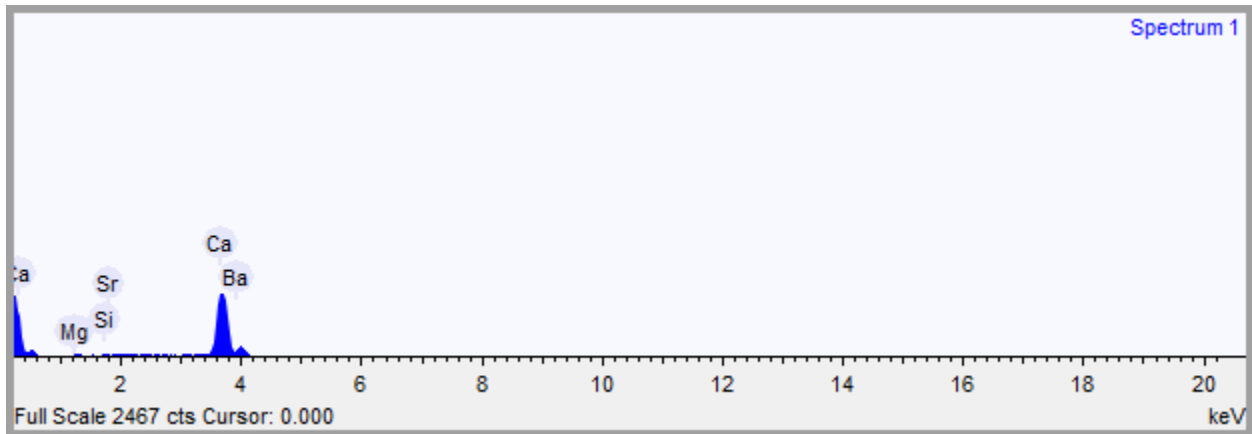
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 60.0

Process time 5

Accelerating voltage (kV)

15.0



Quantification Settings

Quantification method

All elements (normalised)

Coating element

None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Magnesium	1.241	0.375	2.058
Silicon	0.909	0.347	1.305
Calcium	95.280	1.770	95.796
Strontium	0.528	0.750	0.243
Barium	2.042	1.583	0.599

ANEXO-4:

Resultados de Fluorescência de

Raios-X



LABORATÓRIO DO CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS E ENERGIAS RENOVÁVEIS-LTG-ER
LABORATÓRIO DE ENSAIOS DE MATERIAIS

Av. Cap. Mor Gouveia, 1480 - Lagoa Nova CEP: 59063-400 - Natal/RN.

Fone: 55(0xx84) 3204-8091

<http://www.ctgas.com.br>

RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 00.039/14-LABEMAT



**RELATÓRIO DE ANÁLISE
DE MATERIAIS**

Cliente: PPGEP – Marcela Marques Vieira

RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 00.039/14-LABEMAT

INFORMAÇÕES GERAIS

CLIENTE INTERESSADO: PPGEPI – Marcela Marques Vieira.

SOLICITANTE: Cristiane P. de Menezes Santos.

CONTATO: Tel: (84) 9997-8916 - E-mail: marcela@geologia.ufrn.br

NATUREZA DO TRABALHO: Análise Química Semiquantitativa por Fluorescência de Raios-X (FRX) com Perda ao Fogo (PF).

AMOSTRA: 28 amostras (Sal-01-B, Sal-01-F, Sal-01-H, Sal-01-I, Sal-01-K, Sal-01-N, Sal-01-T, TBR-02-A, TBR-02-B, TBR-03-A, TBR-03-C, TBR-04-A, TBR-04-B, TBR-04-C, TBR-04-D, TBV-03-A, TBV-03-B, TBV-03-C, TBV-03-D, TBV-03-E, TBV-03-F, TBV-03-G, TBV-03-H, TBV-03-I, TBV-07-D, TBV-11-A, TBV-11-B e TBV-11-C).

Nº Ordem de Serviço: 0802/14.

Nº Proposta: 041/14.

A – PROCEDIMENTO

Para a análise química, o material fornecido pelo cliente foi analisado pela técnica de Fluorescência de Raios-X utilizando o equipamento EDX-720 da marca Shimadzu. Por limitação do método, somente elementos entre Na (11) e U (92) são analisados. Para a avaliação da perda ao fogo, o material após seco em estufa por 24 h em temperatura de 110°C, foi aquecido até 1000°C por 60 minutos. A identificação do material foi fornecida pelo cliente.

B – RESULTADOS

As Tabelas de 01 a 06 apresentam os resultados das análises químicas semiquantitativas em % de peso em óxido com valor de perda ao fogo das amostras em estudo.

RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 00.039/14-LABEMAT

Tabela 01 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: Sal-01-B, Sal-01-F, Sal-01-H, Sal-01-I e Sal-01-K.

Sal-01-B		Sal-01-F		Sal-01-H		Sal-01-I		Sal-01-K	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
CaO	51,59	CaO	49,25	CaO	45,83	CaO	46,45	CaO	48,51
MgO	2,25	MgO	3,24	MgO	5,92	MgO	6,00	MgO	3,72
SiO ₂	2,00	SiO ₂	2,88	SiO ₂	3,58	SiO ₂	3,06	SiO ₂	2,20
Al ₂ O ₃	1,32	Al ₂ O ₃	1,48	Al ₂ O ₃	1,92	Al ₂ O ₃	1,78	Al ₂ O ₃	1,81
K ₂ O	0,22	K ₂ O	0,28	K ₂ O	0,33	K ₂ O	0,32	K ₂ O	0,29
Fe ₂ O ₃	0,15	Fe ₂ O ₃	0,19	Fe ₂ O ₃	0,18	Fe ₂ O ₃	0,17	Fe ₂ O ₃	0,15
SrO	0,07	SrO	0,03	SrO	0,07	SrO	0,07	SrO	0,07
SO ₃	0,04	CuO	0,01	SO ₃	0,07	SO ₃	0,04	SO ₃	0,02
CuO	0,01	P.F.	42,64	CuO	0,01	CuO	0,01	CuO	0,01
P.F.	42,35			P.F.	42,09	P.F.	42,10	P.F.	43,22

Tabela 02 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: Sal-01-N, Sal-01-T, TBR-02-A, TBR-02-B e TBR-03-A.

Sal-01-N		Sal-01-T		TBR-02-A		TBR-02-B		TBR-03-A	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
CaO	50,96	CaO	47,28	MgO	26,40	MgO	28,83	CaO	28,54
MgO	2,58	MgO	5,23	CaO	24,82	CaO	27,02	MgO	22,50
SiO ₂	2,36	SiO ₂	4,09	SiO ₂	1,90	SiO ₂	0,82	P ₂ O ₅	7,30
Al ₂ O ₃	1,37	Al ₂ O ₃	1,58	Al ₂ O ₃	1,89	Al ₂ O ₃	0,49	SiO ₂	2,65
K ₂ O	0,22	K ₂ O	0,31	K ₂ O	0,31	K ₂ O	0,12	Fe ₂ O ₃	0,08
Fe ₂ O ₃	0,09	Fe ₂ O ₃	0,20	Fe ₂ O ₃	0,17	Fe ₂ O ₃	0,12	K ₂ O	0,08
SrO	0,08	SrO	0,05	TiO ₂	0,03	SO ₃	0,02	SO ₃	0,06
CuO	0,01	CuO	0,01	SrO	0,01	SrO	0,01	ZnO	0,03
P.F.	42,33	P.F.	41,25	MnO	0,01	P.F.	42,57	MnO	0,02
				SO ₃	0,01			CuO	0,01
				CuO	0,01			SrO	0,01
				ZnO	0,01			P.F.	38,72
				P.F.	44,43				

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam ao espécime ensaiado.

Os resultados deste documento não podem ser usados para fins promocionais.

A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 00.039/14-LABEMAT

Tabela 03 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: TBR-03-C, TBR-04-A, TBR-04-B, TBR-04-C e TBR-04-D.

TBR-03-C		TBR-04-A		TBR-04-B		TBR-04-C		TBR-04-D	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
MgO	28,17	MgO	26,61	MgO	26,64	MgO	27,29	CaO	28,74
CaO	26,29	CaO	25,50	CaO	24,38	CaO	25,83	MgO	27,87
SiO ₂	0,70	SiO ₂	5,09	SiO ₂	5,26	SiO ₂	6,63	SiO ₂	1,43
P ₂ O ₅	0,53	Al ₂ O ₃	0,41	Al ₂ O ₃	0,53	Al ₂ O ₃	0,56	Al ₂ O ₃	0,40
Fe ₂ O ₃	0,07	K ₂ O	0,08	K ₂ O	0,09	K ₂ O	0,10	Fe ₂ O ₃	0,08
SO ₃	0,03	Fe ₂ O ₃	0,05	Fe ₂ O ₃	0,05	Fe ₂ O ₃	0,04	SO ₃	0,02
CuO	0,01	SO ₃	0,02	CuO	0,01	SO ₃	0,04	MnO	0,01
SrO	0,01	CuO	0,01	SrO	0,01	CuO	0,01	CuO	0,01
ZnO	0,01	SrO	0,01	P.F.	43,03	SrO	0,01	SrO	0,01
P.F.	44,18	P.F.	42,22			P.F.	39,49	ZnO	0,01
								P.F.	41,42

Tabela 04 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: TBV-03-A, TBV-03-B, TBV-03-C, TBV-03-D e TBV-03-E.

TBV-03-A		TBV-03-B		TBV-03-C		TBV-03-D		TBV-03-E	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
CaO	30,45	MgO	28,83	MgO	27,50	MgO	27,22	MgO	28,13
MgO	22,02	CaO	26,95	CaO	25,83	CaO	26,41	CaO	25,08
SiO ₂	1,62	SiO ₂	1,66	SiO ₂	1,10	SiO ₂	0,42	SiO ₂	1,25
P ₂ O ₅	1,14	Fe ₂ O ₃	0,04	Al ₂ O ₃	0,20	Fe ₂ O ₃	0,05	Fe ₂ O ₃	0,04
Al ₂ O ₃	0,33	SO ₃	0,02	Fe ₂ O ₃	0,03	SO ₃	0,01	SO ₃	0,03
Fe ₂ O ₃	0,09	SrO	0,01	SO ₃	0,02	CuO	0,01	CuO	0,01
K ₂ O	0,09	CuO	0,01	CuO	0,01	SrO	0,01	SrO	0,01
ZnO	0,03	P.F.	42,48	SrO	0,01	ZnO	0,01	P.F.	45,45
SO ₃	0,02			P.F.	45,30	P.F.	45,86		
MnO	0,01								
CuO	0,01								
SrO	0,01								
P.F.	44,18								

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam ao espécime ensaiado.

Os resultados deste documento não podem ser usados para fins promocionais.

A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

 08.05.14



RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 00.039/14-LABEMAT

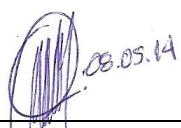
Tabela 05 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: TBV-03-F, TBV-03-G, TBV-03-H, TBV-03-I e TBV-07-D.

TBV-03-F		TBV-03-G		TBV-03-H		TBV-03-I		TBV-07-D	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
MgO	27,82	CaO	40,13	MgO	27,31	MgO	27,74	MgO	29,96
CaO	25,67	MgO	14,74	CaO	25,40	CaO	25,42	CaO	28,49
SiO ₂	0,68	SiO ₂	1,40	SiO ₂	1,34	SiO ₂	0,43	Al ₂ O ₃	0,39
Al ₂ O ₃	0,26	Al ₂ O ₃	0,20	Al ₂ O ₃	0,14	Al ₂ O ₃	0,21	SiO ₂	0,29
Fe ₂ O ₃	0,05	P ₂ O ₅	0,19	Fe ₂ O ₃	0,03	K ₂ O	0,07	Fe ₂ O ₃	0,16
SO ₃	0,01	Fe ₂ O ₃	0,06	SO ₃	0,03	Fe ₂ O ₃	0,06	MnO	0,05
CuO	0,01	SrO	0,03	CuO	0,01	SO ₃	0,03	SO ₃	0,01
SrO	0,01	CuO	0,01	SrO	0,01	MnO	0,01	CuO	0,01
P.F.	45,49	ZnO	0,01	P.F.	45,73	SrO	0,01	SrO	0,01
		P.F.	43,23			P.F.	46,02	ZnO	0,01
								P.F.	40,62

Tabela 06 – Resultado das análises químicas semiquantitativas das amostras: TBV-11-A, TBV-11-B e TBV-11-C.

TBV-11-A		TBV-11-B		TBV-11-C	
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
MgO	29,95	MgO	30,84	MgO	31,00
CaO	26,65	CaO	28,15	CaO	28,20
SiO ₂	4,59	Al ₂ O ₃	0,18	SiO ₂	0,19
Al ₂ O ₃	0,27	SiO ₂	0,16	Al ₂ O ₃	0,17
Fe ₂ O ₃	0,08	Fe ₂ O ₃	0,10	Fe ₂ O ₃	0,07
SO ₃	0,03	SO ₃	0,04	SO ₃	0,03
CuO	0,01	SrO	0,01	SrO	0,01
SrO	0,01	CuO	0,01	CuO	0,01
P.F.	38,41	P.F.	40,51	P.F.	40,32

Natal/RN, 08 de maio de 2014.


 Francisco Antônio Vieira
 Responsável pelo Laboratório


 Kerson Carlos Lima dos Santos
 Técnico Executor

Sample : SAL_01_F
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 17:09:15

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec) DT(%)					
Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 100 40					
Na-Sc	Rh 15	240-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	2.5774
	FeKb	7.04	0.3866
	SrKa	14.14	3.7318
	SrKb	15.82	0.7350
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0935
	S Ka	2.26	0.1158
	K Ka	3.32	0.3770
	K Kb	3.58	0.0528
	CaKa	3.70	75.6957
	CaKb	4.02	10.7858

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				

====[No. 1 Layer]====< Layer1

>=====

Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
--------	----------	---------	-----	-------

```

C3H6                100.000 %          (-----) Fix          -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                  93.664 %          ( 0.069) Quan-FP      CaKa
75.6957
SiO2                 4.818 %          ( 0.169) Quan-FP      SiKa
0.0935
SO3                  0.612 %          ( 0.019) Quan-FP      S Ka
0.1158
K2O                  0.426 %          ( 0.008) Quan-FP      K Ka
0.3770
Fe2O3               0.408 %          ( 0.004) Quan-FP      FeKa
2.5774
SrO                  0.071 %          ( 0.001) Quan-FP      SrKa
3.7318

```

```

Sample      : SAL_01_K
Operator    : KATIA
Comment     : NARENDRA
Group       : Argila
Date        : 2014-04-04 17:01:58

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10 (mm)
Spin       : No
-----

```

```

-----
Analyte      TG kV   uA      FI      Acq. (keV)  Anal. (keV)
Time(sec)    DT(%)
-----
Ti-U         Rh 50   44-Auto ----  0 - 40      0.0 - 40.0
Live -      99   39
Na-Sc        Rh 15   248-Auto ----  0 - 20      0.0 - 4.4
Live -      99   40
-----

```

Peak List

```

-----
Channel      Line      keV      Net Int. (cps/uA)
-----
Ti-U         FeKa      6.40     2.0566
              FeKb      7.06     0.3085
              SrKa      14.14    8.2694
              SrKb      15.84    1.6412
-----
Na-Sc        SiKa      1.76     0.0220
              S Ka     2.26     0.1215
-----

```

K Ka	3.32	0.3815
K Kb	3.58	0.0534
CaKa	3.70	73.9436
CaKb	4.04	10.4668

 Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
--------------------------	--------	----------	-------------	------

====[No. 1 Layer]====< Layer1

>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base

>=====				
CaO	97.158 %	(0.071)	Quan-FP	CaKa
73.9436				
SiO2	1.210 %	(0.196)	Quan-FP	SiKa
0.0220				
SO3	0.657 %	(0.020)	Quan-FP	S Ka
0.1215				
K2O	0.447 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
0.3815				
Fe2O3	0.356 %	(0.004)	Quan-FP	FeKa
2.0566				
SrO	0.173 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
8.2694				

Sample : SAL_01_K
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 17:01:58

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)	DT(%)					
Ti-U		Rh 50	44-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	99 39					

Na-Sc Rh 15 248-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4
 Live - 99 40

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	2.0566
	FeKb	7.06	0.3085
	SrKa	14.14	8.2694
	SrKb	15.84	1.6412
Na-Sc	SiKa	1.76	0.0220
	S Ka	2.26	0.1215
	K Ka	3.32	0.3815
	K Kb	3.58	0.0534
	CaKa	3.70	73.9436
	CaKb	4.04	10.4668

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO 73.9436	97.158 %	(0.071)	Quan-FP	CaKa
SiO2 0.0220	1.210 %	(0.196)	Quan-FP	SiKa
SO3 0.1215	0.657 %	(0.020)	Quan-FP	S Ka
K2O 0.3815	0.447 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
Fe2O3 2.0566	0.356 %	(0.004)	Quan-FP	FeKa
SrO 8.2694	0.173 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa

Sample : TBR_02_A
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA

Group : Argila
Date : 2014-04-04 17:24:00

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec) DT(%)					
Ti-U	Rh 50	51-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 100 38					
Na-Sc	Rh 15	347-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	MnKa	5.88	0.2367
	FeKa	6.40	4.1256
	MnKb	6.50	0.0392
	FeKb	7.04	0.6840
	ZnKa	8.62	0.6290
	SrKa	14.16	2.1994
	SrKb	15.80	0.4246
	ZrKa	15.80	0.4463
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0247
	S Ka	2.28	0.0889
	K Ka	3.32	0.4332
	K Kb	3.58	0.0670
	CaKa	3.70	45.4259
	CaKb	4.02	6.5265

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----

```

C3H6                100.000 %          (-----) Fix          -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                  94.935 %          ( 0.075) Quan-FP      CaKa
45.4259
SiO2                 2.155 %          ( 0.174) Quan-FP      SiKa
0.0247
Fe2O3               1.111 %          ( 0.008) Quan-FP      FeKa
4.1256
K2O                 0.814 %          ( 0.010) Quan-FP      K Ka
0.4332
SO3                 0.769 %          ( 0.024) Quan-FP      S Ka
0.0889
MnO                 0.077 %          ( 0.004) Quan-FP      MnKa
0.2367
SrO                 0.072 %          ( 0.001) Quan-FP      SrKa
2.1994
ZnO                 0.053 %          ( 0.002) Quan-FP      ZnKa
0.6290
ZrO2                0.014 %          ( 0.001) Quan-FP      ZrKa
0.4463

```

```

Sample      : TBR_03_A
Operator    : KATIA
Comment     : NARENDRA
Group       : Argila
Date        : 2014-04-04 17:16:36

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10(mm)
Spin       : No
-----

```

```

-----
Analyte      TG kV   uA      FI   Acq. (keV)  Anal. (keV)
Time(sec)   DT(%)
-----
Ti-U        Rh 50    61-Auto ---- 0 - 40      0.0 - 40.0
Live - 100  40
Na-Sc       Rh 15    347-Auto ---- 0 - 20      0.0 - 4.4
Live - 100  39
-----

```

Peak List

```

-----
Channel      Line      keV      Net Int.(cps/uA)
-----
Ti-U        MnKa      5.90      0.3797
            FeKa      6.38      1.6735
            MnKb      6.50      0.0569
            FeKb      7.04      0.2773
-----

```

CuKa	8.00	0.6457
ZnKa	8.62	1.9135
ZnKb	9.56	0.3172
SrKa	14.10	1.4066
SrKb	15.82	0.2704

```
-----
-----
Na-Sc      SiKa      1.76      0.0458
           P Ka      1.98      0.6472
           S Ka      2.28      0.0888
           K Ka      3.34      0.0928
           K Kb      3.58      0.0130
           CaKa     3.70      45.5925
           CaKb     4.02      6.3829
           ScKa     4.08      0.4082
           ScKb     4.38      0.0572
-----
-----
```

Quantitative Result

```
-----
-----
Analyte          Result          Std.Dev. Proc.-Calc. Line
Int. (cps/uA)
-----
====[No. 1 Layer]====< Layer1
>=====
Layer1           5.000 um        (-----) Fix      -----
-----
C3H6             100.000 %       (-----) Fix      -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO              79.049 %        ( 0.062) Quan-FP   CaKa
45.5925
P2O5             15.041 %        ( 0.113) Quan-FP   P Ka
0.6472
SiO2             3.208 %         ( 0.129) Quan-FP   SiKa
0.0458
Sc2O3            1.159 %         ( 0.042) Quan-FP   ScKa
0.4082
SO3              0.764 %         ( 0.025) Quan-FP   S Ka
0.0888
Fe2O3            0.328 %         ( 0.004) Quan-FP   FeKa
1.6735
K2O              0.164 %         ( 0.008) Quan-FP   K Ka
0.0928
ZnO              0.115 %         ( 0.001) Quan-FP   ZnKa
1.9135
MnO              0.090 %         ( 0.003) Quan-FP   MnKa
0.3797
CuO              0.047 %         ( 0.001) Quan-FP   CuKa
0.6457
```


SrO 0.033 % (0.001) Quan-FP SrKa
1.4066

Sample : TBR_03_C
Operator : KATIA
Comment : NARENDRA
Group : Argila
Date : 2014-04-04 16:40:02

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)	DT(%)					
Ti-U		Rh 50	57-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 99	39					
Na-Sc		Rh 15	343-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100	39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	MnKa	5.90	0.1657
	FeKa	6.38	1.5748
	MnKb	6.50	0.0249
	FeKb	7.04	0.2611
	ZnKa	8.62	0.5172
	SrKa	14.14	1.3803
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0132
	S Ka	2.28	0.0942
	CaKa	3.70	47.3890
	CaKb	4.02	6.8152

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				

====[No. 1 Layer]====< Layer1
>=====

```

Layer1                5.000 um      (-----) Fix      -----
--- -----
C3H6                  100.000 %      (-----) Fix      -----
--- -----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                   97.468 %      ( 0.076) Quan-FP   CaKa
47.3890
SiO2                  1.151 %      ( 0.186) Quan-FP   SiKa
0.0132
SO3                   0.805 %      ( 0.024) Quan-FP   S Ka
0.0942
Fe2O3                 0.432 %      ( 0.005) Quan-FP   FeKa
1.5748
MnO                   0.055 %      ( 0.004) Quan-FP   MnKa
0.1657
SrO                   0.046 %      ( 0.001) Quan-FP   SrKa
1.3803
ZnO                   0.044 %      ( 0.002) Quan-FP   ZnKa
0.5172

```

```

Sample      : TBR_04_A
Operator    : KATIA
Comment     : NARENDRA
Group       : Argila
Date        : 2014-04-04 16:47:22

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10(mm)
Spin       : No
-----

```

Analyte	Time(sec)	DT(%)	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U			Rh 50	54-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	100	41					
Na-Sc			Rh 15	359-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live -	100	39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	1.0702
	FeKb	7.04	0.1774
	SrKa	14.14	1.6767
Na-Sc	SiKa	1.76	0.0728

S Ka	2.26	0.0837
K Ka	3.32	0.0798
K Kb	3.58	0.0117
CaKa	3.70	44.9290
CaKb	4.02	6.4632

 Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
--------------------------	--------	----------	-------------	------

====[No. 1 Layer]====< Layer1

>=====

Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
--------	----------	---------	-----	-------

C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
------	-----------	---------	-----	-------

====[No. 2 Layer]====< Base

>=====

CaO	92.508 %	(0.072)	Quan-FP	CaKa
-----	----------	----------	---------	------

44.9290

SiO2	6.256 %	(0.184)	Quan-FP	SiKa
------	---------	----------	---------	------

0.0728

SO3	0.751 %	(0.024)	Quan-FP	S Ka
-----	---------	----------	---------	------

0.0837

Fe2O3	0.280 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
-------	---------	----------	---------	------

1.0702

K2O	0.152 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
-----	---------	----------	---------	------

0.0798

SrO	0.053 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
-----	---------	----------	---------	------

1.6767

Sample : TBR_04_B
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 17:38:30

Measurement Condition

Instrument : EDX-720	Atmosphere : Air	Collimator : 10(mm)
Spin : No		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)	DT(%)				

Ti-U Rh 50 48-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0
 Live - 100 40
 Na-Sc Rh 15 347-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4
 Live - 100 39

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	1.1344
	FeKb	7.06	0.1881
	SrKa	14.14	1.5305
Na-Sc	SiKa	1.76	0.0792
	S Ka	2.28	0.0849
	K Ka	3.34	0.0948
	K Kb	3.58	0.0133
	CaKa	3.70	45.0951
	CaKb	4.02	6.4447

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO 45.0951	91.987 %	(0.073)	Quan-FP	CaKa
SiO2 0.0792	6.735 %	(0.190)	Quan-FP	SiKa
SO3 0.0849	0.757 %	(0.025)	Quan-FP	S Ka
Fe2O3 1.1344	0.293 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
K2O 0.0948	0.180 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
SrO 1.5305	0.048 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa

Sample : TBR_04_C
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 17:31:06

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec) DT(%)					
Ti-U	Rh 50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 100 41					
Na-Sc	Rh 15	359-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 99 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.38	0.8976
	ZnKa	8.62	0.2950
	SrKa	14.14	1.7864
Na-Sc	SiKa	1.76	0.0969
	S Ka	2.28	0.0771
	K Ka	3.34	0.1169
	K Kb	3.58	0.0164
	CaKa	3.70	43.6643
	CaKb	4.02	6.1130
	ScKa	4.08	0.4605
	ScKb	4.38	0.0645

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----

```

C3H6                100.000 %          (-----) Fix          -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                  88.852 %          ( 0.071) Quan-FP      CaKa
43.6643
SiO2                 8.223 %          ( 0.196) Quan-FP      SiKa
0.0969
Sc2O3                1.694 %          ( 0.052) Quan-FP      ScKa
0.4605
SO3                  0.699 %          ( 0.025) Quan-FP      S Ka
0.0771
Fe2O3                0.229 %          ( 0.004) Quan-FP      FeKa
0.8976
K2O                  0.225 %          ( 0.008) Quan-FP      K Ka
0.1169
SrO                  0.055 %          ( 0.001) Quan-FP      SrKa
1.7864
ZnO                  0.023 %          ( 0.001) Quan-FP      ZnKa
0.2950

```

```

Sample       : TBR_04_D
Operator      : KATIA
Comment      : NARENDRA
Group        : Argila
Date         : 2014-04-04 16:32:34

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10(mm)
Spin       : No
-----

```

```

-----
Analyte      TG kV   uA      FI      Acq. (keV)  Anal. (keV)
Time(sec)    DT(%)
-----
Ti-U         Rh 50    55-Auto ----  0 - 40      0.0 - 40.0
Live - 100   41
Na-Sc       Rh 15    331-Auto ----  0 - 20      0.0 - 4.4
Live - 100   39

```

Peak List

```

-----
Channel      Line      keV      Net Int. (cps/uA)
-----
Ti-U         MnKa      5.90     0.2206
              FeKa      6.38     1.5217
              MnKb      6.50     0.0331
              FeKb      7.02     0.2523
              ZnKa      8.62     0.4295

```

SrKa	14.16	1.8215
SrKb	15.76	0.3589

Na-Sc	SiKa	1.74	0.0209
	S Ka	2.28	0.0945
	CaKa	3.70	48.9843
	CaKb	4.02	7.0258
	ScKa	4.08	0.0450
	ScKb	4.42	0.0480

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
--------------------------	--------	----------	-------------	------

====[No. 1 Layer]====< Layer1

Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
--------	----------	---------	-----	-------

C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
------	-----------	---------	-----	-------

====[No. 2 Layer]====< Base

CaO	96.732 %	(0.075)	Quan-FP	CaKa
48.9843				
SiO2	1.754 %	(0.173)	Quan-FP	SiKa
0.0209				
SO3	0.781 %	(0.024)	Quan-FP	S Ka
0.0945				
Fe2O3	0.399 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
1.5217				
Sc2O3	0.172 %	(0.058)	Quan-FP	ScKa
0.0450				
MnO	0.070 %	(0.004)	Quan-FP	MnKa
0.2206				
SrO	0.058 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
1.8215				
ZnO	0.035 %	(0.002)	Quan-FP	ZnKa
0.4295				

Sample : TBV_02_B
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 16:08:44

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec) DT(%)					
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 100 40					
Na-Sc	Rh 15	343-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100 40					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	MnKa	5.90	0.1497
	FeKa	6.38	2.5107
	MnKb	6.50	0.0224
	FeKb	7.06	0.4162
	SrKa	14.14	1.6020
	SrKb	15.80	0.3113

Na-Sc	S Ka	2.28	0.0916
	K Ka	3.32	0.1615
	K Kb	3.58	0.0239
	CaKa	3.70	48.1319
	CaKb	4.04	6.9891
	ScKa	4.08	0.0479
	ScKb	4.42	0.0511

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO	97.973 %	(0.075)	Quan-FP	CaKa
48.1319				

S03	0.761 %	(0.023)	Quan-FP	S Ka
0.0916				
Fe203	0.683 %	(0.006)	Quan-FP	FeKa
2.5107				
K2O	0.291 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
0.1615				
Sc203	0.189 %	(0.059)	Quan-FP	ScKa
0.0479				
SrO	0.053 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
1.6020				
MnO	0.049 %	(0.004)	Quan-FP	MnKa
0.1497				

Sample : TBV 03 A
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 16:54:45

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	DT(%)	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U		Rh 50	47-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	99 39					
Na-Sc		Rh 15	320-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live -	100 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	MnKa	5.88	0.2377
	FeKa	6.40	1.8501
	MnKb	6.50	0.0394
	FeKb	7.04	0.2775
	SrKa	14.14	1.6885
	SrKb	15.76	0.3247
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0497
	S Ka	2.28	0.1024
	K Ka	3.34	0.0882
	K Kb	3.58	0.0123
	CaKa	3.70	51.6239

CaKb 4.04 7.3649

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
--------------------------	--------	----------	-------------	------

====[No. 1 Layer]====< Layer1

Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base

CaO 51.6239	94.663 %	(0.073)	Quan-FP	CaKa
SiO2 0.0497	3.833 %	(0.179)	Quan-FP	SiKa
SO3 0.1024	0.799 %	(0.024)	Quan-FP	S Ka
Fe2O3 1.8501	0.440 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
K2O 0.0882	0.147 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka
MnO 0.2377	0.069 %	(0.004)	Quan-FP	MnKa
SrO 1.6885	0.049 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa

Sample : TBV_03_D
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 16:00:58

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U Live - 100 39	Rh 50	51-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0

Na-Sc Rh 15 347-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4
 Live - 100 40

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	1.0684
	FeKb	7.06	0.1771
	ZnKa	8.62	0.3942
	SrKa	14.14	1.4861
Na-Sc	S Ka	2.26	0.0863
	CaKa	3.70	46.6501
	CaKb	4.02	6.7482
	ScKa	4.08	0.0539
	ScKb	4.44	0.0576

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO 46.6501	98.637 %	(0.077)	Quan-FP	CaKa
SO3 0.0863	0.749 %	(0.025)	Quan-FP	S Ka
Fe2O3 1.0684	0.305 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
Sc2O3 0.0539	0.224 %	(0.061)	Quan-FP	ScKa
SrO 1.4861	0.051 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
ZnO 0.3942	0.035 %	(0.002)	Quan-FP	ZnKa

Sample : TBV 03 E
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila

Date : 2014-04-04 16:24:52

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U	Rh 50	50-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 99 41					
Na-Sc	Rh 15	335-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	0.9314
	FeKb	7.02	0.1397
	CoKa	7.02	0.1112
	ZnKa	8.62	0.3421
	SrKa	14.12	1.6078
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0212
	S Ka	2.28	0.1031
	CaKa	3.70	47.7926
	CaKb	4.02	6.8646

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO	96.955 %	(0.076)	Quan-FP	CaKa
47.7926				

SiO2	1.817 %	(0.174)	Quan-FP	SiKa
0.0212				
SO3	0.874 %	(0.025)	Quan-FP	S Ka
0.1031				
Fe2O3	0.251 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
0.9314				
SrO	0.052 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
1.6078				
ZnO	0.028 %	(0.002)	Quan-FP	ZnKa
0.3421				
Co2O3	0.024 %	(0.003)	Quan-FP	CoKa
0.1112				

Sample : TBV 03 F
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 16:17:20

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte		TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)	DT(%)						
Ti-U		Rh	50	51-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	100 40						
Na-Sc		Rh	15	335-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live -	100 39						

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	MnKa	5.90	0.1818
	FeKa	6.38	1.1967
	MnKb	6.50	0.0273
	FeKb	7.04	0.1984
	SrKa	14.16	1.5959
Na-Sc	S Ka	2.28	0.0946
	CaKa	3.70	48.0466
	CaKb	4.02	6.7265
	ScKa	4.08	0.4372
	ScKb	4.38	0.0612

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	ZnKa	8.60	0.4963
	SrKa	14.14	3.9564
	SrKb	15.84	0.7663
	ZrKa	15.84	0.2894
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0518
	CaKa	3.70	65.2420
	CaKb	4.02	9.2993

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO 65.2420	96.635 %	(0.072)	Quan-FP	CaKa
SiO2 0.0518	3.236 %	(0.172)	Quan-FP	SiKa
SrO 3.9564	0.093 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
ZnO 0.4963	0.030 %	(0.001)	Quan-FP	ZnKa
ZrO2 0.2894	0.007 %	(0.001)	Quan-FP	ZrKa

Sample : TBV_03_H
 Operator : KATIA
 Comment : NARENDRA
 Group : Argila
 Date : 2014-04-04 15:52:43

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10 (mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)	DT(%)				
Ti-U	Rh 50	63-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 99	40				
Na-Sc	Rh 15	361-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100	41				

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.38	0.4746
	SrKa	14.14	1.6956
Na-Sc	SiKa	1.74	0.0440
	S Ka	2.28	0.0960
	CaKa	3.70	47.7814
	CaKb	4.02	6.6894
	ScKa	4.08	0.4485
	ScKb	4.38	0.0640

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----
====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO	93.708 %	(0.071)	Quan-FP	CaKa
47.7814				
SiO2	3.649 %	(0.174)	Quan-FP	SiKa
0.0440				
Sc2O3	1.664 %	(0.054)	Quan-FP	ScKa
0.4485				
SO3	0.805 %	(0.023)	Quan-FP	S Ka
0.0960				
Fe2O3	0.122 %	(0.003)	Quan-FP	FeKa
0.4746				
SrO	0.052 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
1.6956				

Sample : TBV-03-B
 Operator : Carla
 Comment : Narendra
 Group : Argila
 Date : 2014-03-28 14:21:52

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10 (mm)
 Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec)						
						DT(%)
Ti-U	Rh	50	50-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 99						39
Na-Sc	Rh	15	347-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100						40

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	CaKaESC	1.92	1.1697
	CaKbESC	2.24	0.1977
	RhLa	2.68	4.8155
	----	2.92	0.8429
	K Ka	3.26	0.7409
	K Kb	3.58	0.1037
	CaKa	3.66	125.2784
	CaKb	4.00	20.4879
	FeKa	6.38	0.6829
	FeKb	7.06	0.1132
	CaKaSUM	7.40	0.2979
	Ca SUM	7.74	0.2956
	----	8.02	0.6075
	SrKa	14.14	2.0319
	RhKaC	19.20	14.8199
	RhKa	20.18	14.4592
	RhKbC	21.46	3.0094
	RhKb	22.72	2.4606
Na-Sc	----	0.95	0.0325
	SiKa	1.74	0.0316
	CaKaESC	1.96	0.4001
	S Ka	2.27	0.0939
	----	2.38	0.0495
	RhLa	2.71	2.6878
	RhLb2	2.97	0.3238

CaKa	3.70	46.7977
CaKb	4.02	6.7256
CrKa	5.42	0.0558
FeKa	6.39	0.1580
CaKaSUM	7.39	0.2763
Ca SUM	7.72	0.1239
----	7.94	0.0734

 Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
--------------------------	--------	----------	-------------	------

====[No. 1 Layer]====< Layer1

>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base

>=====				
CaO	95.883 %	(0.075)	Quan-FP	CaKa
46.7977				
SiO2	2.705 %	(0.163)	Quan-FP	SiKa
0.0316				
SO3	0.803 %	(0.024)	Quan-FP	S Ka
0.0939				
K2O	0.360 %	(0.013)	Quan-FP	K Ka
0.5630				
Fe2O3	0.183 %	(0.004)	Quan-FP	FeKa
0.6829				
SrO	0.065 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
2.0319				

Sample : TBV-03-C
 Operator : Carla
 Comment : Narendra
 Group : Argila
 Date : 2014-03-28 14:52:54

Measurement Condition

Instrument : EDX-720	Atmosphere : Air	Collimator : 10 (mm)
Spin : No		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
---------	-------	----	----	------------	-------------

Time(sec) DT(%)

```

-----
Ti-U          Rh 50   50-Auto ----  0 - 40      0.0 - 40.0
Live - 100   40
Na-Sc        Rh 15  343-Auto ----  0 - 20      0.0 -  4.4
Live - 100   40

```

Peak List

```

-----
Channel          Line          keV      Net Int.(cps/uA)
-----

```

```

Ti-U
CaKaESC          1.92      1.2067
CaKbESC          2.24      0.1790
RhLa             2.66      4.9442
----            2.92      0.8684
K Ka             3.26      0.5447
K Kb             3.58      0.0763
CaKa             3.66     141.3261
CaKb             4.00     22.8807
FeKa             6.38      0.5846
CaKaSUM          7.38      0.3481
Ca SUM           7.74      0.2743
----            8.04      0.6231
----            8.34      0.2748
SrKa             14.14     2.1131
SrKb             15.84     0.3586
ZrKa             15.84     0.1360
RhKaC            19.22     15.4908
RhKa             20.18     14.9299
RhKbC            21.58      3.1430
RhKb             22.72      2.7039

```

```

-----
Na-Sc
----            0.96      0.0348
SiKa             1.74      0.0282
CaKaESC          1.95      0.4006
S Ka             2.28      0.0933
RhLa             2.70      2.6657
RhLb2            2.96      0.3250
CaKa             3.70     47.4153
CaKb             4.02      6.8186
----            4.37      0.0509
CrKa             5.40      0.0570
FeKa             6.42      0.1320
CaKaSUM          7.40      0.2750
Ca SUM           7.71      0.1190

```

Quantitative Result

Analyte Int. (cps/uA)	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line

====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO 47.4153	96.244 %	(0.075)	Quan-FP	CaKa
SiO2 0.0282	2.396 %	(0.169)	Quan-FP	SiKa
SO3 0.0933	0.788 %	(0.024)	Quan-FP	S Ka
K2O 0.5447	0.344 %	(0.013)	Quan-FP	K Ka
Fe2O3 0.5846	0.155 %	(0.004)	Quan-FP	FeKa
SrO 2.1131	0.068 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
ZrO2 0.1360	0.004 %	(0.001)	Quan-FP	ZrKa

Sample : TBV-03-I
 Operator : Carla
 Comment : Narendra
 Group : Argila
 Date : 2014-03-28 14:45:13

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm)
 Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Time(sec) DT(%)					
Ti-U	Rh 50	54-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live - 99 41					
Na-Sc	Rh 15	347-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live - 100 40					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
---------	------	-----	-------------------

Ti-U	CaKaESC	1.92	1.1418
	CaKbESC	2.26	0.2012
	RhLa	2.66	6.0082
	----	2.92	0.8142
	K Ka	3.26	0.6958
	K Kb	3.58	0.0974
	CaKa	3.66	124.5290
	CaKb	4.00	20.2960
	MnKa	5.90	0.1775
	FeKa	6.38	1.4630
	MnKb	6.50	0.0266
	FeKb	7.00	0.2426
	CoKa	7.00	0.1000
	CaKaSUM	7.38	0.2691
	CoKb	7.64	0.0136
	Ca SUM	7.74	0.4287
	----	8.02	0.7023
	SrKa	14.14	1.7192
	SrKb	15.82	0.2942
	ZrKa	15.82	0.3711
	RhKaC	19.18	14.5970
	RhKa	20.18	14.0336
	RhKbC	21.44	2.8451
	RhKb	22.70	2.3320

Na-Sc	CuLa	0.95	0.0424
	CaKaESC	1.95	0.4111
	S Ka	2.30	0.0875
	RhLa	2.70	3.1602
	RhLb2	2.96	0.3935
	CaKa	3.70	46.3679
	CaKb	4.02	6.7751
	ScKa	4.09	0.0557
	ScKb	4.41	0.0594
	CrKa	5.34	0.0643
	----	5.49	0.0482
	FeKa	6.40	0.2932
	FeKb	7.04	0.0750
	CaKaSUM	7.40	0.2704
	Ca SUM	7.72	0.1126
	----	8.06	0.0711

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				

```

====[No. 1 Layer]====< Layer1
>=====
Layer1                5.000 um          (-----) Fix          -----
-----
C3H6                  100.000 %          (-----) Fix          -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                   98.111 %          ( 0.077) Quan-FP      CaKa
46.3679
SO3                   0.754 %          ( 0.025) Quan-FP      S Ka
0.0875
Fe2O3                 0.413 %          ( 0.006) Quan-FP      FeKa
1.4630
K2O                   0.338 %          ( 0.013) Quan-FP      K Ka
0.5252
Sc2O3                 0.229 %          ( 0.059) Quan-FP      ScKa
0.0557
MnO                   0.061 %          ( 0.004) Quan-FP      MnKa
0.1775
SrO                   0.059 %          ( 0.001) Quan-FP      SrKa
1.7192
Co2O3                 0.022 %          ( 0.004) Quan-FP      CoKa
0.1000
ZrO2                  0.012 %          ( 0.001) Quan-FP      ZrKa
0.3711

```

```

Sample      : TBV-07-D
Operator    : Carla
Comment     : Narendra
Group       : Argila
Date        : 2014-03-28 14:35:48

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10(mm)
Spin : No
-----

```

```

-----
Analyte      TG kV   uA      FI   Acq. (keV)  Anal. (keV)
Time(sec)    DT(%)
-----
Ti-U        Rh 50   54-Auto  ----  0 - 40      0.0 - 40.0
Live - 100  41
Na-Sc       Rh 15   361-Auto ----  0 - 20      0.0 - 4.4
Live - 99   41

```

Peak List

```

-----
Channel      Line      keV      Net Int. (cps/uA)

```

```

-----
-----
Ti-U
CaKaESC      1.92      1.2074
CaKbESC      2.24      0.1893
RhLa         2.68      4.0217
-----      2.92      0.8287
K Ka         3.26      0.4928
K Kb         3.58      0.0690
CaKa         3.66      140.0967
CaKb         4.00      22.3986
MnKa         5.86      0.7532
FeKa         6.38      3.2500
MnKb         6.50      0.1130
FeKb         7.02      0.4967
CaKaSUM      7.40      0.2250
Ca  SUM      7.72      0.4336
-----      8.00      0.5685
-----      8.60      0.4215
SrKa         14.14     1.1512
SrKb         15.78     0.2220
RhKaC        19.18     14.1393
RhKa         20.18     13.8139
RhKbC        21.52     3.0155
RhKb         22.74     2.4064
-----
-----

```

```

-----
-----
Na-Sc
-----      0.96      0.0263
CaKaESC      1.95      0.4000
S Ka         2.28      0.0928
RhLa         2.70      2.2527
RhLb2        2.96      0.3416
CaKa         3.70      46.8018
CaKb         4.02      6.6852
-----      4.38      0.0516
CrKa         5.40      0.0594
MnKa         5.90      0.1624
CrKb         5.95      0.0089
FeKa         6.40      0.5807
MnKb         6.49      0.0244
FeKb         7.07      0.1057
CaKaSUM      7.39      0.2983
Ca  SUM      7.71      0.1246
-----
-----

```

Quantitative Result

```

-----
-----
Analyte          Result          Std.Dev. Proc.-Calc. Line
Int. (cps/uA)
-----
=====[No. 1 Layer]====< Layer1
>=====

```

```

Layer1                5.000 um      (-----) Fix      -----
-----
C3H6                  100.000 %      (-----) Fix      -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                    97.697 %      ( 0.075) Quan-FP   CaKa
46.8018
Fe2O3                  0.904 %      ( 0.007) Quan-FP   FeKa
3.2500
SO3                    0.792 %      ( 0.023) Quan-FP   S Ka
0.0928
K2O                    0.315 %      ( 0.012) Quan-FP   K Ka
0.4928
MnO                    0.254 %      ( 0.005) Quan-FP   MnKa
0.7532
SrO                    0.039 %      ( 0.001) Quan-FP   SrKa
1.1512

```

```

Sample      : TBV-11-A
Operator    : Carla
Comment     : Narendra
Group       : Argila
Date        : 2014-03-28 14:14:22

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10 (mm)
Spin : No
-----

```

```

-----
Analyte      TG kV   uA      FI      Acq. (keV)  Anal. (keV)
Time(sec)    DT(%)
-----
Ti-U         Rh 50    54-Auto ----  0 - 40      0.0 - 40.0
Live - 100   41
Na-Sc        Rh 15    378-Auto ----  0 - 20      0.0 - 4.4
Live - 100   39
-----

```

Peak List

```

-----
Channel      Line      keV      Net Int. (cps/uA)
-----
Ti-U         CaKaESC   1.92     1.0360
              RhLa      2.68     4.3343
              ----     2.92     0.8973
              K Ka      3.24     0.6535
              K Kb      3.58     0.0915
              CaKa      3.66     109.6242
              CaKb      3.98     17.8747
-----

```


FeKa	6.38	1.6041
FeKb	7.02	0.2406
CoKa	7.02	0.1443
CaKaSUM	7.38	0.1982
CoKb	7.64	0.0196
Ca SUM	7.72	0.4194
----	8.02	0.5487
SrKa	14.12	1.4656
RhKaC	19.16	14.8115
RhKa	20.20	14.4228
RhKbC	21.44	3.0395
RhKb	22.72	2.6136

```
-----
```

Na-Sc	----	0.96	0.0298
	SiKa	1.74	0.0638
	CaKaESC	1.95	0.3658
	S Ka	2.27	0.0685
	RhLa	2.70	2.3534
	RhLb2	2.96	0.4002
	CaKa	3.70	41.5223
	CaKb	4.02	5.9563
	CrKa	5.38	0.0542
	FeKa	6.38	0.3049
	FeKb	7.05	0.0759
	CaKaSUM	7.39	0.2480
	Ca SUM	7.75	0.1347

```
-----
```

Quantitative Result

```
-----
```

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				

====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----

C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base				
>=====				
CaO	92.551 %	(0.074)	Quan-FP	CaKa
41.5223				
SiO2	5.924 %	(0.172)	Quan-FP	SiKa
0.0638				
SO3	0.661 %	(0.023)	Quan-FP	S Ka
0.0685				
Fe2O3	0.454 %	(0.006)	Quan-FP	FeKa
1.6041				
K2O	0.327 %	(0.013)	Quan-FP	K Ka
0.4538				

SrO 0.050 % (0.001) Quan-FP SrKa
 1.4656
 Co2O3 0.032 % (0.004) Quan-FP CoKa
 0.1443

Sample : TBV-11-B
 Operator : Igorguderyan
 Comment : Narendra
 Group : Argila
 Date : 2014-04-07 09:59:47

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10 (mm)
 Spin : No

Analyte	DT (%)	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U		Rh 50	48-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	100	39				
Na-Sc		Rh 15	331-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live -	99	39				

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	FeKa	6.40	1.8954
	FeKb	7.04	0.3142
	SrKa	14.18	2.0197
Na-Sc	CaKa	3.70	47.8961
	CaKb	4.02	6.8581

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				
====[No. 1 Layer]====< Layer1				
>=====				
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----

```

C3H6                100.000 %          (-----) Fix          -----
-----
====[No. 2 Layer]====< Base
>=====
CaO                  98.338 %          ( 0.078) Quan-FP      CaKa
47.8961
SO3                   0.763 %          ( 0.024) Quan-FP      S Ka
0.0913
Fe2O3                0.520 %          ( 0.006) Quan-FP      FeKa
1.8954
K2O                   0.312 %          ( 0.013) Quan-FP      K Ka
0.4992
SrO                   0.067 %          ( 0.001) Quan-FP      SrKa
2.0197

```

```

Sample      : TBV-11-C
Operator    : Carla
Comment     :
Group       : Argila
Date        : 2014-03-28 14:02:19

```

Measurement Condition

```

-----
Instrument : EDX-720   Atmosphere : Air   Collimator : 10(mm)
Spin       : No
-----

```

Analyte	DT(%)	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)
Ti-U		Rh 50	61-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0
Live -	99 41					
Na-Sc		Rh 15	335-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4
Live -	100 39					

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)
Ti-U	CaKaESC	1.92	1.2625
	CaKbESC	2.24	0.2084
	RhLa	2.66	5.6963
	----	2.92	0.8257
	CdLa	3.22	0.5012
	CaKa	3.66	145.1518
	CaKb	3.98	23.1534
	FeKa	6.36	1.4942
	FeKb	7.02	0.2242
	CoKa	7.02	0.0762
	CaKaSUM	7.36	0.3264
	CoKb	7.64	0.0103

Ca	SUM	7.68	0.4503
----		8.02	0.6776
SrKa		14.12	1.6243
SrKb		15.78	0.3119
RhKaC		19.12	11.2296
RhKa		20.16	10.8664
RhKbC		21.44	2.0761
RhKb		22.68	1.7068

Na-Sc	CuLa	0.96	0.0364	
	CaKaESC	1.95	0.4056	
	S Ka	2.28	0.0955	
	RhLa	2.70	3.0097	
	RhLb2	2.95	0.3363	
	CaKa	3.69	47.1596	
	CaKb	4.02	6.7940	
	----	4.36	0.0524	
	CrKa	5.45	0.0723	
	FeKa	6.40	0.2957	
	FeKb	7.04	0.0744	
	CaKaSUM	7.39	0.2657	
	Ca	SUM	7.70	0.1273
	----	8.02	0.0791	

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line
Int. (cps/uA)				

====[No. 1 Layer]====< Layer1

Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----

====[No. 2 Layer]====< Base

CaO	98.687 %	(0.078)	Quan-FP	CaKa
47.1596				
SO3	0.819 %	(0.025)	Quan-FP	S Ka
0.0955				
Fe2O3	0.421 %	(0.005)	Quan-FP	FeKa
1.4942				
SrO	0.055 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa
1.6243				
Co2O3	0.017 %	(0.003)	Quan-FP	CoKa
0.0762				

ANEXO-5:

Resultados de Análise Petrofísica

You can import this report into Excel. Run Excel and open the file C:\WINPORE\DATA\CAROLAMOSTRAS2ETAPA.HTM

Core Data Report																			
File Name		C:\Winpore\Data\carolamostras2etapa.cor								Well									
Location										Latitude/Longitude									
Field										Formation									
Company										Country									
Lab										Client									
Operator		Gleyser								Current Time		04/11/2014 09:46							
NO.	Sample ID	Depth (m)	Dry Weight (gm)	Grain Volume (cc)	Grain Density (gm/cc)	Pore Volume (cc)	Porosity (%)	Hg BulkVol (cc)	Length (cm)	Diam. (cm)	Caliper BulkVol (cc)	Temp(C)	Dated	Baro Pres (PSI)	Conf Pres	Diff Pres (psid)	Upstr Pres (psig)	P1 (psia)	P2 (psia)
1	APSTR_2	0.00	129.22	461.238	2.802	0.591	1.265	0.0	4.717	3.551	46.715	23	04/11/2014 08:41						
2	TBR_03_C	0.00	138.35	500.982	2.762	4.962	9.012	0.0	5.332	3.626	55.06	23	04/11/2014 08:43						
3	TBR_03_A	0.00	129.27	470.135	2.75	6.286	11.794	0.0	5.245	3.597	53.299	23	04/11/2014 08:52						
4	APGR_2	0.00	146.92	522.296	2.813	0.506	0.959	0.0	5.313	3.555	52.736	23	04/11/2014 08:55						
5	APGR_1	0.00	124.76	449.451	2.776	0.634	1.391	0.0	4.644	3.535	45.579	23	04/11/2014 08:58						
6	TBV_03_A	0.00	73.46	267.101	2.75	1.998	6.960	0.0	2.902	3.549	28.708	23	04/11/2014 09:01						
7	TBV_03_G	0.00	114.63	419.818	2.73	6.354	13.145	0.0	4.810	3.577	48.336	23	04/11/2014 09:03						
8	SAL_01_F	0.00	118.02	438.223	2.693	0.876	1.960	0.0	4.443	3.579	44.698	23	04/11/2014 09:11						
9	TBR_05_C1	0.00	139.98	501.956	2.789	1.795	3.453	0.0	5.194	3.570	51.991	23	04/11/2014 09:15						
10	TBV_03_D	0.00	133.04	48.304	2.754	1.337	2.693	0.0	4.962	3.569	49.641	23	04/11/2014 09:20						
11	TBR_04_A	0.00	138.62	49.606	2.794	0.261	0.523	0.0	4.979	3.571	49.867	23	04/11/2014 09:23						
12	APSTR_1	0.00	122.38	436.637	2.803	0.952	2.134	0.0	4.590	3.518	44.616	23	04/11/2014 09:28						
13	TBR_05_C2	0.00	104.73	372.254	2.813	0.161	0.431	0.0	3.775	3.551	37.386	23	04/11/2014 09:30						
14	TBR_05_C3	0.00	118.63	423.782	2.799	0.243	0.570	0.0	4.355	3.530	42.621	23	04/11/2014 09:32						
15	TBR_04_F	0.00	146.97	529.399	2.776	3.589	6.349	0.0	5.660	3.566	56.529	23	04/11/2014 09:36						
16	APGR_3	0.00	150.93	540.467	2.793	1.538	2.767	0.0	5.699	3.524	55.585	23	04/11/2014 09:40						
17	TBV_11_B	0.00	138.24	491.057	2.815	0.016	0.033	0.0	4.935	3.560	49.122	23	04/11/2014 09:42						
18	SAL_01_H	0.00	119.73	441.735	2.71	0.059	0.133	0.0	4.479	3.546	44.233	23	04/11/2014 09:45						