

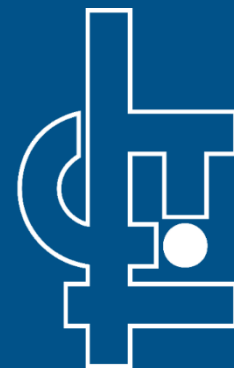


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS PRIMAS MINERAIS

MICROTOMOGRAFIA (μ CT – XRM)

Prof. Dr. Henrique Kahn
Profa. Dra. Carina Ulsen



lct@lct.poli.usp.br
www.lct.poli.usp.br

DIREITOS AUTORAIS

O material aqui apresentado foi preparado pelos professores Henrique Kahn e Carina Ulsen com apoio da equipe técnica do Laboratório de Caracterização Tecnológica.

Por favor respeite o trabalho dos autores.

Em caso de reprodução e/ou extração de conteúdo, cite os autores.

É expressamente proibida a reprodução de qualquer conteúdo deste documento sem a devida citação, fato sujeito às sanções legais cabíveis (Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que regula os direitos autorais).

INTRODUÇÃO

ANÁLISE MINERALÓGICA AUTOMATIZADA

- composições química e mineral
 - características microestruturais
 - forma, associações minerais, espectro de liberação
 - área interfacial
-
- 1D ou 2D sobre seções polidas → descrição incompleta da distribuição (erros estereológicos)
 - 3D, dados reais, maior representatividade estatística e menor tempo de preparação e análise

PRINCIPAIS DIFERENÇAS – 2D

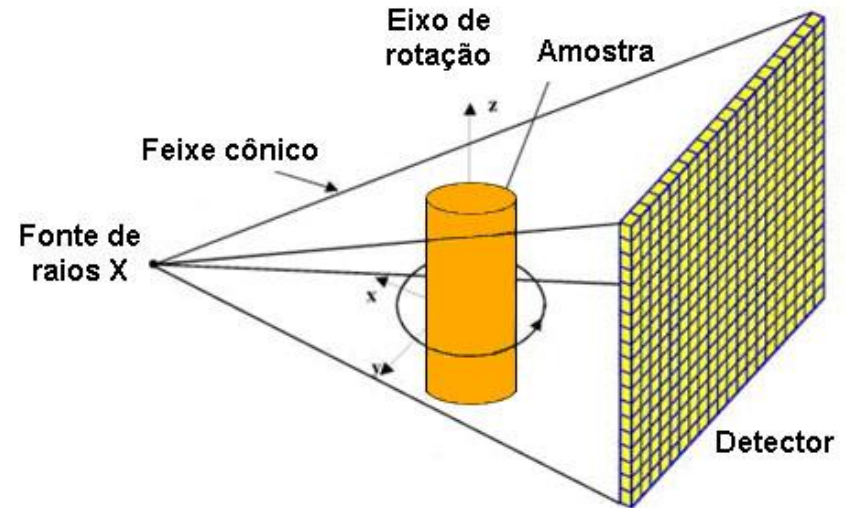
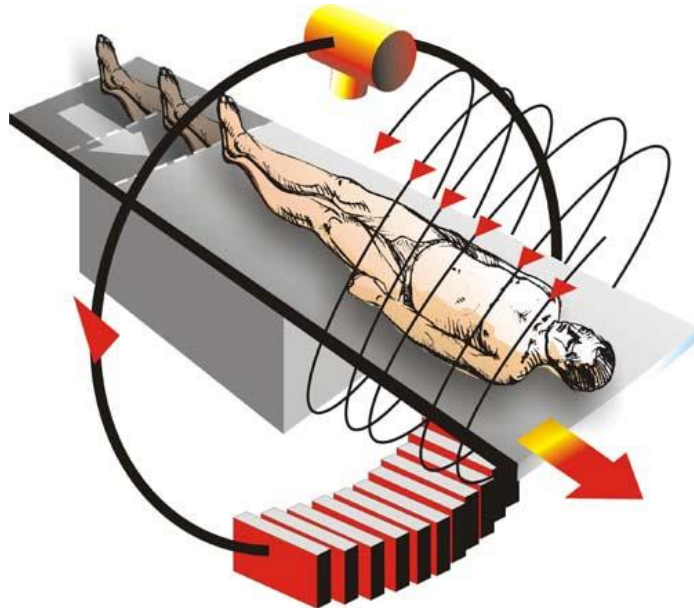
	μCT – XRM (3D)	MEV (2D)
Preparação de amostra	Amostras pequenas a grandes Fragmentos (testemunhos/blocos) ou particulados Embutidas em resina ou não	Normalmente amostras pequenas Pequenos fragmentos ou particulados (seções polidas) Embutidas em resina
Geração da imagem	Fonte: feixe de raios X	Fonte: feixe de elétrons
Segmentação	Diferentes coeficientes de raios X	Contraste de número atômico (BSE) Microanálise por EDS

A TOMOGRAFIA POR RAIOS X

- A palavra tomografia é derivada do Grego tomé (corte) ou tomos (parte ou seção) e graphein (escrever)
- Refere-se a imagens em seções ou seccionamento mediante o emprego de ondas eletromagnéticas (proposição di início do século 20)
- Da década de 1970 introduz se o uso de computadores para lidar como extensivo processamento requerido
- CT → Computed Tomography (CAT – Computerize Axial Tomography → termo área médica)

CT - ESQUEMA GENÉRICO

Scanners ou dispositivos de varredura

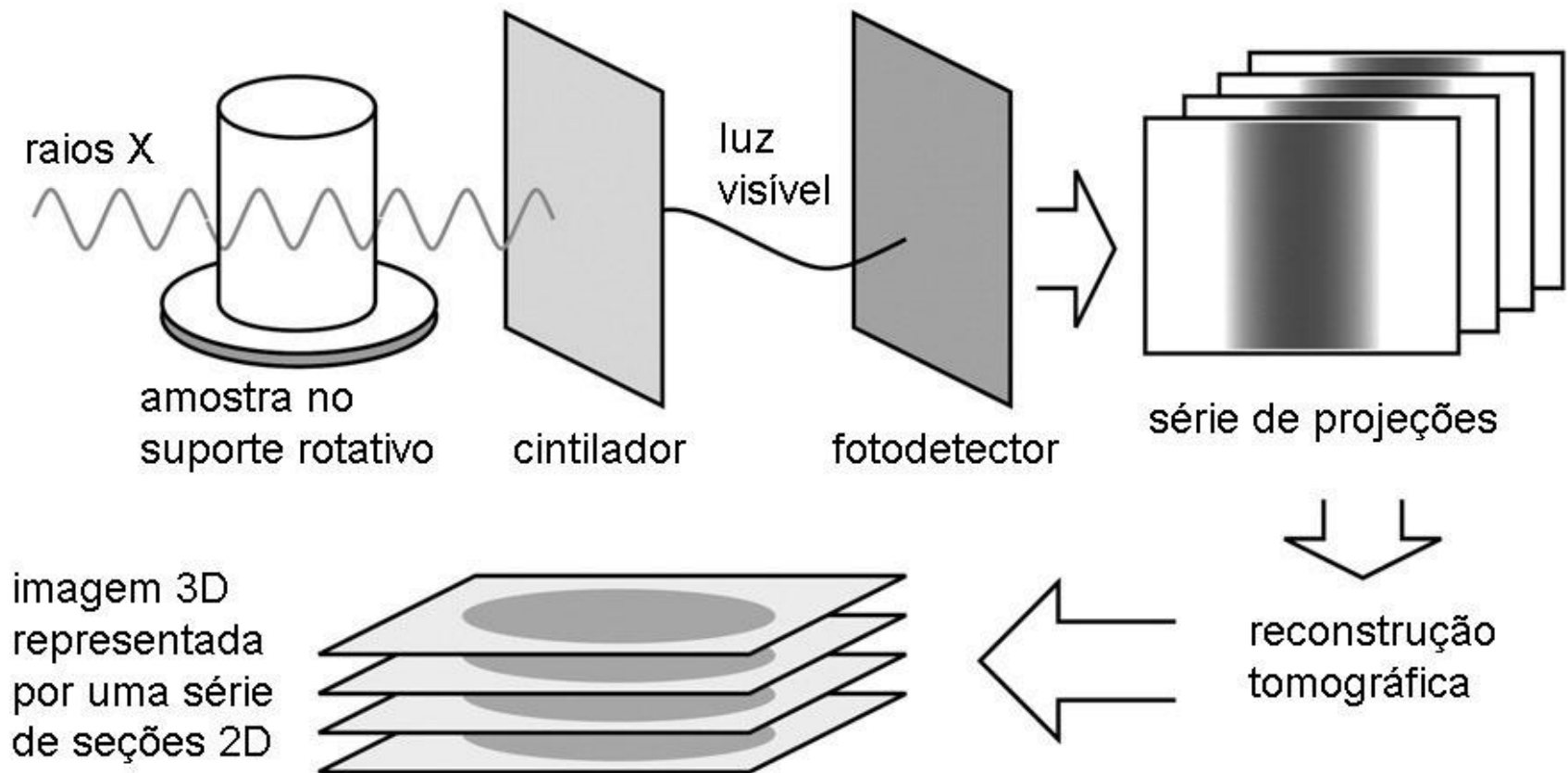


Medicina

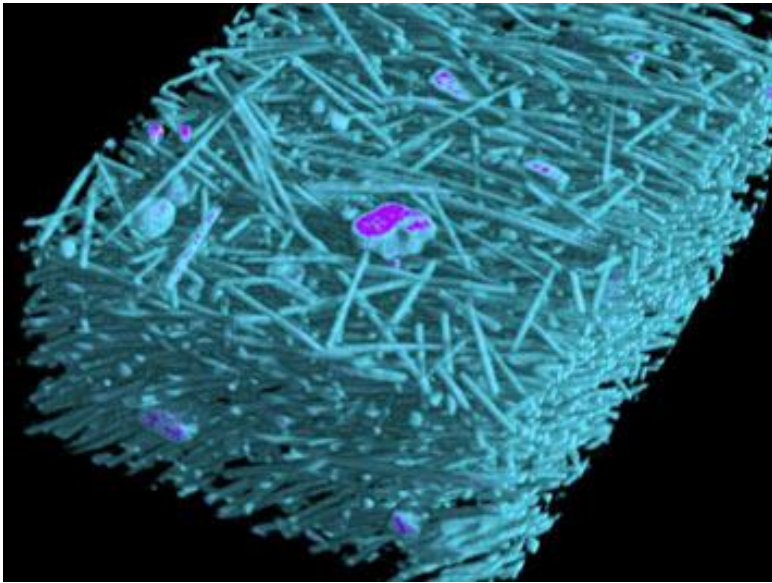
Micro CT



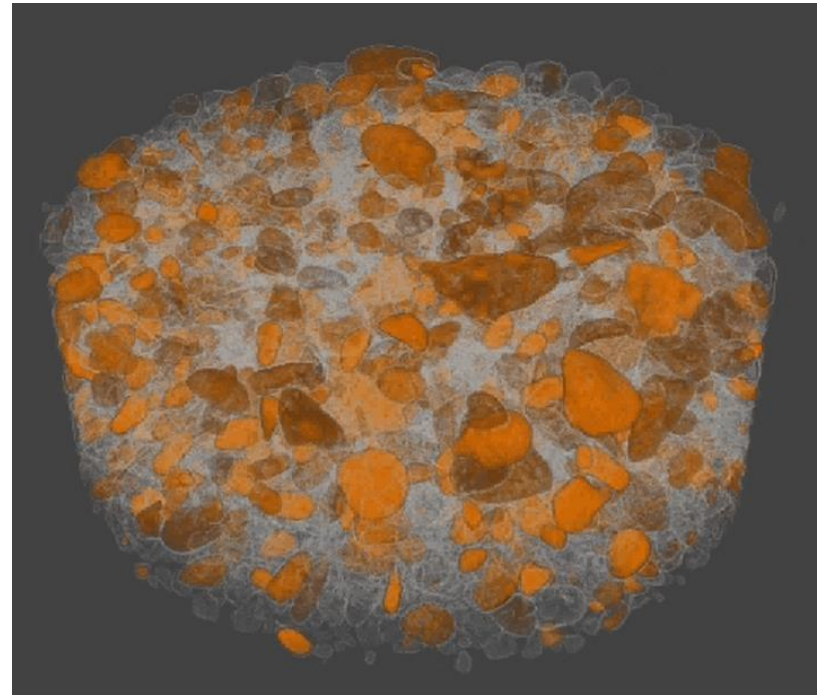
CT - ESQUEMA GENÉRICO



CT - IMAGENS

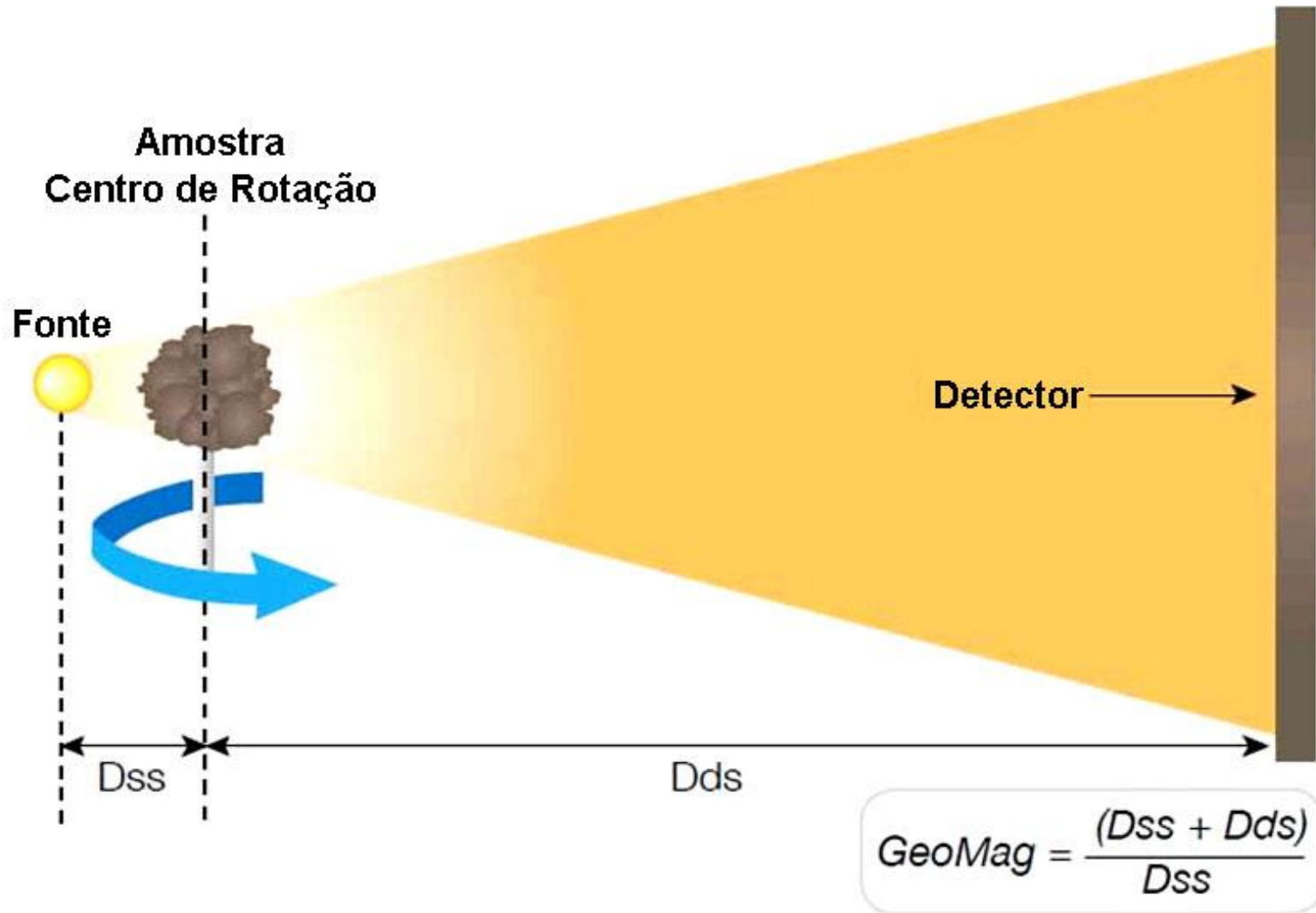


compósito de fibra de vidro

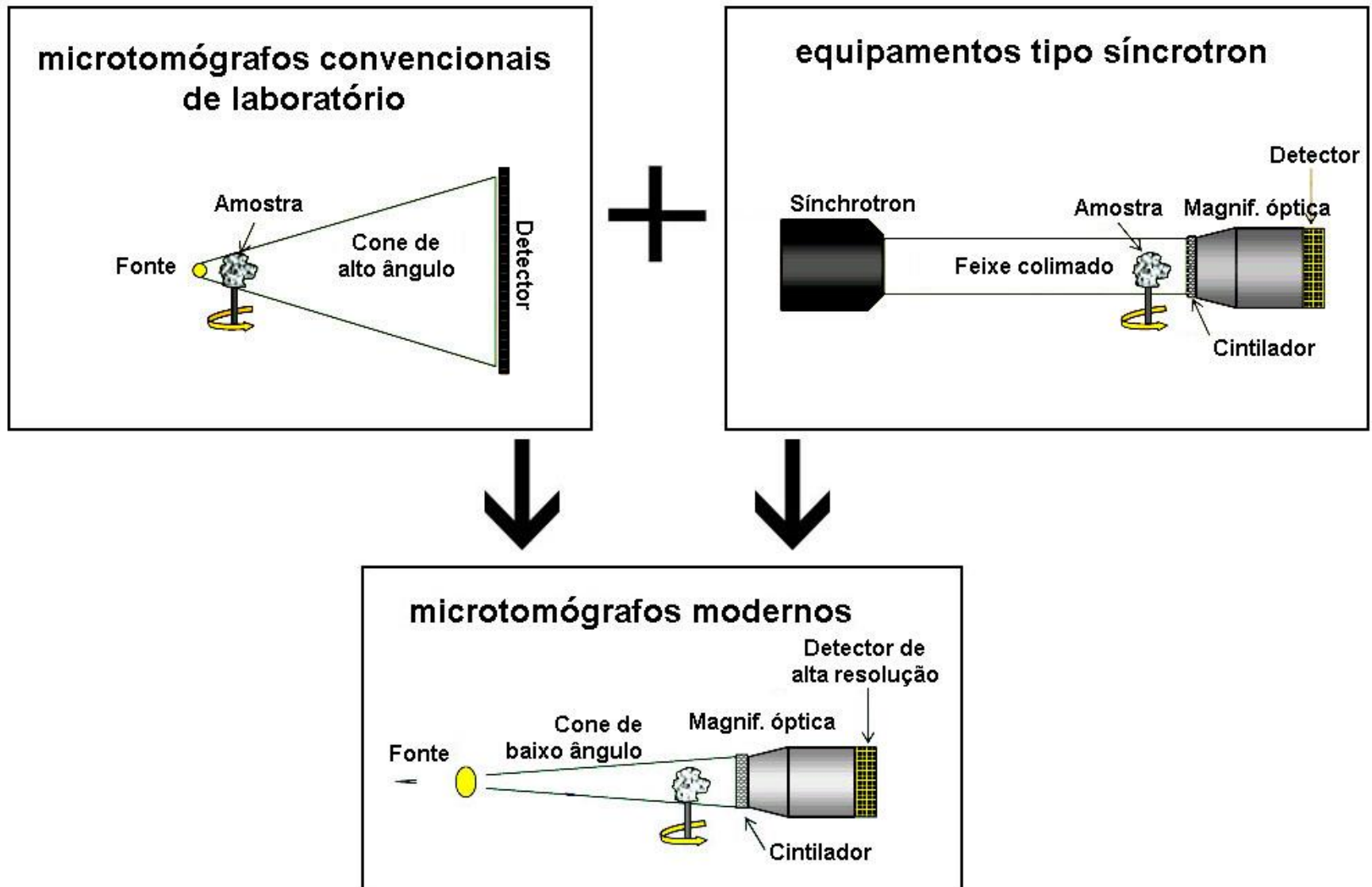


minério de fosfato

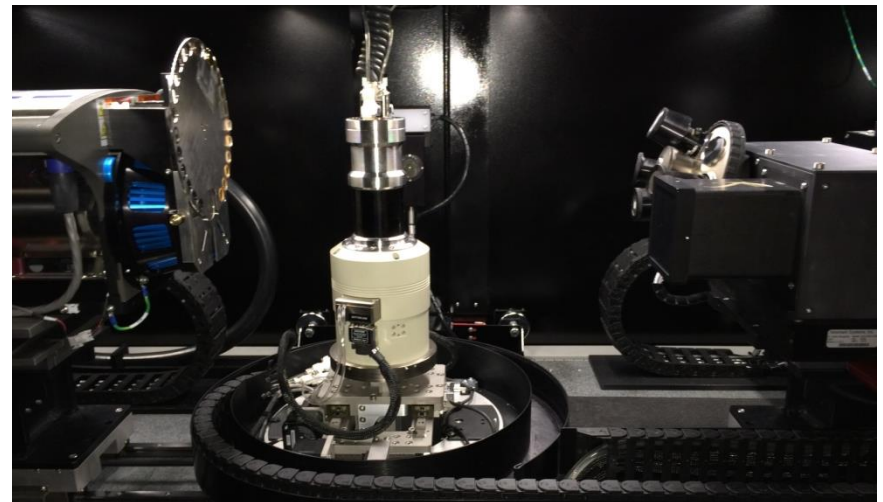
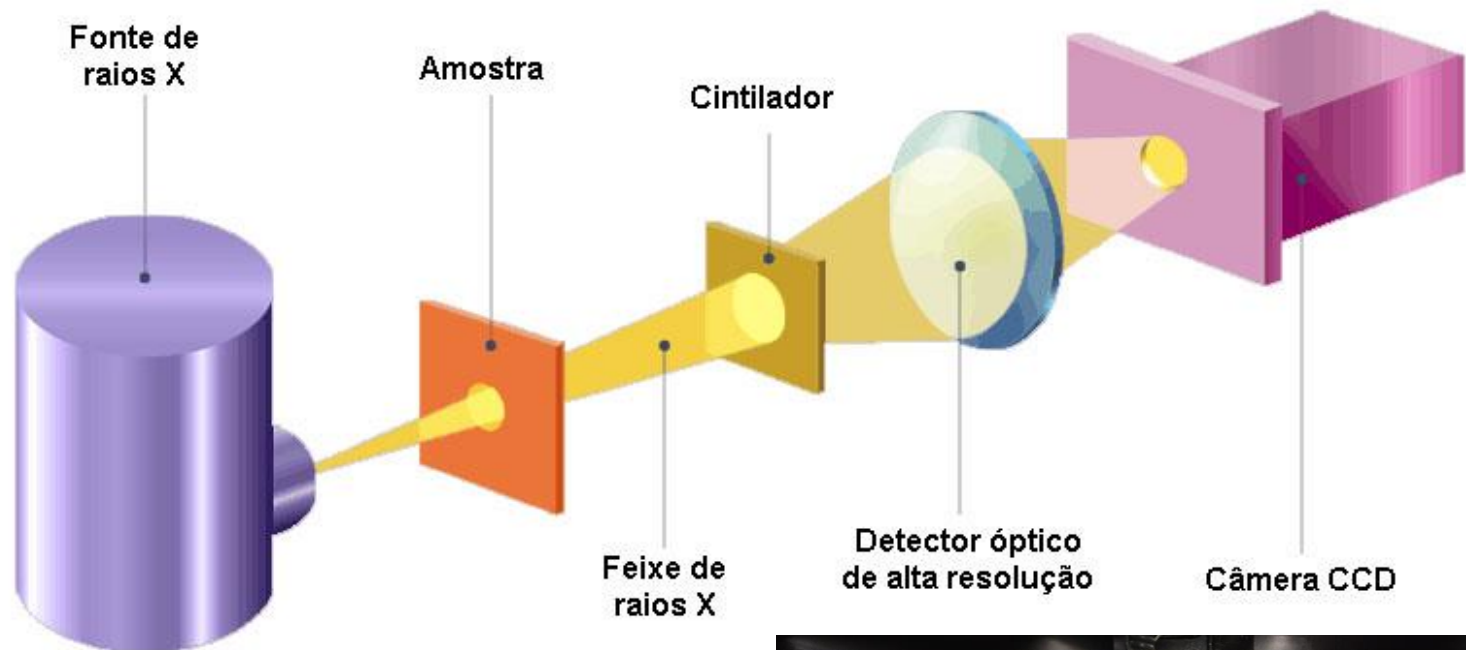
CT – MAGNIFICAÇÃO



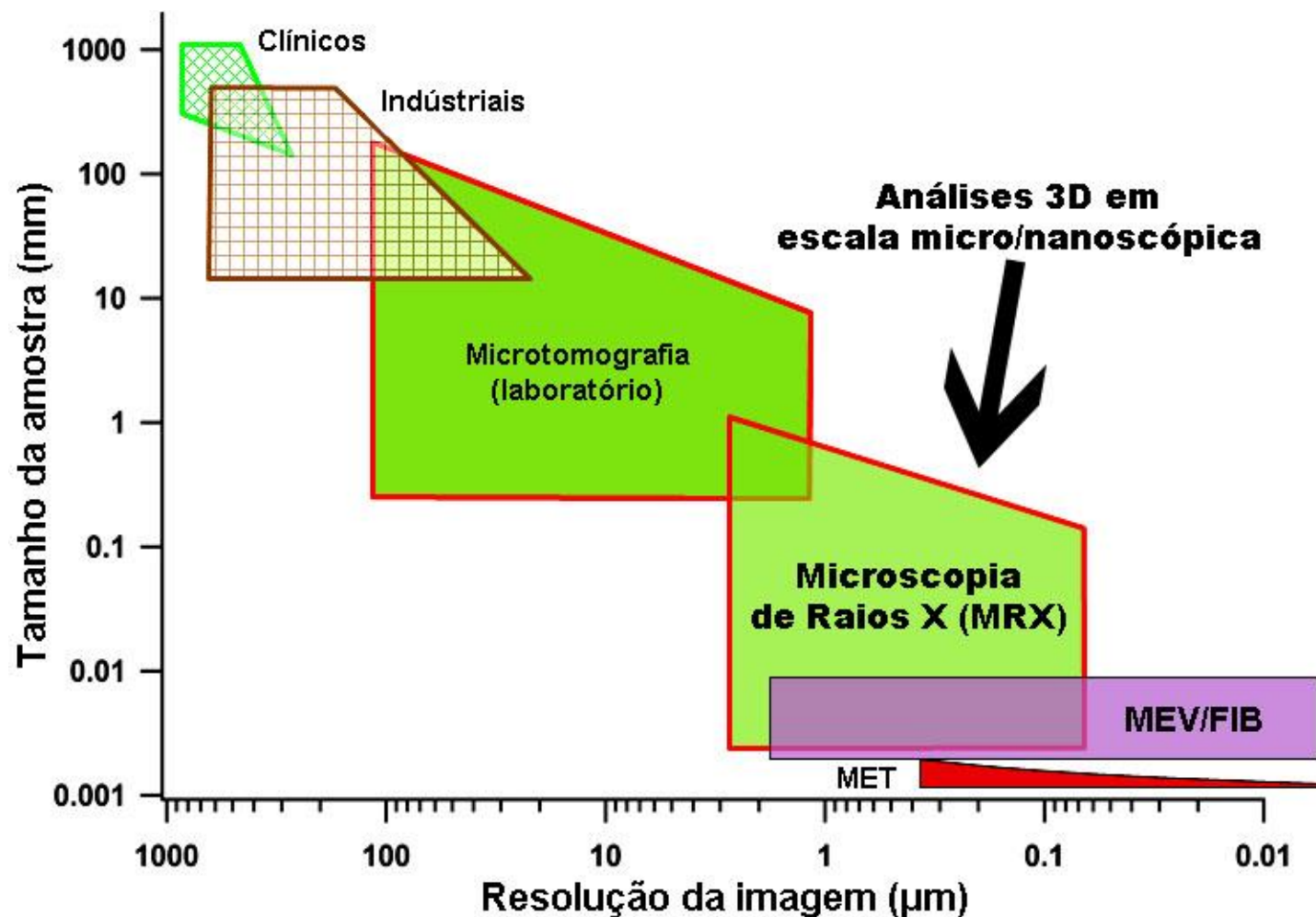
CT – MICROSCOPIA DE RAIOS X (XRM)



CT – MICROSCOPIA DE RAIOS X (XRM)

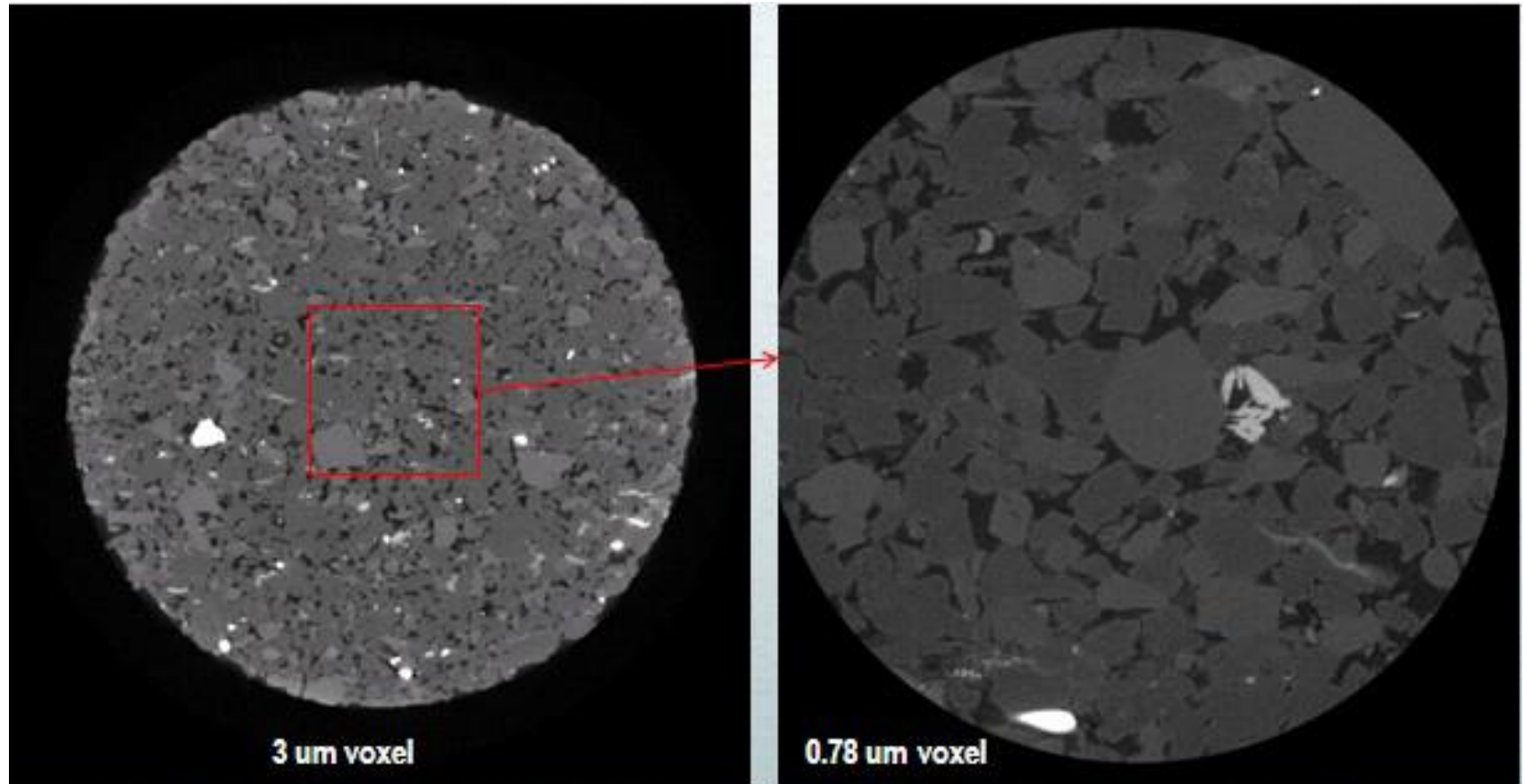


COMPARATIVOS ENTRE TÉCNICAS 3D



CT – MICROSCOPIA DE RAIOS X (XRM)

Resolução e contraste



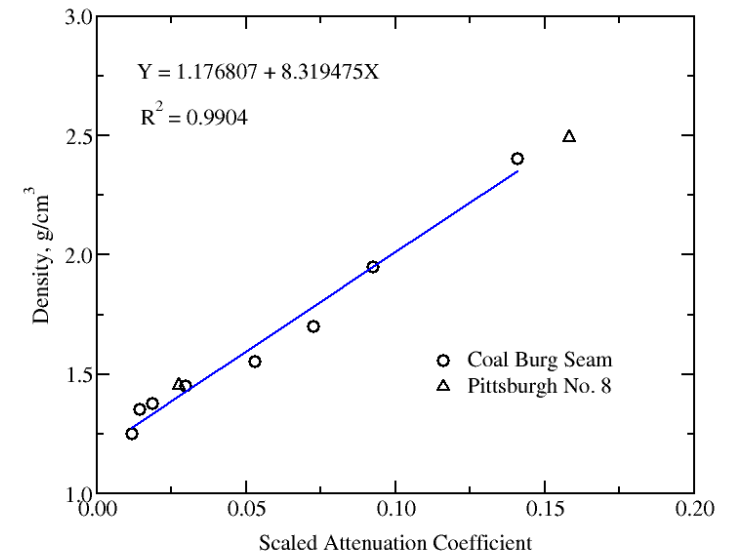
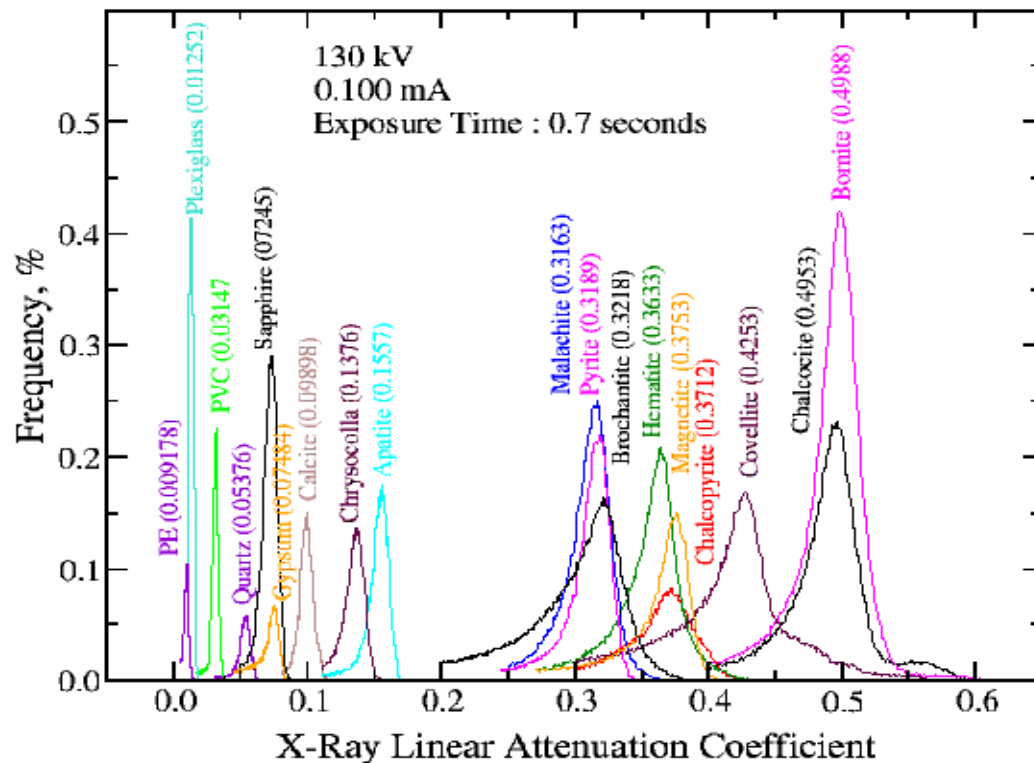
CT-XRM

ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

- Calibração de fases
- Separação de partículas
- Segmentação (análise de histograma)
- Medidas e apresentação de resultados

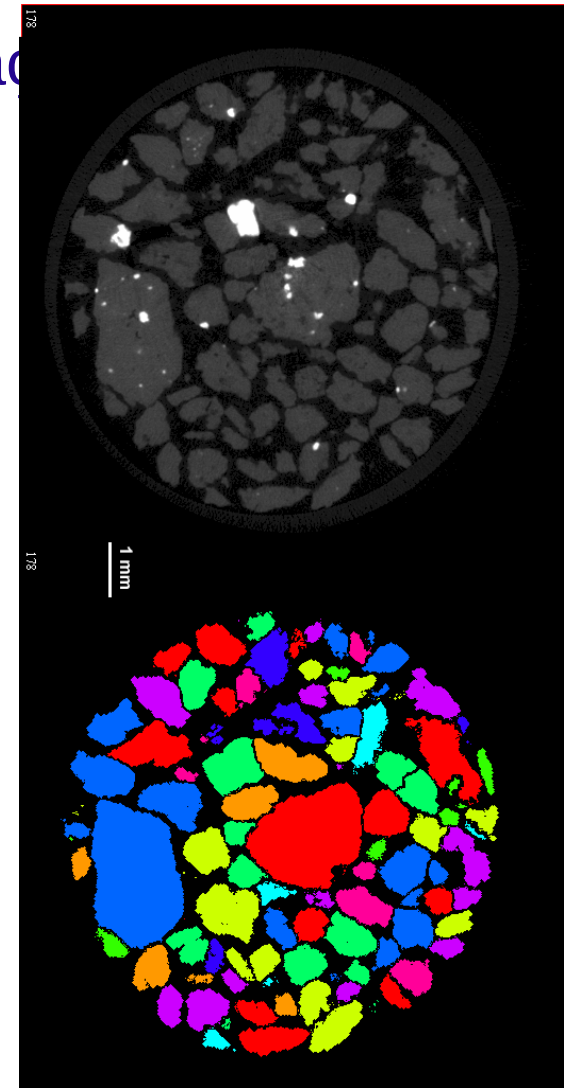
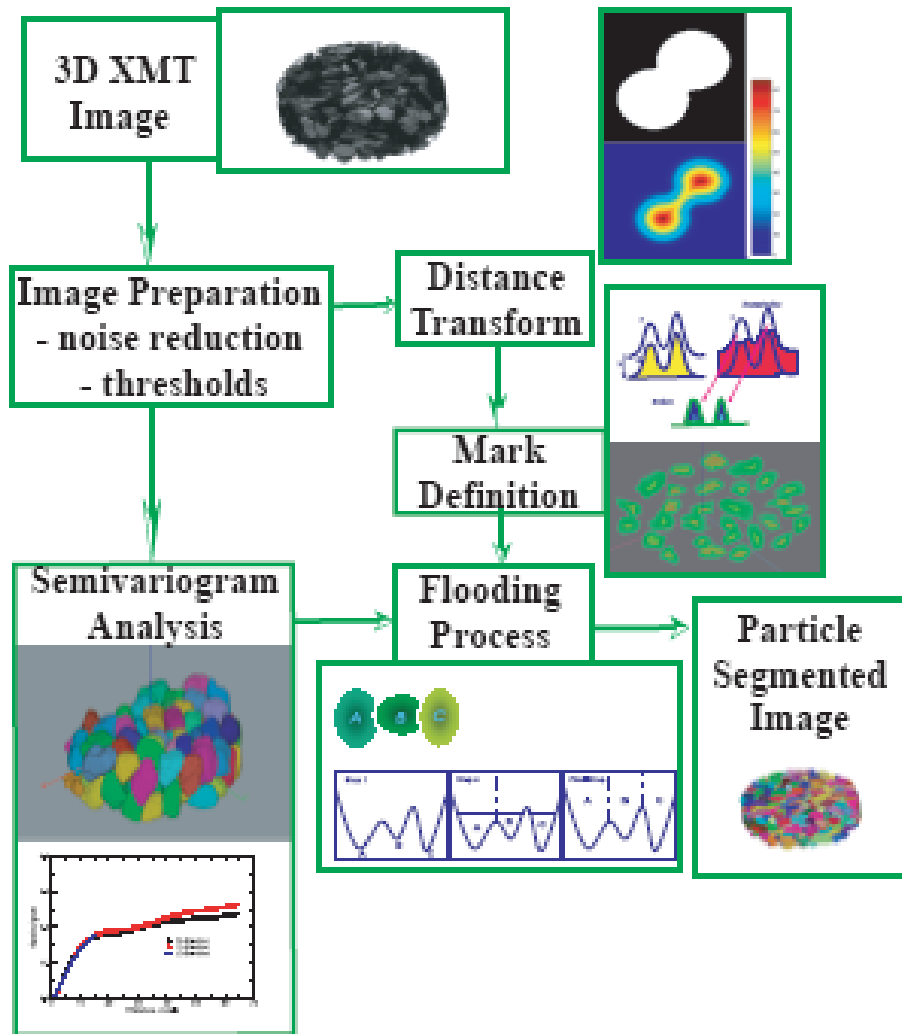
CT-XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

■ Calibração de fases



CT-XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

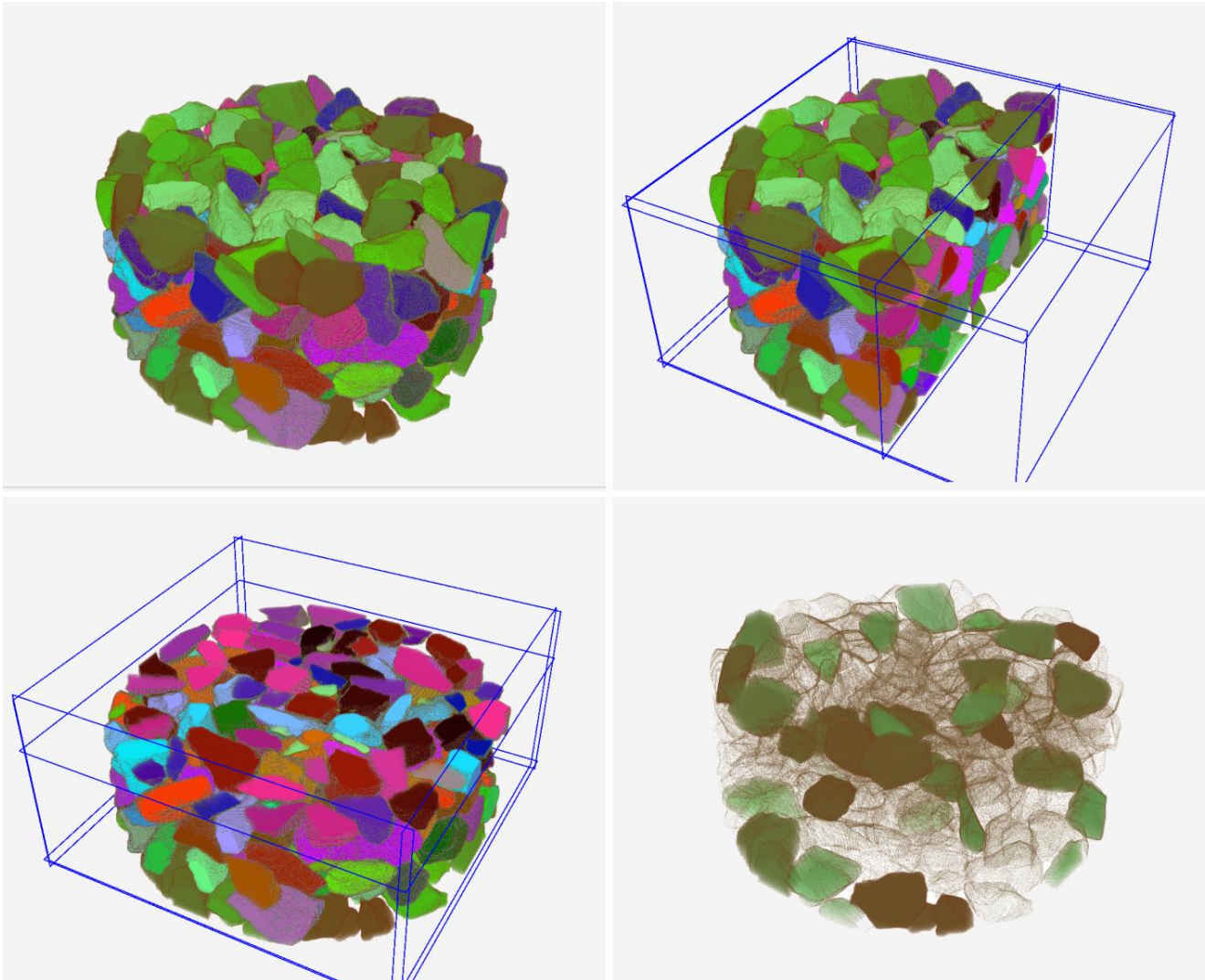
- Separação de partículas (segmentação)



minério Cu

CT-XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

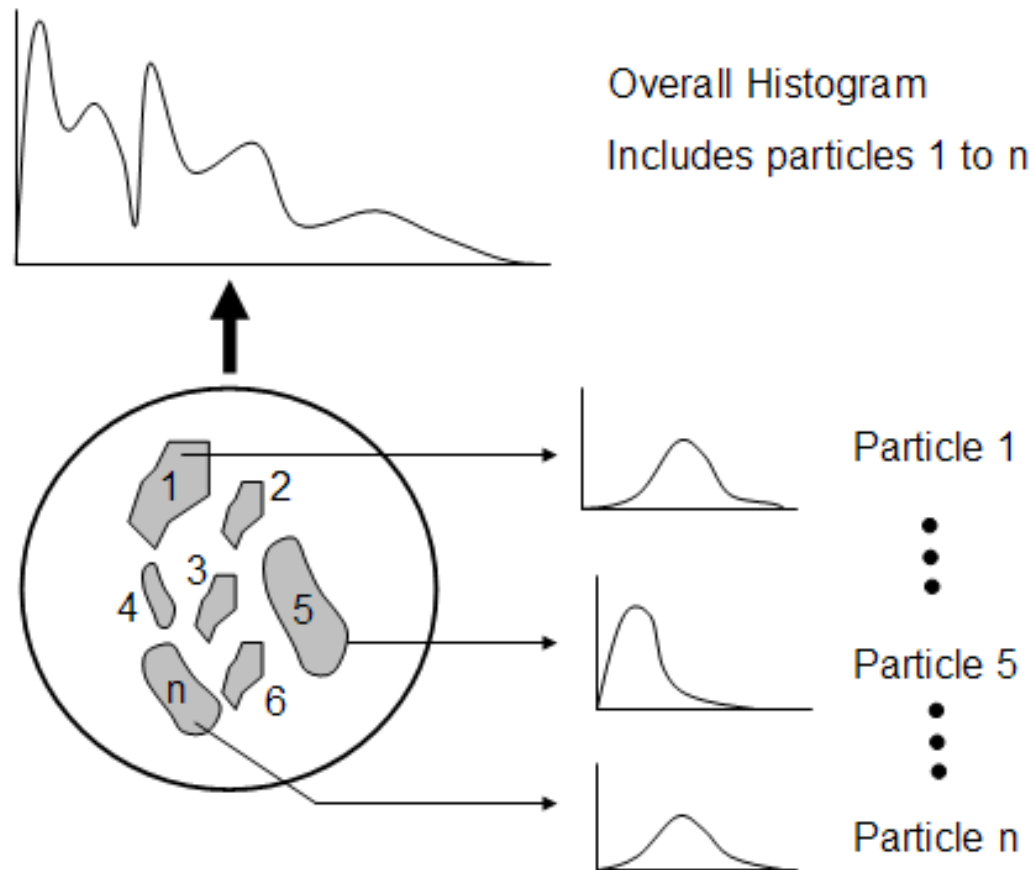
- Separação de partículas (segmentação)



Cu

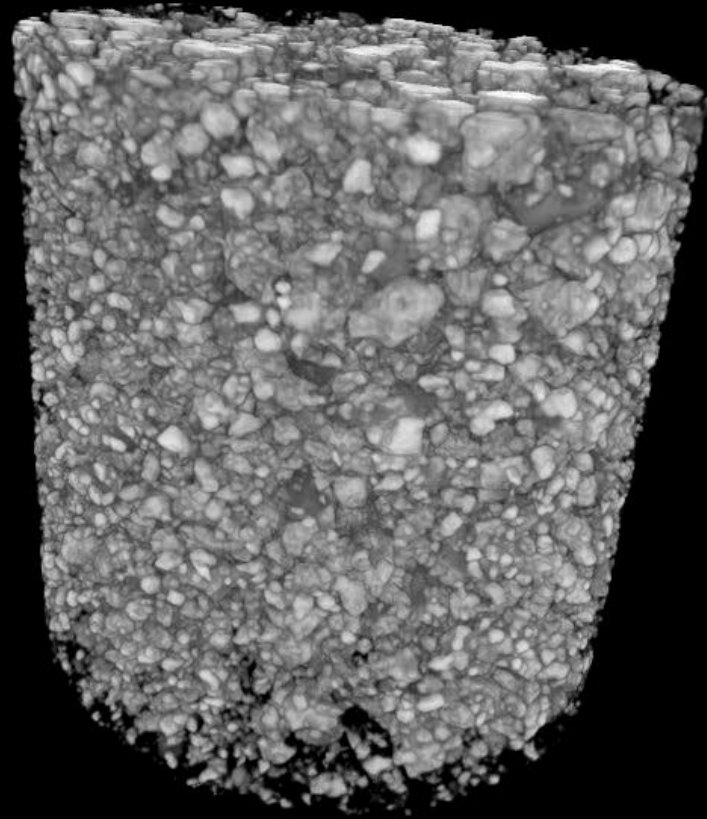
CT-XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

- Classificação (análise de histograma)



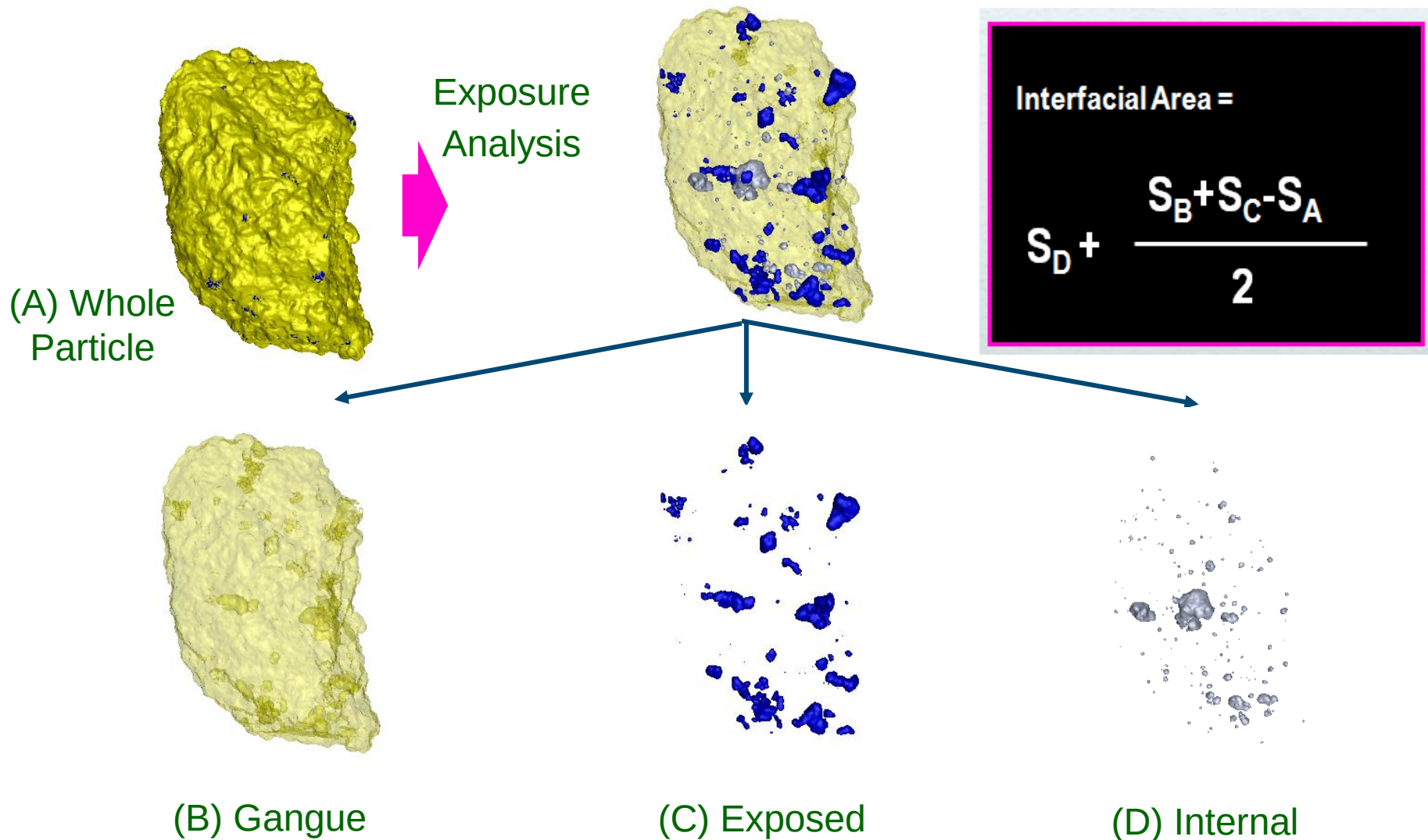
CT–XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

- Segmentação



CT-XRM ANÁLISE AMOSTRA MULTIFASE

- Segmentação (análise de histograma)

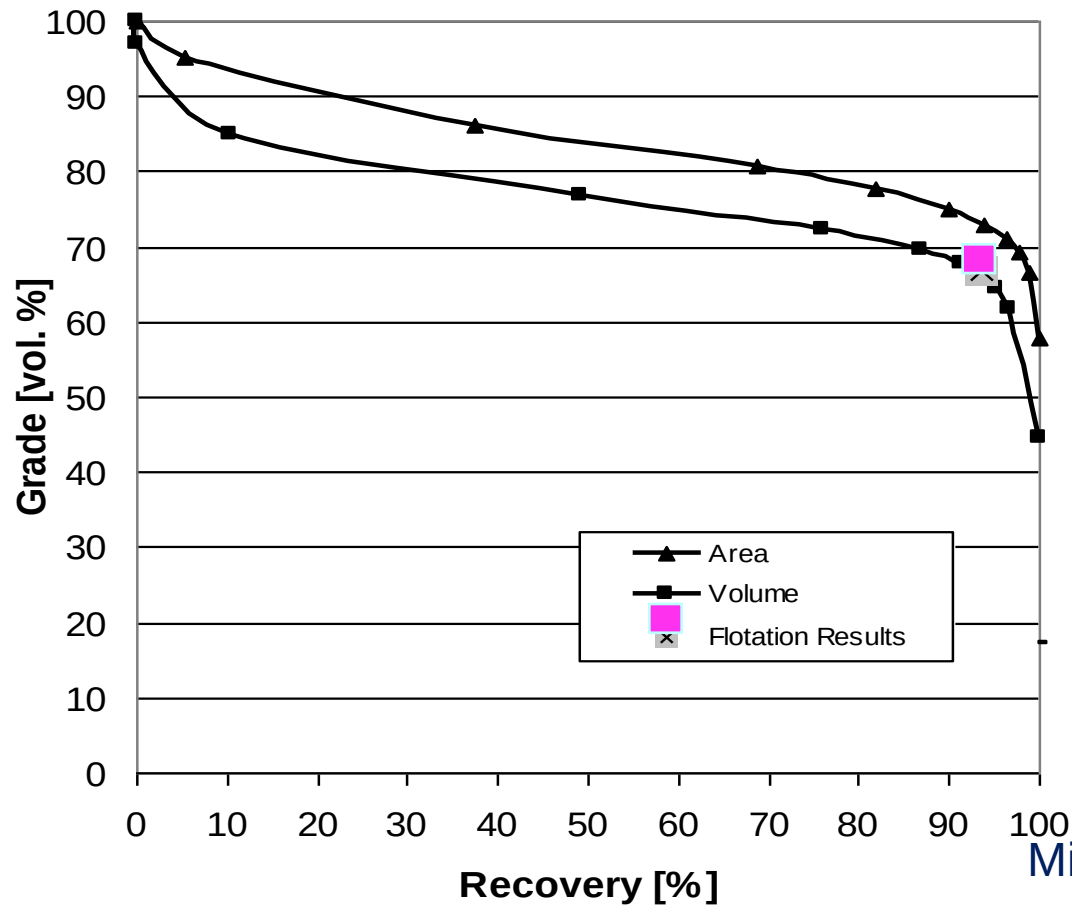


APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

	Composição	Distribuição espacial	Fluxo em meio poroso
Algoritmo	• Segmentação de partículas • Análise de composição das partículas	• Componente de ligação - Tamanho - Forma - Exposição dos grãos	• Estrutura da rede de poros • Lattice Boltzmann Method (LBM) - Permeab. absoluta – uma fase - Permeab. relativa – múltiplas fases
Aplicações	1. Liberação mineral 2. Lavabilidade - carvão 3. Estrutura de meios porosos - Sinterização (área de contato) - Materiais de construção - Tensões em meios porosos	1. Cinética de lixiviação 2. Concentração por flotação 3. Fraturas em contornos de grão	1. Lixiviação 2. Filtragem 3. Catálise 4. Recuperação <i>in-situ</i> de combustíveis fósseis
Recursos comput.	• Amplo uso da memória • Demorado	• Amplo uso da memória	• Programação em paralelo • Demorado

APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

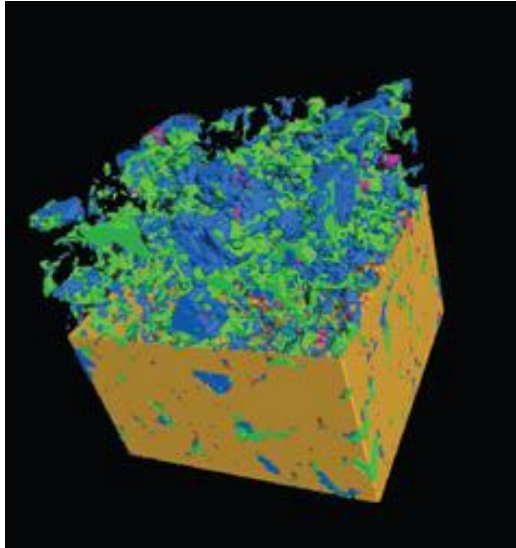
- Análise Modal
- Espectro de liberação



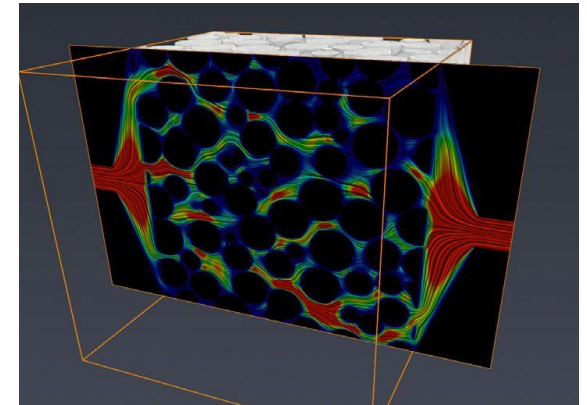
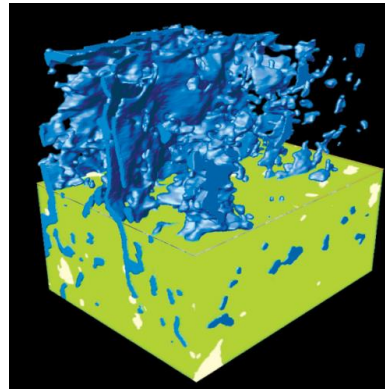
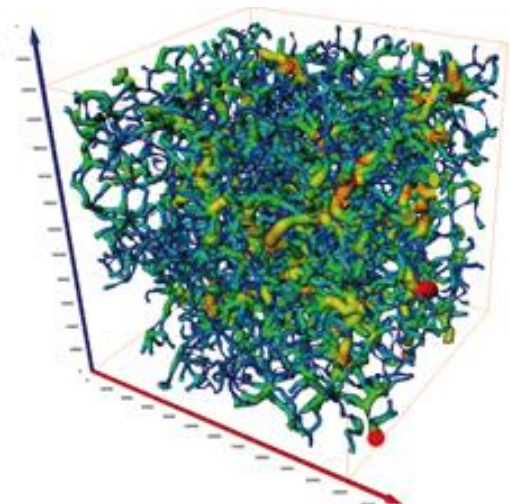
Miller et al., SME 2009

APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

■ Porosidade

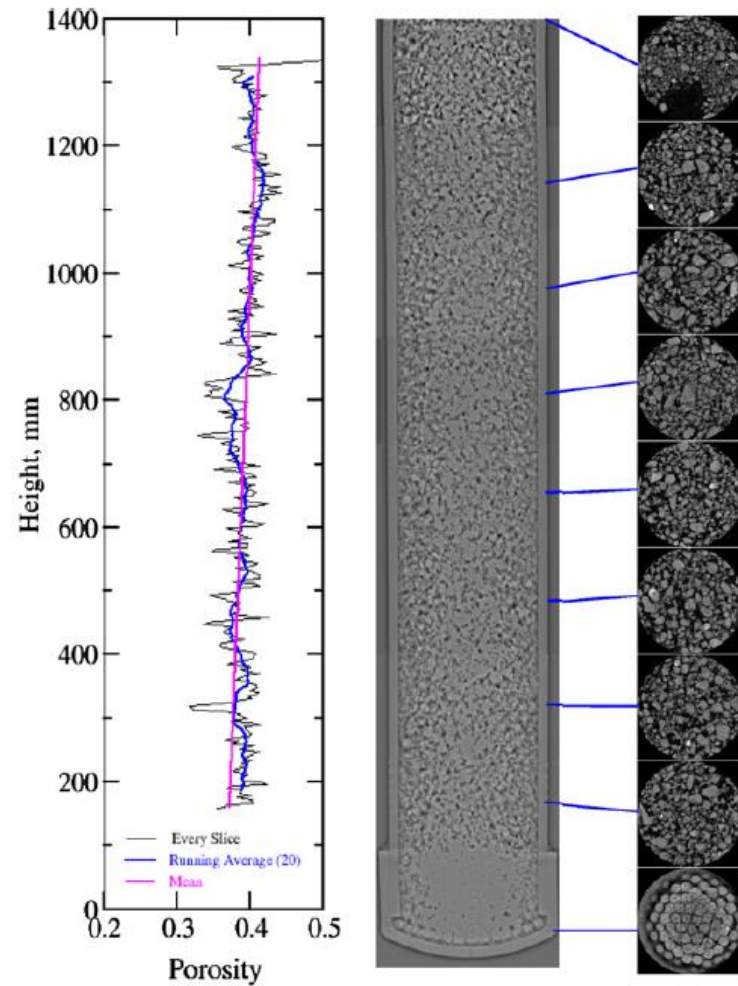


- **métodos computacionais** → simulação de fluxo: importante ferramenta para a determinação do fluxo local a partir do qual as propriedades de macro-fluxo podem ser obtidas.
- Diferentes problemas de transporte de fluidos em escala de poros:
 - rochas reservatório de petróleo
 - processo de lixiviação ácida



APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

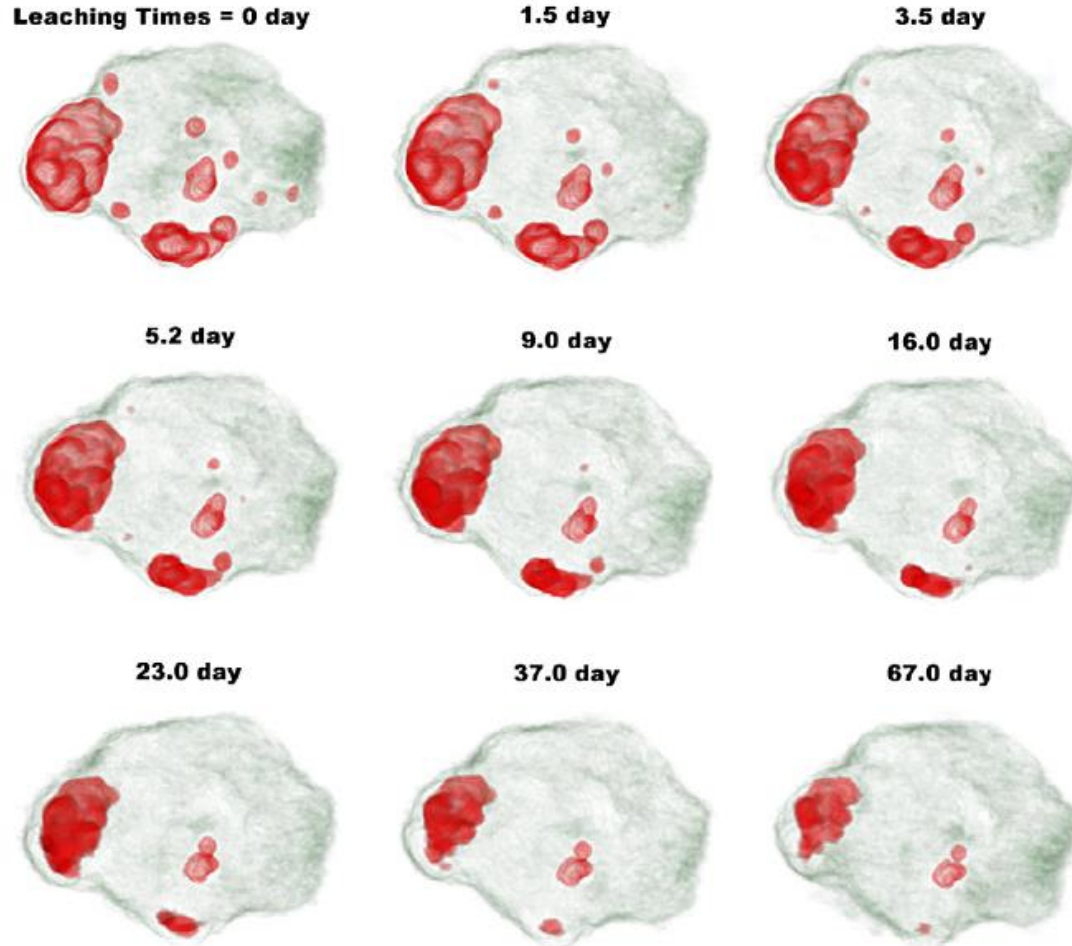
■ Lixiviação



Dhawan et al, 2012

APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

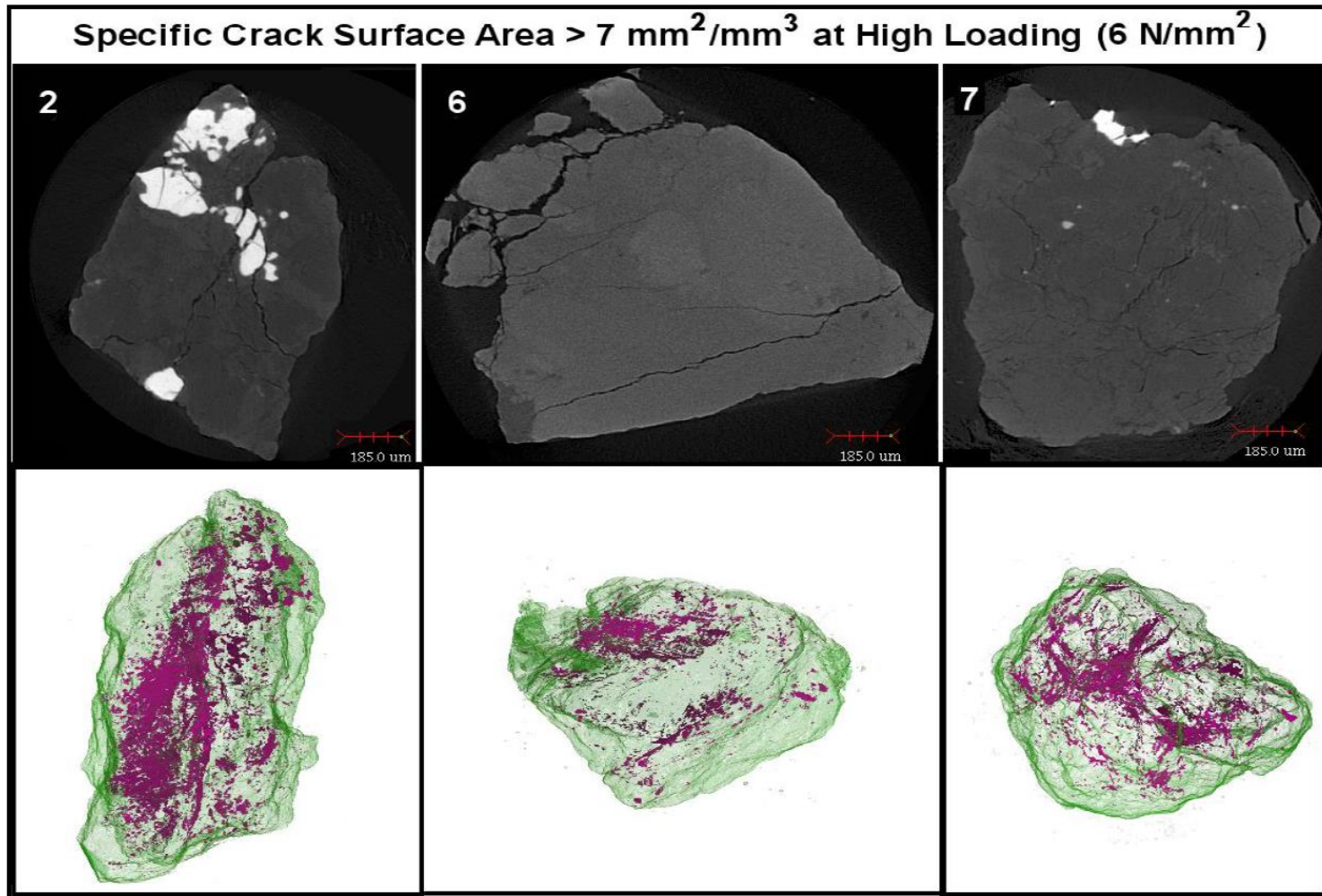
- Lixiviação (in situ)



Histórico de lixiviação de calcocita; Lin e Garcia, 2005

APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

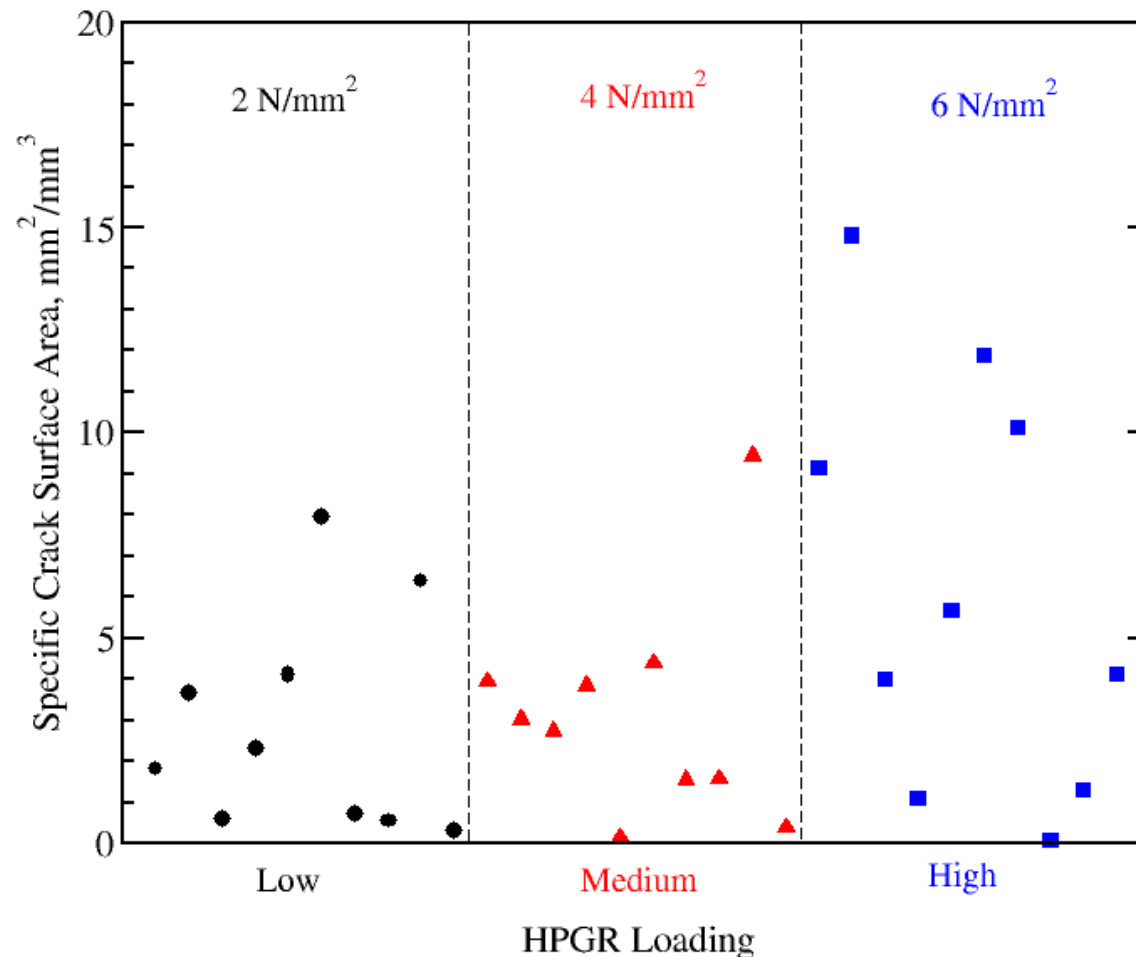
- Rede de fraturas & Mecanismos de quebra



Minério de cobre, fração -2 +0,85 mm (Lin et al, 2012)

APLICAÇÕES 3D EM TECNOLOGIA MINERAL

- Rede de fraturas & Mecanismos de quebra



Minério de cobre, fração -2 +0,85 mm (Lin et al, 2012)

FERRAMENTAS DE VALIDAÇÃO

CT REGISTRATION

- Comparação/validação de resultados entre 2D e 3D
 - Importação de dados 2D para 3D (MLA, QEMSCAN, ...)
 - Melhoria na classificação de fases

