



# **Petrografia e microestruturas das rochas da porção centro-leste do Domínio Carajás, Província Carajás, PA.**

**Palavras-Chave: Petrografia, Microestruturas, Cráton Amazônico**

**Autores(as):**

**João Gabriel Miyashiro, IG/UNICAMP**

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carolina Penteado Natividade Moreto, DGRN - IG/UNICAMP**

**Msc. Marco Aurélio Marques Pereira, DGRN - IG/UNICAMP**

---

## **INTRODUÇÃO:**

A Província Carajás está localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico, e encontra-se subdividida em dois domínios tectônicos: Rio Maria, ao sul, e Carajás, ao norte. O Domínio Carajás é o foco deste estudo, pois suas rochas são associadas a depósitos de cobre do tipo óxido de ferro-cobre-ouro (*iron oxide-copper-gold* – IOCG) de classe mundial. A área do domínio possui embasamento de idade mesoarqueana, constituído predominantemente por gnaisses/granulitos e granitóides, sobre o qual se depositaram sequências metavulcano-sedimentares, além de apresentar intrusões graníticas do Neoarqueano. Os principais depósitos acontecem ao longo de um grande sistema de zonas de cisalhamento, denominado Sistema de Cisalhamento Carajás (Pinheiro et al., 2013), com orientação E-W a ENE-WSW.

No presente trabalho, foram estudadas rochas oriundas de duas zonas de cisalhamento, Canaã e Ourilândia, que fazem parte do Sistema de Cisalhamento Canaã, sendo então contido dentro desse sistema de cisalhamento regional. Esse sistema tectônico coloca em contato a litoestratigrafia arqueana com sequências sedimentares paleoproterozóicas de baixo grau metamórfico localizadas na porção interna do Domínio Carajás. A associação litológica é intrudida por granitos de tipo A, de idade orosiana, os quais não foram afetados pelo cisalhamento regional. Apesar do avanço no conhecimento litoestratigráfico da porção centro-leste do Domínio Carajás, o registro da alteração hidrotermal nas rochas hospedeiras dos depósitos cupríferos ainda é incipiente.

## **OBJETIVOS E METODOLOGIA:**

O estudo realizado teve enfoque na análise de amostras de tais rochas hospedeiras, com o objetivo de contribuir para a compreensão da evolução do sistema hidrotermal nessa região do domínio. Para isso, foram empregadas análises petrográficas para a caracterização das amostras. A partir dessa caracterização, foram investigadas a evolução paragenética da assembleia mineral hidrotermal, a intensidade da alteração hidrotermal nas rochas hospedeiras e as microestruturas, com o intuito de ampliar o conhecimento geológico do Domínio Carajás.

A investigação petrográfica foi orientada por uma revisão bibliográfica detalhada, fornecendo suporte teórico para a análise e interpretação das amostras. Essa revisão incluiu informações sobre a associação litológica regional, além da consulta a guias petrográficos especializados, como Vernon (2004) e Passchier & Trouw (2005), com o objetivo de auxiliar no reconhecimento da paragênese hidrotermal, dos minerais presentes nas rochas analisadas e nas microestruturas de deformação que ocorrem.

As amostras foram preparadas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da Unicamp, tendo sido produzidas lâminas delgadas polidas para as análises microscópicas. A caracterização petrográfica foi conduzida por meio de microscopia óptica em luz transmitida, utilizando os equipamentos disponíveis no laboratório de microscopia didático do Instituto de Geociências. Nessa etapa, foi feita a identificação das fases minerais, o estudo das texturas e microestruturas, além da avaliação da alteração hidrotermal nas amostras.

Os resultados obtidos foram registrados por meio de pranchas fotográficas, ilustrando as principais feições mineralógicas e texturais observadas nas amostras. Essa documentação visual complementa as interpretações petrográficas e contribuirá para o entendimento dos processos hidrotermais atuantes na porção centro-leste do Domínio Carajás.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com a análise de lâminas situadas ao longo das zonas de cisalhamento Canaã e Ourilândia, a petrografia focada em microestruturas de deformação permite ter uma perspectiva sobre os processos deformacionais que afetaram a área. Os resultados das descrições foram sumarizados em uma tabela (**Tabela 1**), para facilitar a análise em conjunto dos mesmos.

**Tabela 1.** Resumo das descrições petrográficas.

Características	Amostras						
	JS02C	MM34D	CMTM-03	CMTM-13	CMTM-15B	ONOVD001/16 2.92	ONOVD001/17 0.80
Nome	Meta-álcali feldspato granito	Metatonalito	Metamonzogranito	Plagioclásio-microclínio-quartzito ortognaisse	Plagioclásio-microclínio-quartzito ortognaisse	Metagranodiorito milonítico	Metagranodiorito milonítico
Granulação e Textura	Inequigranular porfiroblástica, com matriz fina a média, e porfiroblastos grossos	Inequigranular porfiroblástica, com bandas recristalizadas finas a muito finas, e porfiroblastos médios a grossos	Inequigranular porfiroblástica, com bandas recristalizadas finas a muito finas, e porfiroblastos médios a grossos	Média, com subgrãos de quartzo e feldspatos recristalizados tendo granulação muito fina	Média, com subgrãos de quartzo e feldspatos recristalizados tendo granulação muito fina	Inequigranular porfiroblástica, com bandas recristalizadas finas a muito finas, e porfiroblastos médios a grossos	Inequigranular porfiroblástica, com bandas recristalizadas finas a muito finas, e porfiroblastos médios a grossos
Composição (%)	Quartzo (25), Albita (60), Hastingsita (10), Titanita (4), Opacos (1)	Quartzo (30), Plagioclásio (40), Biotita (25), Clorita (5)	Quartzo (30), Plagioclásio (25), Microclínio (15), Biotita (9), Clorita (10), Titanita (1)	Quartzo (35), Microclínio (32), Plagioclásio (23), Biotita (9), Opacos (1)	Quartzo (30), Microclínio (40), Plagioclásio (15), Biotita (14), Opacos (1)	Quartzo (30), Microclínio (10), Plagioclásio (20), Clorita (25), Epidoto (5), Magnetita (5), Calcita (5)	Quartzo (30), Microclínio (10), Plagioclásio (35), Clorita (15), Epidoto (7), Magnetita (5), Calcita (3)

Estruturas	Maciço	Apresenta bandas com alta taxa de deformação, formando uma matriz fina de quartzo recristalizado e biotita dentro delas.	Apresenta bandas de granulação mais fina, porém sem orientação única.	Bandas gnáissicas quartzo-feldspáticas, orientadas de acordo com forma preferencial do cristal, com poucas micas presentes entre as bandas.	Bandas gnáissicas quartzo-feldspáticas, orientadas de acordo com forma preferencial do cristal, com poucas micas presentes entre as bandas.	Bandas com quartzos de tamanho menor, recristalizados com maior taxa de deformação. Apresenta também veios de calcita, que cortam as bandas.	Bandas com quartzos de tamanho menor, recristalizados com maior taxa de deformação.
Microestruturas	Quartzo e albita com extinção ondulante. Quartzo com presença de subgrãos alongados e extinção em padrão tabuleiro de xadrez. Os contatos entre quartzos são interlobados	Quartzo com extinção ondulante e em padrão tabuleiro de xadrez. O quartzo também apresenta contatos interlobados	Extinção ondulante em quartzo e feldspatos, quartzo com subgrãos alongados, e quartzo com contatos interlobados. Alguns quartzos menores apresentam contatos retos (poligonais)	Extinção ondulante em quartzo e feldspatos. Quartzo tem textura inequigranular interlobada, e os feldspatos apresentam geminação de deformação	Extinção ondulante em quartzo e feldspatos. Quartzo tem textura inequigranular interlobada. Pontualmente, quartzo com textura mimerquítica	Quartzo com extinção ondulante e subgrãos. Quartzo possui contatos interlobados, enquanto os feldspatos são fortemente alterados	Quartzo com extinção ondulante e subgrãos. Quartzo possui contatos interlobados. Feldspatos estão alterados, mas sem deformação aparente do cristal
Alteração Hidrotermal	Alteração sódico-cálcica (albita-hasting-sita-titanita)	-	-	-	-	Cloritização/Carbonatação	Cloritização/Carbonatação

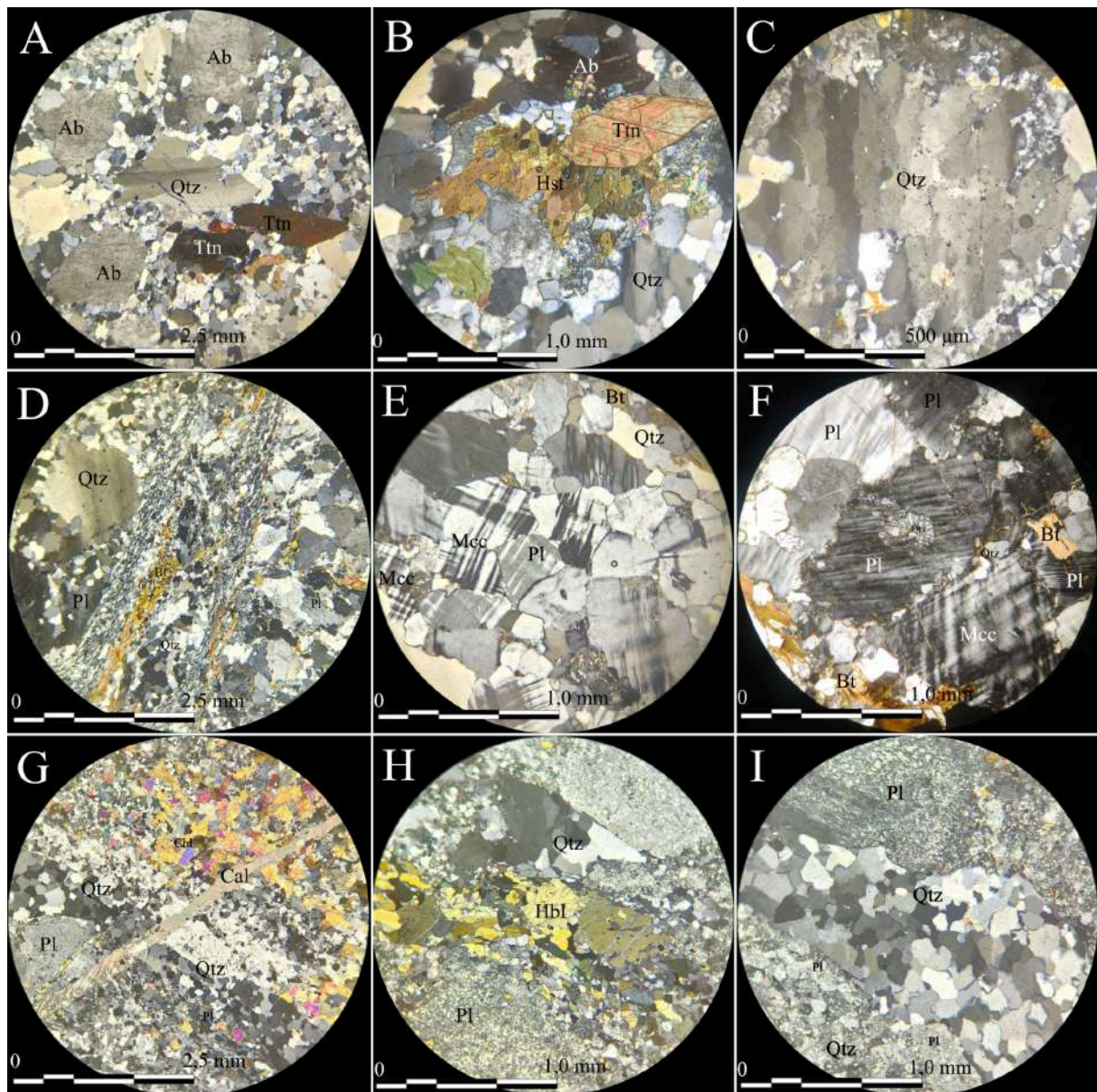
Com base nas microestruturas descritas, é possível interpretar os processos responsáveis por suas formações. Nas amostras como um todo, o processo de recristalização afeta principalmente grãos de quartzo, com estruturas manto-núcleo, sendo identificado quartzo com textura interlobada (**Figura 1A e 1I**) e também com extinção ondulante em todas as lâminas. Isso indica a ocorrência de um processo de *grain boundary migration* (GBM), se tratando de recristalização de quartzo em temperaturas por volta de 650°C (Stipp *et al.*, 2002).

A extinção em padrão tabuleiro de xadrez também ocorre nas amostras de meta-álcali feldspato granito e metatonalito, onde sua ocorrência também caracteriza o mesmo intervalo de temperatura. Em uma das duas rochas classificadas como plagioclásio-microclínio-quartzo ortognaisse (CMTM-13), além das estruturas mencionadas acima, os feldspatos apresentam também geminação de deformação (**Figura 1E**), indicando deformação dúctil dos mesmos. Além disso, os feldspatos apresentam extinção ondulante nessa mesma rocha, e também apresentam pertitas (nos microclínios) e antipertitas (nos plagioclásios) (**Figura 1F**).

Os metagranodioritos miloníticos apresentam, além de bandas milonitizadas compostas por quartzo intensamente deformado, a ocorrência de veios de calcita (**Figura 1G**), que cortam essas bandas formadas anteriormente, sendo então referentes a um evento posterior associado com a ocorrência de um processo de cloritização, que altera seletivamente cristais de biotita (**Figura 1G, 1H, 1I**). São encontrados, ainda nos metagranodioritos miloníticos, processos de saussuritização dos feldspatos (**Figura 1G, 1H, 1I**) também associados com a cloritização. Na amostra de meta-álcali feldspato granito, foi registrado também um evento

hidrotermal sódico-cálcico, resultando em uma assembléia mineral de albita, hastingsita e titanita, em composição modal acima do protólito granítico (**Tabela 1 e Figura 1A e 1B**).

A presença dessa intensa cloritização que corta estruturas miloníticas, e também da alteração Na-Ca caracterizada no meta-álcali feldspato granito, indicam a ocorrência de eventos hidrotermais posteriores aos eventos de recristalização, afetando minerais já deformados. Além disso, têm-se também o desenvolvimento da extinção ondulante e formação de subgrãos poligonais (**Figuras 1A, 1C, 1D**), que registram o processo de recuperação do quartzo, que ocorre quando a taxa de deformação diminui.



**Figura 1A:** Quartzo com subgrãos alongados, envolto de quartzo recristalizado com textura interlobada, cristais de albita e titanita, em um meta-álcali feldspato granito, com nicóis cruzados (XPL). **1B:** Cristais de hastingsita em contato com um cristal de titanita, com quartzos recristalizados e albita, em meta-álcali feldspato granito, XPL. **1C:** Grande cristal de quartzo com subgrãos alongados marcados na extinção, em metamonzogranito, XPL. **1D:** Duas bandas com intensa deformação compostas por quartzo e biotita, envoltas por cristais maiores de quartzo, com extinção ondulante, e plagioclásio,

em metatonalito, XPL. **1E:** Feldspatos com geminação de deformação, indicando deformação dúctil, em um plagioclásio-microclínio-quartzo ortognaisse XPL. **1F:** Quartzo com textura mimerquítica (centro), envolto de plagioclásio antipertítico e microclínio, em um plagioclásio-microclínio-quartzo ortognaisse, XPL. **1G:** Veio de calcita cortando uma banda milonítica, com clorita (alta birrefringência) e cristais maiores de plagioclásio, em um metagranodiorito milonítico, XPL. **1H:** Cristais de hornblenda entre cristais maiores de quartzo, envoltos de grãos menores recristalizados, e cristais de plagioclásio intensamente saussuritizados em metagranodiorito milonítico, XPL. **1I:** Banda de quartzo recristalizado com textura interlobada, com um porfiroblasto de plagioclásio saussuritizado (acima) em metagranodiorito milonítico, XPL.

## CONCLUSÕES:

Conforme os resultados do trabalho, as amostras em geral atingiram condições relativamente similares de deformação, demonstrando recristalização por mecanismo GBM em todas as lâminas. O desenvolvimento de foliação foi observado nos gnaisses, enquanto duas amostras apresentaram bandas milonitizadas, e outras foram deformadas, porém não desenvolveram uma foliação orientada. Portanto, a taxa de deformação das amostras varia durante a recristalização, quando são atingidas temperaturas de até 650°C, sucedida por resfriamento durante a recuperação do grão.

A assembléia mineral quartzo-feldspática dos protólitos pode ser reconhecida nas amostras, em associação a minerais hidrotermais, tornando possível portanto identificar a alteração hidrotermal. Nas amostras, foi identificada a ocorrência de dois tipos de hidrotermalismo, a alteração sódica-cálcica (albita-hastingsita-titanita) e a cloritização/carbonatação. A ocorrência desses eventos hidrotermais é posterior à deformação das rochas, como evidente no fato de que a alteração afeta minerais já recristalizados, e por vezes corta estruturas desenvolvidas na deformação, como por exemplo os veios de calcita, que cortam as bandas miloníticas dos meta-granodioritos miloníticos.

Para que sejam obtidas informações pormenorizadas sobre o comportamento do hidrotermalismo nas rochas, ou sobre a mineralogia acessória detalhada que resulta desses eventos, são necessários estudos petrográficos de maior detalhe, com enfoque na assembléia de minerais da alteração hidrotermal. Estudos geocronológicos também podem ser desenvolvidos, para a definição de uma escala absoluta de tempo, separando os diferentes eventos observados nas rochas estudadas, encaixando-os na história geológica de Carajás.

## BIBLIOGRAFIA:

- PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005
- PINHEIRO, R. V. L. *et al.* **Carajás, Brazil—a short tectonic review**. 13th Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, 2013
- STIPP, M. *et al.* **The eastern Tonale fault zone: a ‘natural laboratory’ for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 C**. *Journal of structural geology*, v. 24, n. 12, p. 1861-1884, 2002.
- VERNON, R. H. **A practical guide to rock microstructure**. Cambridge, Reino Unido, Cambridge university press, 2004