

Magmas e formação de rochas ígneas



Consultar também a apresentação prática sobre rochas ígneas e os temas da Estrutura da Terra e da Tectónica de Placas para ficar com uma boa ideia de conjunto, da escala macroscópica aos locais de ocorrência das principais rochas ígneas

O que é um magma?

Um fundido (geralmente silicatado) + cristais + gases (H_2O , CO_2 , SO_2 , Cl, F, etc...), que é gerado no interior da Terra, provido de mobilidade. Quando um magma atinge a superfície e começa a fluir perde os seus componentes gasosos e transforma-se em **lava**.

Magmatismo

Domínio profundo – **Plutonismo**

À superfície - **Vulcanismo**

Grandes tipos de magmas

Magmas **primários** ou **ortomagmas** e magmas **secundários** – os fluidos seus derivados, que estão na origem das diversas rochas ígneas, designam-se por fracções magmáticas

Ortomagmas – origem muito profunda (manto superior, cristalização 700°C a 1300 °C, pobres em voláteis)

– Magmas **basálticos** –

Magmas secundários – resultantes da fusão de materiais na base da crosta, cristalização 400°C a 1000 °C, mais ricos em voláteis)

– Grande maioria dos magmas **graníticos**–

Qual é a composição química dos magmas ?

A composição dos magmas é variável.

Este facto é evidenciado pela diversidade de rochas ígneas que ocorrem na superfície terrestre ou nas zonas mais profundas, e pelos diferentes tipos de erupções vulcânicas.

Através do estudo químico pormenorizado dos diferentes tipos de rochas ígneas, e das suas associações mútuas, os magmas são em quatro tipos químicos principais



a seguir

Ácidos ricos em SiO_2 , Na_2O e K_2O . As rochas geradas a partir deste tipo de magmas podem ter **mais de 77%**, em peso, de SiO_2 . O *granito* é um exemplo de uma rocha ácida, e a maioria dos magmas ácidos são designados por "**graníticos**".

Intermédios: ricos em SiO_2 , Na_2O e K_2O , assim como CaO e Al_2O_3 . As rochas geradas por este tipo de magmas têm valores de SiO_2 , em peso, compreendidos entre **55 e 65%**.

Básicos: ricos em CaO , MgO e FeO . As rochas deste tipo têm valores de SiO_2 , em peso, compreendidos entre **45 e 55%**. O basalto é um exemplo de uma rocha básica, e muito magmas básicos magmas são genericamente como "**basálticos**".

Ultrabásicos: São magmas pobres em SiO_2 , mas com grande quantidade de FeO e MgO . As rochas ultrabásicas podem apresentar valores de SiO_2 muito baixos, **inferiores a 38%** em peso. Apresentam-se na tabela 1 as composições químicas medias de algumas rochas ígneas pertencentes aos quatro tipos referidos.

Composição química média de rochas ígneas

Óxido	Ácidas (Granito)	Intermédias (Andesito)	Básicas (Basalto)	Ultrabásicas (Peridotito)
SiO ₂	71.3	57.94	49.2	42.26
TiO ₂	0.31	0.87	1.84	0.63
Al ₂ O ₃	14.32	17.02	15.74	4.23
Fe ₂ O ₃	1.21	3.27	3.79	3.61
FeO	1.64	4.04	7.13	6.58
MnO	0.05	0.14	0.2	0.41
MgO	0.71	3.33	6.73	31.24
CaO	1.84	6.79	9.47	5.05
Na ₂ O	3.68	3.48	2.91	0.49
K ₂ O	4.07	1.62	1.1	0.34
H ₂ O	0.77	1.17	0.95	3.91
CO ₂	0.05	0.05	0.11	0.30
P ₂ O ₅	0.12	0.21	0.35	0.10

O que é a viscosidade e que factores a controlam? (uma propriedade muito importante!)

Viscosidade – Fricção interna de um fluido que o torna resistente ao fluxo

Viscosidades elevadas implicam uma maior quantidade de fricção para que se verifique fluxo

Fluido Newtoniano: baixa viscosidade, não oferece resistência ao fluxo (ex. água)

A viscosidade dos magmas depende de:

Composição

- Quanto **maior o conteúdo em SiO_2** maior a viscosidade
- Quanto **menos voláteis** maior a viscosidade
- Quanto **menos elementos alcalinos** maior a viscosidade

Temperatura

- Quanto menor a temperatura maior a viscosidade

Magmas basálticos

(localização)

Toleíticos – basaltos das cristais médio-oceânicas

Alcalinos – basaltos situados no interior das placas
(zonas profundas do manto)

Andesíticos – localizam-se cinturas orogénicas

Como se formam os magmas ?

A maioria dos magmas é gerada por **fusão parcial** na **astenosfera** , mas este processo também pode ocorrer nos níveis mais superiores do manto ou na **base da crosta** (zonas inferiores da litosfera). Para compreender este processo, e a profundidade a que ele se verifica, devem ter-se em consideração três aspectos:

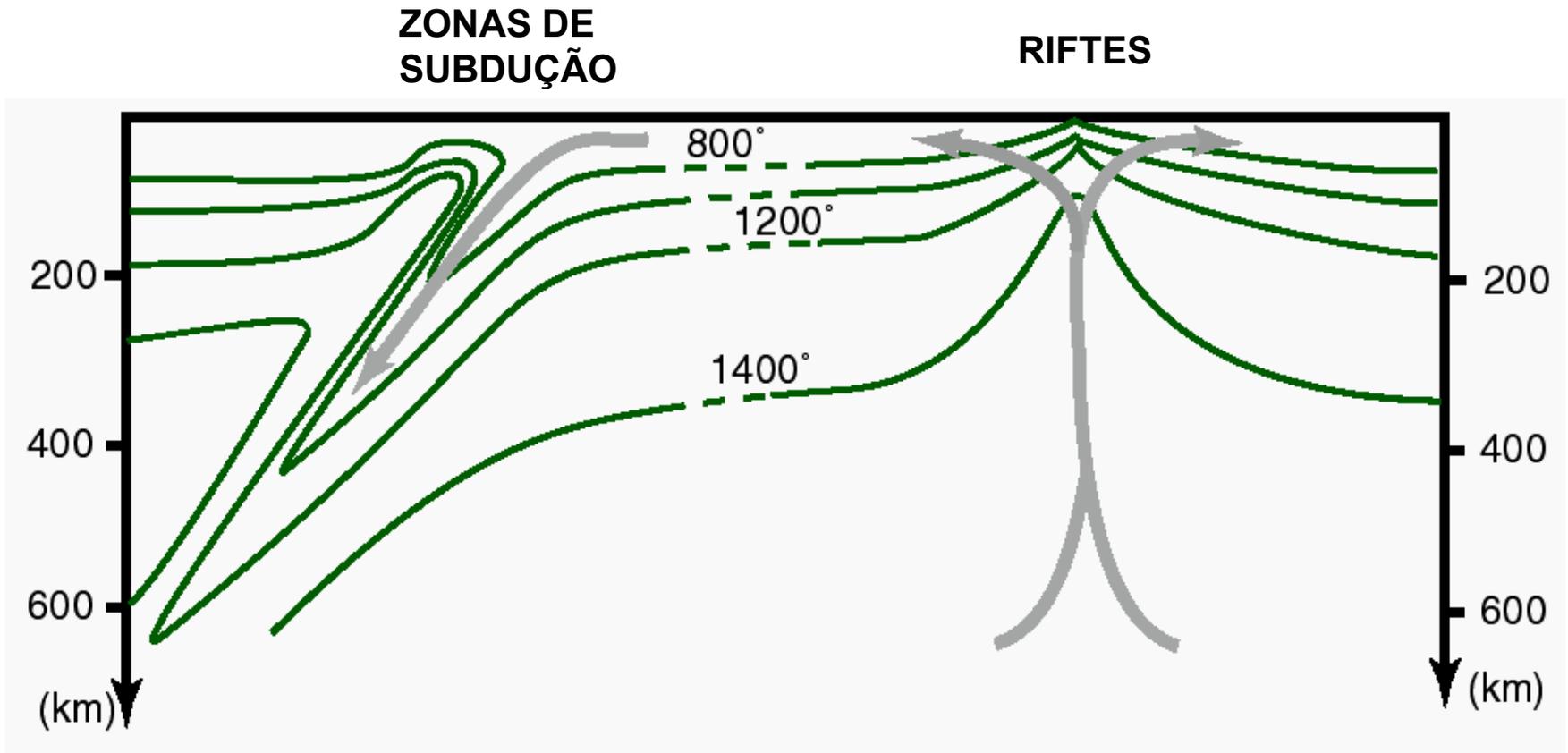
- (i) que a temperatura varia com a profundidade (necessária para fundir as rochas) - **gradiente geotérmico**
- (ii) que rochas têm pontos de fusão diferentes
- (iii) que as temperaturas de fusão das rochas dependem da pressão e do seu conteúdo em água - **curvas de fusão**

O que é o gradiente geotérmico ?

A temperatura no interior da Terra aumenta de modo relativamente regular à medida que aumenta a pressão. Denomina-se como **gradiente geotérmico** a variação da temperatura com a pressão num determinado intervalo de tempo geológico. Se uma rocha sofrer afundamento profundo começará por sofrer **metamorfismo** e com o aumento da temperatura poderá mesmo entrar em **fusão** (pelo menos alguns dos seus constituintes).

Como diferentes minerais têm diferentes pontos de fusão, e porque as rochas são associações de minerais, a fusão ocorre num determinado domínio de temperaturas. Por esta razão este processo é designado por **fusão parcial**, uma vez que para uma dada temperatura só parte da rocha funde.

Isotérmicas na crosta e manto superior



Qual é o gradiente geotérmico médio na crosta ?

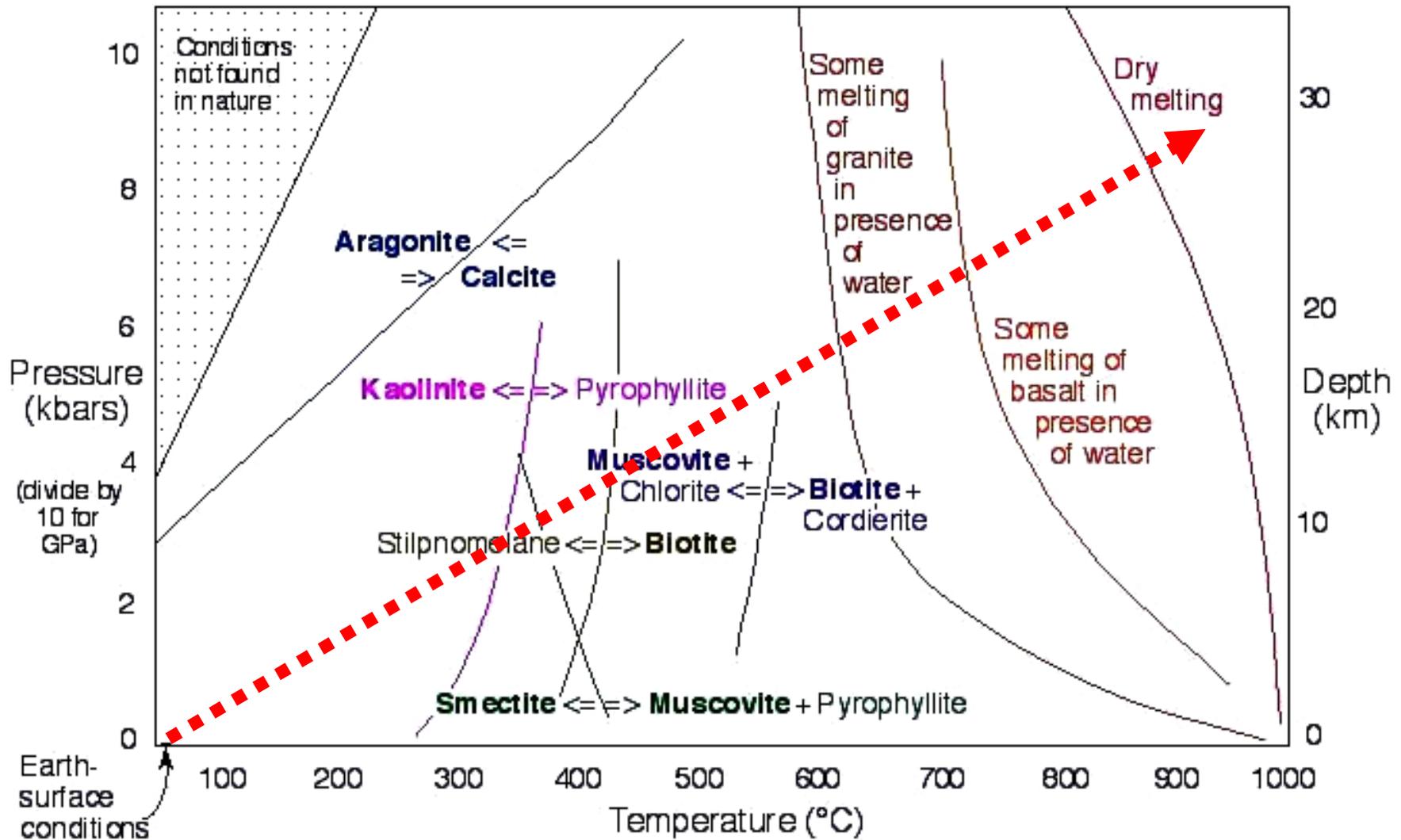
GEOHERMAL GRADIENT -- Controls Heat flow at Surface

Two Major Aspects of Geothermal Gradient:

- Conduction of heat from Mantle >> Limited effect in continents, Controlled by thickness of lithosphere (but note areas with thin lithosphere, e.g., Great Basin)
- Radioactive decay of U/Th/K >> important for continental crust

Type of Crust	Geothermal Gradient	Heat Flow at Surface	Example
Precambrian Shield	15-20°C/km	60 mW/m ² -sec	Canada
Active Margin (Arc)	30 ⁰ -35 ⁰ C/km	100-120 mW/m ² -sec	Sierra Nevada, Andes
Subduction Zone (Accretionary Complex)	10 ⁰ C/km	40 mW/m ² -sec	Franciscan Complex
Collisional Orogens	25 ⁰ -30 ⁰ C/km	80-110 mW/m ² -sec	Himalayas
Extensional Orogens	40 ⁰ -50 ⁰ C/km	120-150 mW/m ² -sec	Great Basin
Mid-Ocean Ridge	up to 60 ⁰ C/km	150-200 mW/m ² -sec	Mid-Atlantic Ridge

ESTABILIDADE DE ALGUNS MINERAIS COMUNS (e não só) NO PLANO P-T



...a temperaturas e pressões mais elevadas inicia-se a fusão húmida

O aumento da **profundidade** na crosta e no manto aumenta a temperatura

O aumento da **pressão** eleva o campo da temperatura de fusão

O aumento da **temperatura** aumenta a proporção de fusão parcial

O aumento do conteúdo de **água** faz diminuir a temperatura de fusão

A **composição da rocha** afecta a temperatura de fusão
minerais félsicos – menor temperatura
minerais máficos – maior temperatura

Factores que condicionam as temperaturas de fusão das rochas

Algumas conclusões dos dados anteriores

1. As rochas ácidas fundem a temperaturas mais baixas quando comparadas com as rochas básicas.
2. Um fundido ácido pode ser gerado a profundidades relativamente pequenas (35 km), enquanto um magma básico é gerado a cerca de 300km de profundidade.

Como se deslocam os magmas?

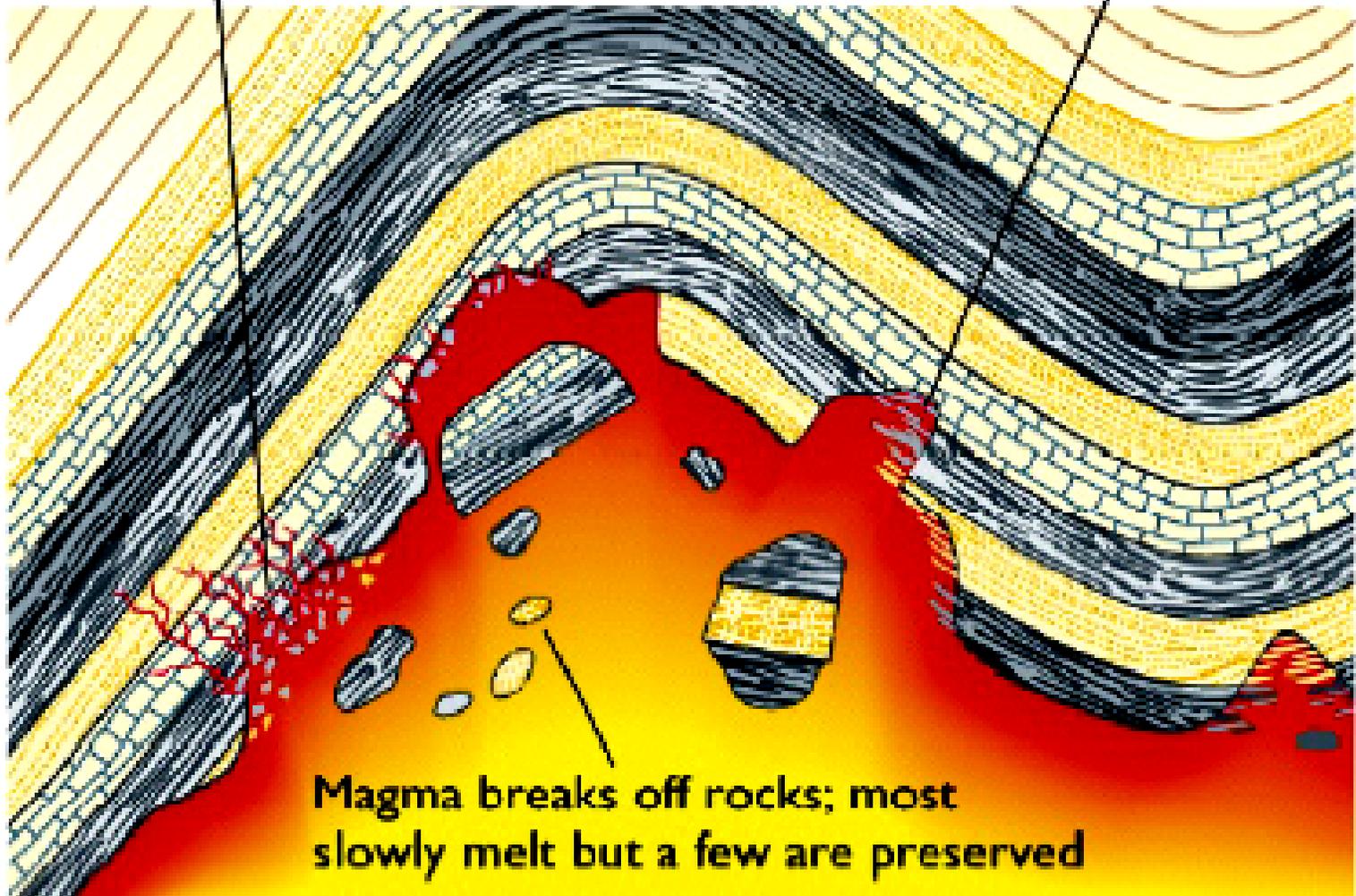
Como os magmas têm mobilidade e se encontram a elevada temperatura, o que lhes confere menor densidade que rochas subjacentes, têm tendência para subir para os níveis mais elevados da crosta ou mesmo até à superfície.

A ascensão do magma dá-se ao longo de falhas, fracturas ou outras descontinuidades, como os planos de estratificação, ou através de um processo conhecido como **“magmatic stoping”** (desmonte magmático), através do qual o magma interage com as rochas com as quais contacta, envolvendo-as e, eventualmente, fundindo-as, no que se designa como **assimilação magmática**.

A assimilação conduz à modificação da composição química do fundido e conduz à formação de condutas que facilitam o movimento ascensional do magma. A densidade e a viscosidade controlam o tipo de deslocação magmática.

Magma invades cracks

Magma melts walls
of country rock



Diferenciação Magmática

Processo através do qual um magma gera dois ou mais “corpos” com composições distintas.

Os processos envolvidos na diferenciação magmática são:

Cristalização fraccionada: os cristais mais densos que o magma têm tendência para precipitar na base da câmara magmática (cumulados) e os menos densos concentram-se nas partes superiores. Considera-se também a possibilidade da existência de filtragem sob pressão (filter pressing) em que o fundido é “esprimido” da polpa cristalina

Assimilação: quando o magma envolve e funde as rochas com as quais contacta, modificando assim a sua composição química (é contaminado pelas rochas encaixantes)

Mistura de magmas: contaminação de magmas diferentes, que poderão ser responsáveis pelo aparecimento de rochas de composição intermédia.

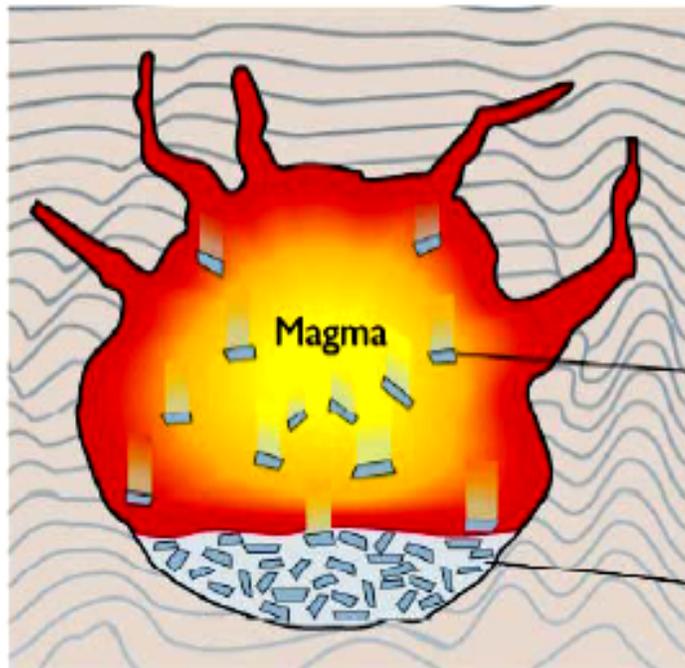
Cristalização convectiva e cristalização in situ: ex. movimentos de convecção geram estruturas de fluxo e de arrastamento de cristais.

Magma Differentiation

how do we get from here to there?

- **Fractional Crystallization**

- Separation of crystals from liquid *Sen, Fig. 10.2*
- Gravitative settling or flotation play a significant role



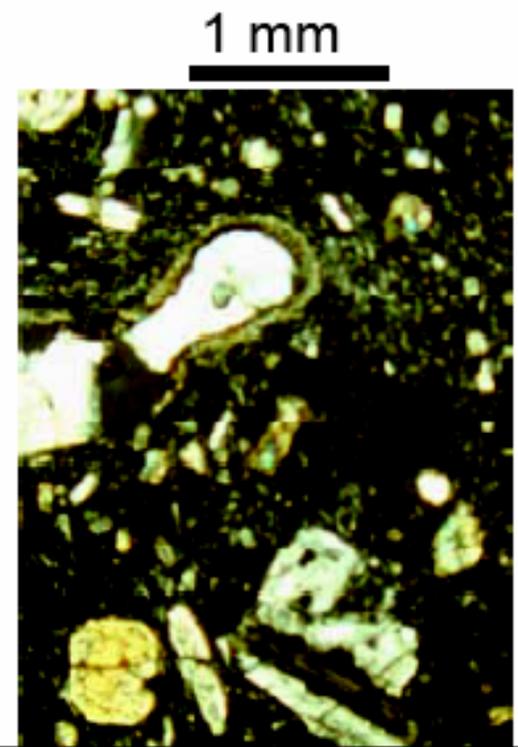
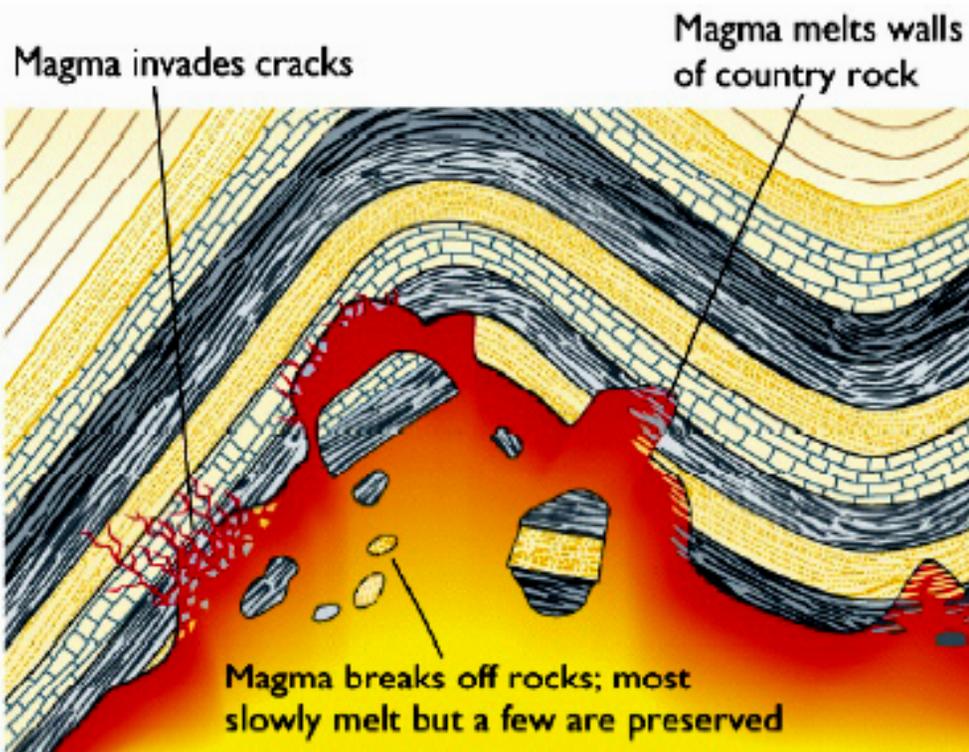
Crystals form from magma cooling and settle to floor of chamber

Crystals from early cooling accumulate

Magma Differentiation

how do we get from here to there?

- **Assimilation +/- Fractional Crystallization**
 - Reaction/dissolution of wallrock
 - Crystallization provides heat for reaction



Magma Differentiation

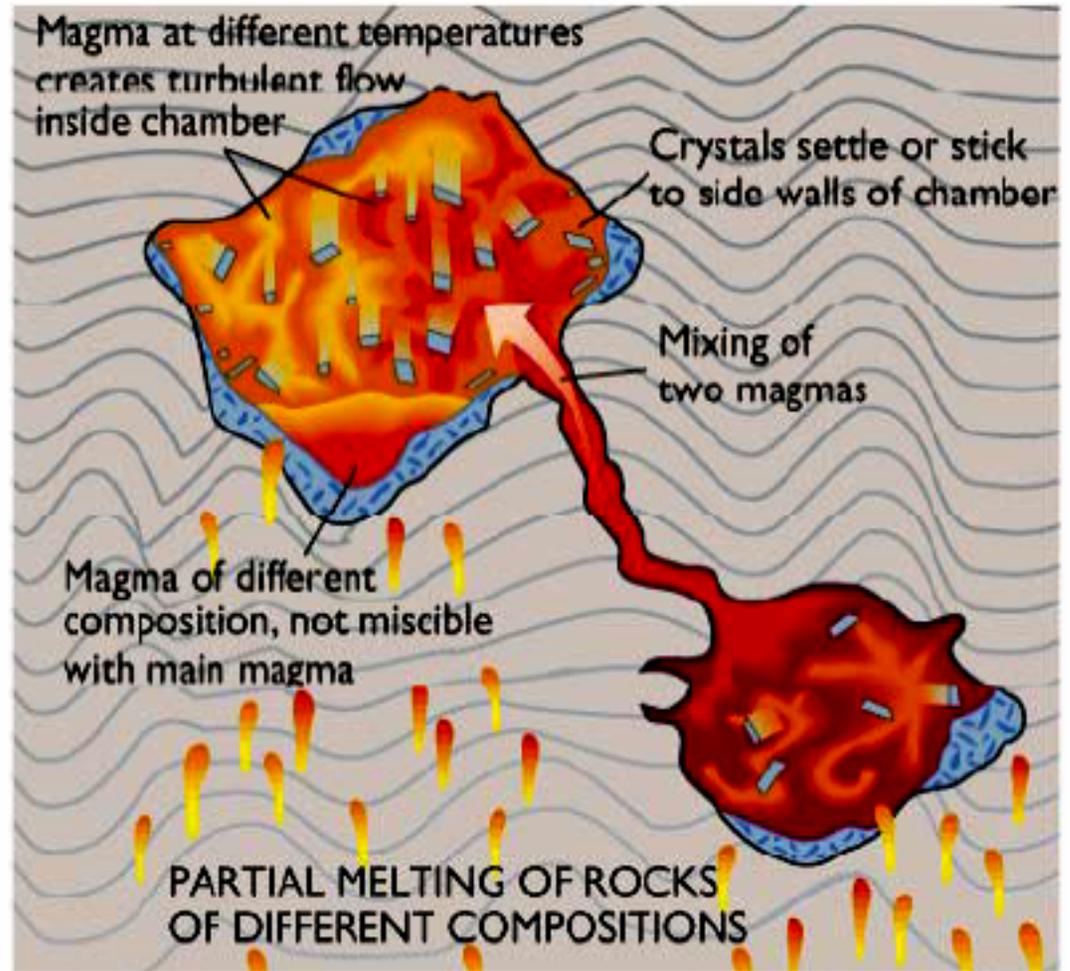
how do we get from here to there?

- **Magma Mixing**

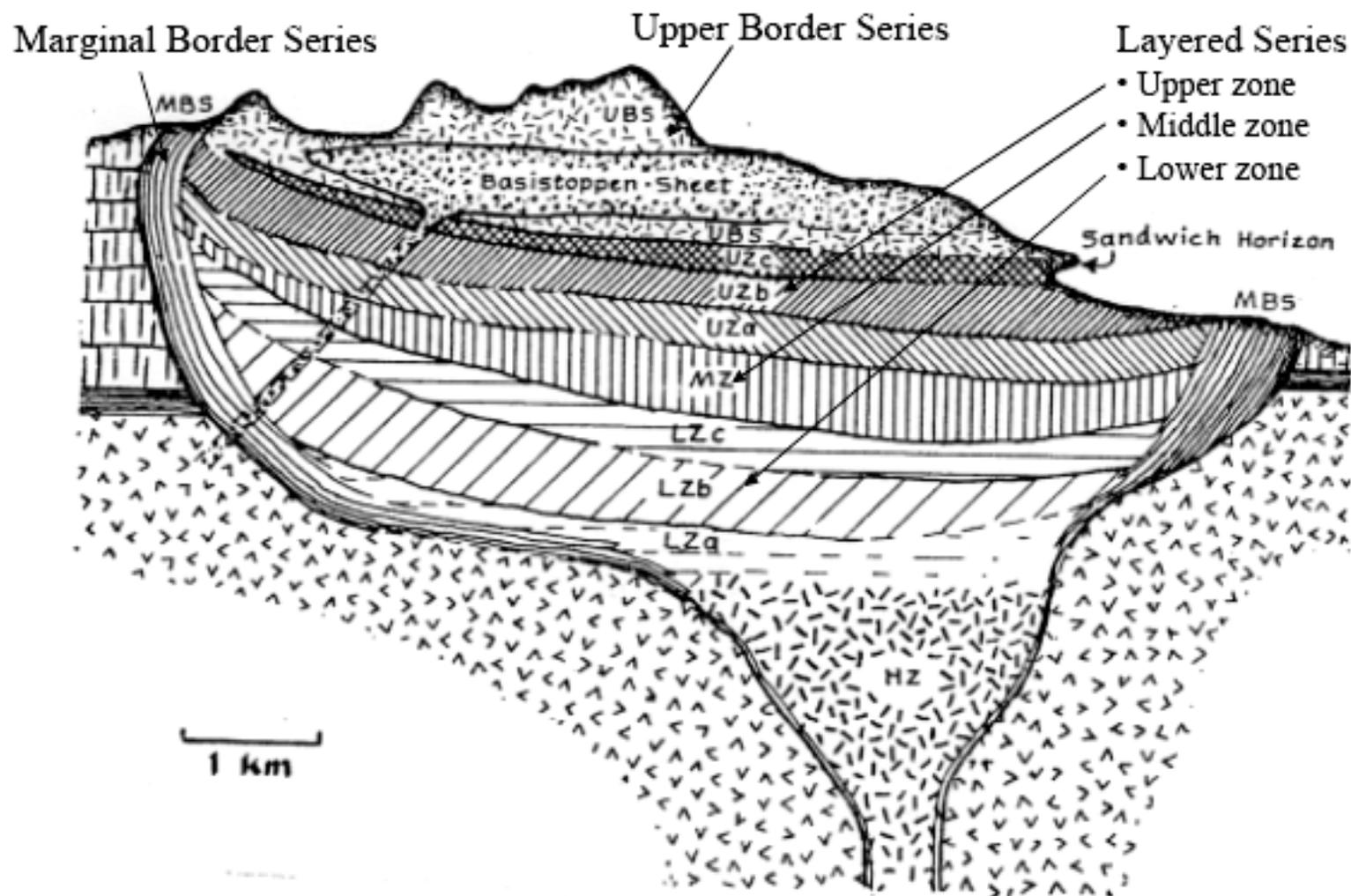
- What to look for?

- Reversely zoned minerals

- Reaction rims on minerals



Schematic E-W section of Skaergaard Intrusion



Como se formam as rochas ígneas a partir dos magmas?

Quando o magma ascende para níveis menos profundos e começa a **PERDER CALOR**, os minerais começam a **CRISTALIZAR**. Como a cristalização é o processo inverso da fusão, conhecer os mecanismos através dos quais as rochas fundem é muito importante para compreender o seu modo de formação a partir de um magma.

No geral, para a mesma composição de magma/rocha, os minerais que são mais **REFRACTÁRIOS** (fundem a maiores temperaturas) são os primeiros a cristalizar a partir dos magmas. Alguns minerais, precocemente formados, permanecem em contacto com o magma em arrefecimento, reagindo com ele e modificando a sua composição. Pelo contrário, outros minerais ao serem formados tem tendência para se separarem do magma, não reagindo com este, provocando assim uma modificação gradual da composição magmática (o magma fica mais pobre nos componentes consumidos pelos minerais em cristalização – ex. torna-se mais rico em sílica).

Ver séries de Reacção de Bowen !

Alta Temperatura

Olivinas

plagioclase cálcica (anortite)

↓
Piroxenas

↓
Anfibolas

↓
plagioclase calco-sódica

↓
Biotites

↓
plagioclase sódica (albite)

↓
Ortose

↓
Moscovite

↓
Quartzo

Série
descontínua

Série
contínua

SÉRIES DE BOWEN

Baixa Temperatura

Séries de Reacção de Bowen

Cristalização Fraccionada



Olivinas



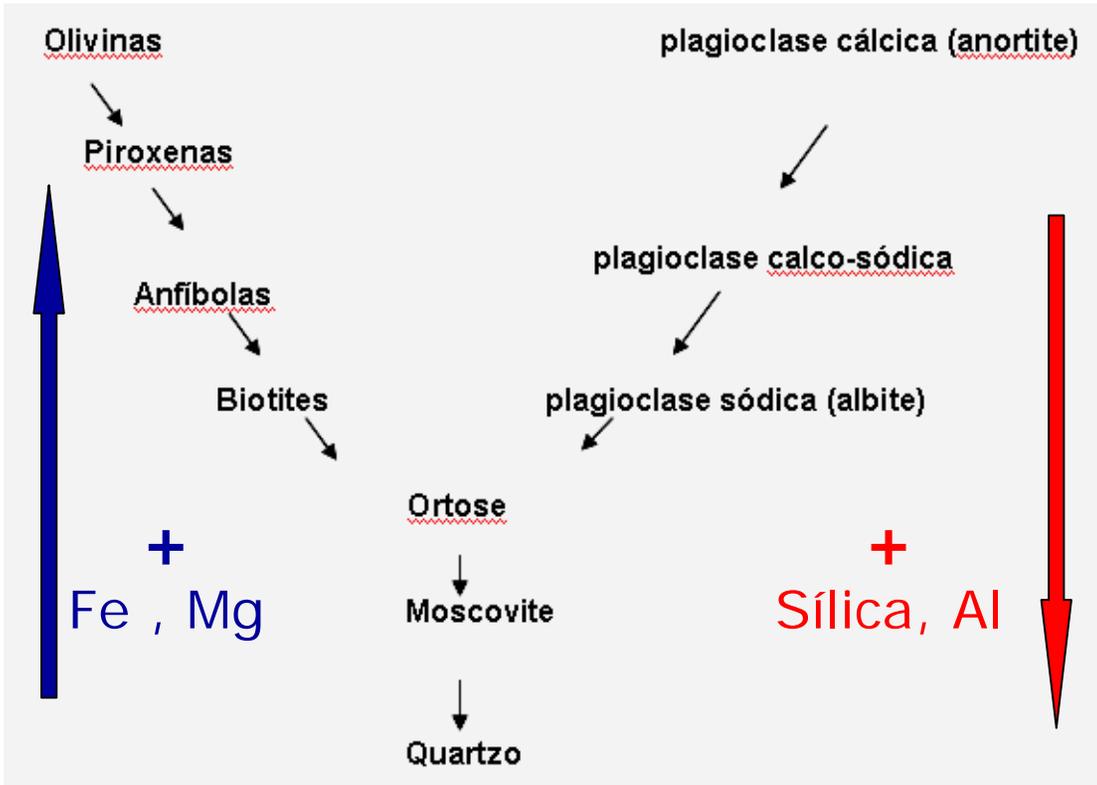
Piroxenas



Anfíbolas



Biotite



Moscovite



Quartzo 100% sílica



Feldspato alcalino (K)

A seguir um pequeno desafio!

A que temperatura funde a anortite (plagioclase cálcica)?

A que temperatura funde a albite (plagioclase sódica)?

Consegues descrever o que acontece quando um fundido com composição X arrefece ?

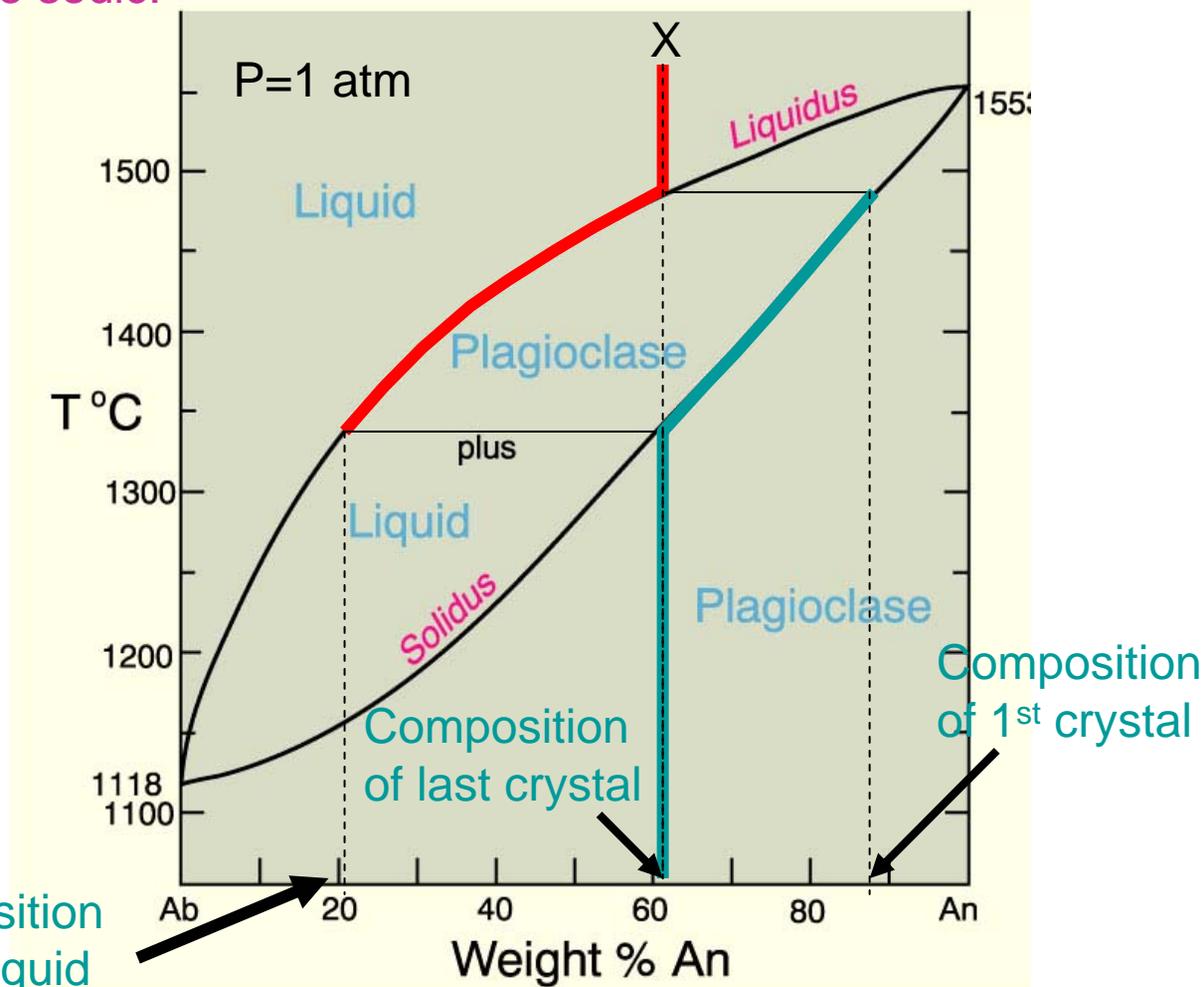
Se conseguires és um verdadeiro(a) craque !

Equilibrium Crystallization of the Plagioclase Feldspars

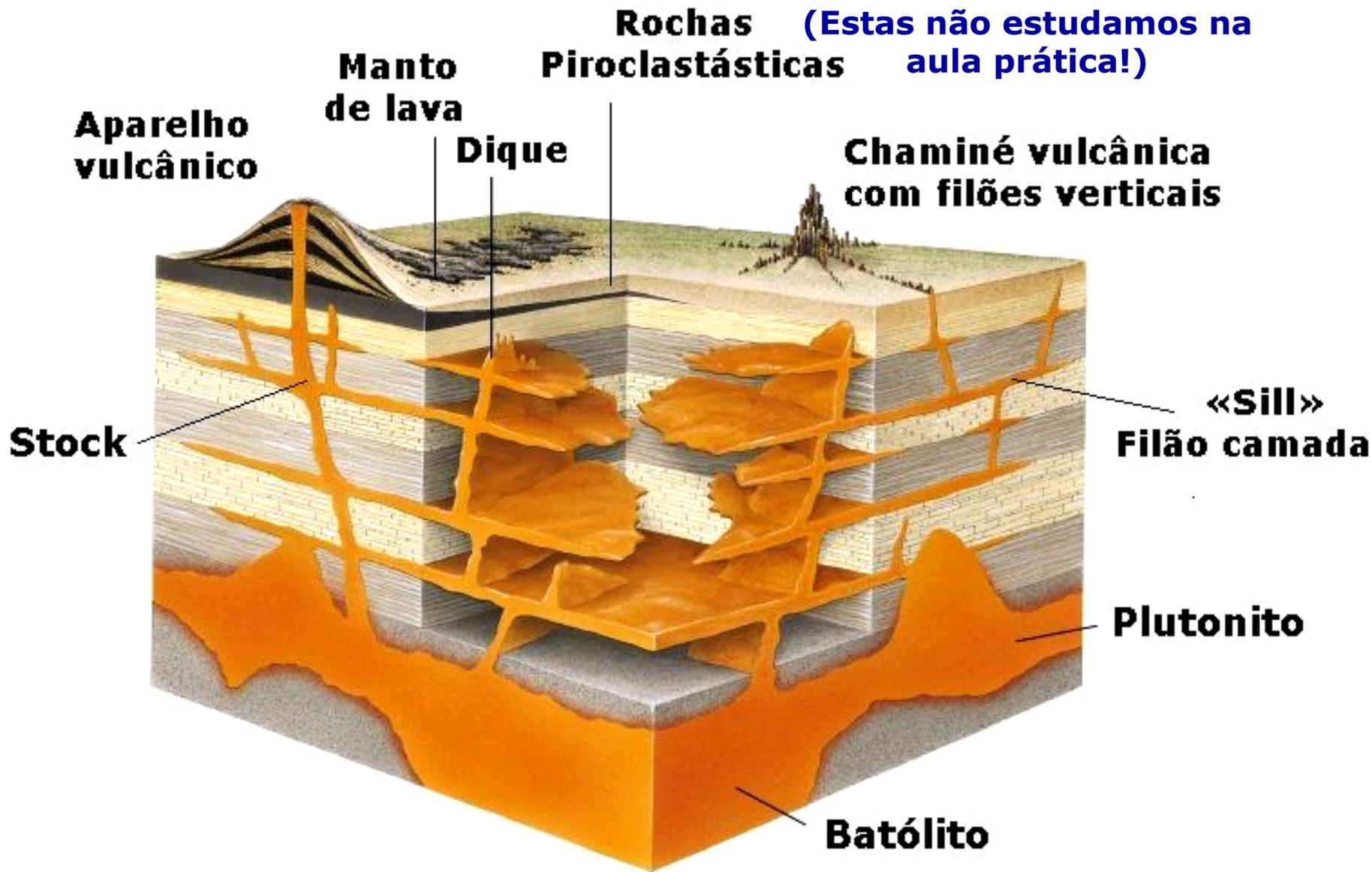
1. Liquid of composition X (An₆₁) cools to the liquidus
2. Crystals of approximately An₈₇ begin to form
3. Crystals have higher Ca/Na than liquid; precipitation of crystals causes L composition to become more sodic.

4. Ratio of Ca/Na in both crystals and liquid decrease with decreasing temperature; proportion of crystals increases as liquid decreases

5. Crystals of An₆₁ cool without further change in composition



Que tipo de estruturas apresentam as rochas magmáticas?



Estruturas de formações magmáticas