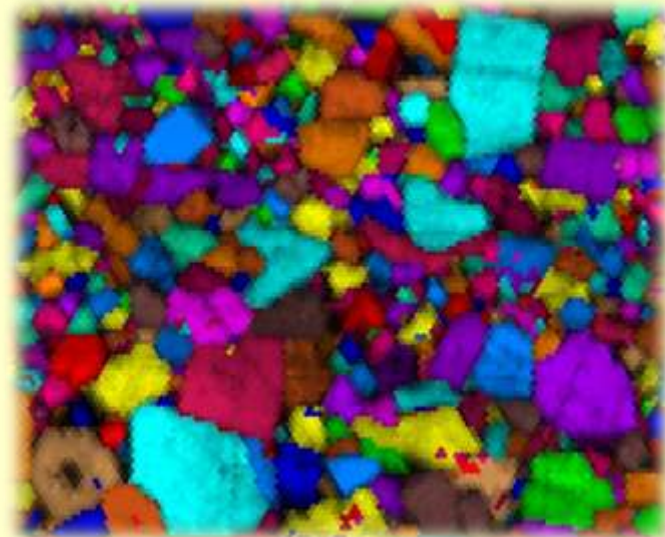
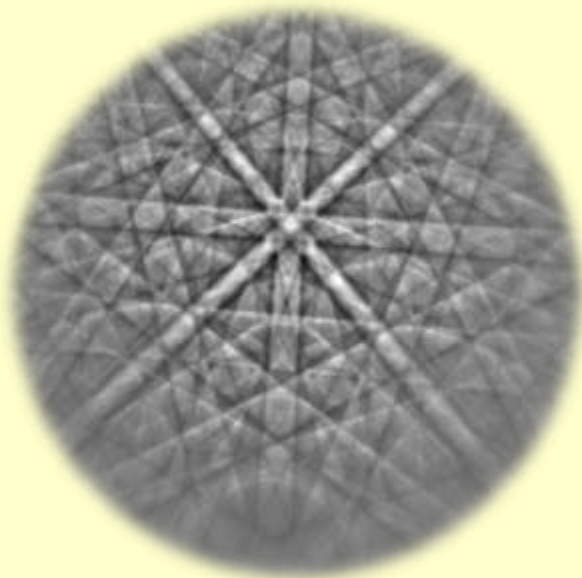


SEMAT / UM

Caracterização de Materiais por Difracção de Electrões Retrodifundidos (EBSD)



Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP)

Rui Rocha

rocha@reit.up.pt

1. Fundamentos da técnica EBSD

(SEM: Radiações de interesse para EBSD; Padrões de Kikuchi: Formação e Indexação; Sistemas de referência)

2. Procedimentos experimentais

(Condições experimentais; Calibração; Preparação de amostras; Efeito de carga)

3. Limitações

(Resolução espacial; Topografia da amostra; Composição química)

4. Metodologias de análise

(Análise Pontual; Análise OIM; Grãos em EBSD)

5. Análise OIM: Representação e análise de dados

- Em actividade desde 1981
- Integrado na Rede Nacional de Microscopia Electrónica (RNME)
- Prestação de serviços à comunidade científica na área da caracterização morfológica, microanalítica e microestrutural de materiais
- Instalação em 2007 de um novo SEM, que integra um sistema de microanálise por raios-X do tipo EDS e um sistema de análise de padrões de difracção de electrões retrodifundidos (EBSD)

SEM: FEI Quanta 400FEG

EDS: Genesis X4M

EBSD: Edax TSL



1. Fundamentos

O que é o EBSD (Electron BackScattered Diffraction)?

- Técnica de caracterização de superfícies (até 100nm de profundidade) através da difracção de electrões e que permite:
 - Identificação de fases cristalinas
 - Identificação da orientação cristalina
 - Caracterização da microestrutura
- É implementada num Microscópio Electrónico de Varrimento (SEM)
- Tipos de materiais analisados
 - Materiais cristalinos compatíveis com observação por SEM
(*Metais, Cerâmicos, Geológicos, ...*)
 - Condutores ou não-condutores
 - Filmes finos, materiais em *Bulk* (*desde que convenientemente preparados*)

1. Fundamentos

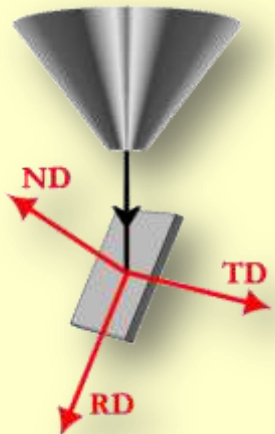
Técnicas de difracção para caracterização de materiais

- Têm em comum a análise da interacção elástica entre radiação incidente e a estrutura cristalina da materia
- Tipos de radiação utilizadas para estudos de difracção em materiais:

Radiação		Carga Eléctrica	Gama de Energias	Comprimentos de onda
Raios-X		Não	1 a 25 keV	10 a 0.5 Å
Electrões	EBSD	Sim	0.1 a 30 keV	1.3 a 0.07 Å
	TEM	Sim	100 a 500 keV	0.04 a 0.01 Å
Neutrões	Frios	Não	0.1 a 10 meV	30 a 3 Å
	Térmicos		10 a 100 meV	3 a 1 Å
	Quentes		100 a 1000 meV	1 a 0.3 Å
Radiação de sincrotrão		Não	0.1 eV a 1.0 MeV	0.1mm a 0.01 Å

1. Fundamentos: *Sistemas de referência*

Sistema de referência

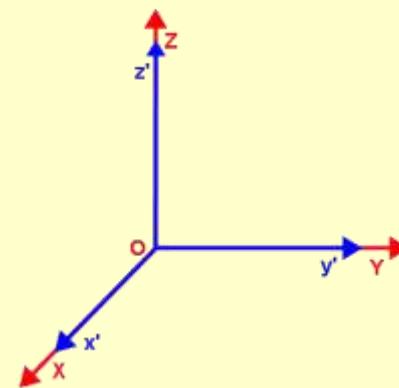
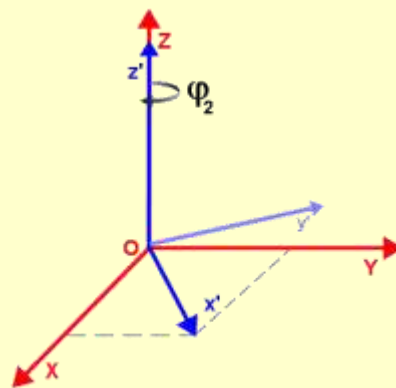
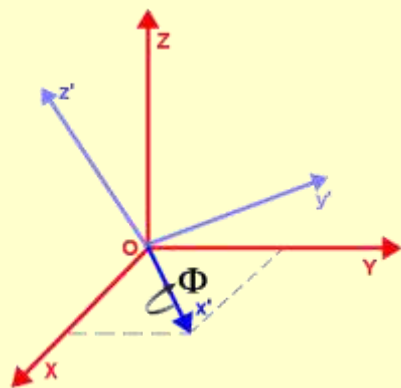
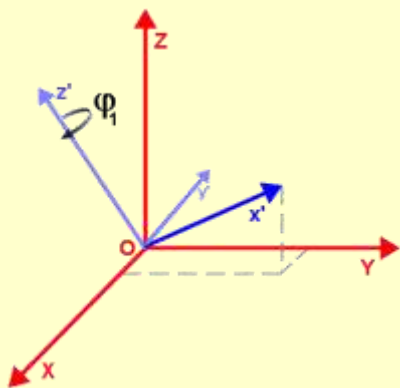


RD – Reference direction

TD – Transverse direction

ND – Normal direction

Ângulos de Euler (formalismo de Bunge: $\varphi_1, \Phi, \varphi_2$)



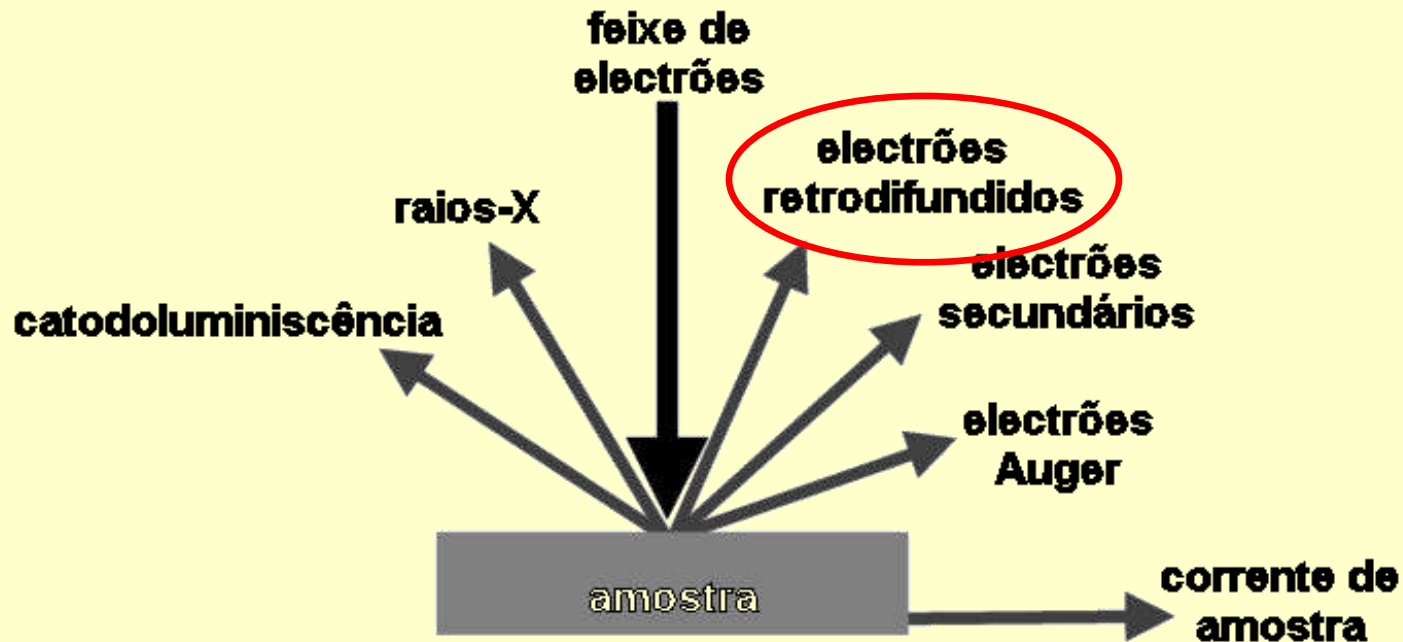
1. Fundamentos: SEM – Radiações de interesse para EBSD

- Utiliza um feixe de electrões como radiação incidente
- Da interacção entre os electrões do feixe incidente com o material resultam radiações que permitem a caracterização da amostra:

Imagiologia (topografia, distribuição elementar)

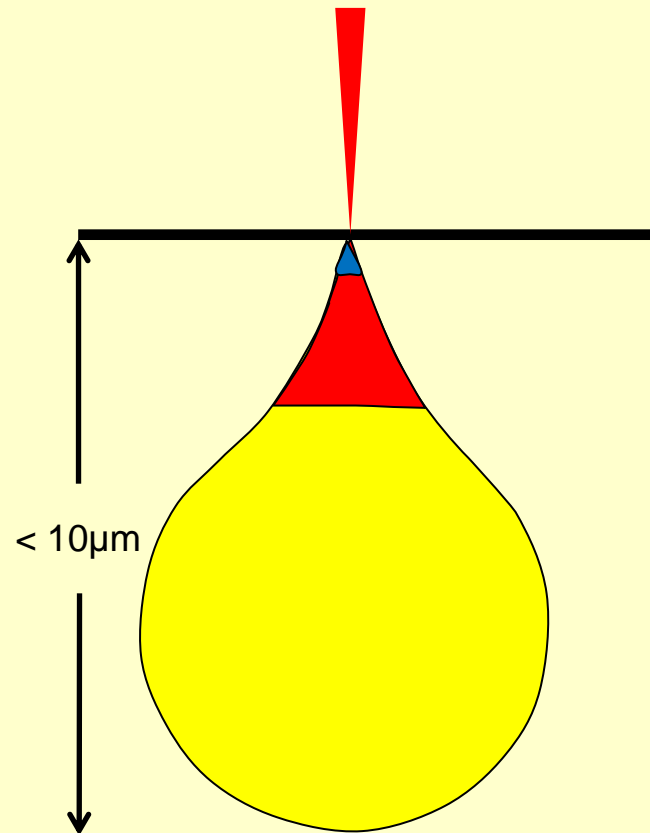
Espectroscopia (composição química)

Difracção electrónica (estrutura cristalina)



1. Fundamentos: SEM – Radiações de interesse para EBSD

Volumes de emissão



Electrões Secundários (ES)

- Informação topográfica

$$\eta_{ES}(\theta) = \eta_{ES_0} \cdot \sec(\theta)^n, \quad (\eta_{ES} = I_{ES}/I_0)$$

- Profundidade de emissão ~ alguns nm



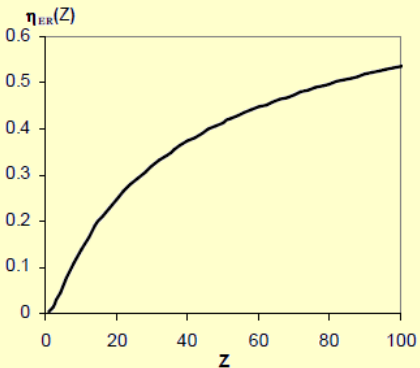
Electrões Retrodifundidos (BE)

- Informação de nº atómico

$$\eta_{ER}(\theta) = (1 + \cos\theta)^{9/\sqrt{z}}$$

$$(\eta_{ER} = I_{ER}/I_0)$$

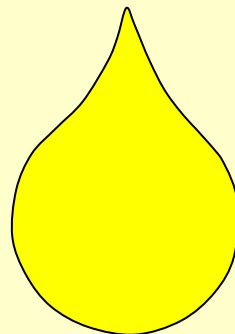
- Prof. de emissão ~ 100nm



Raios-X (Rx)

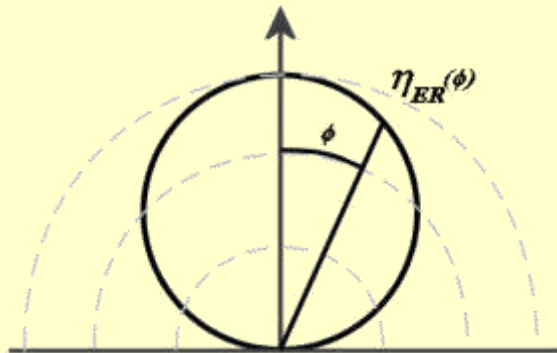
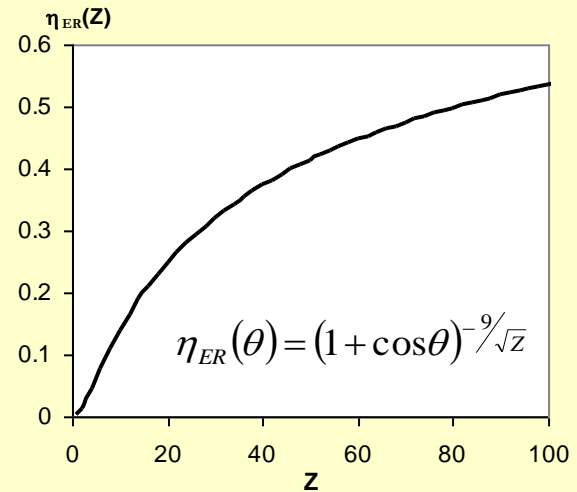
- Composição elementar (B/Be ao Urânio)

- Resolução espacial (Z, E0) ~ 0.5 – alguns µm's

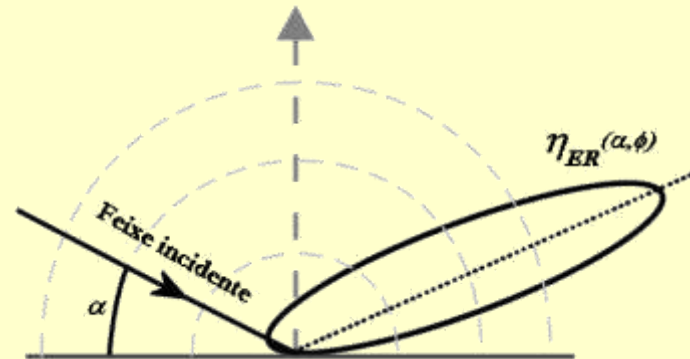


1. Fundamentos: SEM – Electrões Retrodifundidos

- Coeficiente de retrodifusão depende do número atómico médio do material
 - *Imagens de electrões retrodifundidos*
- Direcção de retrodifusão corresponde à direcção especular relativamente à orientação feixe-amostra
- Interação com a rede cristalina introduz perturbações nas direcções de emergência → EBSD



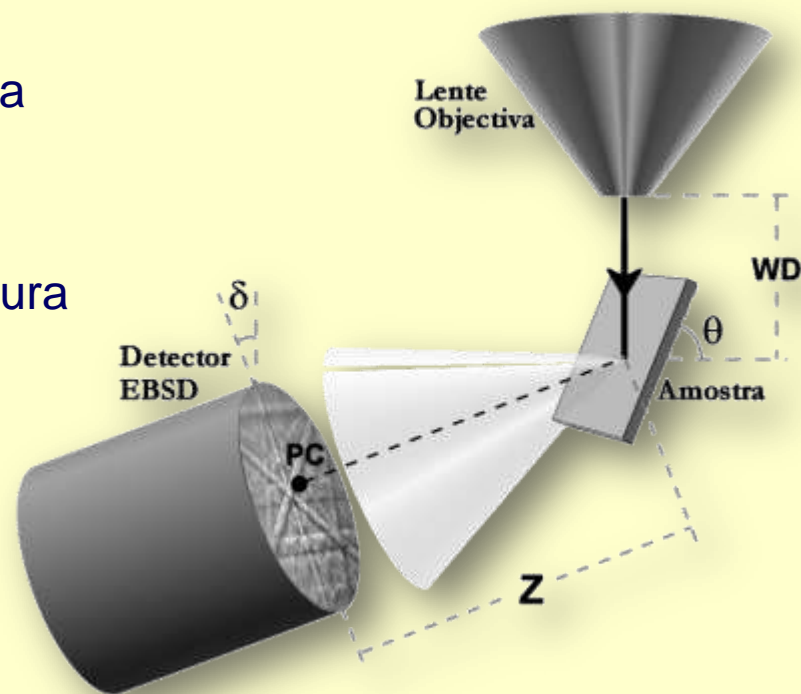
Incidência normal



Incidência segundo um ângulo α

1. Fundamentos: *Difracção de Electrões Retrodifundidos (EBSD)*

- EBSD é uma técnica complementar do SEM
- Fonte de radiação primária: feixe de electrões do SEM
- Da interacção elástica electrões-amostra resultam padrões nos ângulos de emergência dos ER
- Análise dos padrões adquiridos permite caracterizar as simetrias associadas à estrutura cristalina
- Análise pontual permite caracterizar
 - Estrutura cristalina
 - Orientação local do cristal
- Análise extensiva (OIM)
 - Permite obter informações estruturais (grãos, fronteiras de grão, texturas)

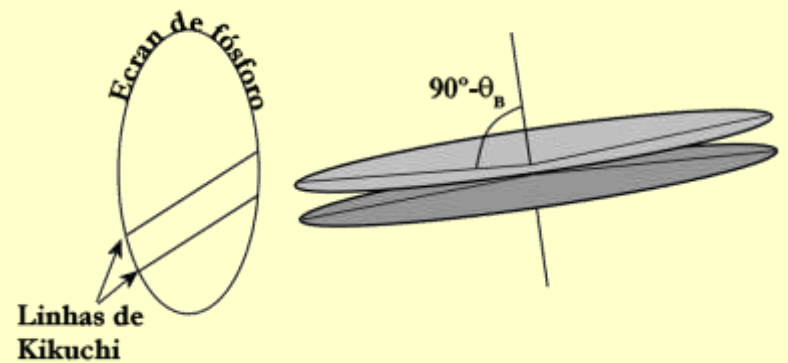
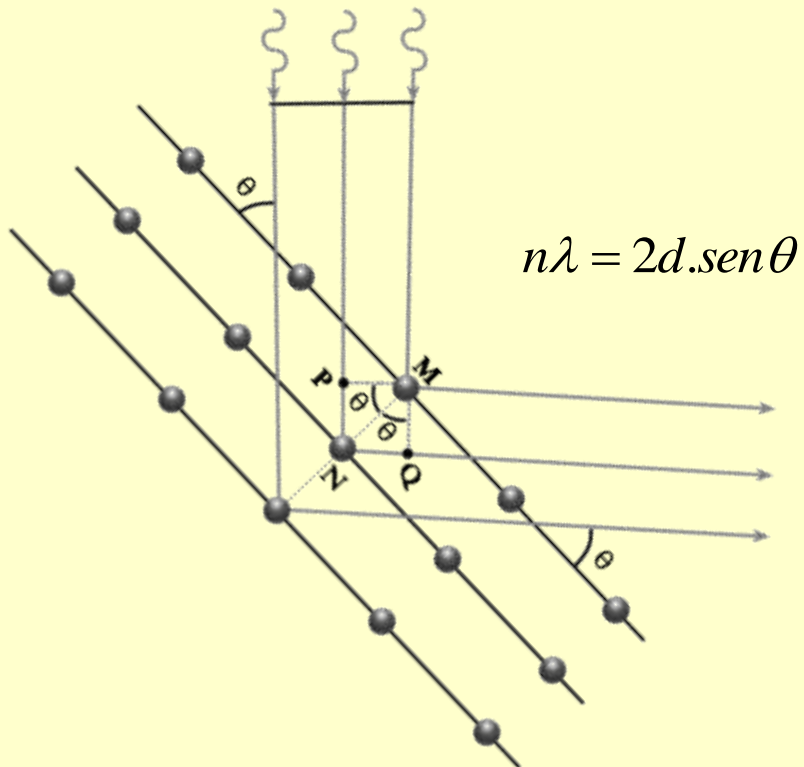


1. Fundamentos: *Formação dos padrões de Kikuchi*

- Comprimento de onda de de Broglie associado aos electrões

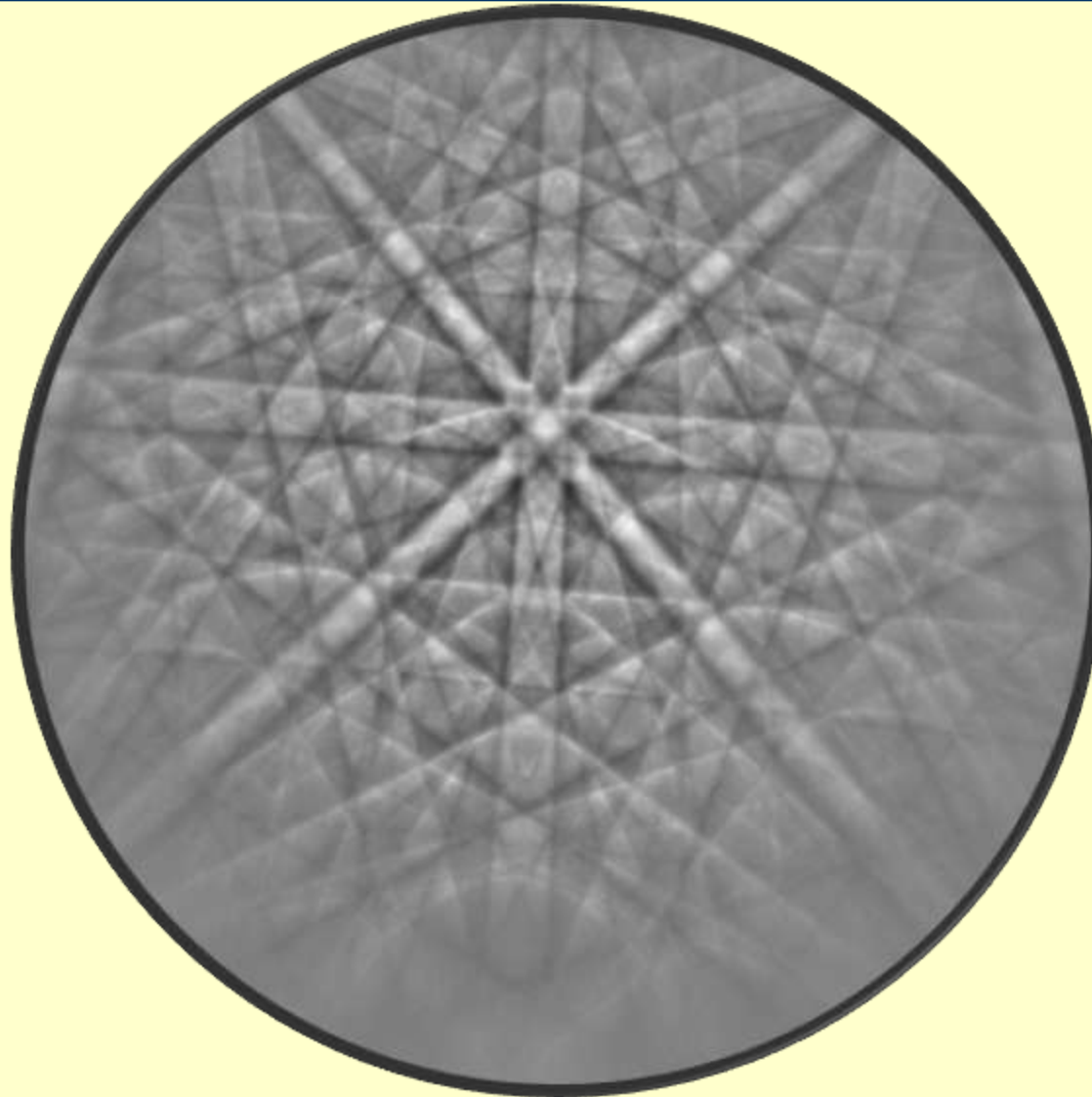
$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2m_0eV\left(1 + \frac{eV}{2m_0c^2}\right)}}$$

- Lei de Bragg para a difracção



Simulação crystalOgraph

1. Fundamentos: *Formação dos padrões de Kikuchi*

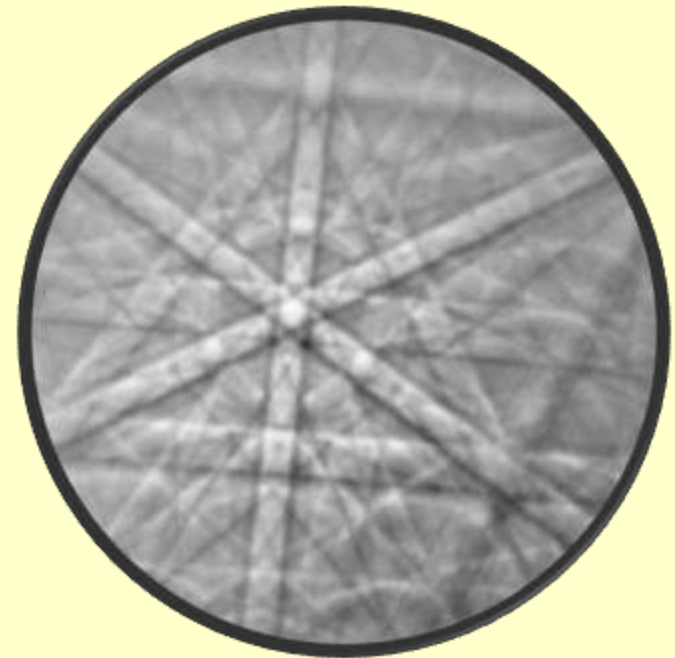


*Padrão de Kikuchi obtido numa amostra de aço
(Fe,Ni,Cr)*

1. Fundamentos: *Padrões de Kikuchi*

- Padrões: elementos de simetria e orientação

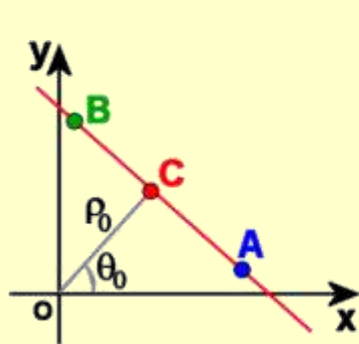
Bandas	Planos cristalográficos
Ângulos entre bandas	Orientação relativa entre planos cristalográficos (ângulos entre planos cristalográficos)
Largura das bandas	Distâncias interplanares
Pólos	Intercepção das bandas - Orientação
Contraste do padrão	Factor de estrutura dos planos
Posição absoluta do padrão	Orientação absoluta no sistema EBSD



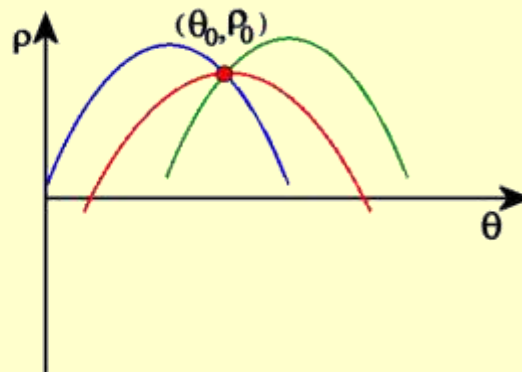
1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

1º passo – identificação das bandas e sua posição no padrão

Transformada de Hough (Transformada de Radon)

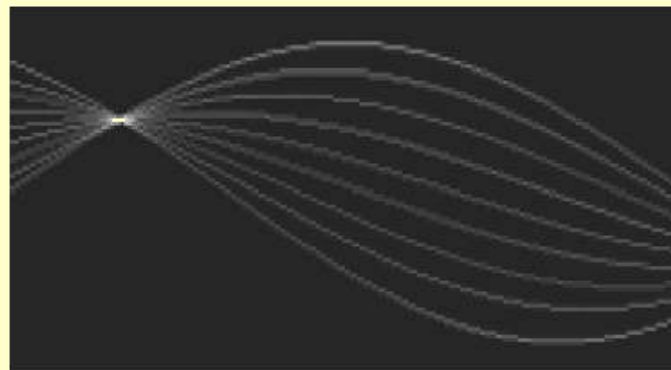
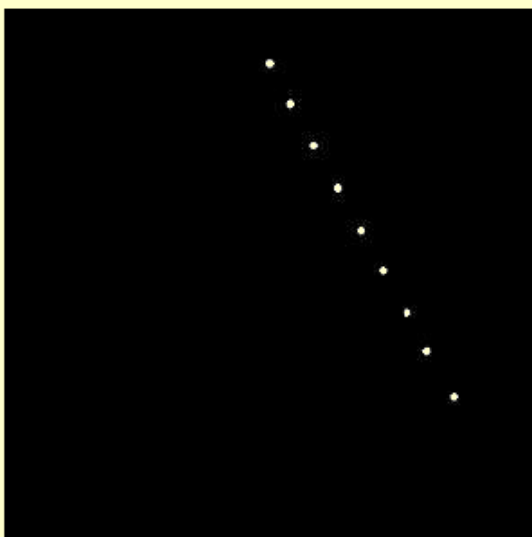


Espaço da imagem



Espaço de Hough

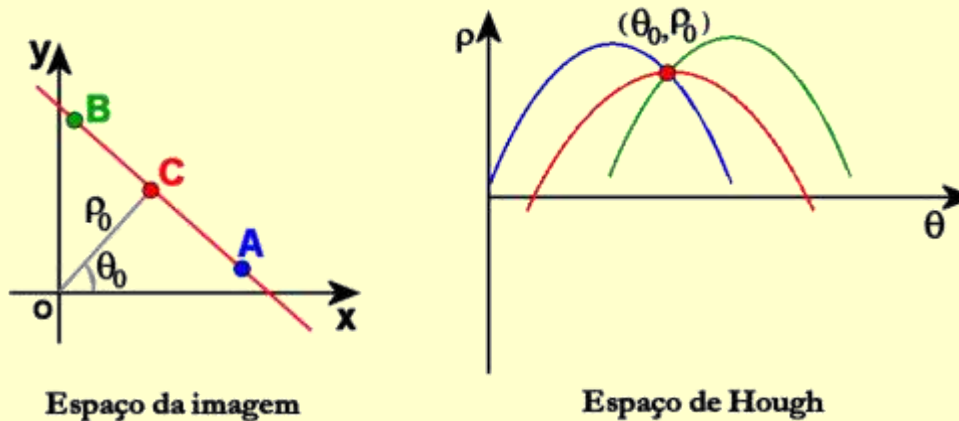
$$\rho = x_i \cdot \cos \theta + y_i \cdot \sin \theta$$



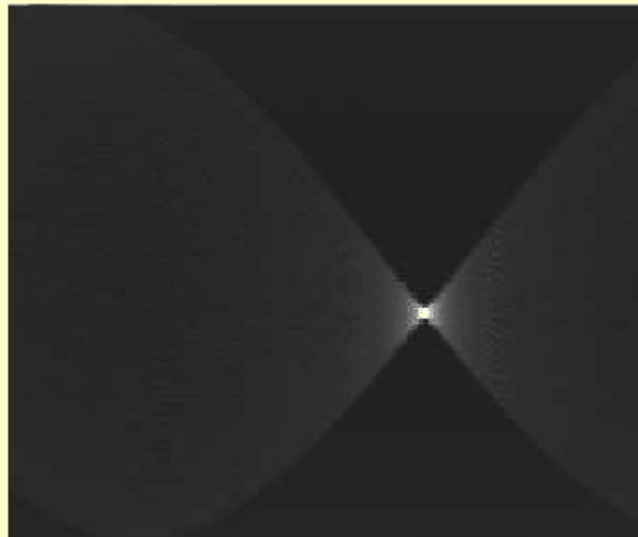
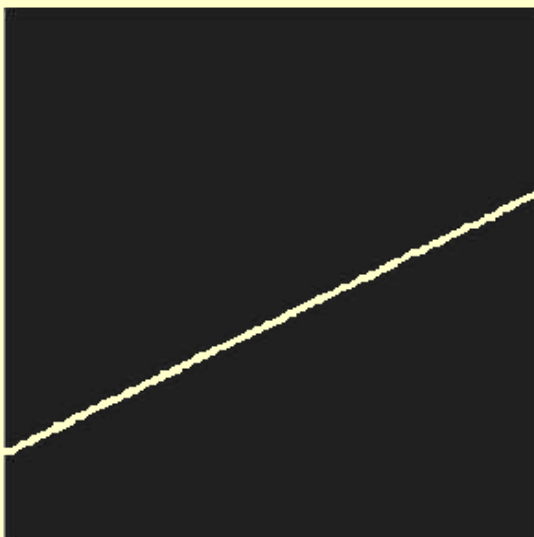
1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

1º passo – identificação das bandas e sua posição no padrão

Transformada de Hough (Transformada de Radon)



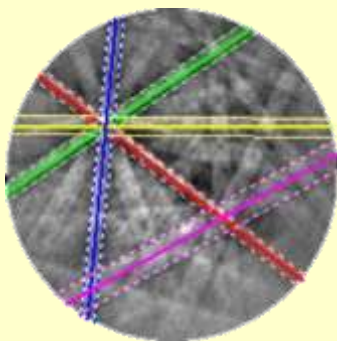
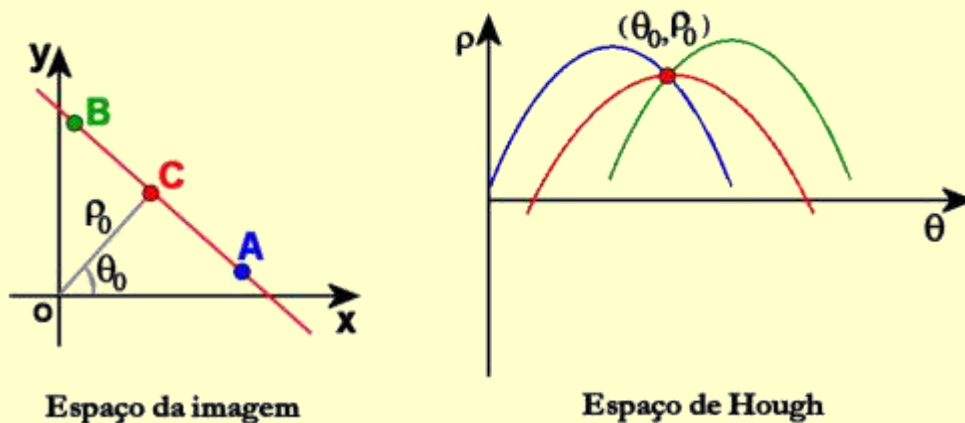
$$\rho = x_i \cdot \cos \theta + y_i \cdot \sin \theta$$



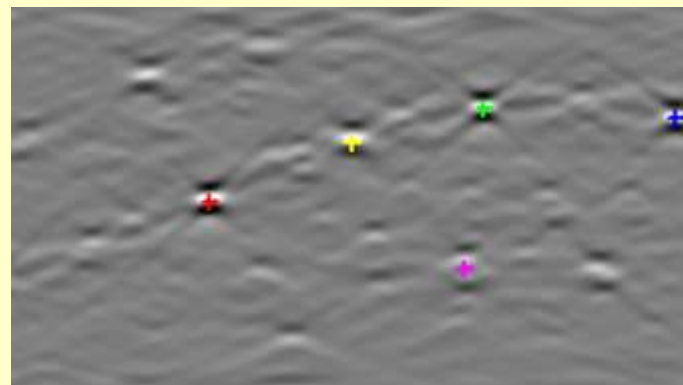
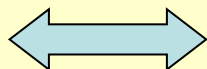
1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

1º passo – identificação das bandas e sua posição no padrão

Transformada de Hough (Transformada de Radon)



$$\rho = x_i \cdot \cos \theta + y_i \cdot \sin \theta$$

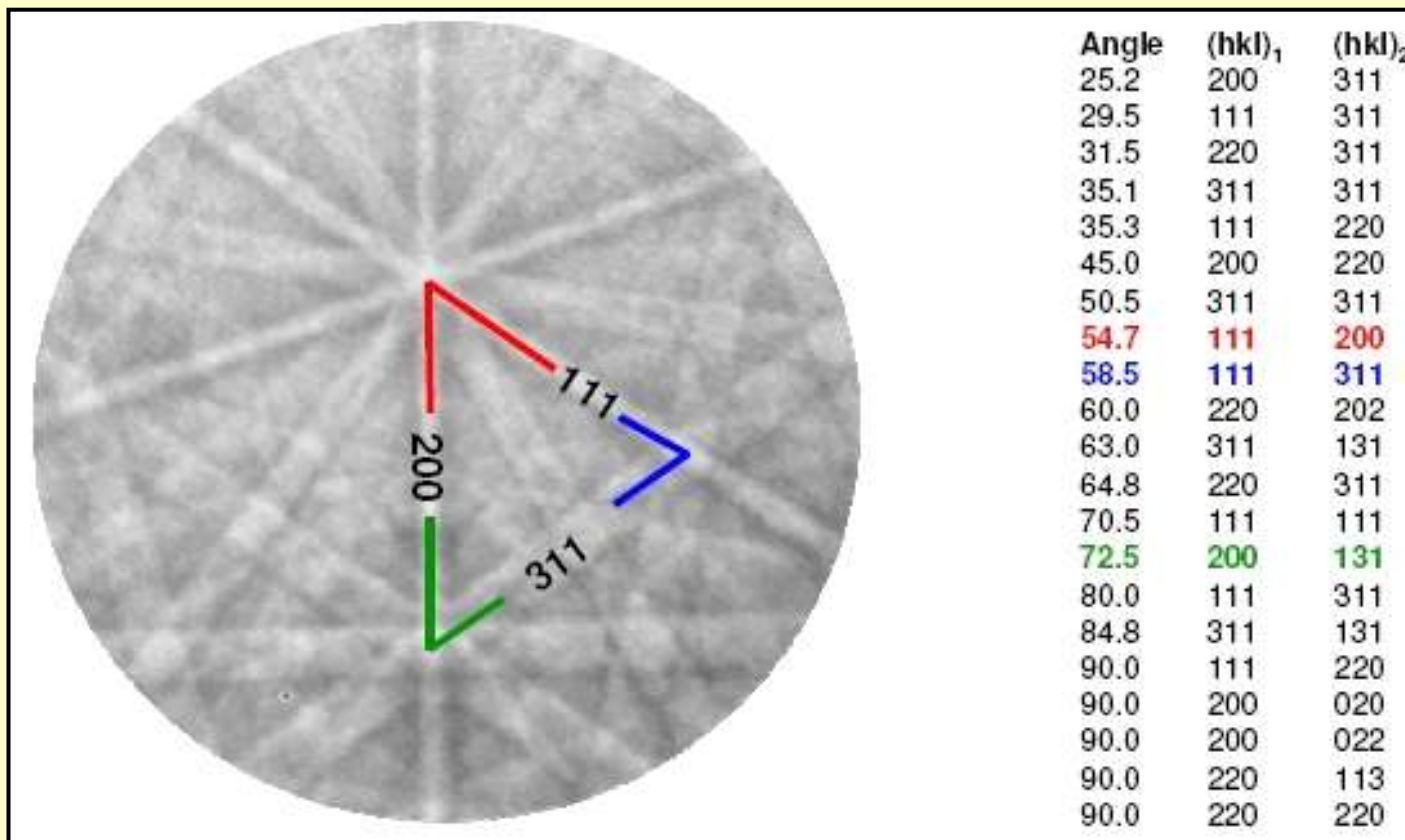


1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

2º passo – pesquisa de fases candidatas na base de dados

Método dos Tripletos

- Tripletos – ângulos internos de triângulos formados por conjuntos de três bandas



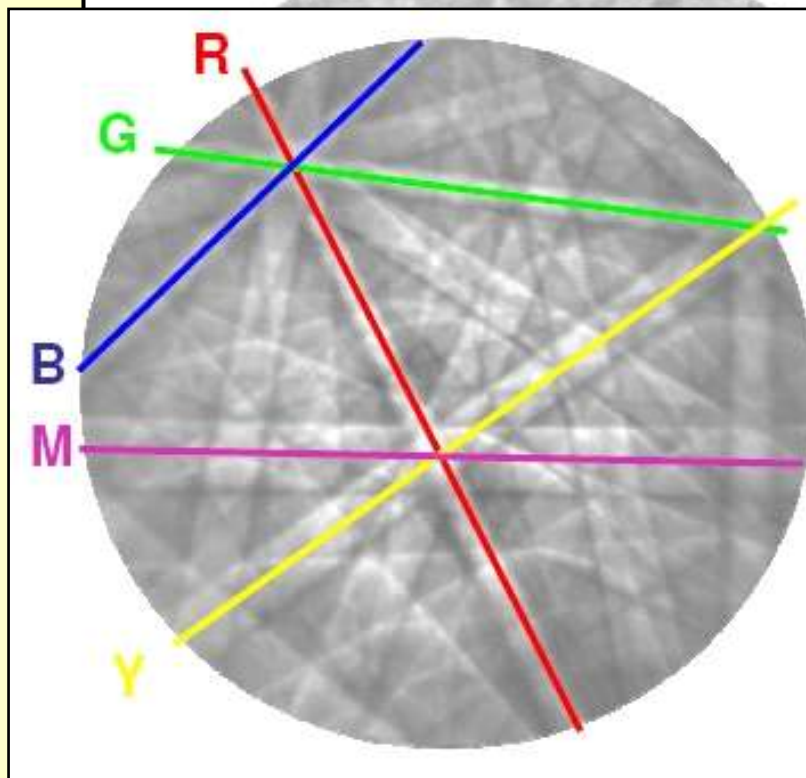
1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

2º passo – pesquisa de fases candidatas na base de dados

Método dos Tripletos

- Tripletos – ângulos internos de triângulos formados por conjuntos de três bandas
- Verificação da existência de cada tripleto para todas as fases pré-seleccionadas

Angle 25.2 (hkl)₁ 200 (hkl)₂ 311



Tripleto	Fase 1 (V ₁)	Fase 2 (V ₂)	Fase 3 (V ₃)
R, G, Y	X		
R, G, B	X		
R, G, M	X		
R, Y, B	X		
R, Y, M	X	X	
R, B, M	X		
G, Y, B	X		
G, Y, M	X		
G, B, M	X		
Y, B, M	X		X
Total	10	1	1

1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

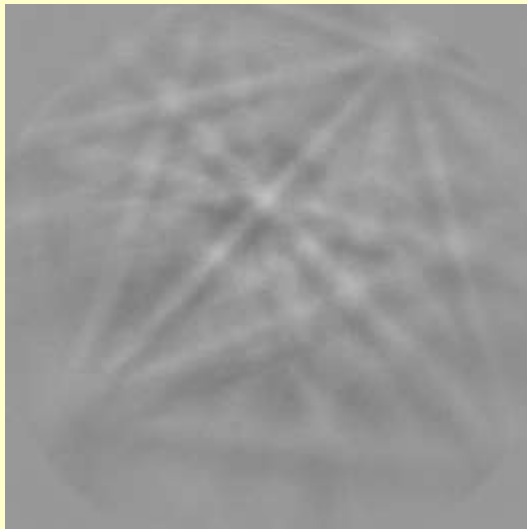
Alguns parâmetros de controlo de qualidade

- IQ (Image Quality)

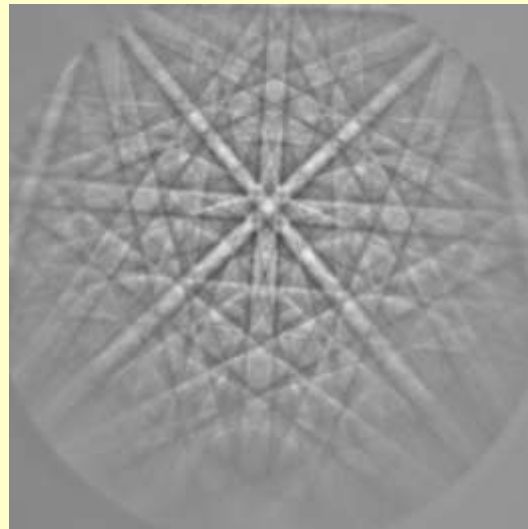
Indicador da qualidade dos padrões de Kikuchi baseado no seu contraste.

Não é um indicador absoluto, pois depende do material e das condições de aquisição e processamento dos padrões.

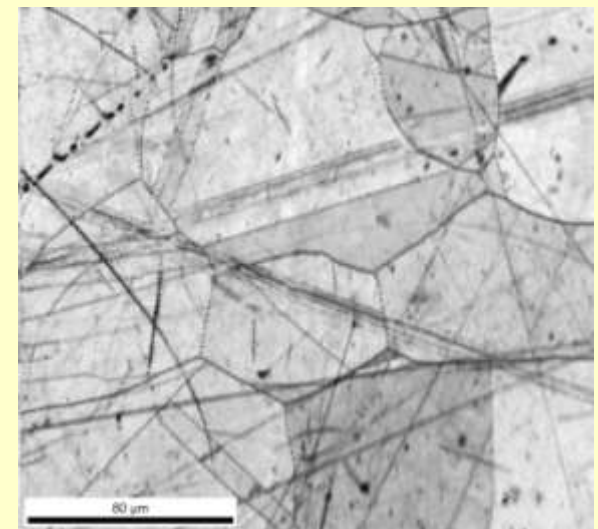
Corresponde à soma das intensidades dos picos na transformada de Hough, medidos em relação ao fundo



IQ = 100



IQ = 217



Mapa dos valores IQ numa superfície metálica

1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

Alguns parâmetros de controlo de qualidade

- CI (Confidence Index)

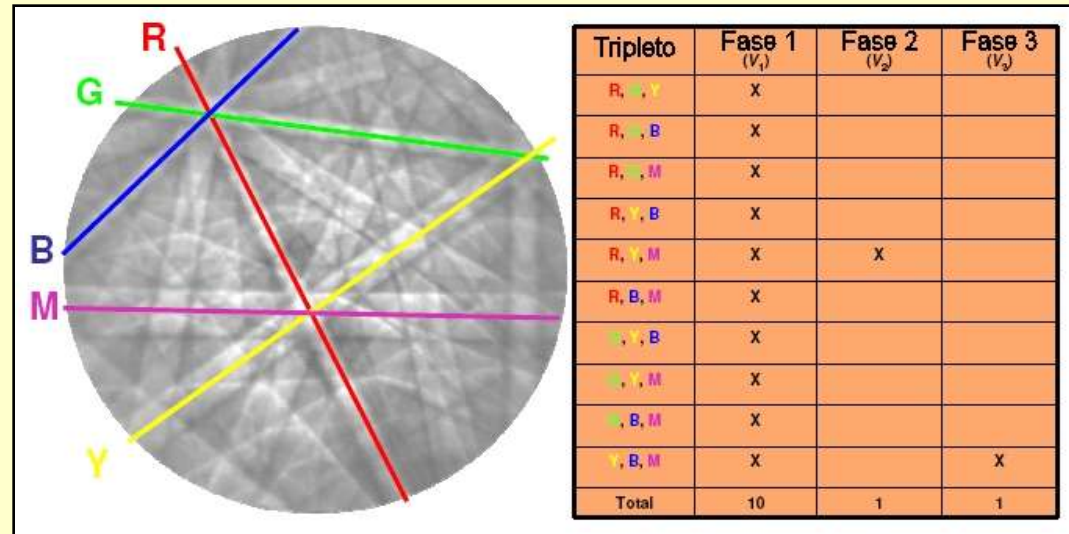
Indicador da unicidade da solução

Varia entre 0 e 1

0 – quando se obtém uma segunda fase/orientação com o mesmo número de votos que a fase(orientação) escolhidas

1 – situação ideal onde as outras fases/orientações consideradas não obtiveram qualquer voto.

$$CI = \frac{V_1 - V_2}{V_{ideal}}$$



1. Fundamentos: *Indexação dos padrões de Kikuchi*

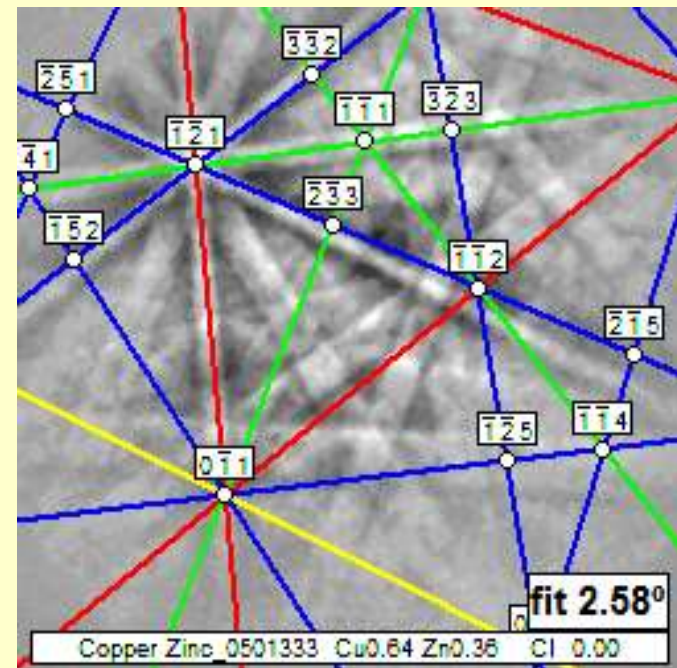
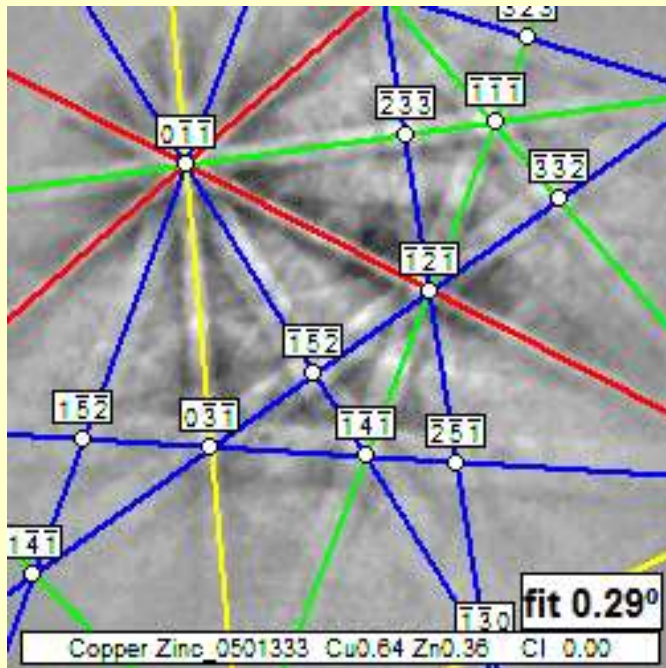
Alguns parâmetros de controlo de qualidade

- Fit

Indicador da fiabilidade do ajuste

Corresponde à média dos desvios angulares das bandas detectadas relativamente aos valores esperados (BD)

Para padrões de óptima qualidade e soluções correctas, é um indicador da precisão angular do sistema EBSD



1. Fundamentos da técnica EBSD

(SEM: Radiações de interesse para EBSD; Padrões de Kikuchi: Formação e Indexação; Sistemas de referência)

2. Procedimentos experimentais

(Condições experimentais; Calibração; Preparação de amostras; Efeito de carga)

3. Limitações

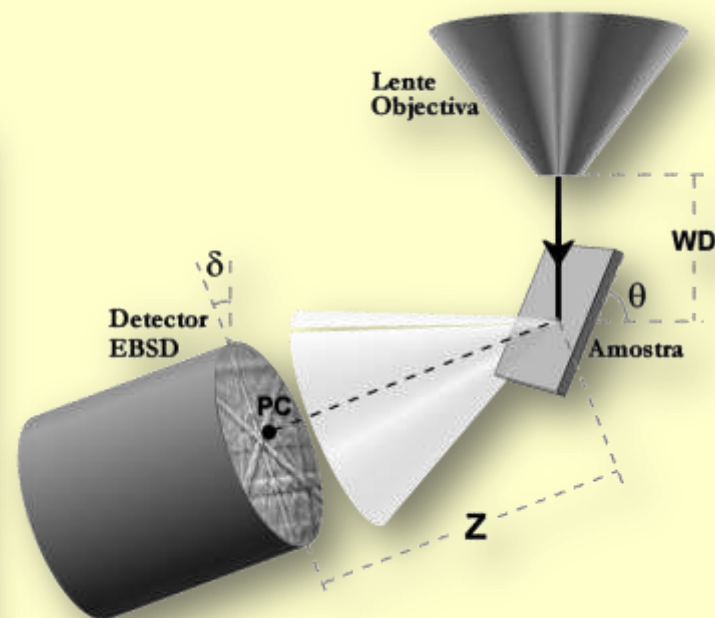
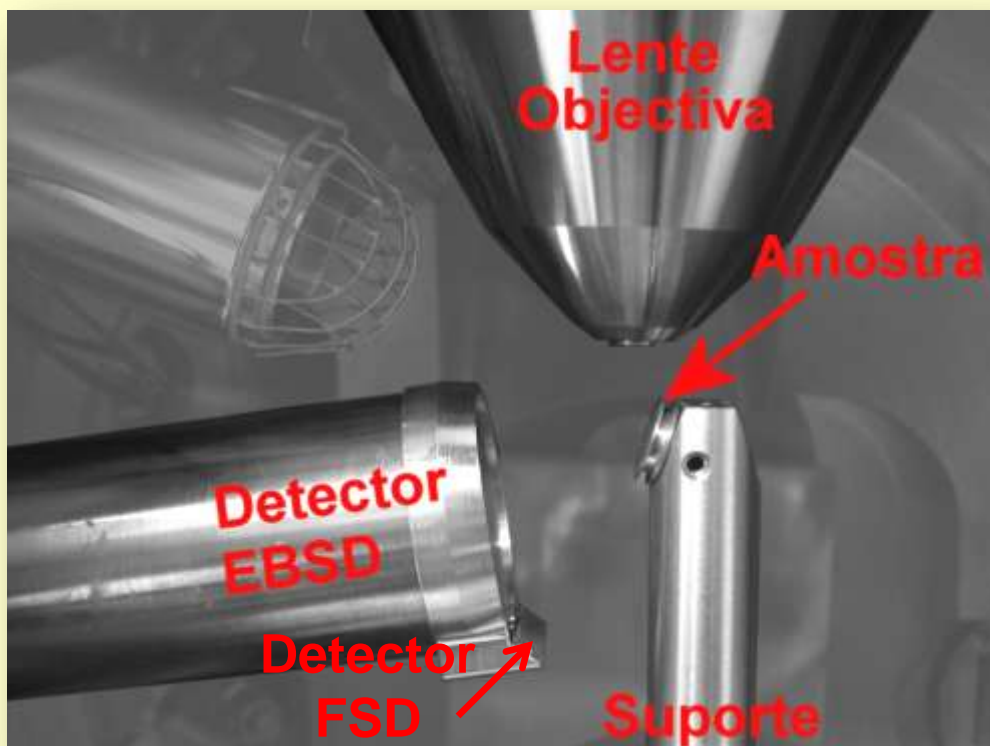
(Resolução espacial; Topografia da amostra; Composição química)

4. Metodologias de análise

(Análise Pontual; Análise OIM)

5. Análise OIM: Representação e análise de dados

2. Proc. experimentais: *Sistema EBSD*



Inclinação da amostra (θ)	70°
Elevação da câmara EBSD (δ)	10°
Distância de trabalho (WD)	10mm
Distância amostra-detector EBSD (Z)	aprx. 30mm

2. Proc. experimentais: *Configuração do sistema*

Microscópio Electrónico de Varrimento (SEM)

- Tensão de aceleração

Maior tensão de aceleração

- *Maior volume de interacção*
- *Maior a potência incidente sobre a superfície*
- *Menor sensibilidade ao estado cristalino da superfície*
- *Maior número de electrões retrodifundidos*

Valores típicos: 10kV a 25kV

- Corrente do feixe

Maior corrente de feixe

- *Menor resolução de imagem no SEM*
- *Altera pouco a resolução dos mapas de orientação*
- *Maior a potência incidente sobre a superfície*
- *Maior número de electrões retrodifundidos*
- *Menor tempo de aquisição de um padrão (muito importante)*

2. Proc. experimentais: *Configuração do sistema*

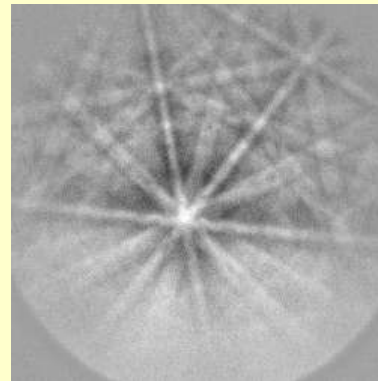
Detector EBSD (câmara de video)

- Binning

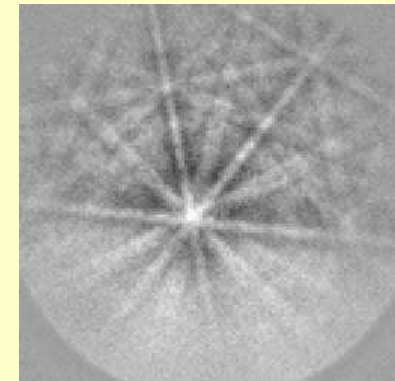
Corresponde à integração de pixels da câmara com objectivo de aumentar a intensidade do padrão à custa de alguma perda de resolução.

Binning	Resolução do padrão (pxs)
1x1	1200 x 1000
2x2	600 x 500
4x4	300 x 250
8x8	150 x 125

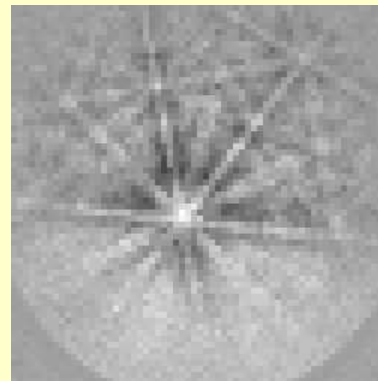
Exemplo para uma câmara com resolução 1200x1000



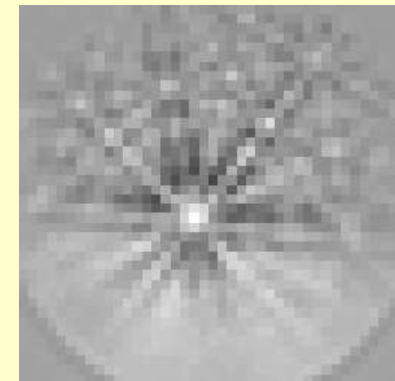
1x1



2x2



4x4



8x8

2. Proc. experimentais: *Configuração do sistema*

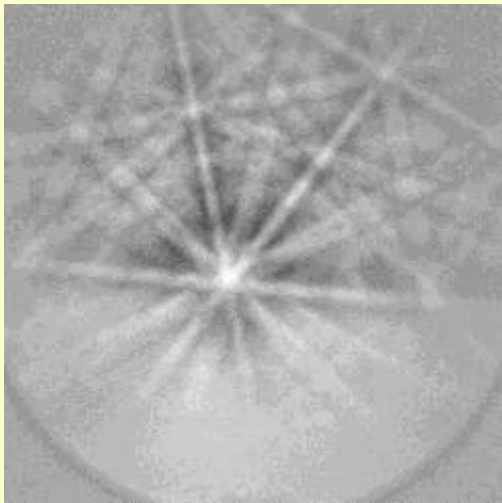
Detector EBSD (câmara de video)

Ganho

Quanto maior o ganho:

→ *Mais ruído no padrão*

→ *Menor o tempo de exposição*



Exposição de 0.45s

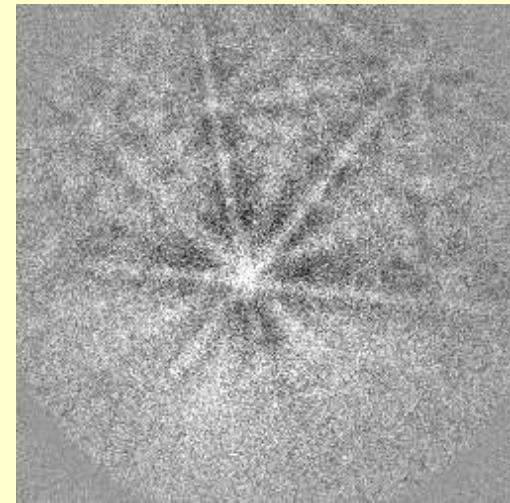
Tempo de exposição

Quanto maior o tempo de exposição:

→ *Menor ruído no padrão (menor ganho)*

→ *Menor o tempo de exposição*

→ *Especialmente importante para OIM*



Exposição de 0.03s

2. Proc. experimentais: *Configuração do sistema*

Detector EBSD (câmara de video)

- Processamento dos padrões

Operações sobre a imagem digital do padrão com o objectivo de o melhorar.

→ *Background subtraction*

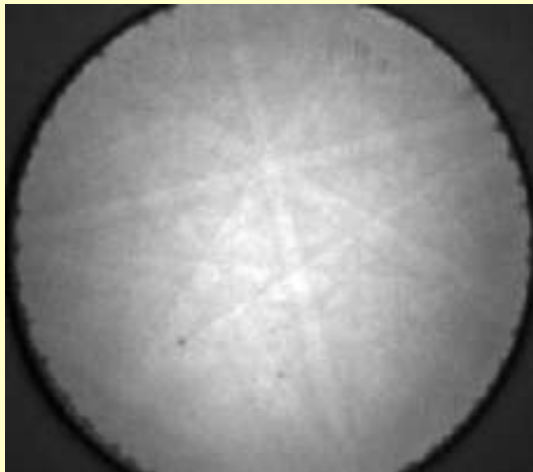
→ *Normalize intensity*

→ *Dynamic Background subtraction*

→ *Sharpen*

→ *Median smoothing*

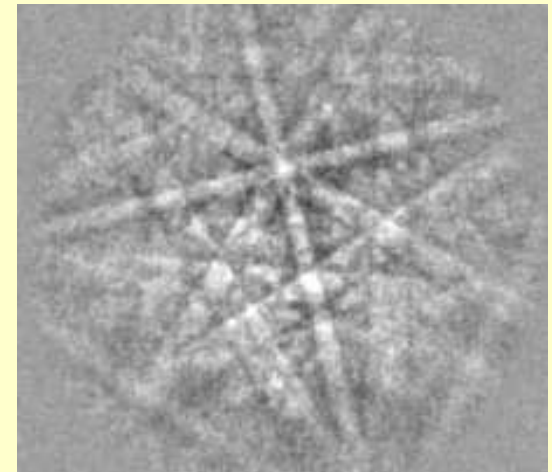
Background Subtraction:



Padrão sem correcção



Fundo



*Padrão com subtracção
do fundo*

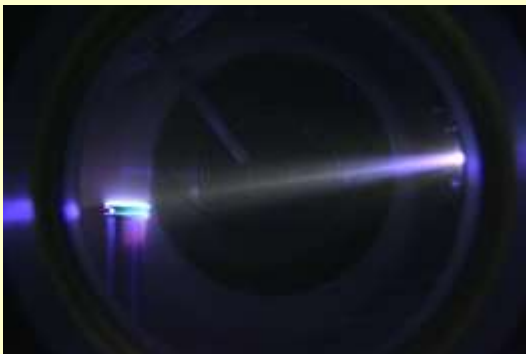
2. Proc. experimentais: *Preparação de amostras*

Objectivo Geral: Obtenção de superfície plana que preserve a sua estrutura cristalina

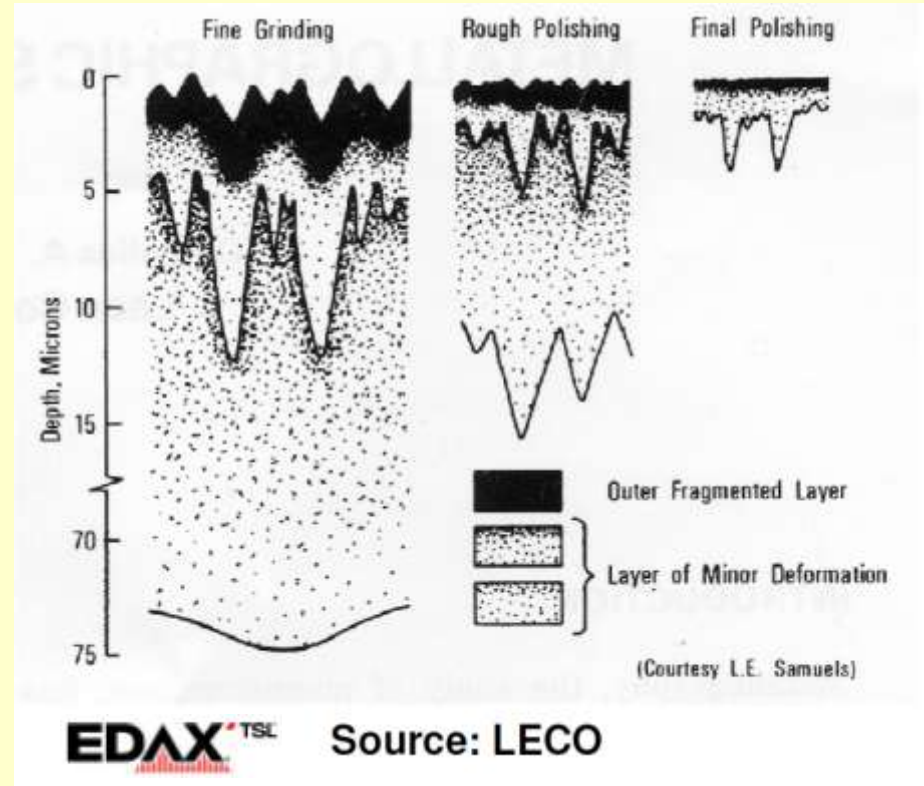
- Preparação mecânica
- Fractura ou clivagem
- Polimento mecânico

Acabamento final de superfícies

- Polimento químico
- Polimento electrolítico
- Polimento iónico

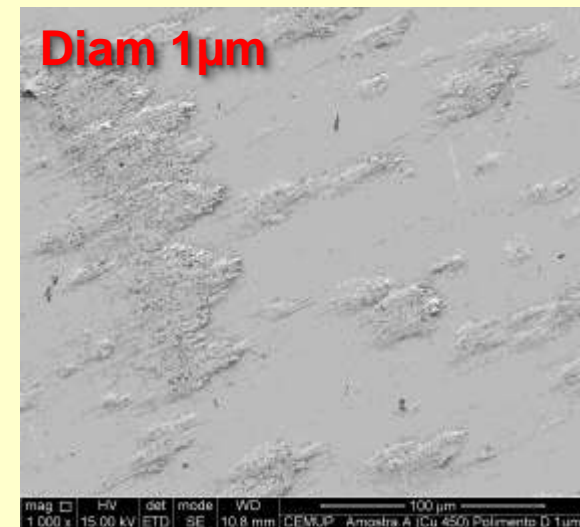
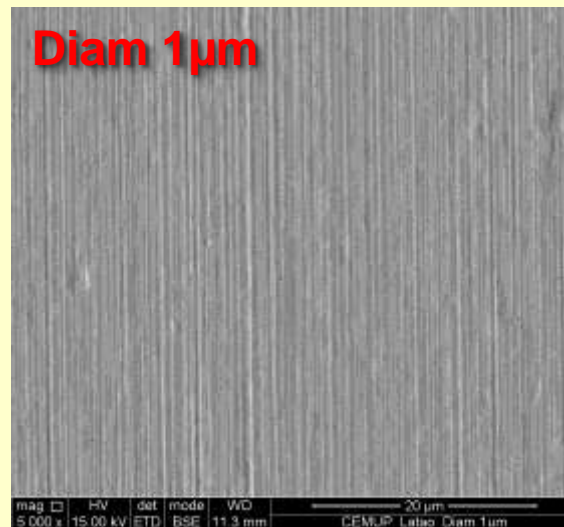
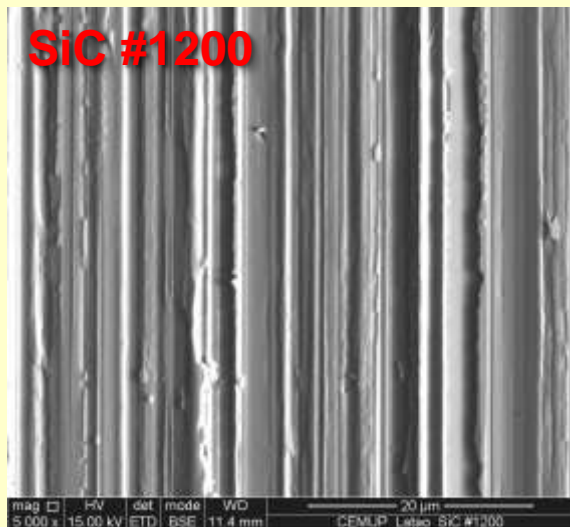
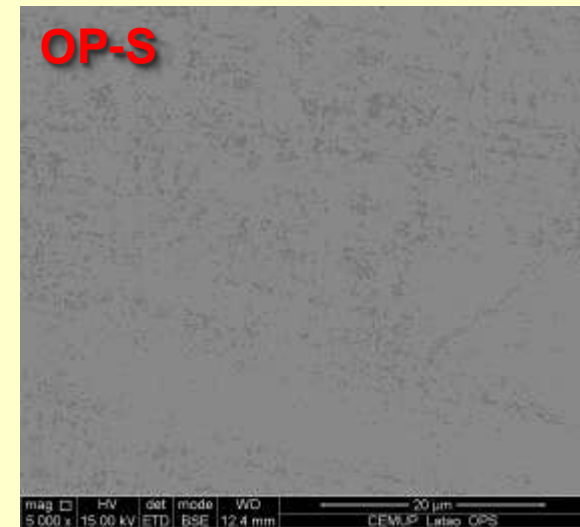
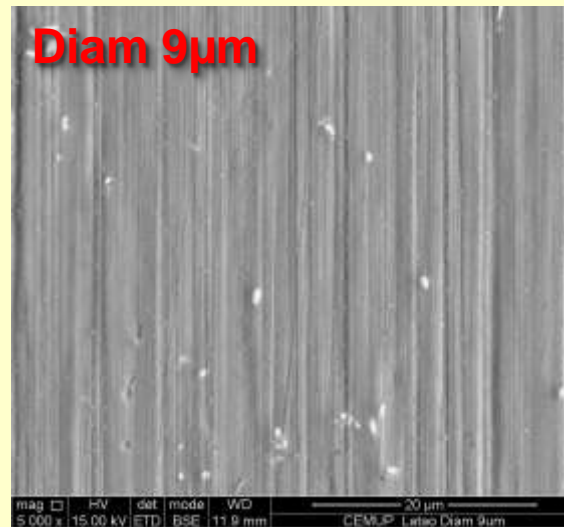
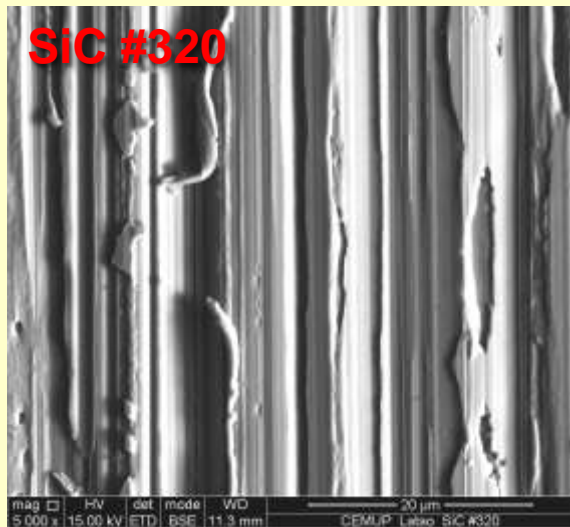


Polimento iónico com Ar



Profundidade de deformação reduz-se com utilização de abarsivos mais finos

2. Proc. experimentais: *Preparação de amostras*



Imagens de SEM obtidas nas fases de desbaste e polimento de uma amostra de Cu

2. Proc. experimentais: *Materiais não-condutores*

Efeito de carga

- Resulta do bombardeamento da superfície não-condutora pelos electrões do feixe
- Reduz a qualidade da imagem ou pode mesmo impedir a sua aquisição
- Provoca desvios no feixe de electrões originando efeito de drift nas imagens
- Reduz a qualidade dos padrões obtidos (se existirem)
- Como resolver: Revestindo com filme condutor ou Analizando em Low-Vacuum

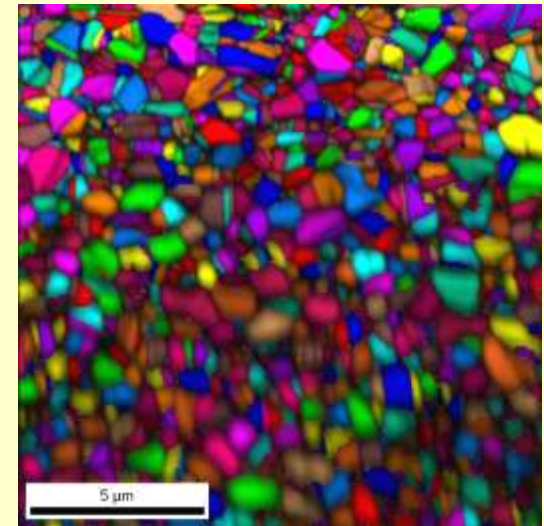
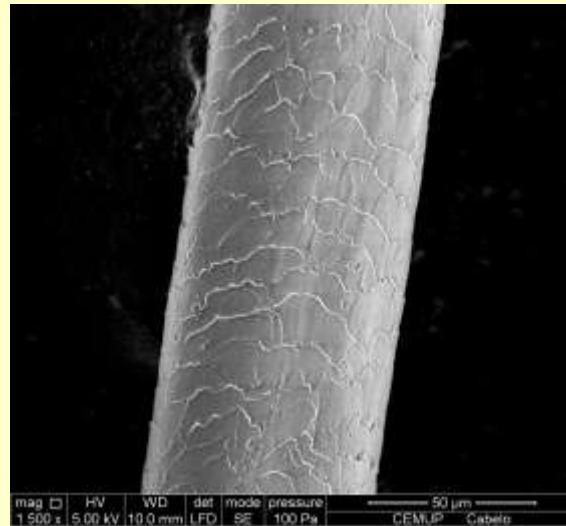
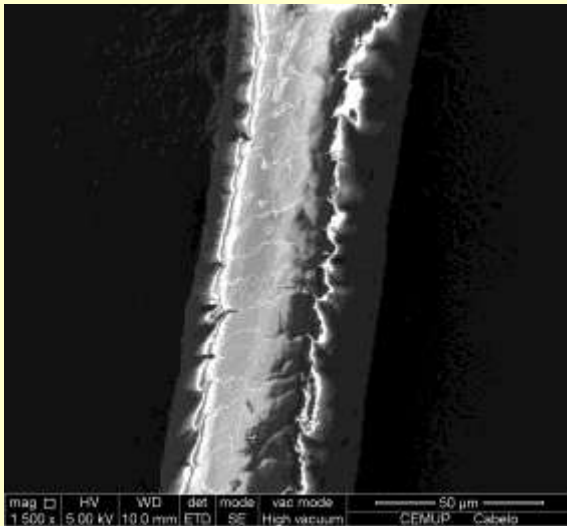


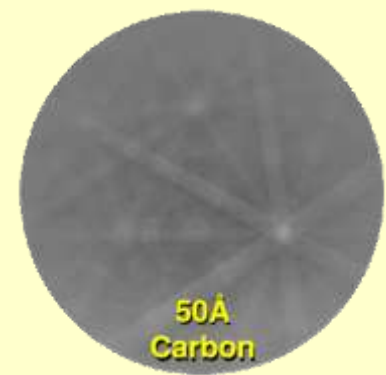
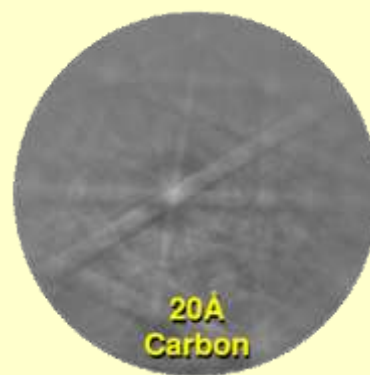
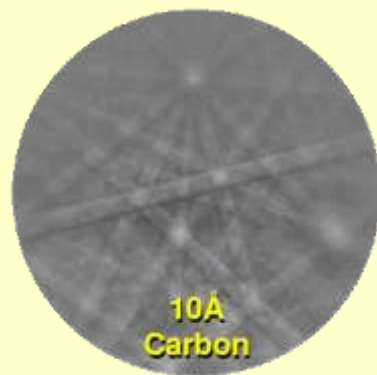
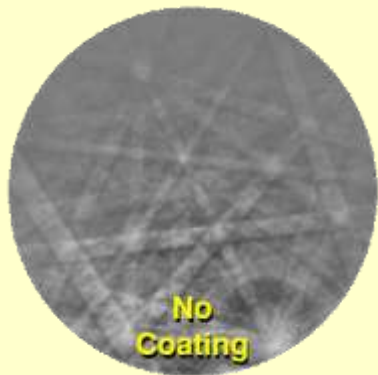
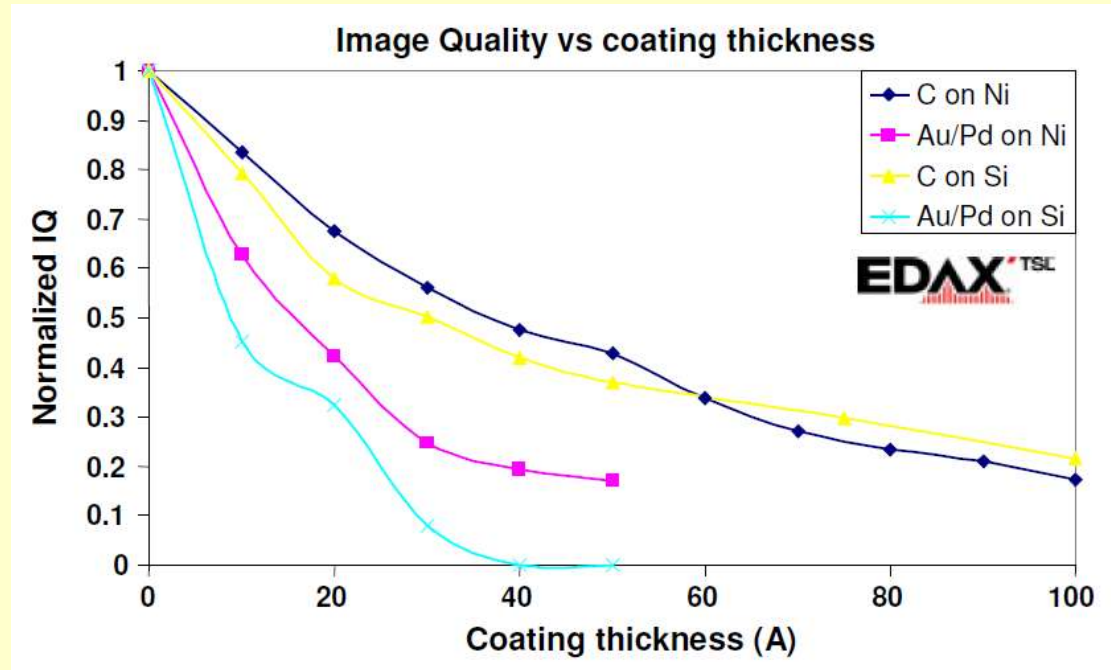
Imagem SE de cabelo humano com efeito de carga (esquerda) e sem efeito de carga (direita)

Mapa OIM com deriva (drift)

2. Proc. experimentais: *Materiais não-condutores*

Efeito de carga: Revestimento da superfície com filme condutor

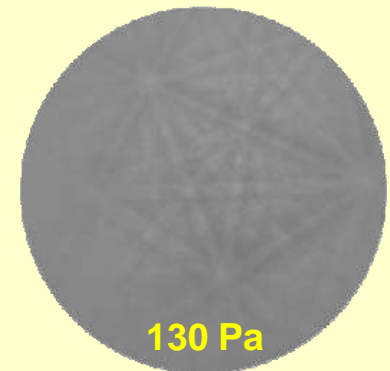
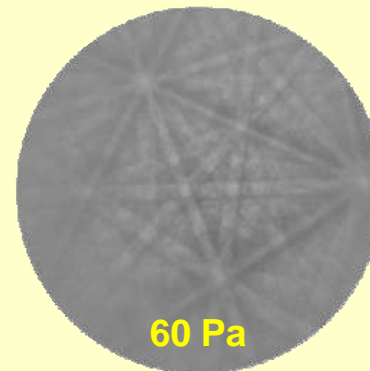
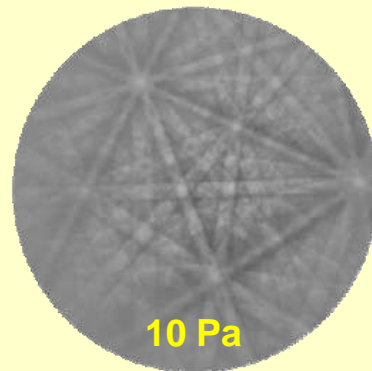
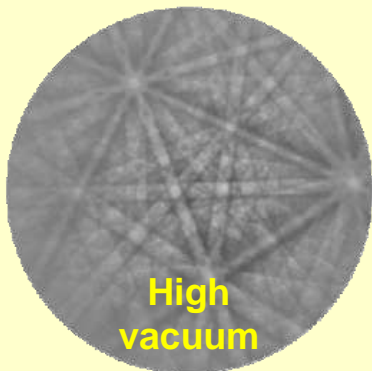
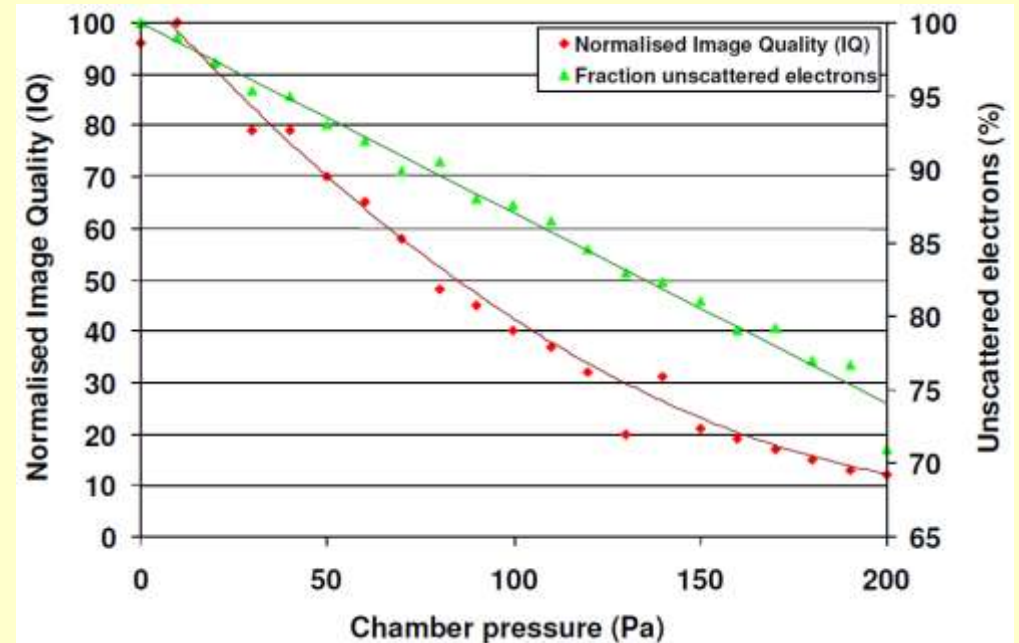
- Resolve problema do efeito de carga
- Reduz a qualidade dos padrões
- Ideal usar-se filme de C (espessura idealmente $< 50\text{\AA}$)



2. Proc. experimentais: *Materiais não-condutores*

Efeito de carga: Análise EBSD em modo Low-vacuum

- Resolve problema do efeito de carga
- Reduz a qualidade dos padrões
- Efeito de carga praticamente desaparece com pressão 30Pa



1. Fundamentos da técnica EBSD

(SEM: Radiações de interesse para EBSD; Padrões de Kikuchi: Formação e Indexação; Sistemas de referência)

2. Procedimentos experimentais

(Condições experimentais; Calibração; Preparação de amostras; Efeito de carga)

3. Limitações

(Resolução espacial; Topografia da amostra; Composição química)

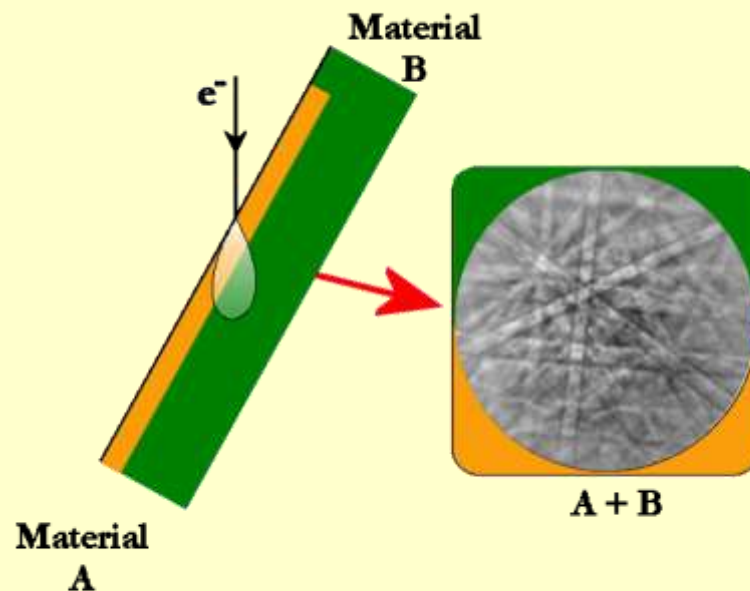
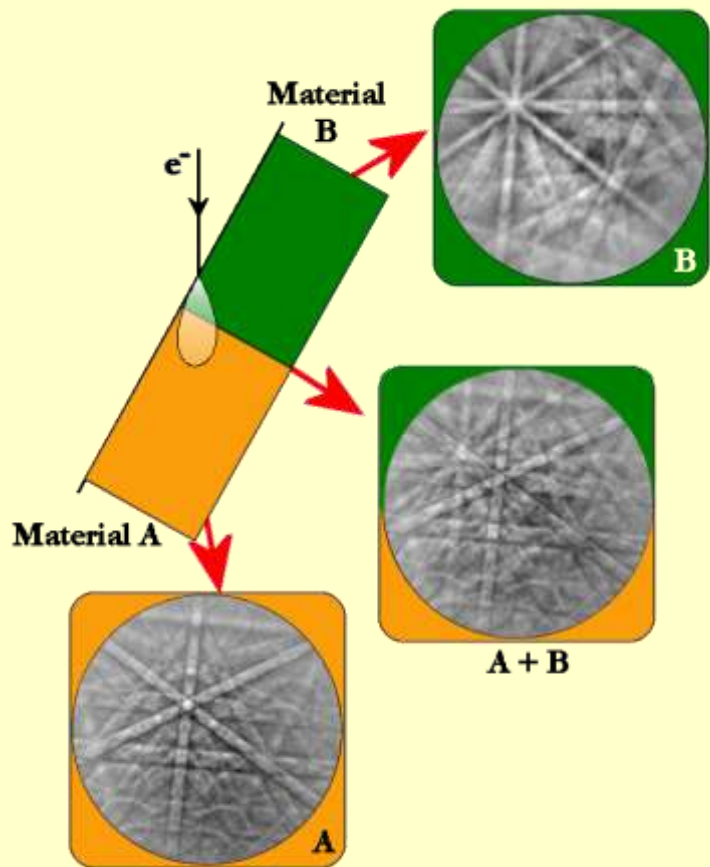
4. Metodologias de análise

(Análise Pontual; Análise OIM)

5. Análise OIM: Representação e análise de dados

3. Limitações: *Resolução espacial*

Resolução espacial em EBSD



- Resolução espacial é limitada pela extensão do Volume de Excitação e não pelo diâmetro do feixe incidente.

3. Limitações: *Resolução espacial*

Resolução espacial em EBSD

- Resolução espacial está limitada pelo volume de excitação (V_e) e não pelo Spot Size
- Volume V_e depende da composição e da tensão de aceleração
- Devido à inclinação, a resolução é diferente em cada direcção:

δ_x – *Resolução transversal (TD)*

δ_y – *Resolução longitudinal (RD)*

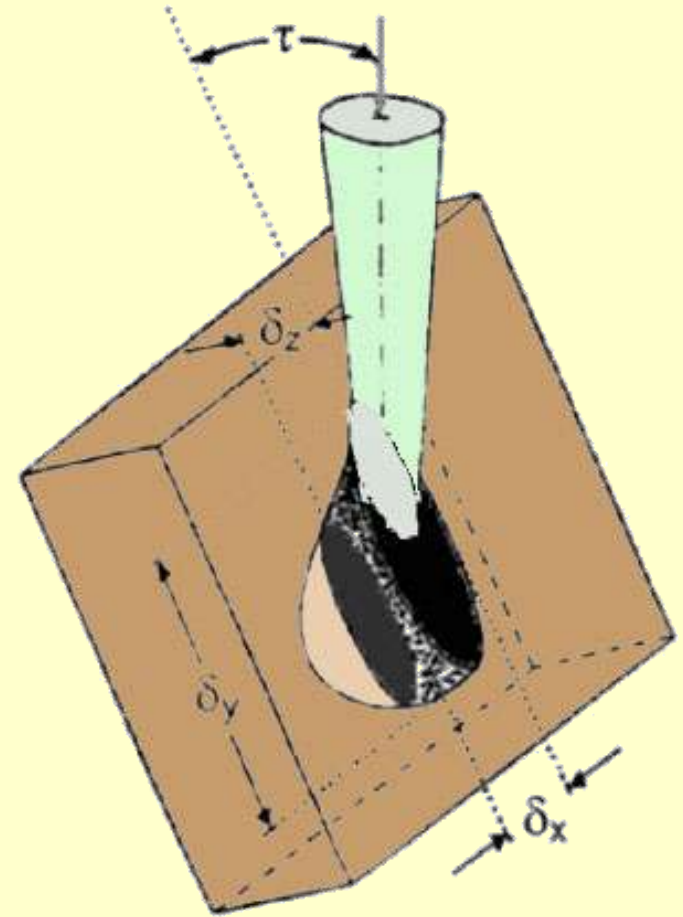
δ_z – *Resolução em profundidade (ND)*

- **Valores limite:**

$\delta_x \approx 20nm$

$\delta_y \approx 3 \times \delta_x \approx 60nm$

$\delta_z \approx 20nm$

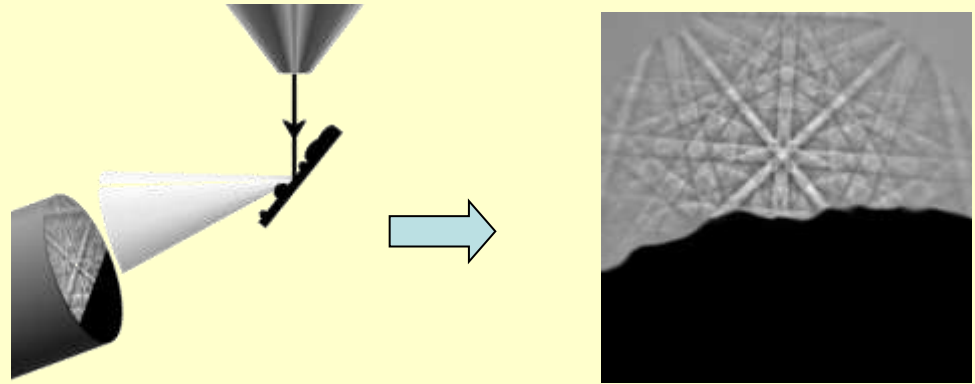


Volume de excitação assinalado para uma amostra inclinada.

3. Limitações: *Outras limitações*

Topografia da amostra

- Efeitos de sombra provocados pela topografia da amostra.



Composição química (EDS)

- Por EDS não são detectados os elementos H, He, Li, e é pouco sensível ao Be, B e N.
- Nas condições experimentais típicas de EBSD (amostra inclinada) a análise EDS é menos rigorosa.
- Dificuldade de obter a composição química com rigor.

Pseudo-simetria dos padrões

- Erros na distinção de simetrias de rotação de ordem n com simetrias de ordem $2n$
- Parâmetros de rede próximos entre estruturas semelhantes (p. ex. tetragonal e ortorrômbico) podem resultar em padrões indistinguíveis.

1. Fundamentos da técnica EBSD

(SEM: Radiações de interesse para EBSD; Padrões de Kikuchi: Formação e Indexação; Sistemas de referência)

2. Procedimentos experimentais

(Condições experimentais; Calibração; Preparação de amostras; Efeito de carga)

3. Limitações

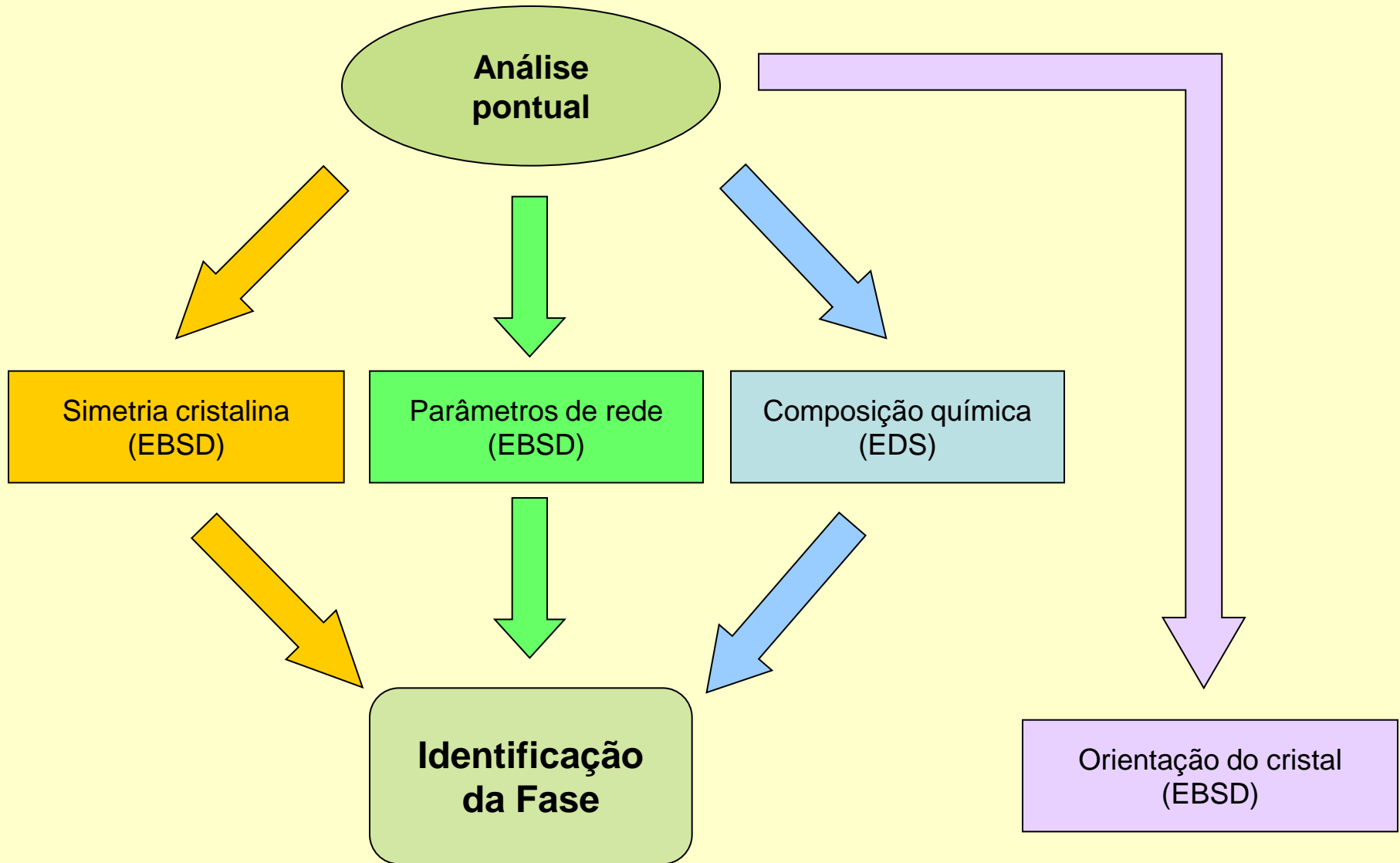
(Resolução espacial; Topografia da amostra; Composição química)

4. Metodologias de análise

(Análise Pontual; Análise OIM)

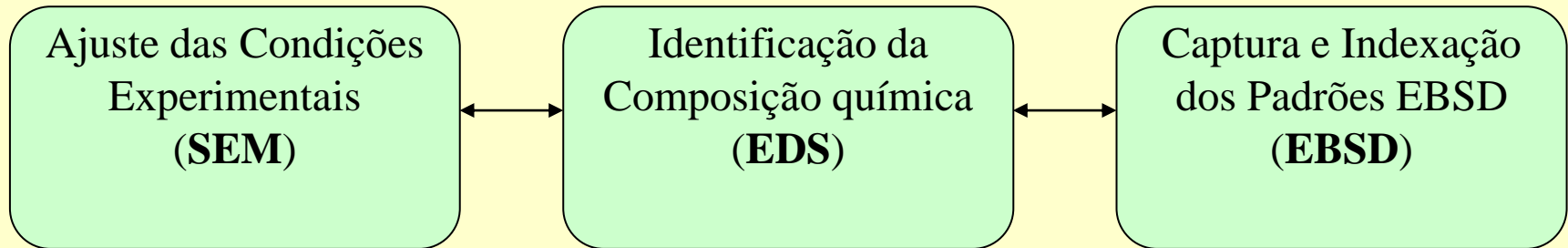
5. Análise OIM: Representação e análise de dados

4. Metodologias de análise: *Análise Pontual*

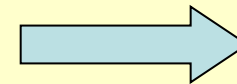


4. Metodologias de análise: *Análise Pontual*

Método de análise pontual referenciada a uma imagem de SEM



- Determinação da composição química (EDS)
- Caracterização pontual da estrutura cristalina
- Determinação dos parâmetros de rede



- Determinação da orientação do cristal no referencial da amostra

4. Metodologias de análise: *Análise Pontual*

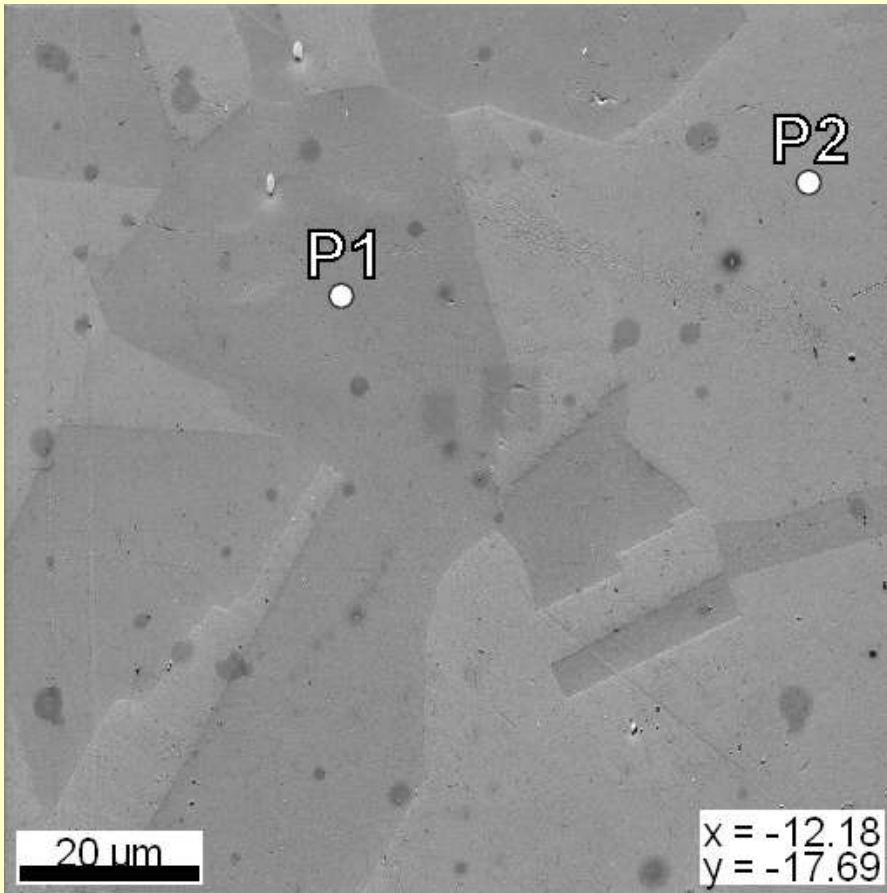
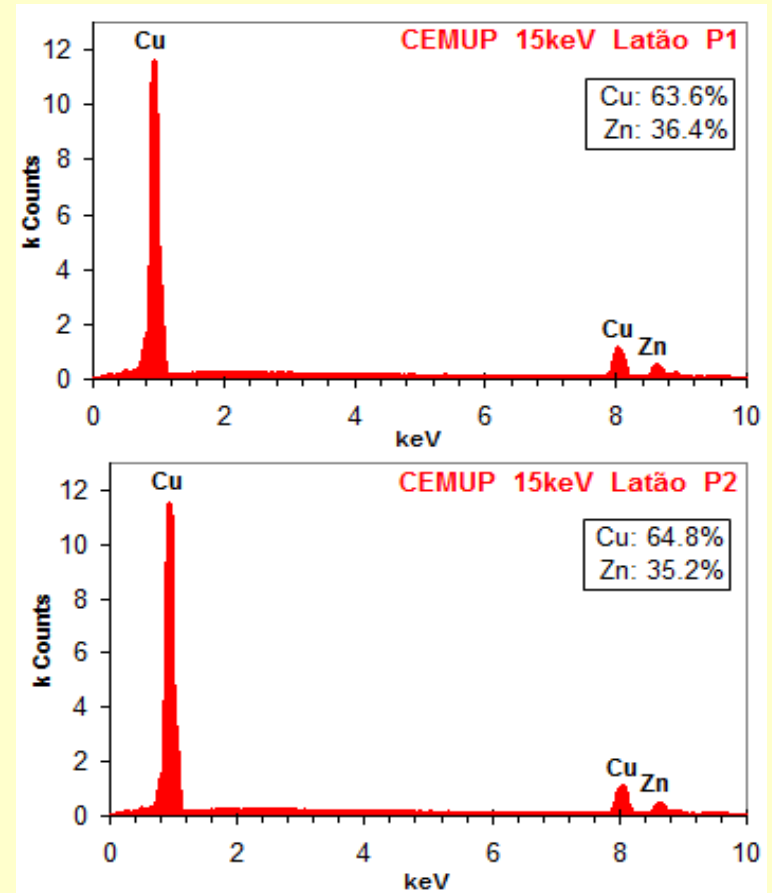
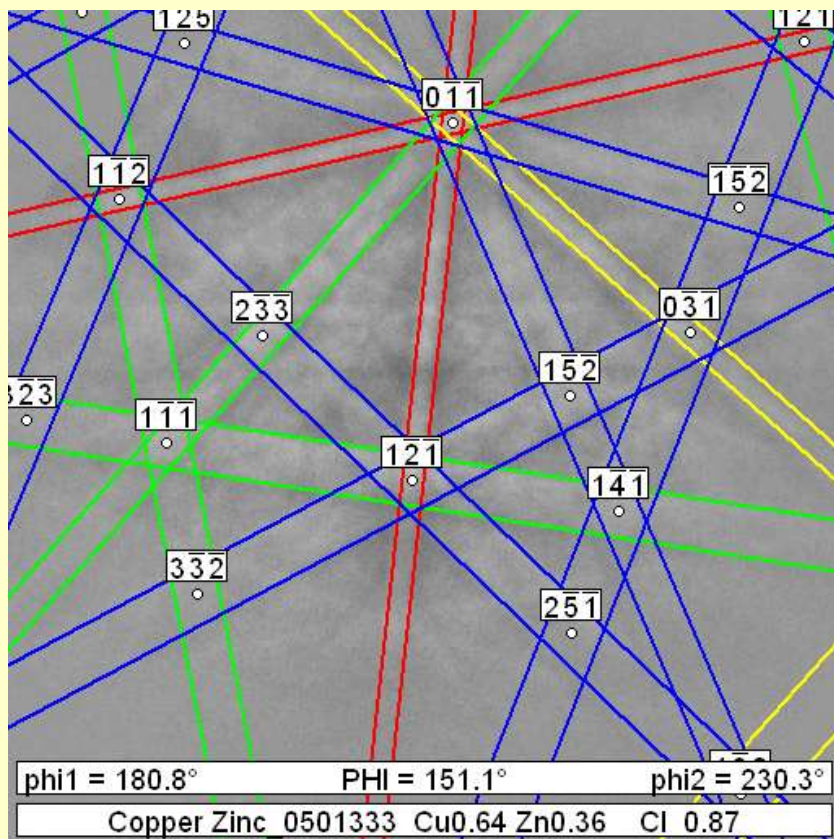


Imagem SE obtida na superfície de um latão. Pontos de análise assinalados.

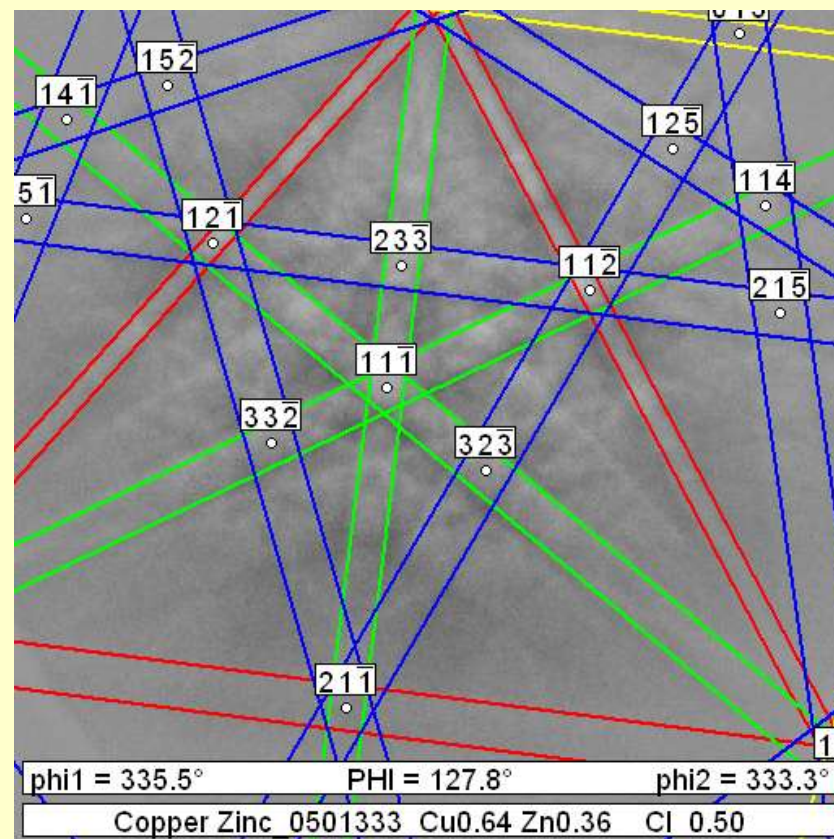


Espectros EDS obtidos nos pontos P1 e P2 assinalados na imagem.

4. Metodologias de análise: *Análise Pontual*



P1



P2

Padrões de Kikuchi obtidos em cada ponto de análise e com indexação assinalada.

4. Metodologias de análise: *Análise Pontual*

	Ponto P1	Ponto P2
Composição química ¹	$\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$	
Sistema cristalográfico ²	Cúbico	
Rede de Bravais ²	Cúbica de faces centradas	
Grupo de simetria espacial ²	F m -3 m	
Parâmetro de rede ³	3.32 Å	3.66 Å
Parâmetro de rede ²	3.696 Å	
Orientação ³ Referencial da amostra Âng. Euler: ($\varphi_1, \Phi, \varphi_2$)	180.8°, 151.1°, 230.3°	335.5°, 127.8°, 333.3°

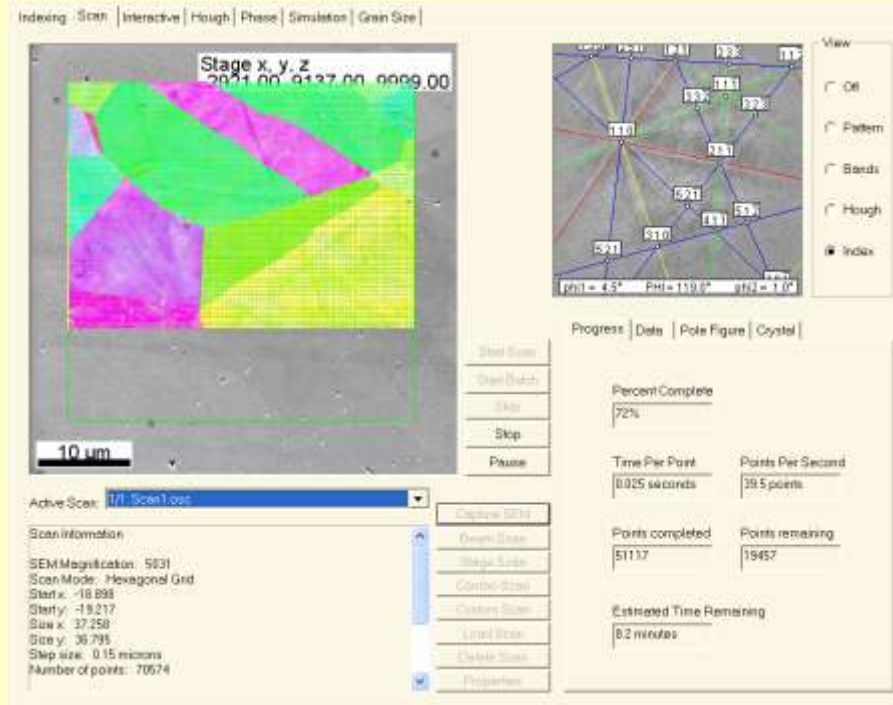
¹ Obtido por EDS e confirmado pela base de dados

² Retirado da base de dados

³ Obtido por EBSD

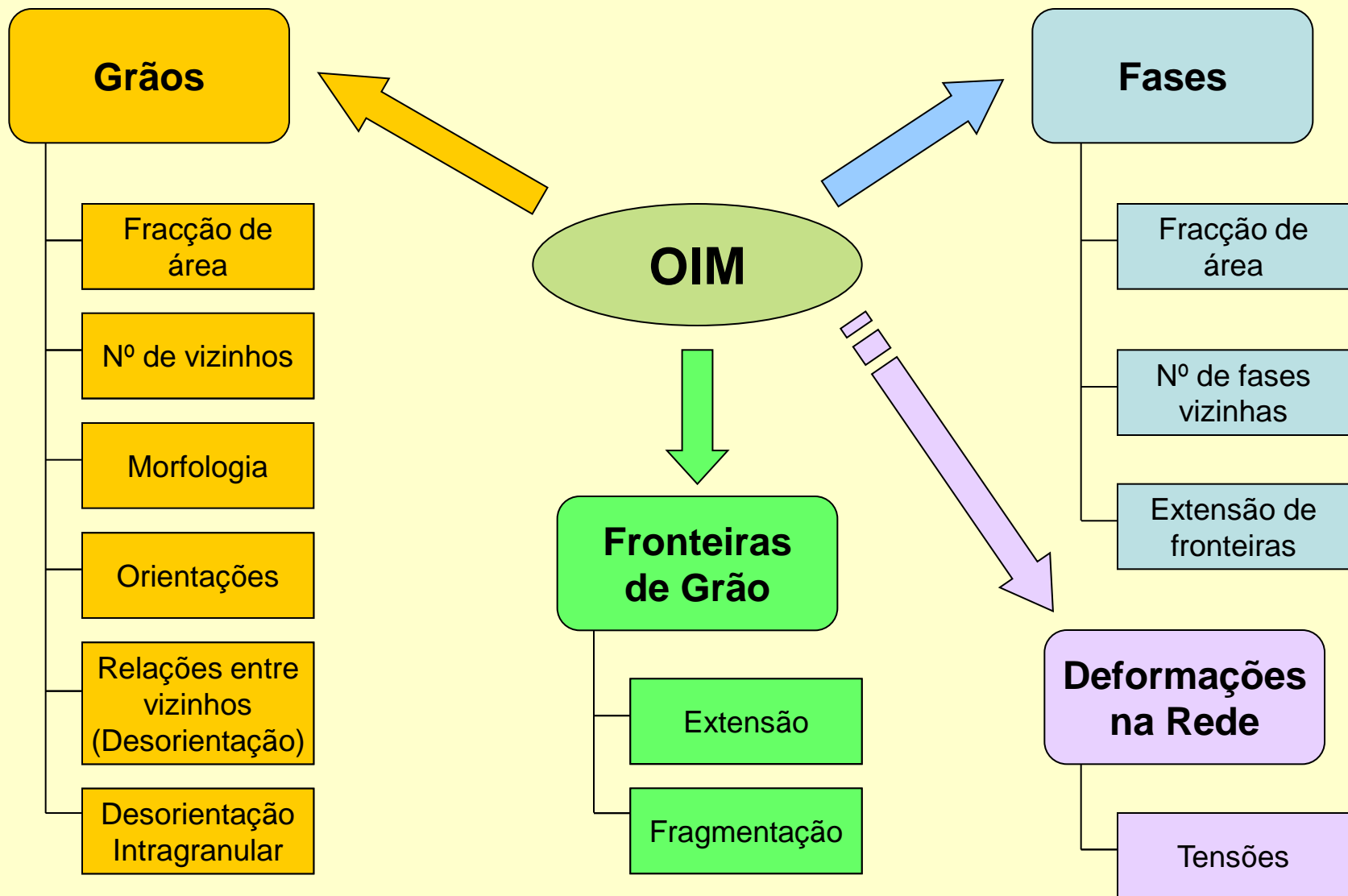
4. Metodologias de análise: *Análise OIM*

Aquisição automática de dados - OIM (Orientation Imaging Microscopy)



- Aquisição e indexação automática numa área extensa de análise
- Permite caracterização de propriedades estruturais do material (microestrutura)
- Tipos de varrimento: “*Beam scan*” ou “*Stage Scan*”
- Possibilidade de re-indexação posterior

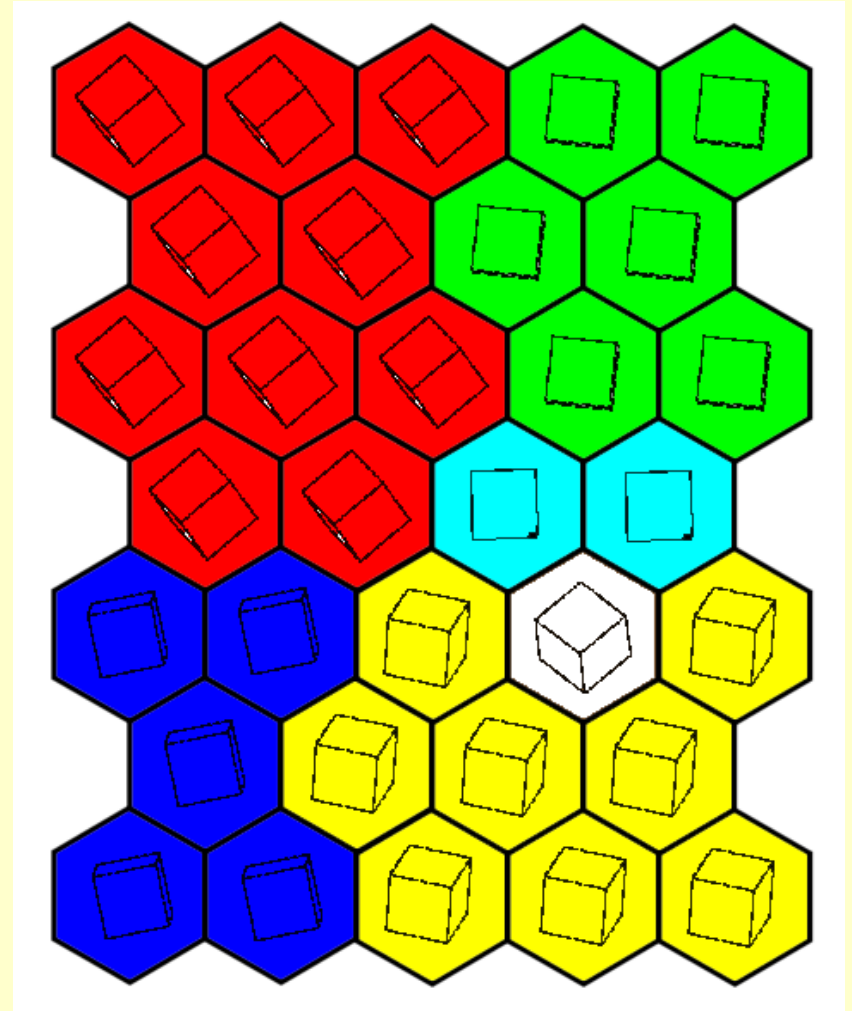
4. Metodologias de análise: *Análise OIM*



4. Metodologias de análise: *Análise OIM*

Como são construídos os grãos num mapa OIM?

- Definidos por comparação de cada ponto com os pontos vizinhos
- Critério:
Se desorientação entre pontos contíguos for maior que “Grain Tolerance Angle”, então os pontos pertencem a grãos diferentes.
- “Grain Tolerance Angle” é definido pelo utilizador. Valor de referência são 5° .
- Parâmetro “Minimum Grain Size” é também definido pelo utilizador e define o tamanho mínimo (em número de pontos do mapa) para que seja considerado um grão.



1. Fundamentos da técnica EBSD

(SEM: Radiações de interesse para EBSD; Padrões de Kikuchi: Formação e Indexação; Sistemas de referência)

2. Procedimentos experimentais

(Condições experimentais; Calibração; Preparação de amostras; Efeito de carga)

3. Limitações

(Resolução espacial; Topografia da amostra; Composição química)

4. Metodologias de análise

(Análise Pontual; Análise OIM)

5. **Análise OIM: Representação e análise de dados**

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

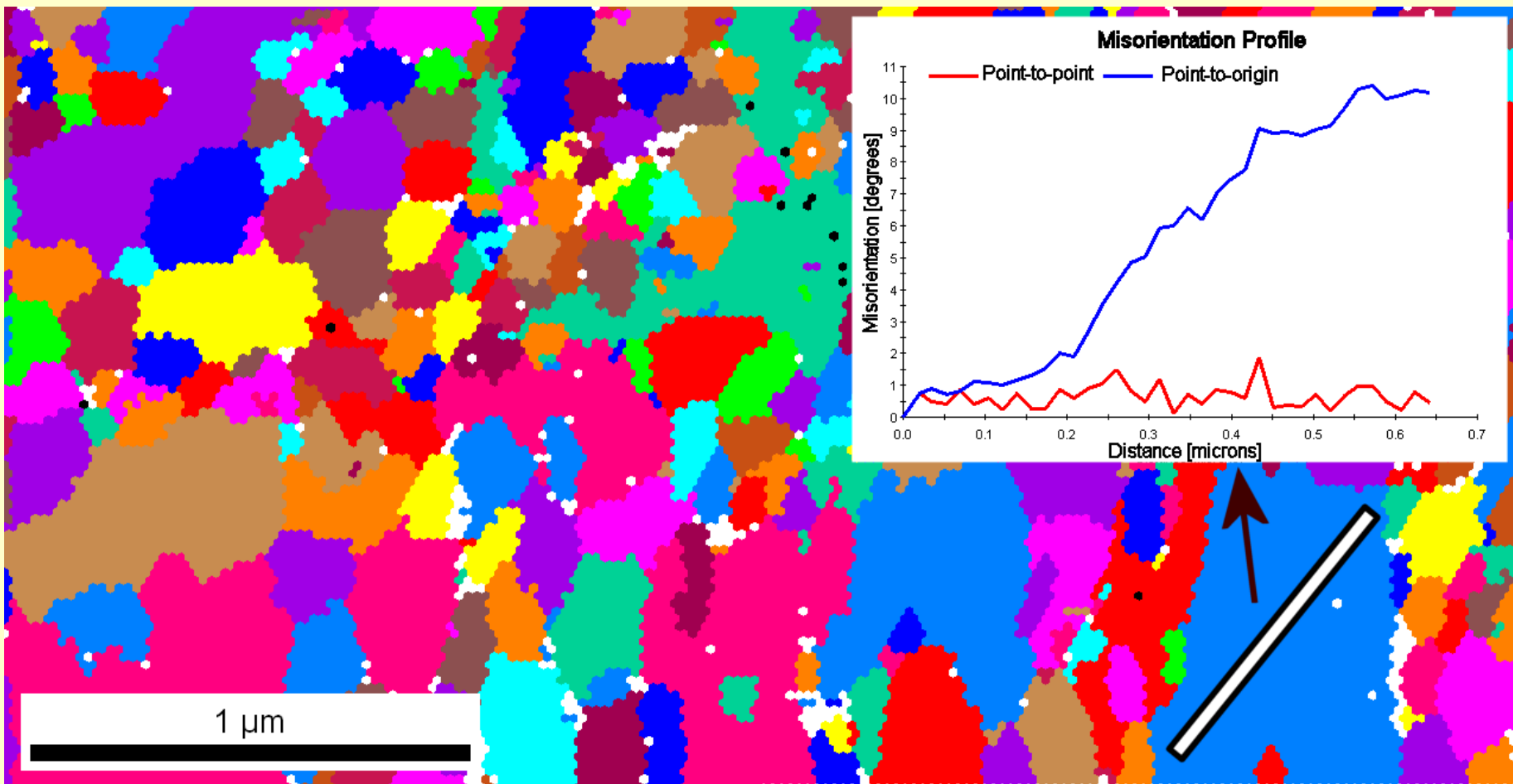
Caracterização de Grãos de Fronteiras de Grão



Mapa de grão obtido para uma amostra de latão.

5. Análise OIM: Representação e Análise de dados

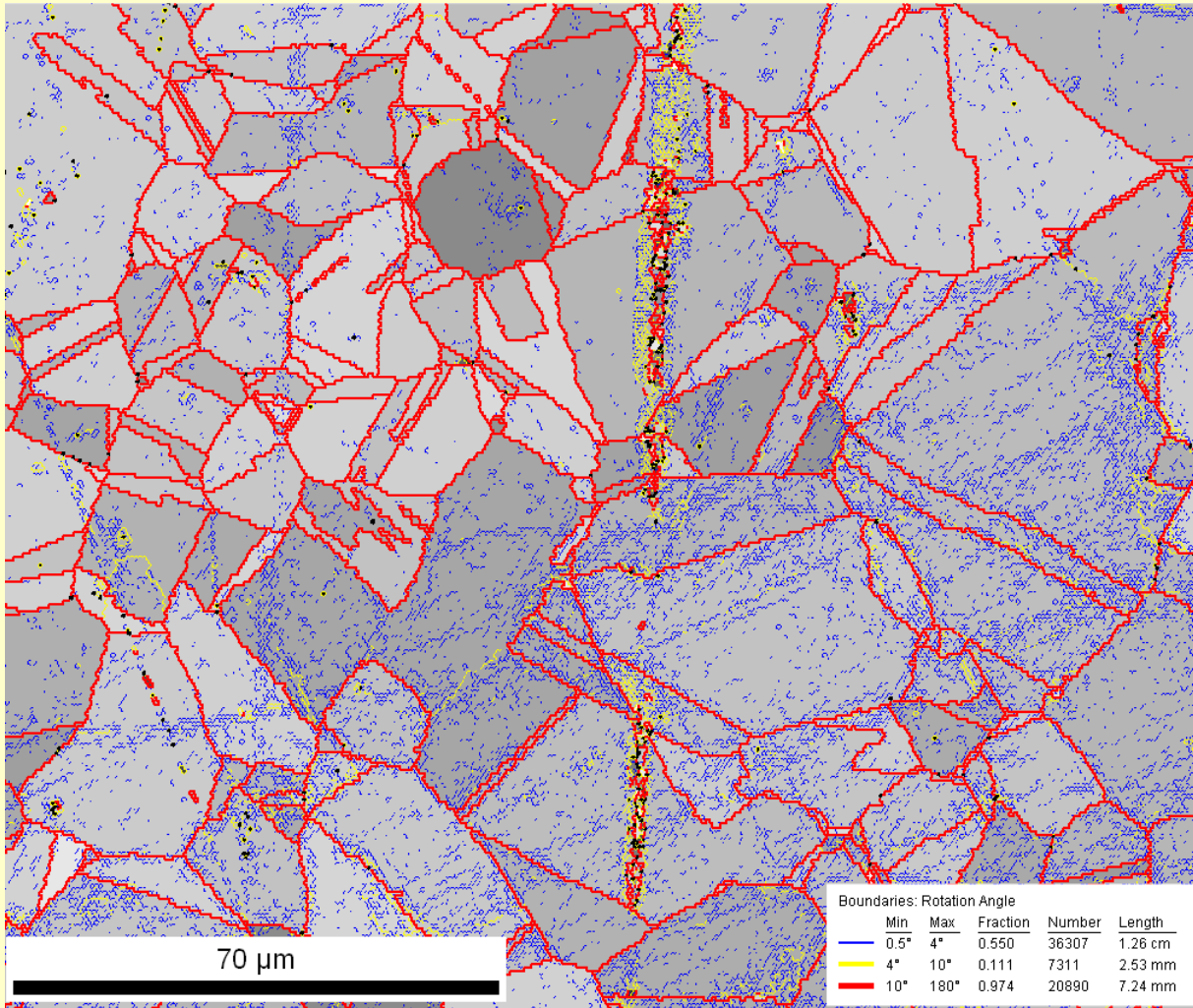
Caracterização de Grãos de Fronteiras de Grão



Mapa de grão identificado por cor ($AT=5^\circ$), com perfil de desorientação relativa no interior do grão assinalado no canto inferior direito

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

Caracterização de Grãos de Fronteiras de Grão



Mapa de grão obtido para uma amostra de latão.

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

Amostra de Al laminado - EDAX

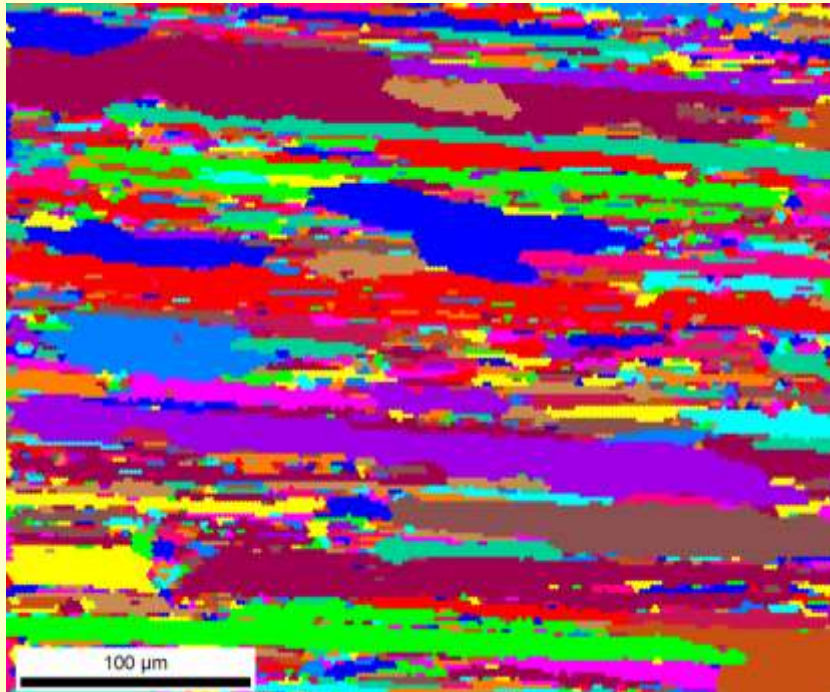
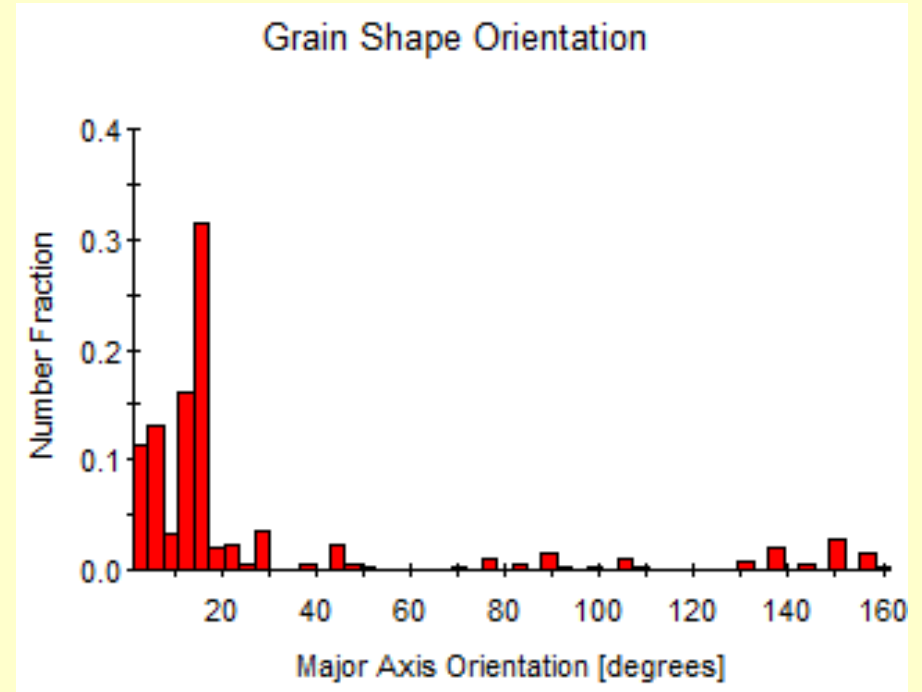


Imagem dos grãos codificados por cor.



Distribuição de orientações medidas em relação à horizontal da imagem (esq) e no sentido dos ponteiros do relógio.

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

Amostra de Al laminado - EDAX

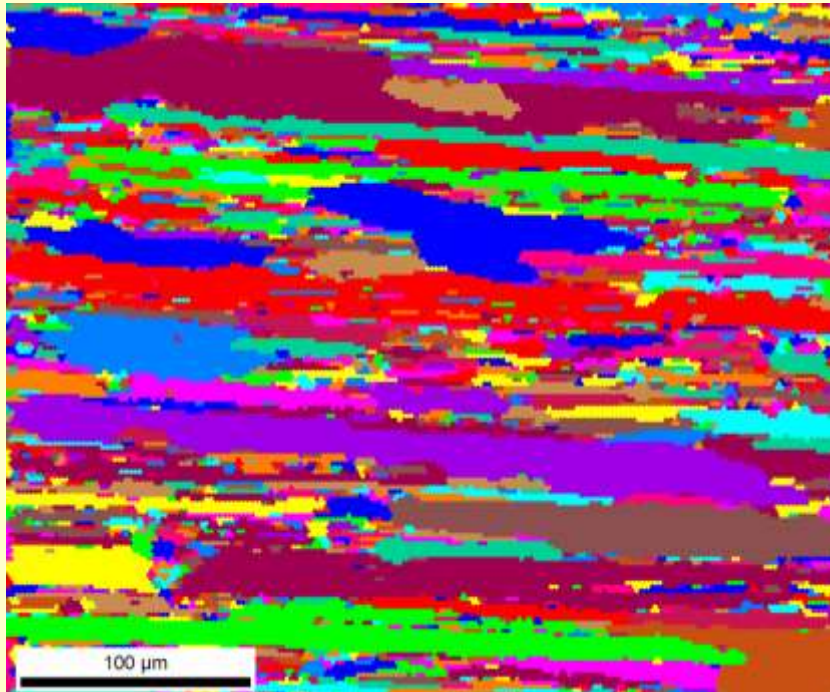
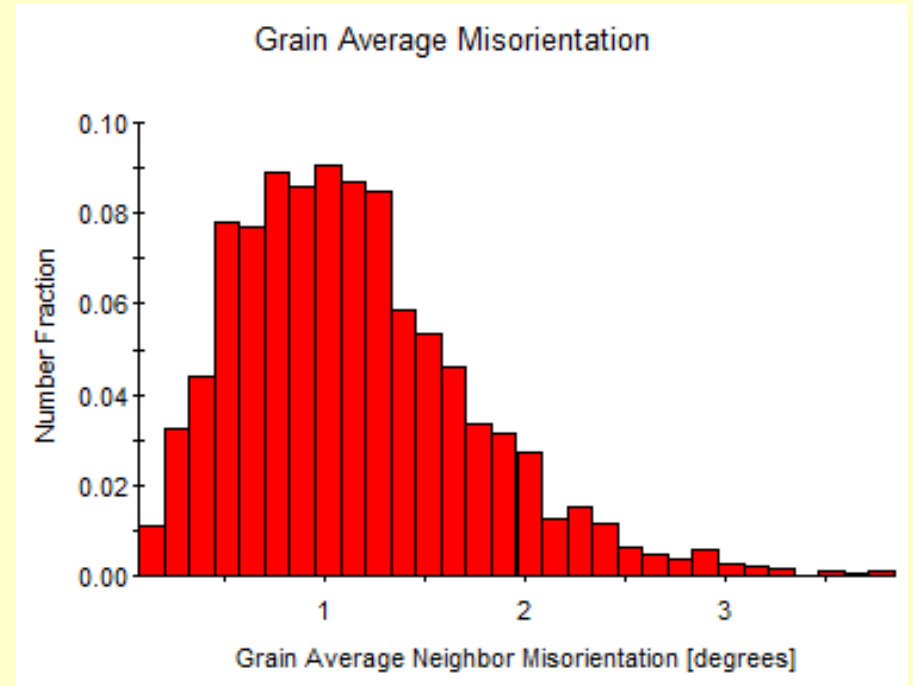


Imagem dos grãos codificados por cor.



Distribuição da desorientação média entre pontos pertencentes ao mesmo grão.

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

Amostra de Al laminado - EDAX

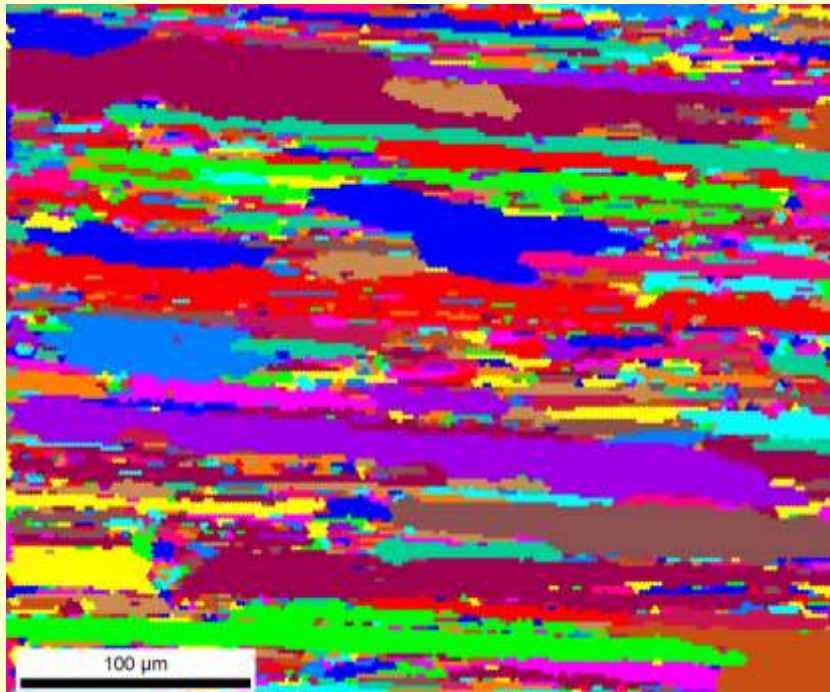
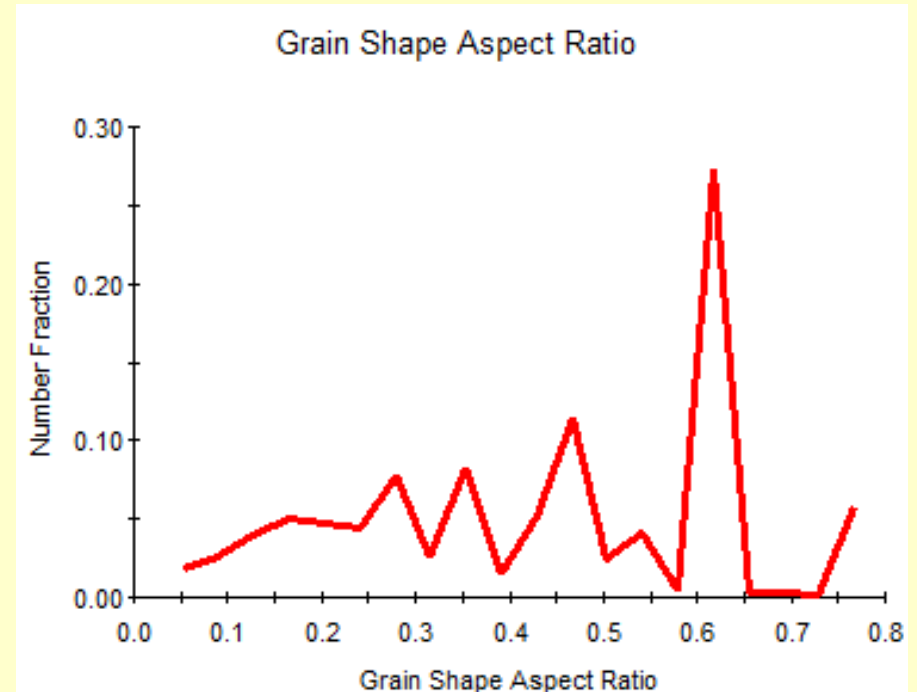


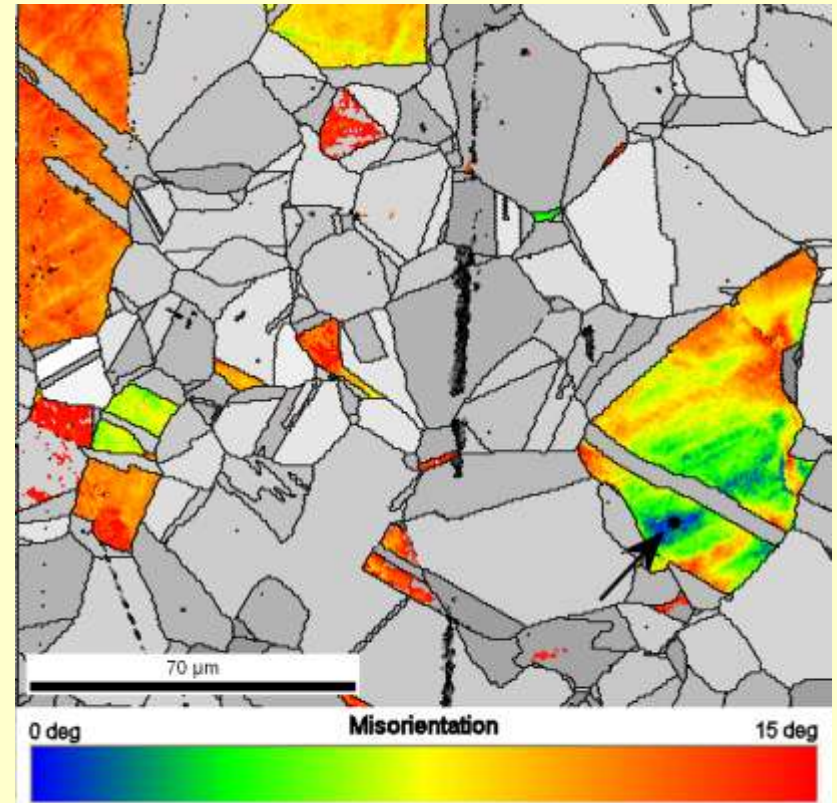
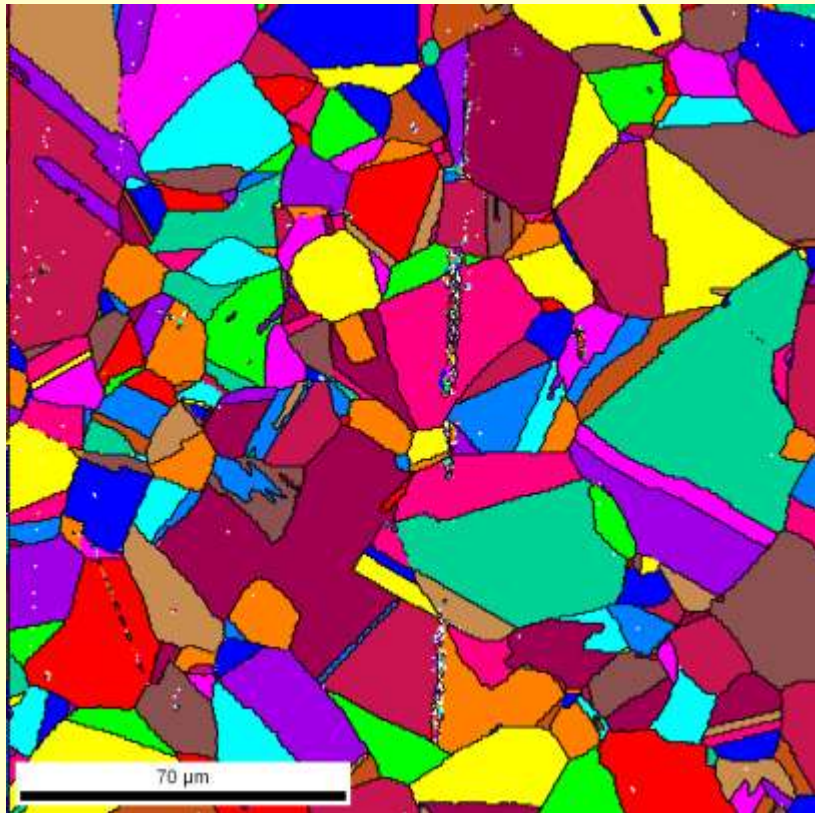
Imagem dos grãos codificados por cor.



Distribuição de forma dos grãos (eixo menor/eixo maior).

5. Análise OIM: *Representação e Análise de dados*

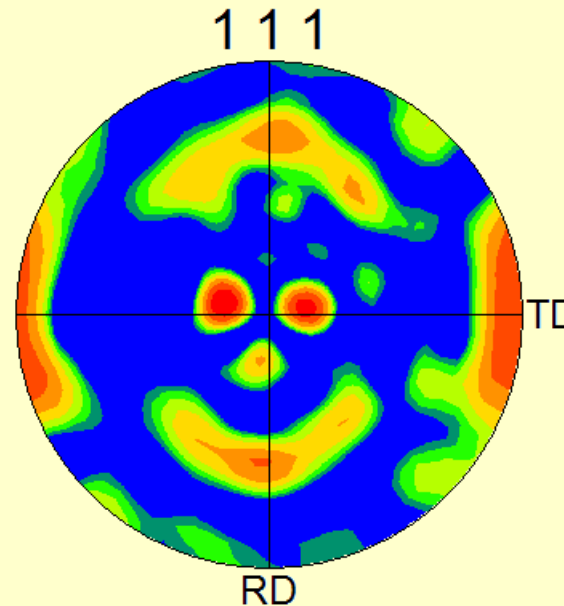
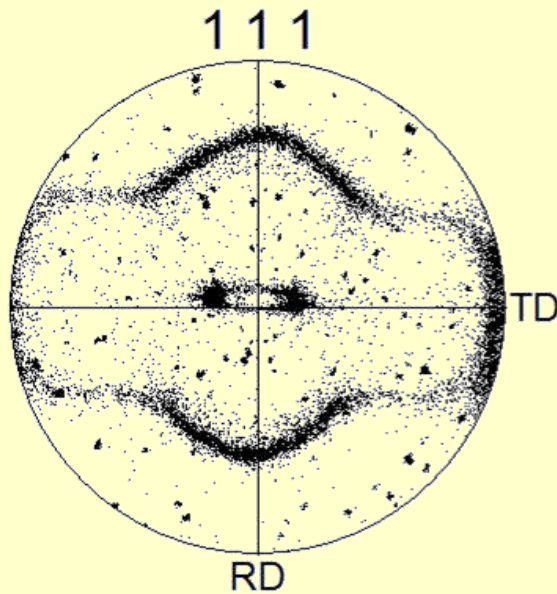
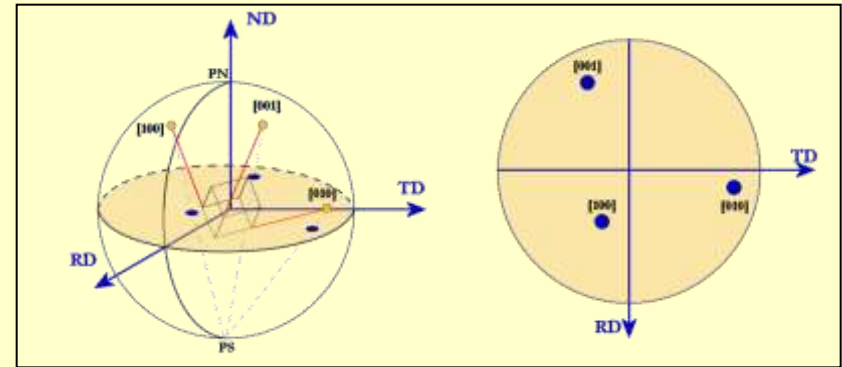
Amostra de Latão



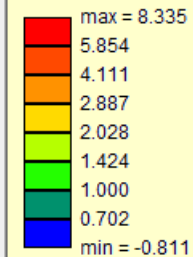
Realce dos pontos da imagem com desorientação codificada em escala de cor (0° azul até 15° a vermelho).

5. Análise OIM: *Representação de Texturas*

Figuras de Pólos



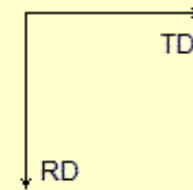
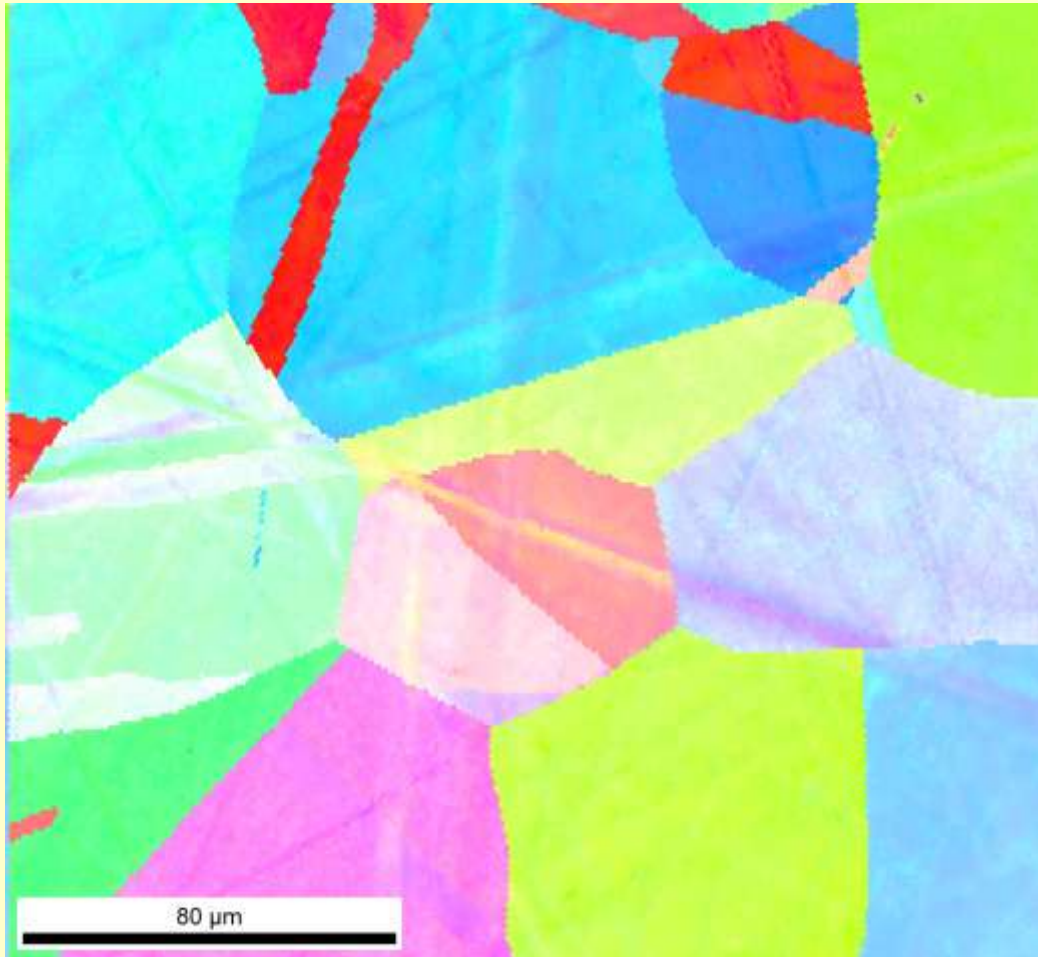
Texture Name: Harmonic:L=16, HW=5.0
 Calculation Method: Harmonic Series Expansion
 Series Rank (l): 16
 Gaussian Smoothing: 5.0°
 Sample Symmetry: Triclinic



Figuras de pólos discreta (esq.) e contínua (dir.) para a direcção cristalográfica <111>, numa amostra de Al produzido por laminagem

5. Análise OIM: *Representação de Texturas*

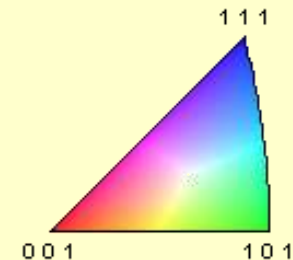
Inverse Pole Figure (IPF): *A cor representa a direção do cristal que está alinhada com a direção normal à superfície, de acordo com a legenda de cores. As rotações no plano não são representadas!*



Gray Scale Map Type: <none>


Color Coded Map Type: Inverse Pole Figure [001]

Copper Zinc_0501333




Boundaries: <none>

Sugestões de leitura




A. Schwartz, M. Kumar, B. Adams, “*Electron Backscatter Diffraction in Materials Science*”, **Kluwer Academic/Plenum Publishers** (2000)

Nova edição



A. Schwartz, M. Kumar, B. Adams, “*Electron Backscatter Diffraction in Materials Science*”, 2nd Ed, **Springer** (2009)



O. Engler, V. Randle, “*Introduction to Texture Analysis: Microtexture, Mesotexture and Orientation Mapping*”, 2nd Ed, **CRC Press, Taylor & Francis Group** (2009)