

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – USP
Departamento de Mineralogia e Geotectônica
Disciplina GMG0332 – Petrologia Metamórfica / 2020

Prova 4 – 18 de dezembro de 2020

As respostas devem ser encaminhadas manuscritas, escaneadas ou fotografadas, para os e-mails dos professores (ffalei@usp.br, gajszabo@usp.br, rmoraes@usp.br), com o nome do/a aluno/a em cada página. Durante a prova, os alunos são convidados a manter aberta a sessão Google Meet com o microfone desligado, embora isso não seja obrigatório. Em caso de dúvida, ligar o microfone para chamar a atenção do professor e fazer a pergunta pelo *chat*. A prova terá duração de 3h.

Nome: Renato de Moraes N° USP:

Questão 1 – Migmatitos são rochas formadas envolvendo fusão parcial. Durante esse processo, porções residuais e fundido silicático são formados, a proporção e disposição dessas partes são usadas para classificá-los. Monte um quadro ou tabela em que você explicará a classificação dos migmatitos, dispondo suas partes, seus constituintes, sua origem, estrutura (ou falta dela), e proporções entre as partes para base da classificação. Essa tabela/quadro pode ser acompanhada de um pequeno texto explicando a classificação e seus termos mais importantes (3 pontos).

Resposta:

Migmatito – rocha formada por fusão parcial, em que uma parte funde, gerando líquido silicático e outra ainda permanece no estado sólido (resíduo). Os migmatitos são rochas de aspecto misto, com duas partes de aspecto petrográfico contrastantes, uma de aspecto metamórfico (resíduo) e outra de aspecto ígneo (neossoma segregado, leucossoma) que é formado pela cristalização do líquido silicático anatético.

Partes do migmatito:

Resíduo é a parte do migmatito que sofreu fusão parcial e agora é formada pelos minerais que estavam em excesso, em relação aos coeficientes estequiométricos da reação de fusão, mais fases peritéticas geradas em presença de líquido silicático. O resíduo é mais escuro, em questão de minerais máficos, se presentes, que a rocha original, mas não é uma rocha necessariamente máfica, pois a rocha original já poderia ser pobre em minerais máficos. Ela é então mais refratária que a rocha original. Para que essas partes sejam reconhecidas é necessário que ocorra segregação do fundido silicático. O resíduo sempre permanece *in situ*.

Leucossoma é a parte do migmatito formada por minerais claros, quartzo e feldspatos e é formado pela cristalização do líquido silicático anatético. Pode permanecer *in situ* ou ser segregado e cristalizar na fonte ou em outros sítios dilatacionais. Vários processos podem estar associados com a cristalização desse fundido.

Melanossoma é a concentração no migmatito dos minerais máficos gerados durante o processo de fusão parcial; isso pode ocorrer em camadas separando o leucossoma do resíduo, ou em concentrações dentro do leucossoma ou do resíduo.

Schlieren – concentrações, normalmente de biotita e outros minerais máficos, de aspecto alongado que são gerados por fluxo magmático.

Schollen – blocos do resíduo ou de outras rochas com temperatura de fusão parcial, como anfibolitos, granulitos máficos, rochas calcissilicáticas, dispostos dentro do migmatito; essas rochas podem guardar sua estrutura original, como foliação ou bandamento.

		Taxa de fusão		
		0 ~ 7	25	60 100
Deformação sin anatética		metatexito	transicional	diatexito
		<p>migmatito em que a estrutura metamórfica ainda tem coerência regional no afloramento; as partes do migmatito, tais como resíduo, leucossoma e melanossoma são de fácil reconhecimento e bem definidas. As taxas de fusão são maiores que 0%.</p>	<p>tipo de migmatito transicional entre o metatexito e o diatexito; pode conter estrutura coerente ou não; taxa de fusão variável entre 7 e 60%. Com o aumento da taxa de fusão as estruturas metamórficas são substituídas por estruturas de fluxo magmático que vão dominar no diatexito.</p>	<p>migmatito em que não há coerência regional da estrutura metamórfica, a qual só é reconhecida dentro dos <i>schollen</i> e <i>schlieren</i>. As estruturas de fluxo são predominantes. As taxas de fusão são maiores do que 10%, mas em geral são necessárias taxas de fusão maiores do que 25 a 30% e retenção do fundido, para que ocorra a perda da coerência estrutural. O neossoma predomina, a proporção leucossoma / resíduo dependa da taxa de fusão e da quantidade de líquido retido da fonte. A presença de melanossoma depende da temperatura. Aglomerados de minerais peritéticos, como cordierita, granada, piroxênio (restitos) são comuns em altas temperaturas.</p>
Classificação secundária (estruturas)		<p>tipo <i>patch</i> (remendo, leucossoma localizado)</p> <p>estruturas dilatacionais - leucossoma se coloca em sítios dilatacionais, paralelos à foliação ou nos <i>necks</i> dos <i>boudins</i></p> <p>veios - leucossoma forma rede de veios interconectados</p> <p>estromático - a intensa deformação paraleliza todas as partes do migmatito (resíduo e leucossoma), gerando estrutura bandada</p>	<i>schlieren e schollen</i>	<p>nebulito - altas taxas de fusão e pouca deformação a rocha tem aspecto de um granito "sujo"; resíduo se faz presente em <i>schlieren</i> e alguns <i>schollen</i></p> <p>Com altas taxas de deformação a rocha pode adquirir um aspecto bandado, principalmente se a deformação for algo tardia; se houver maior quantidade de <i>schlieren</i> e <i>schollen</i>, esse aspecto bandado pode ser realçado</p>

Questão 2 – Quatro granulitos apresentam a seguinte composição mineralógica (4 pontos):

- a) quartzo + ortoclásio + safirina + ortopiroxênio + granada;
- b) quartzo + ortoclásio + espinélio + granada + sillimanita;
- c) quartzo + ortoclásio + **ortopiroxênio** + granada + cordierita;
- d) quartzo + ortoclásio + sillimanita + granada + cordierita.

2.1 – Plote em diagramas triangulares (AFM ou AFM modificado - com projeção a partir do quartzo) as paragêneses destas rochas;

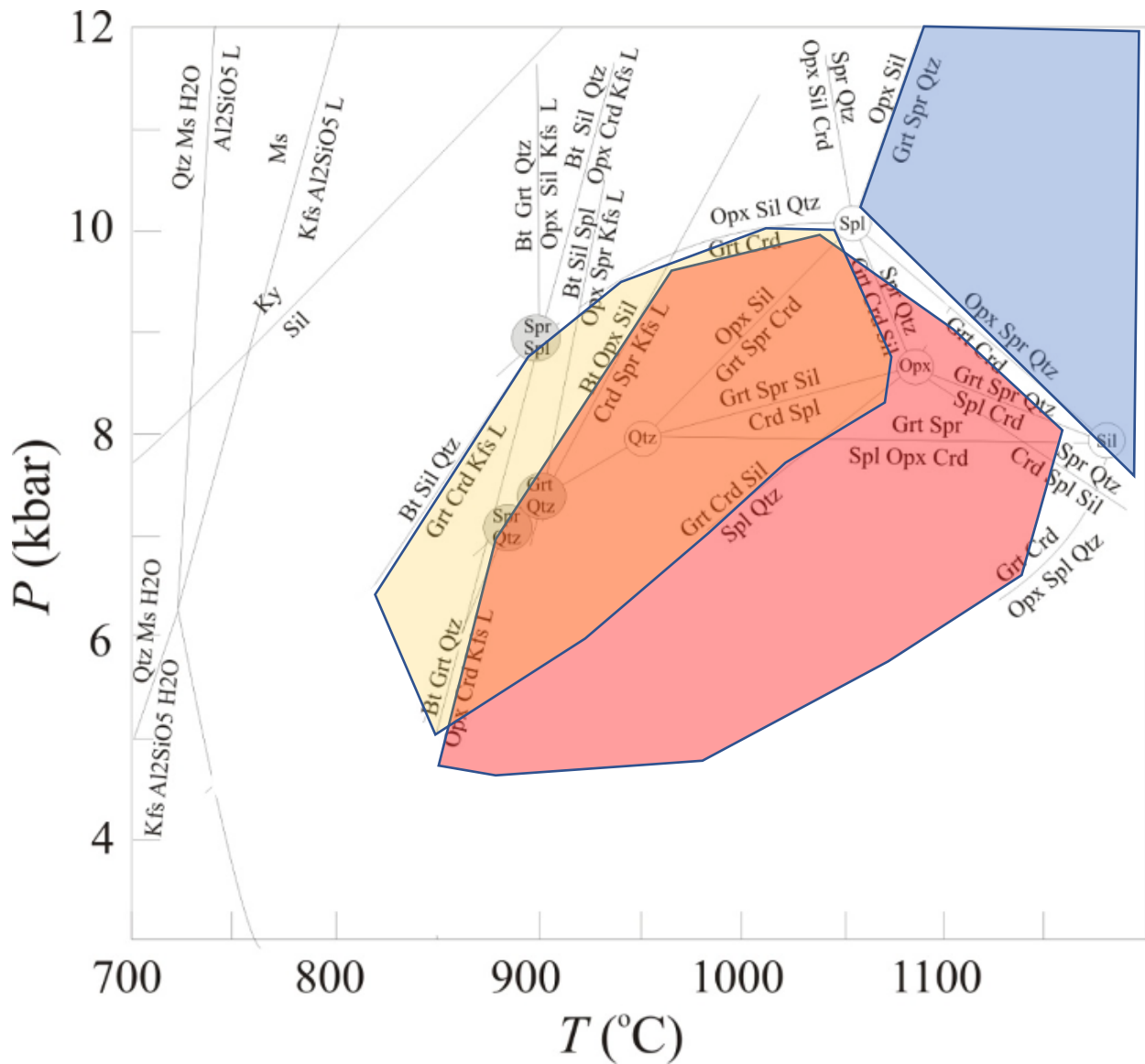
2.2 – Na grade petrogenética hachure os campos *P-T* das quatro associações minerais;

2.3 – Quais delas, se existirem, são associações de temperatura ultra-alta? Por quê?

2.4 – Se você estivesse no campo, quais dessas paragêneses seriam possíveis de serem encontradas em um mesmo afloramento? Por quê? Justifique sua resposta com base nos diagramas feitos.

Saiu originalmente escrito **hyperstênio** ao invés de **ortopiroxênio**

erro meu! Isso não impedia a resolução da questão

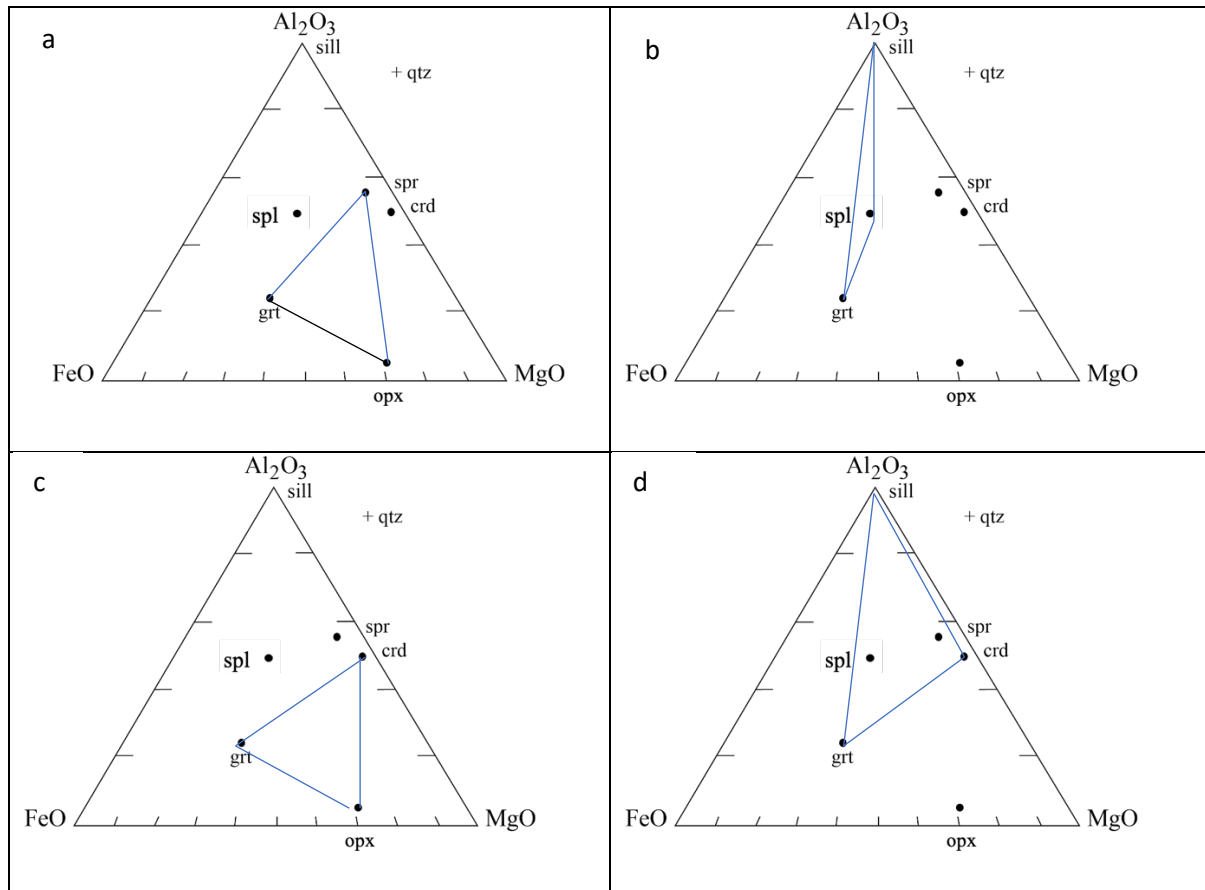


- | | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|
| a) quartzo + ortoclásio + safirina + ortopiroxênio + granada | AZUL |
| b) quartzo + ortoclásio + espinélio + granada + sillimanita | não fazer |
| c) quartzo + ortoclásio + ortopiroxênio + granada + cordierita | VERMELHO |
| d) quartzo + ortoclásio + sillimanita + granada + cordierita | LARANJA |

Os campos de estabilidade das associações minerais demarcados e coloridos com as cores especificadas (**percebam que os campos não estão 100% precisos**).

Resposta:

2.1 – Fazer a projeção a partir do quartzo ou do feldspato potássico, nesses casos dá na mesma, a posição dos minerais praticamente não muda. Então vou fazer a partir do quartzo, mas tendo também feldspato potássico em excesso



2.2 – As associações de temperatura ultra alta são as associações **a** e **b**, constituídas respectivamente de a) quartzo + ortoclásio + safirina + ortopiroxênio + granada e b) quartzo + ortoclásio + espinélio + granada + sillimanita, pois são as únicas duas que são estáveis exclusivamente, no sistema FMAS, acima de 900 °C e contêm os pares diagnósticos quartzo + safirina e quartzo + espinélio. Em sistemas mais complexos, envolvendo Fe^{3+} , Zn e Cr, a associação **b** pode ocorrer de forma estável em temperaturas mais baixas que 900 °C, pois esses elementos aumentam o campo de estabilidade do espinélio em presença de quartzo. **A parte referente à paragênese b não foi cobrada, pois inadvertidamente eu apaguei a reação que delimita seu campo de estabilidade.**

2.4 – Só as associações **c** e **d** podem ser encontradas no mesmo afloramento, já que nos diagramas de compatibilidade, vide item 2.2, elas não se sobrepõem, podendo ser plotadas no mesmo diagrama triangular. Na grade petrogenética, também é possível ver que seus campos P - T de estabilidade se sobrepõem amplamente (e um pouco com a associação b). Veja que o critério é inverso, no diagrama de compatibilidade não pode haver sobreposição, enquanto que na grade petrogenética deve haver sobreposição dos campos.

Questão 3 – No campo, como você faz para reconhecer, em um migmatito, por qual processo a fusão parcial ocorreu:

3.1) com excesso de H₂O;

3.2) com influxo de H₂O;

3.3) por fusão por desidratação?

Justifique suas respostas (3 pontos).

Resposta: O tipo de fusão parcial, em relação à quantidade de H₂O envolvida, pode ser reconhecida no campo examinando a composição do leucossoma e as fases peritéticas associadas.

3.1 – No caso de fusão parcial com excesso de H₂O, ou seja, a água não é um fator limitante para a fusão, ela estaria disponível e controlada externamente, a rocha irá fundir até uma das fases da reação de fusão ser exaurida, quartzo, plagioclásio ou feldspato potássico, ou ainda muscovita, se essa estiver presente. Se as fases estiverem presentes na rocha em proporções próximas às da estequiometria da reação de fusão, a rocha deverá fundir em sua totalidade. Se uma ou mais fases ocorrerem em proporção maior que a estequiometria da reação de fusão, a rocha funde até a exaustão da(s) fase(s) em menor proporção, deixando um resíduo formado pela(s) fase(s) em excesso. O líquido anatético é saturado em H₂O e só pode ascender na crosta terrestre se houver superaquecimento, caso contrário ele cristaliza no local de sua formação, se houver resfriamento ou pequena descompressão. Não são formadas peritéticas se a rocha for constituída apenas por quartzo e feldspatos e o líquido anatético terá composição semelhante ou igual à da rocha. Caso existe muscovita na rocha, e esta tiver um componente celadonítico e Fe-celadonítico, é possível ocorrer a formação de biotita peritética.

3.2 – Para ocorrer fusão por influxo de H₂O, a rocha deve estar em temperaturas acima do *solidus* hidratado. Nessas condições, quando ocorre o influxo de H₂O, a rocha começa a fundir, o que irá ocorrer até que a H₂O ou uma das fases seja exaurida. Durante a fusão será gerado líquido anatético, resíduo e fases peritéticas. O líquido anatético será granítico, e sua composição estará ligada à composição original da rocha, mas, em geral, é mais rico em Na₂O e FeO do que os líquidos gerados por fusão por desidratação. O resíduo será formado pelas fases em excesso e pelas fases peritéticas, as quais podem ser hidratadas ou anidras, dependendo da quantidade de H₂O que ocorrer nesse influxo. É muito comum a formação de fases hidratadas peritéticas em fusão por influxo de H₂O, como biotita e hornblenda. O grau de fusão pode ser variado, dependendo da temperatura e da quantidade de H₂O inserida e a rocha gerada pode ser tanto metatexito, quanto diatexito. O fundido gerado é insaturado em H₂O.

3.3 – A fusão por desidratação ocorre em condições anidras, ou seja, sem excesso de H₂O ou influxo de H₂O. A única H₂O disponível é aquela que vem da desidratação dos minerais hidratados, como as micas ou anfibólios. Quando a fusão ocorre, o fundido anatético gerado é insaturado em H₂O, sua composição depende da proporção entre quartzo e feldspatos na rocha, mas a composição é mais rica em CaO do que os fundidos formados por influxo de H₂O. As fases peritéticas são predominantemente anidras e como a fusão pode ocorrer em temperaturas muito altas, os resíduos gerados, em alguns casos, podem ser extremos, formando restitos muito refratários, às vezes formados apenas por minerais máficos ou ricos em alumínio, ferro, magnésio e titânio, como aglomerados de sillimanita/cianita, granada, cordierita, ortopiroxênio e rutilo/ilmenita. Em rochas máficas como anfibolitos, os resíduos serão constituídos de piroxênios, granada, titanita/ilmenita/rutilo. Os líquidos gerados podem ascender na crosta sem problemas, inclusive, em virtude da inclinação positiva das curvas, a ascensão pode aumentar a taxa de fusão.