

GMG – 5852
Petrologia de Rochas
Metamórficas

**Metamorfismo de Rochas
Básicas - Máficas**

1

Principais tópicos

- Os **protólitos** e suas características
- Feições petrográficas gerais
- O sistema **NCMFASH (TO)** e o **diagrama ACF**
- Metamorfismo progressivo de metabasitos: as **fácies de Eskola**
- Metamorfismo de corpos lenticulares (“**boudins**”) com acesso restrito de fluidos
- Metamorfismo de **alta P**

2

Conceitos fundamentais

Rocha básica: SiO₂ (% em peso) entre 45 e 52
Rocha máfica: s.l. melanocrática (IC ≥ 50)

Principais protólitos:

1. Orto-derivados - basalto, diabásio (microgabro), gabro, rochas piroclásticas s.l. basálticas; andesitos e dioritos (rochas intermediárias) tem comportamento semelhante no metamorfismo;
2. Para-derivados – margas (rochas sedimentares mistas, pelíticas-carbonáticas).

3

Composição mineralógica fundamental dos protólitos

Plagioclásio + clinopiroxênio (cálcico e/ou sub-cálcico) + óxidos Fe-Ti

- Plagioclásio: labradorita a andesina (An₇₀₋₃₀), com zoneamento composicional
- Clinopiroxênio: augita e/ou pigeonita
- Óxidos Fe-Ti: magnetita +/- ilmenita

4

Outros minerais:

Mais frequentes: ortopiroxênio, quartzo, olivina, biotita, hornblenda, feldspato alcalino (ortoclásio), vidro vulcânico;

Acessórios comuns: apatita, sulfetos (calcopirita, pirita, pirrotita);

De alteração: “clorofeíta”, clorita, epidoto, calcita, “uralita” = actinolita, hidróxidos de Fe, muscovita, vermiculita, argilominerais.

5

Características gerais dos protólitos (1)

gabros, microgabros (= diabásios), basaltos e andesitos

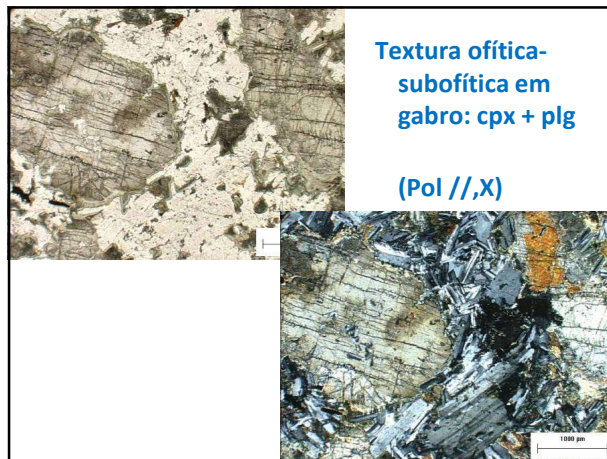
- paragênese ígneas de altas temperaturas (>1.000 a 700 °C), **anidras**;
- corpos de dimensões variáveis, geralmente tabulares (espessuras de poucos centímetros a centenas de metros);
- corpos maciços intrusivos e vulcânicos: baixa porosidade, grande contraste reológico com as demais rochas ao redor;

6

Protolitos de rochas máficas: gabro

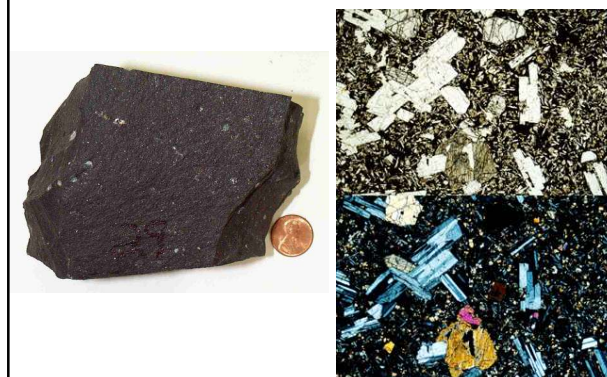


7



8

Protolitos de rochas máficas: basalto



9

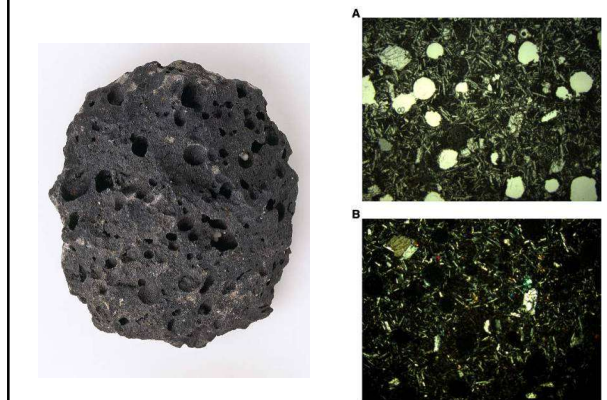
Características gerais dos protolitos (2)

basaltos vesiculares-amigdaloidais, tufos, *wackes*

- **basaltos, andesitos**: podem apresentar topos vesiculares-amigdaloidais;
- **rochas vulcanoclásticas** (tufos, brechas): alta porosidade, presença de água nos poros, e frequente alteração deutérica pré-metamórfica (hidratação, carbonatação);
- **sedimentos vulcanogênicos**: epiclastitos, *wackes* – alta porosidade, alteração, H_2O ;
- **margas**: carbonatos + argilas = $H_2O + CO_2$

10

Protolitos de rochas máficas: basalto vesicular

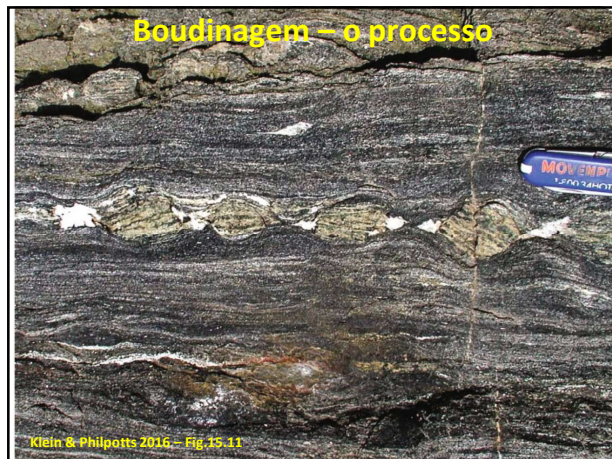


11

Fatores importantes

- **Protolitos anidros** – metamorfismo de baixo grau inicia-se com hidratação (confunde-se com efeitos de alteração deutérica);
- **Deformação**: abre acesso para os fluidos (bordas foliadas reequilibradas, núcleos maciços pouco modificados – *boudins*. Núcleos lenticulares em foliação anastomosada);
- **Rochas encaixantes**: se hidratadas (metassedimentos) ou relativamente anidras (ortognaisses, granulitos);
- **Sem acesso de fluidos**: associações mineral e texturas ígneas persistem.
- **Paragêneses metamórficas**: predominantemente de alta variância (número restrito de fases em equilíbrio) – sugere importância de reações contínuas.

12



13



14



15



16

Composição química dos protolitos (médias)

	Gabros	Basaltos MORB
SiO ₂	48,36	49,20
TiO ₂	1,32	2,03
Al ₂ O ₃	16,84	16,09
Fe ₂ O ₃	2,55	2,72
FeO	7,92	7,77
MnO	0,18	n.d.
MgO	8,06	6,44
CaO	11,07	10,46
Na ₂ O	2,26	3,01
K ₂ O	0,56	0,14
H ₂ O*	0,64	0,70
P ₂ O ₅	0,24	n.d.
Total:	100,00	98,56

17

Minerais característicos de metabasitos (Fácies Xisto Verde a Granulito)

Clorita (Chl) – (Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al)₆[(Si, Al)₄O₁₀](OH)₈

Actinolita (Act) – Ca₂(Fe, Mg)₅Si₈O₂₂(OH)₂

Hornblenda (Hbl) – NaCa₂Mg₄Al[Al₂Si₆]O₂₂(OH)₂

Albita (Ab) – NaAlSi₃O₈

Anortita (An) – CaAl₂Si₂O₈

Grupo do Epidoto (Ep, Zo, Czo) – Ca₂(Fe³⁺, Al)Al₂Si₃O₁₂(OH)

Calcita (Cal) – CaCO₃

Diopsídio (Di) – Ca(Fe, Mg)Si₂O₆

Granada (piropo – almandina - Grt) – (Fe, Mg)₃Al₂Si₃O₁₂

Ortopiroxênio (“Hiperstênio” - Opx) – (Fe, Mg)₂Si₂O₆

18

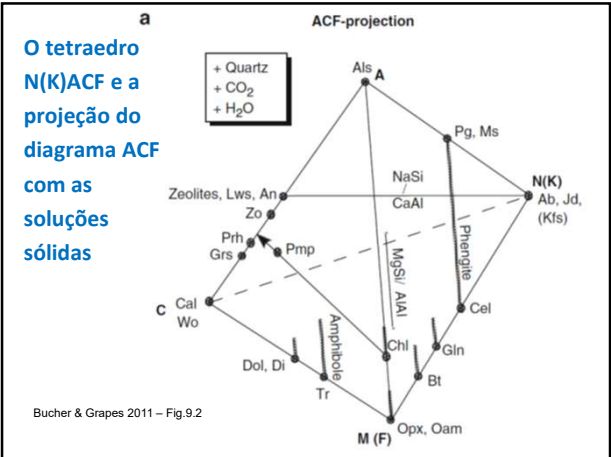
- Sistema mais completo: NCMFASH (TO)
 - Sistema "reduzido": ACF (F = F + M)

Diagrama ACF (Eskola) – não é um diagrama de fases no sentido restrito!

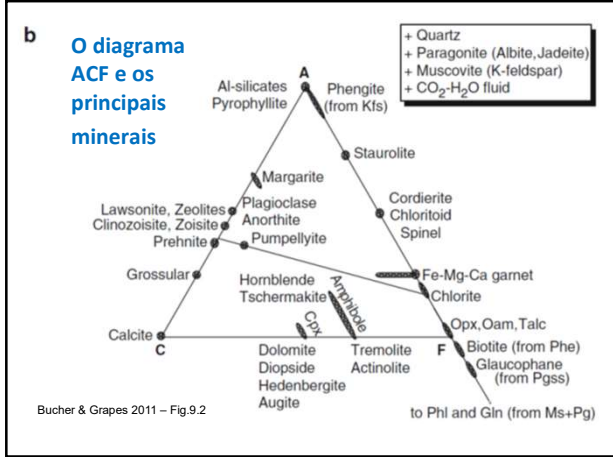
Para projetar composições de rochas (em P.M.):
 A = $Al_2O_3 + Fe_2O_3 - Na_2O - K_2O$
 C = CaO
 F = FeO + MgO + MnO

Obs: ACF de Spear = $AlO_{3/2} / CaO / (FeO+MgO+MnO)$

19



20



21

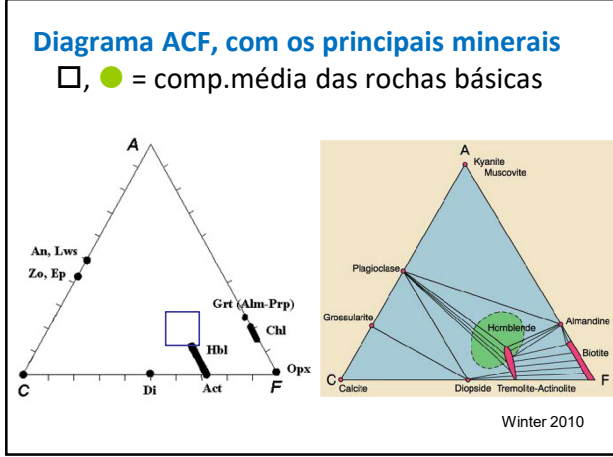
Soluções sólidas em minerais de metabasitos

Mg ↔ Fe (em piroxênios, anfibólios, etc)

Plagioclásios: NaSi ↔ CaAl (aumento do teor de An com aumento de grau)

Anfibólios:
 subst.edenítica - ${}^A Si^{IV} \leftrightarrow Na^A Al^{IV}$
 subst.tschermakítica - $Mg^V Si^{IV} \leftrightarrow Al^V Al^{IV}$

22



23

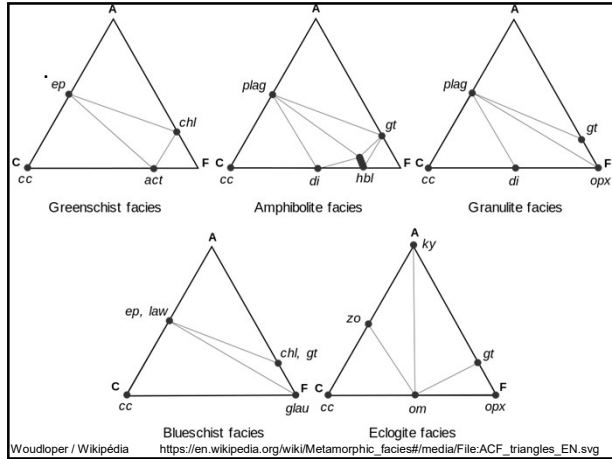
Fácies metamórficas de Eskola: nomes baseados nas rochas máficas – básicas

Sub-Xisto Verde: Zeólita, Prehnita-Pumpellyita
 - Pressão intermediária ("Barrowiano"):
 Xisto Verde → Epidoto Anfibolito → Anfibolito → Granulito

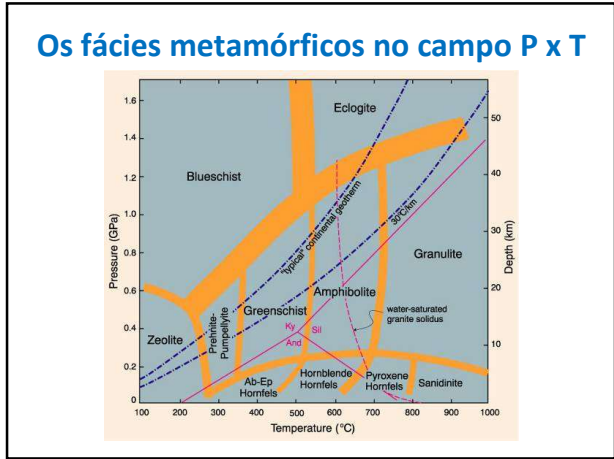
- Alta Pressão: Xisto Azul, Eclogito

- Baixa Pressão / Contato: Albite-Epidoto Hornfels, Hornblenda Hornfels, Piroxênio Hornfels, Sanidinito

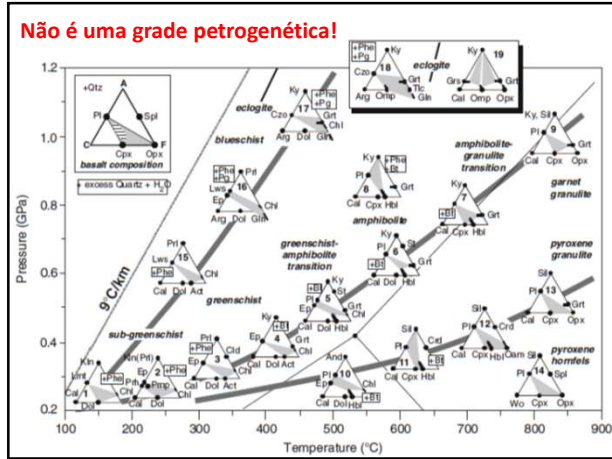
24



25



26



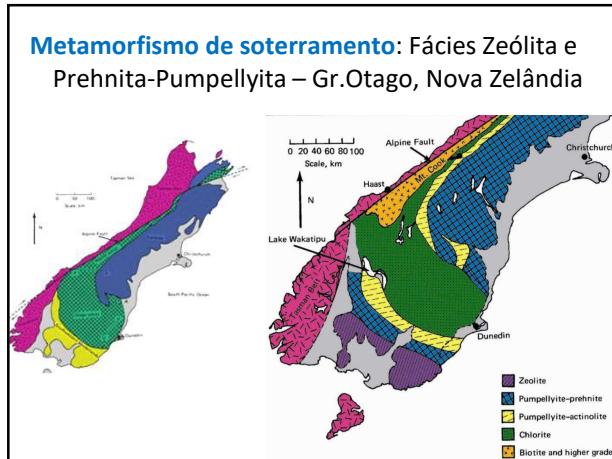
27

Fácies sub-Xisto Verde: fácies Zeólita , fácies Pumpellyita-Prehnita, f.Pumpellyita-Actinolita

Geralmente: metamorfismo de soterramento (*burial*) de rochas vulcanogênicas porosas (tufo, brechas, basaltos vesiculares, grauvascas = *wackes*);

Metamorfismo não-pervasivo: reações minerais em domínios composicionais susceptíveis (e.g. vidro vulcânico, matriz cripto-cristalina).

28



29

Fácies Zeólita

- Vidro e mesóstase cripto/ microcristalina \Rightarrow zeólitas (heulandita, analcima, wairakita) \pm quartzo e filossilicatos (montmorillonita, celadonita); fases ígneas + ou – pristinas;
- Com grau crescente: forma-se laumontita ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), clorita e Na-plag \Rightarrow albita (pseudomorfos);

Obs: analcima = $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
 heulandita = $\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
 wairakita = $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 laumontita = $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$


30

Fácies Prehnita-Pumpellyita

prehnita, pumpellyita e epidoto em vez de laumontita

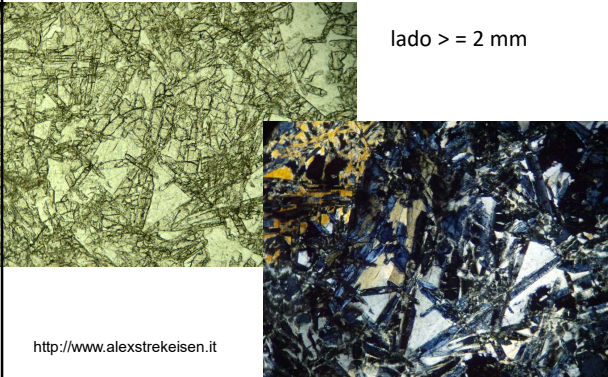
- T° <: prehnita + pumpellyita + clorita + albита + epidoto;
- T° >: prehnita + pumpellyita + actinolita;
- P >: lawsonita + albита
- Presença de CO₂ inibe laumontita e prehnita.

Prehnita - Ca₂Al(AlSi₃O₁₀)(OH)₂
 Pumpellyita - Ca₄(Mg,Fe)(Al, Fe³⁺)₅O(OH)₃(Si₂O)₂(SiO₄)₂ →



31

Pumpellyita-prehnita em gabro (Toscana, IT)



lado > = 2 mm

<http://www.alexstreiken.it>

32

Pumpellyita-prehnita em gabro (Toscana, IT)



lado > = 2 mm

Pmp

Prh

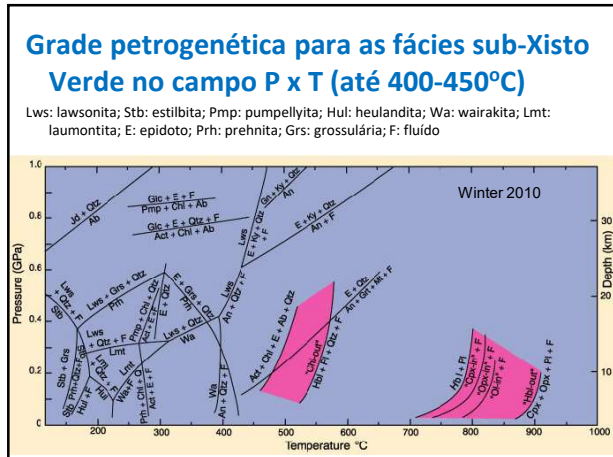
33

Pumpellyita-prehnita em gabro (Toscana, IT)

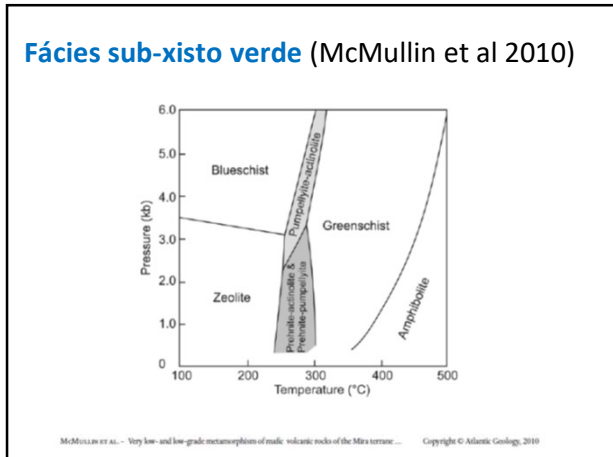


lado > = 2 mm

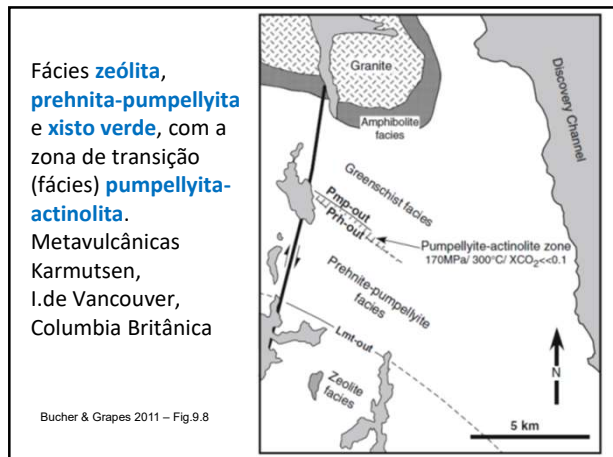
34



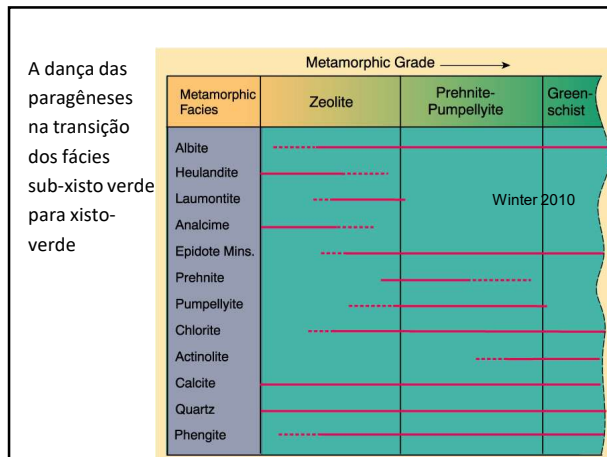
35



36



37



38

Em campos geotermiais (gradientes geotérmicos acentuados – circulação intensa de água aquecida = géiseres) – e.g. Reykjanes, Islândia: associações minerais comparáveis às de terrenos com metamorfismo de soterramento, T entre 100 – 300 °C.

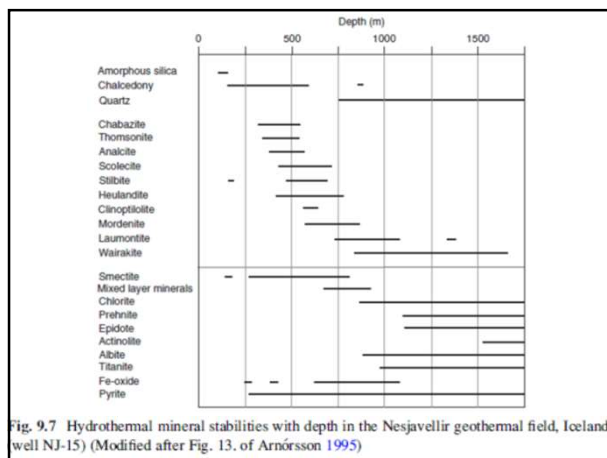
Nas partes superiores: zeólitas (mordenita, estilbita, mesolita, analcima, wairakita);

Nas partes mais profundas, T° > 230 °C: prehnita, epidoto e clorita; plagioclásio ⇔ albite e/ou Kf;

Qdo T° > 300 °C: presença de actinolita;

Águas ricas em CO₂ (Salton Sea, Califórnia, EUA): zeólitas e prehnita não se desenvolvem, e clorita e epidoto marcam o início das transformações.

39



40

Transição da fácies Prehnita-Pumpellyita para fácies Xisto Verde

Exemplos de reações:

- $5Prh + Chl + 2Qtz = 4Zo + Act + 6H_2O$
- $25Pmp + 2Chl + 29Qtz = 7Act + 43Zo + 67H_2O$
- $14Lws + 5Pmp = 17Zo + Chl + 4Qtz + 33H_2O$
- $4Wa + Ab = Pg + 2Zo + 10Qtz + 6H_2O$
- $4Lmt + Ab = Pg + 2Zo + 10Qtz + 14H_2O$

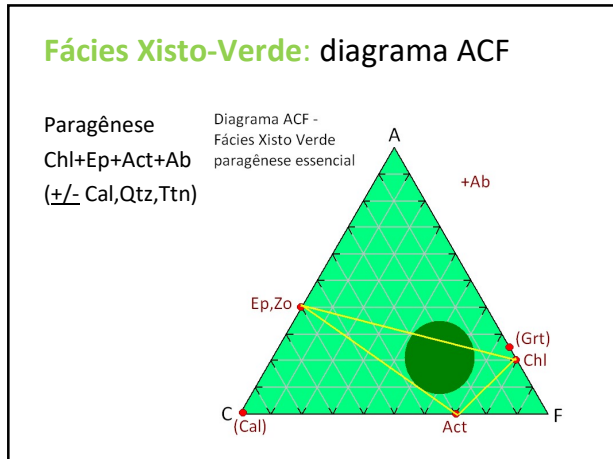
41

Metamorfismo progressivo de P intermediária

Fácies Xisto Verde – rocha-tipo: clorita-albita-epidoto-actinolita xisto (xisto verde s.s.).

- Outros minerais comuns: titanita (leucóxênio), magnetita e/ou ilmenita, calcita, quartzo, granada, biotita.
- Texturas: lepidograno-nematoblástica ou relíquias ígneas (blastofítica, blastosubofítica)

42



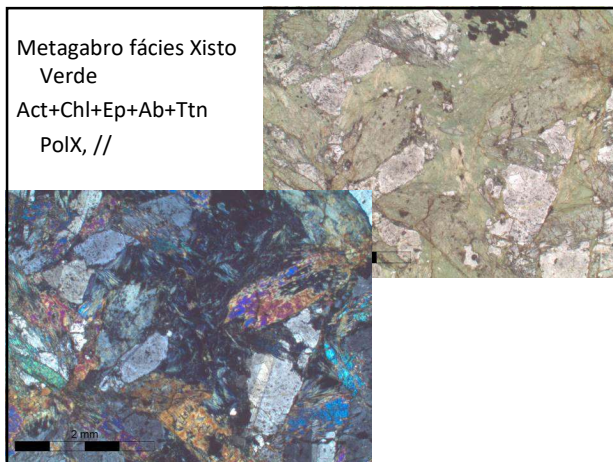
43



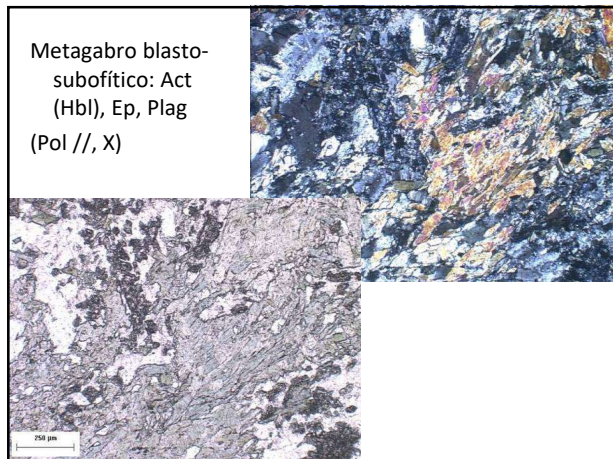
44



45



46



47

Metamorfismo progressivo de P intermediária
transição **Fácies Xisto Verde – Fácies Anfibolito**

- **clorita, epidoto (e calcita)** são consumidos
- **actinolita** se transforma em **hornblenda** (s.s.)
- **albita** (ou Na-oligoclásio) enriquece em Ca e Al (aumento do teor de An) continuamente, após transpor a **lacuna da peristerita** (s.s.)
- **leucoxênio** e **ilmenita** dão lugar a **titanita**

48

Transição **Fácies Xisto Verde – Fácies Anfíbolito**

Reações **descontínuas**:

- $Chl + Al-Ep + Qtz = Hbl(Tsch) + An + H_2O$
- $Ab + Act = Hbl(Eden) + Qtz$ (v. bordas carcomidas em Plag ripiforme ígneo!)
- $Act + Chl + Qtz + Al-Ep = Hbl(Tsch) + H_2O$

Reações **contínuas** (sliding reactions):

$Act \Rightarrow Hbl(Tsch, Eden), Ab \Rightarrow Plag(An > 17)$

49

Relação entre teor de Al_2O_3 em clorita e em Ca-anfíbólio com o aumento do grau metamórfico

Varição do teor de anortita (An) em plagioclásios com o aumento do grau metamórfico (com f. epidoto-anfíbolito)

50

Metamorfismo progressivo de P intermediária

- **Fácies Epidoto - Anfíbolito** – intermediário entre fácies Xisto Verde e Anfíbolito a P maiores

- Rocha-tipo: **epidoto anfíbolito** = Hbl (hornblenda) + Plag (plagioclásio, $An < 17$) + Ep (epidoto)
- Outros minerais comuns: granada, quartzo, titanita, magnetita e/ou ilmenita, biotita;
- Texturas: nemato-granoblástica, mais raramente relíquias ígneas (blastofítica, blastosubofítica, blastoporfírica)

51

Transição fácies **Xisto Verde – Anfíbolito**

$P < s$: epidoto é consumido antes da clorita:

- $Ab + Ep + Chl + Qtz = Olg + Hbl(Tsch) + Mt + H_2O$ ou:
- $Hbl_1 + Chl_1 + Ep + Ab = Hbl_2 + Chl_2 + Qtz + H_2O$

$P > s$: clorita é consumida antes do epidoto:

- $Chl + Ttn + Qtz + Act = Hbl(Tsch) + Ilm + H_2O$

\Rightarrow **Fácies Epidoto-Anfíbolito**

Finalmente – **Ep-out** ($P > s$):

- $Ab + Ep + Hbl_1 + Qtz = Hbl_2 + H_2O$

52

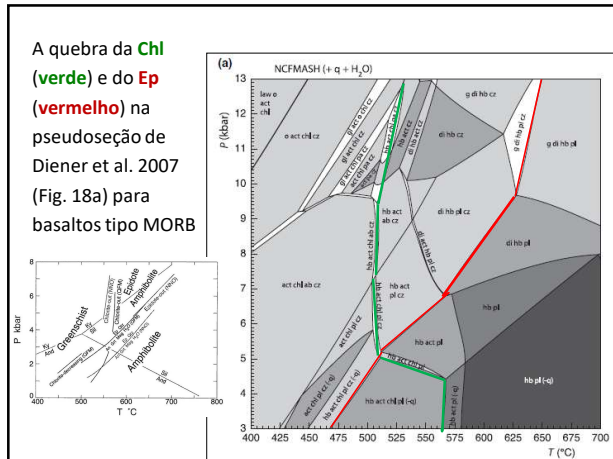
Reações “Chl-out” e “Ep-out” (Apted & Liou 1983)

Fig. 5. Comparison of chlorite-out and epidote-out reaction boundaries from this and previous studies. Note the epidote-out reaction boundary in this study is not reversed and represents a maximum temperature limit.

53

Transição **Xisto Verde – Epidoto Anfíbolito – Anfíbolito** (Apted & Liou 1983, dados experimentais)

54

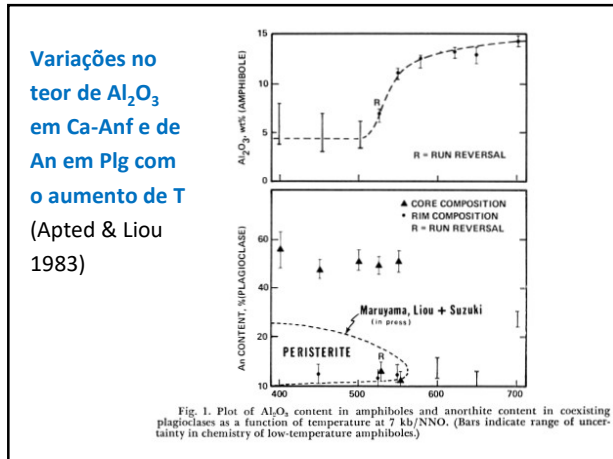


55

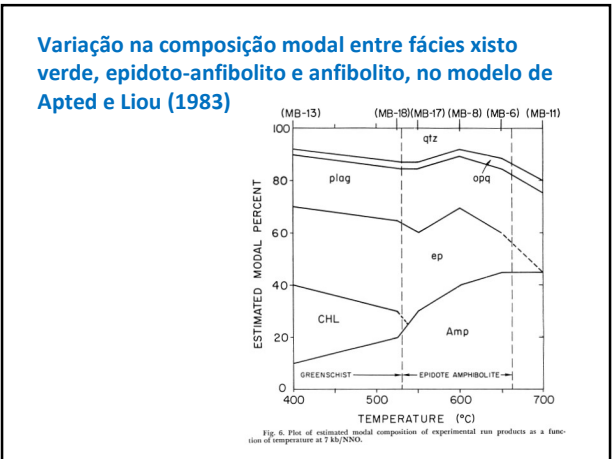
Reações na transição xisto verde – epidoto-anfibolito – anfibolito

1. $Chl + Tit + Qz + Act = Al-Amph + Ilm + H_2O$
2. $Ab + Ep + Chl + Qz = Olig + Tschermak + Mt + H_2O$
3. $Ep + Ab + Hbl (I) + Qz = Olig + Hbl (II) + H_2O$
4. $Amph (I) + Chl (I) + Ep + Ab = Amph (II) + Chl (II) + Qz + H_2O$
5. $Amph (I) + Chl (I) + Ep + Ab = Amph (II) + Olig \pm Chl (II) \pm Qz + H_2O$
6. $Amph (I) + Chl (I) + Ep(?) + Ab + Tit = Amph (II) \pm Ilm \pm Qz + H_2O$

56



57



58

Metamorfismo progressivo de P intermediária

- Fácies Anfibolito

- Rocha-tipo: **anfibolito** = Hbl (hornblenda) + Pl (plagioclásio, $An \geq 17$)
- Outros minerais comuns: granada, quartzo, diopsídio, titanita, magnetita e/ou ilmenita, biotita
- Texturas: nemato-granoblástica, decussada, porfiroblástica, mais raramente relíquias ígneas (blastofítica, blastosubofítica)

59



60



61



62

Texturas em anfibolitos

- granoblástica poligonizada (corte normal à foliação)
- grano-nematoblástica (corte // à foliação)

63

Textura granoblástica poligonizada

Atenção: corte perpendicular à lineação!
Notar seções basais da Hbl!

64

Textura grano-nematoblástica – Hbl + Plag

Corte // à lineação

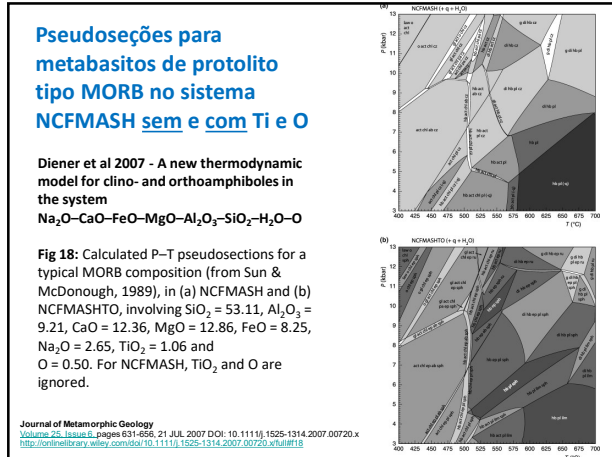
65

Fácies Anfibolito: diagrama ACF

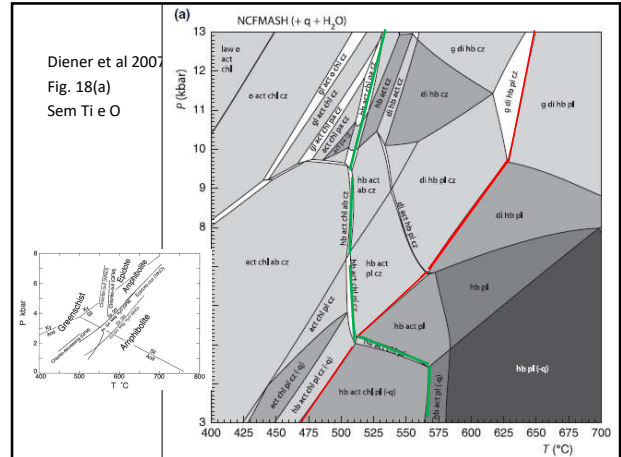
Paragênese
Hornblenda +
Plagioclásio (An>17)
(± Di ou Grt)

Diagrama ACF -
Fácies Anfibolito
paragênese essencial

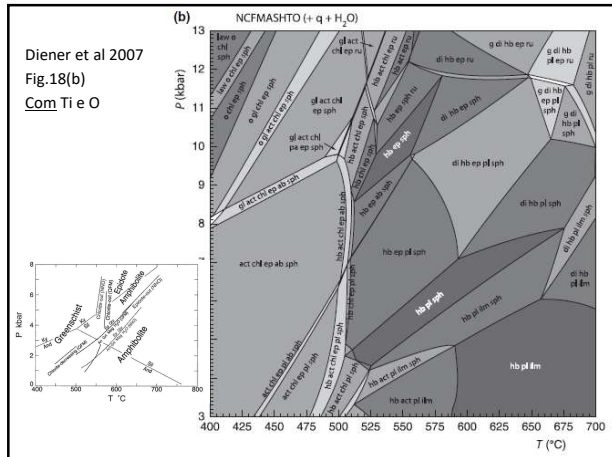
66



67



68



69

Substituição da paragênese ígnea diretamente no fácies anfibolito

Núcleos de boudins e corpos maiores

- Cpx (Aug) + H₂O = Hbl + Qtz + Ilm/Rt
- Opx + H₂O = Cum + Qtz

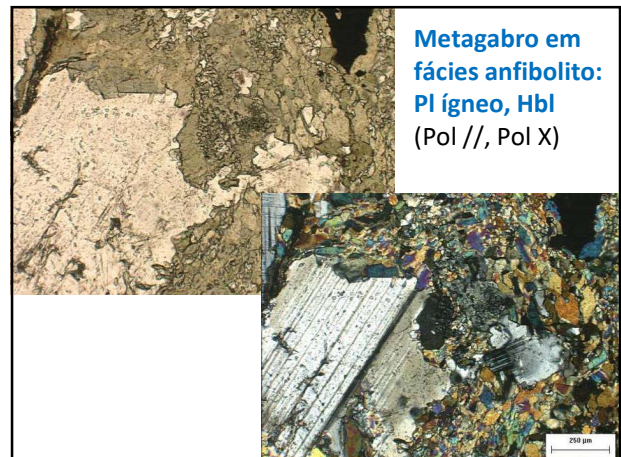
Plagioclásio: bordas corroídas (subst. edenítica em Hbl: □ASi^{IV} ↔ Na^AAl^{IV}); núcleo preservado, eventualmente reequilibrado-recristalizado (PI metamórfico: poligonizado, zoneamento inverso)

Cpx: pseudomorfos, às vezes até monocristalinos (grão a grão), com Qtz goticular e Ilm/Rt em nuvens de opacos em Hbl ± Act ± Cum.

70

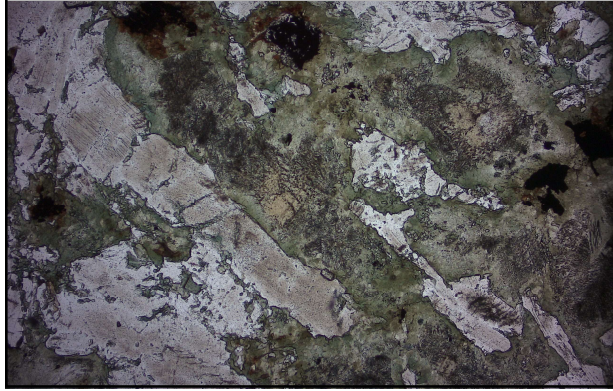


71



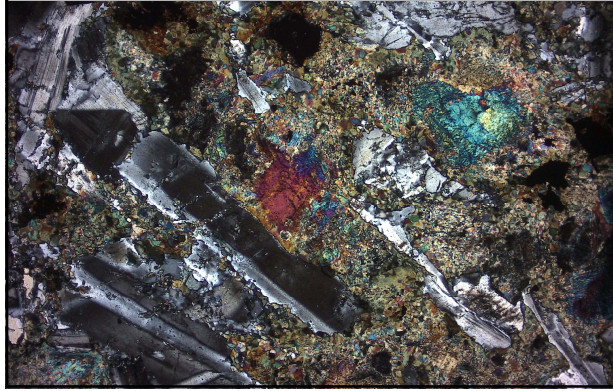
72

Metagabro: textura blasto-subofítica. Pl ripiforme ígneo, Hbl e Act nas bordas do Cpx (Pol //)

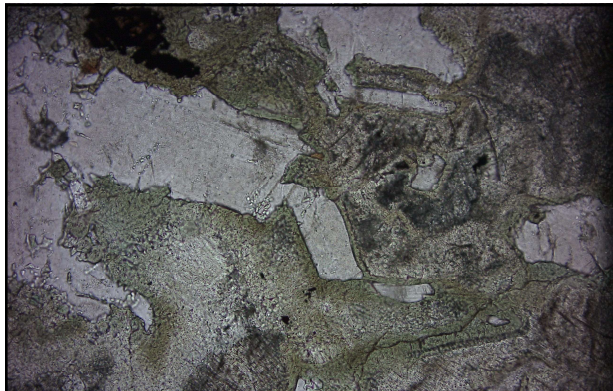


73

Metagabro: textura blasto-subofítica. Pl ripiforme ígneo, Hbl e Act nas bordas do Cpx (Pol X)

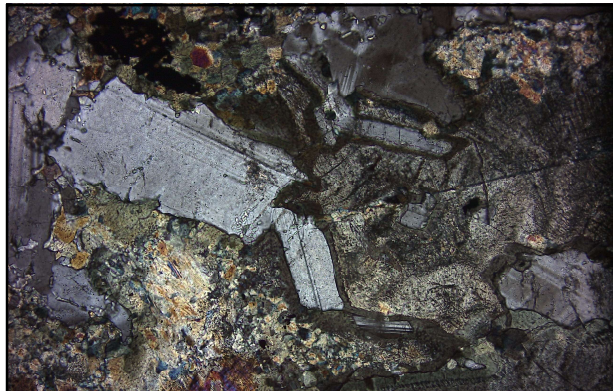


74



Metagabro: textura blasto-subofítica. Pl ripiforme ígneo, Hbl e Act nas bordas do Cpx (Pol //)

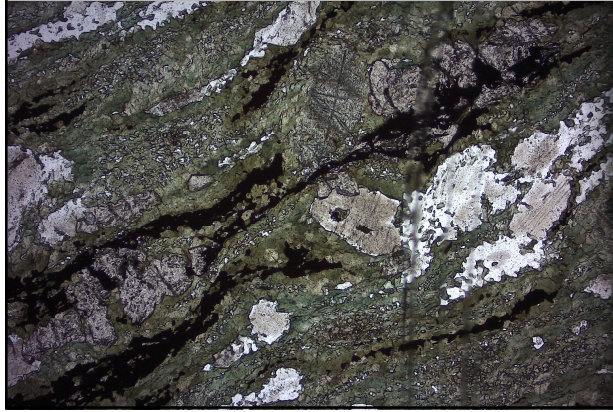
75



Metagabro: textura blasto-subofítica. Pl ripiforme ígneo, Hbl e Act nas bordas do Cpx (Pol //)

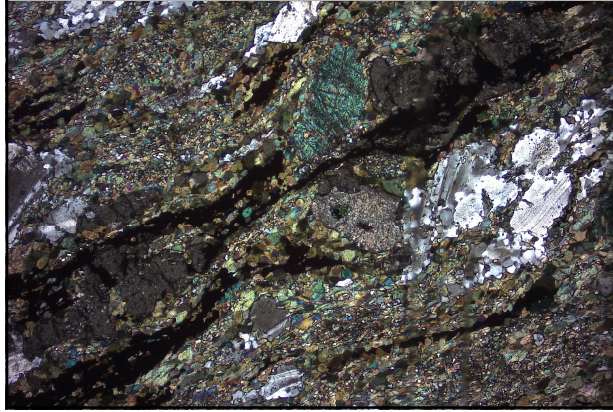
76

Anfibolito – núcleo → borda de *boudin* (Pol //)



77

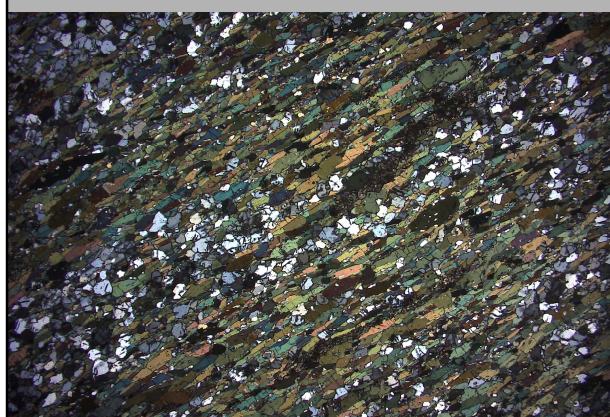
Anfibolito – núcleo → borda de *boudin* (Pol X)



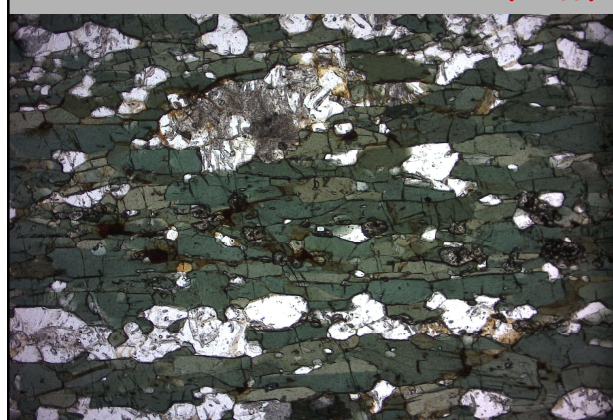
78

Anfibolito – borda de *boudin* (Pol //)

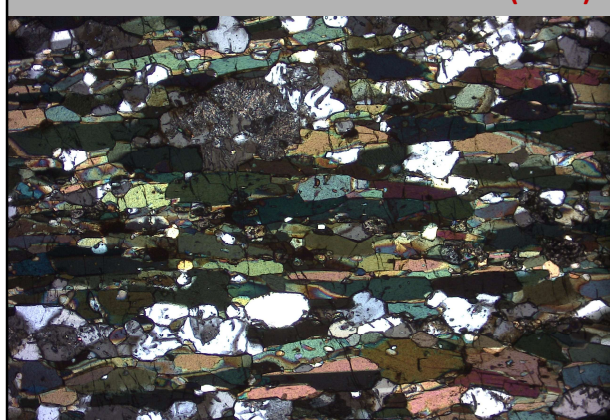
79

Anfibolito – borda de *boudin* (Pol X)

80

Anfibolito – borda de *boudin* - detalhe (Pol //)

81

Anfibolito – borda de *boudin* – detalhe (Pol X)

82

Metamorfismo progressivo de P intermediária

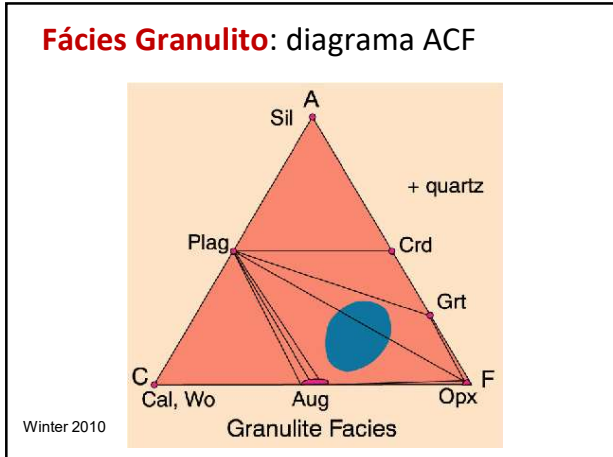
- **Fácies Anfibolito inferior** = fácies Epidoto Anfibolito (Ep + Ab + Hbl)
- **Fácies Anfibolito superior**: presença de Cpx (diopsídio) – início da “quebra” da Hbl por desidratação da rocha;
- **Fácies Granulito**: presença de **Opx** – substituição da Hbl por Opx + Cpx (reações de “quebra” da Hbl, fusão parcial).

83

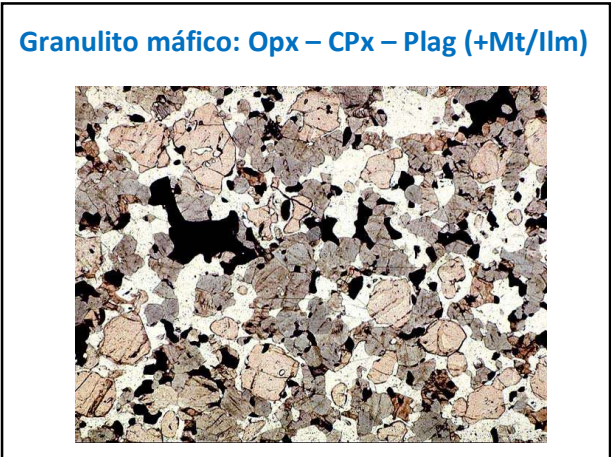
Reações na fácies Granulito

- 1) Hbl (Tsch) = Plg (An) + Cpx + Opx + H₂O
 - 2) Hbl (Eden) + Qtz = Plg (Ab) + Cpx + Opx + H₂O
 - 3) Qtz + Hbl = Cpx + H₂O
 - 4) Qtz + Hbl = Opx + Cpx + H₂O
 - 5) Hbl = Cpx + Opx + H₂O
 - 6) Cpx + Qtz + Grt = Opx + Plg
 - 7) Qtz + Hbl ± Plg + H₂O = Opx + Cpx ± Grt + fundido
- **Baixa P**: Opx, Cpx, Plg ± Hbl, Ol
 - **P Intermediária**: Opx, Cpx, Plg, Grt ± Hbl
 - **Alta P**: Grt, Cpx, Qtz + **Opx OU Plg !!**
(Obs: Opx+Plg = Grt+Cpx+Qtz)

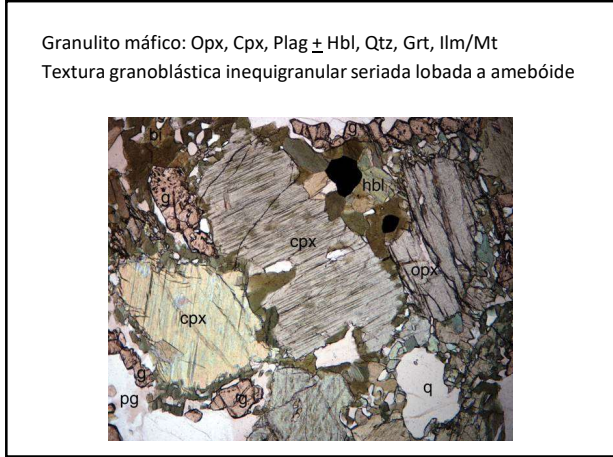
84



85



86



87

Metamorphic Grade →

Metamorphic Facies	Greenschist	Transitional States	Amphibolite	Granulite			
Albite				Andesine			
Plagioclase > An ₇		Oligoclase					
Epidote				Winter 2010			
Actinolite							
Hornblende							
Augite							
Orthopyroxene							
Chlorite							
Garnet							
Biotite							
Quartz							
Phengite							
Cummingtonite							
Zone for associated metapelites	Chlorite Zone	Biotite Zone	Garnet Zone	Staurolite and Kyanite Zones	Sillimanite-Muscovite Zone	K-feldspar-Sillimanite Zone	Cordierite-Garnet Zone

88

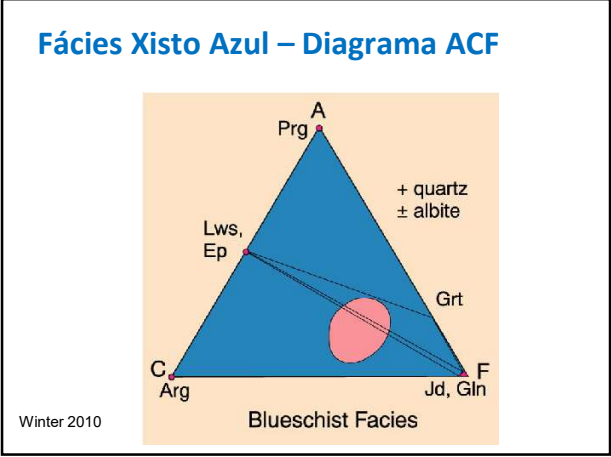
Metamorfismo de alta P: Fácies Xisto Azul e Eclogito

F.Xisto Azul – alta P, baixa T (300-500°C, >6kbar)

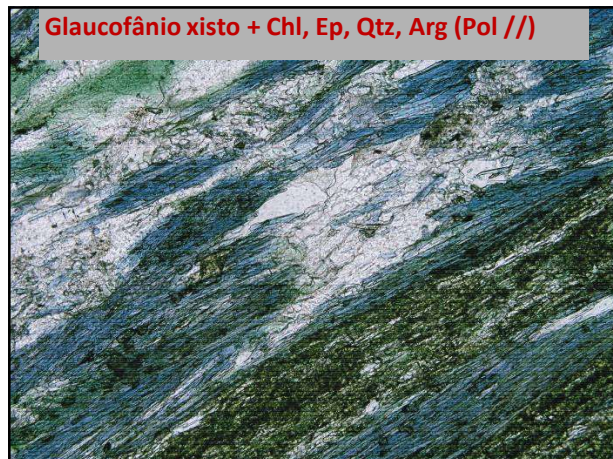
Mineral tipo:
Glaucofânio (azul) - $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
 (Subst. Catiônica: $\text{NaAl}^{\text{VI}}\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-1}$)

Outros minerais característicos: Lawsonita (Lws), Cpx jadeítico, Aragonita (Arg) ± Ab, Chl, Ep, Grt, Ttn, Rt

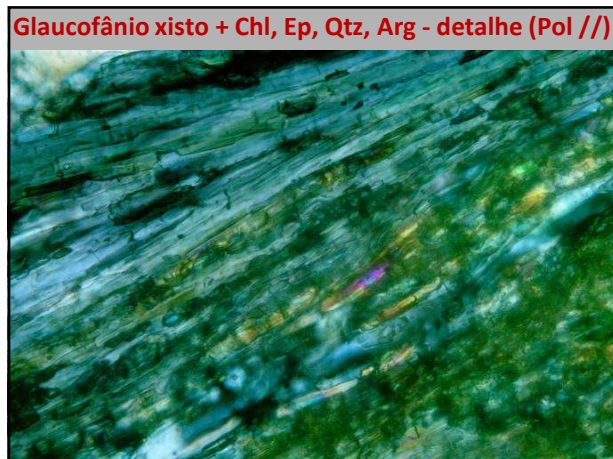
89



90



91



92

Metamorfismo de alta P: fácies Eclogito

F. Eclogito: alta P (20-30 Kb) e T (500-750°C)

Associação característica: **Onfacita** (Na-Cpx, Omp) e **Granada** (Grt – Alm-Prp-Grs) ± Rutilo (característico), Qtz, Ky, Tlc, Phl, Ms (fengita)

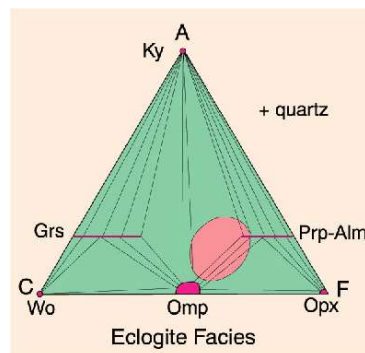
Diamante, coesita, aragonita: P muito alta!

Plagioclásio ausente!

Rocha-tipo: **eclogito** (basaltos MORB conduzidos ao manto em zonas de subducção e colisão continental)

93

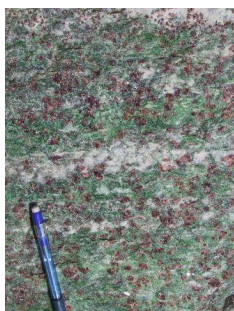
Fácies Eclogito: Diagrama ACF



Winter 2010

94

Eclogito



95

Downloaded from <http://sp.lyellcollection.org/> by guest on March 26, 2019

Phase relations in metabasic rocks: constraints from the results of experiments, phase modelling and ACF analysis

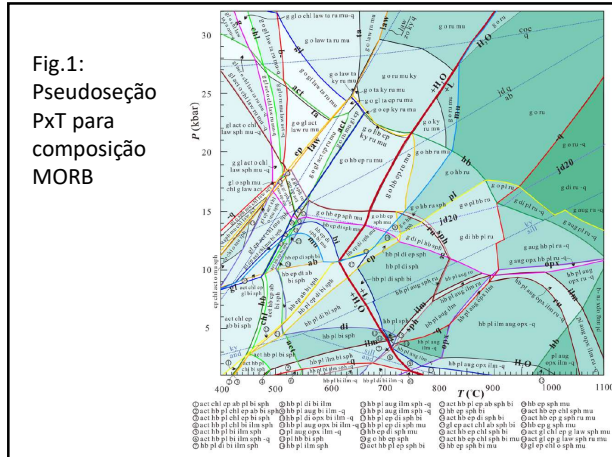
C. J. WEI* & Z. Z. DUAN

MOE Key Laboratory of the Orogenic Belt and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

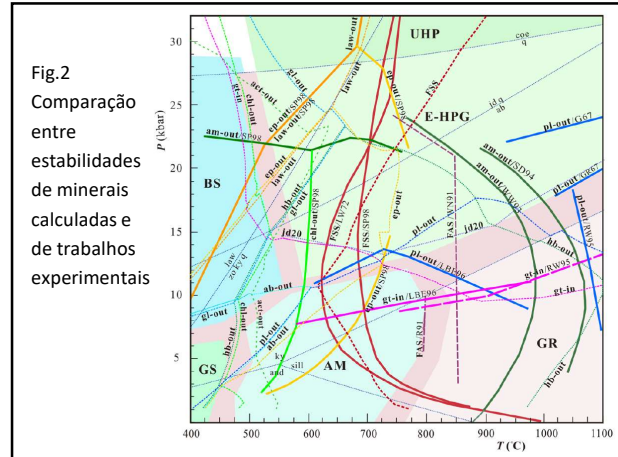
*Correspondence: cjwei@pku.edu.cn

Abstract: Phase relations in metabasic rocks are documented from the results of phase modelling, experiments and ACF analysis. A P - T pseudosection for a mid-ocean-ridge basalt (MORB) composition was calculated in the P - T range of 1–32 kbar and 400–1100°C using THERMOCALC 3.45. Phase relations in this pseudosection are mostly consistent with the results from experiments but complicated. ACF analyses suggest that the complicated phase relations can be simplified into 10 invariant assemblages involving orthopyroxene, clinopyroxene, hornblende, glaucophane, actinolite, garnet, chlorite, epidote, lawsonite, kyanite and plagioclase, assuming quartz, NaAlO₂ and H₂O/melt being in excess. Phase relation analyses in the P - T projections that are constructed according to Schreinemakers' rules and qualitative P - T pseudosections that are obtained for a MORB composition indicate that 22 subspecies assemblages are recognized for metabasic rocks. A four-fold classification of metamorphism is proposed on the basis of the phase relations for metabasic rocks, including low-, medium-, high- and very-high- P/T types, with apparent geothermal gradients >110°C/kbar, between 110 and 55°C/kbar, between 55 and 28°C/kbar, and <28°C/kbar, respectively. This four-fold classification of metamorphism is better able to match various tectonic settings.

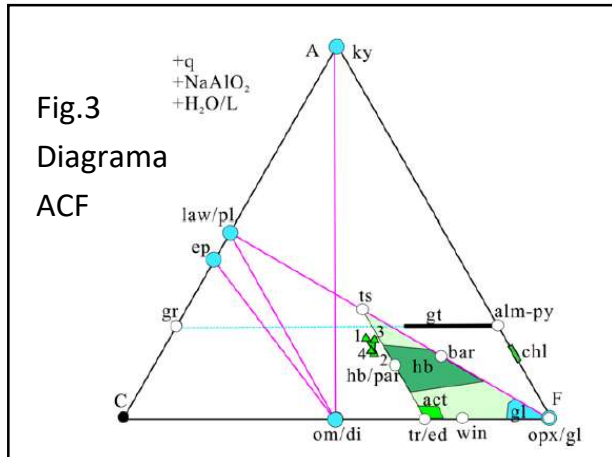
96



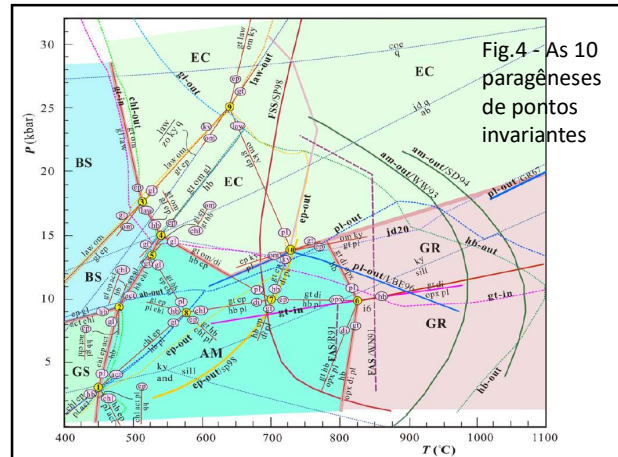
97



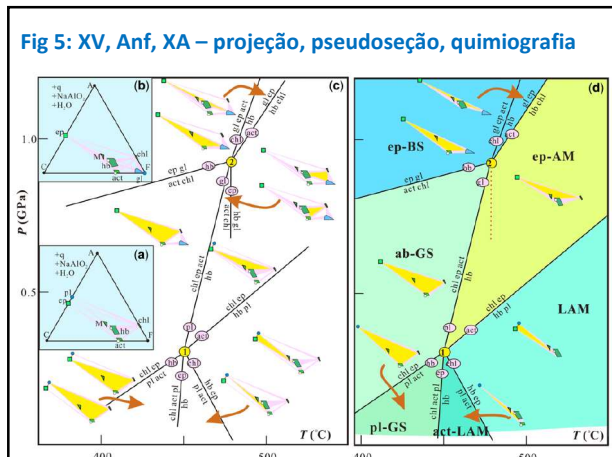
98



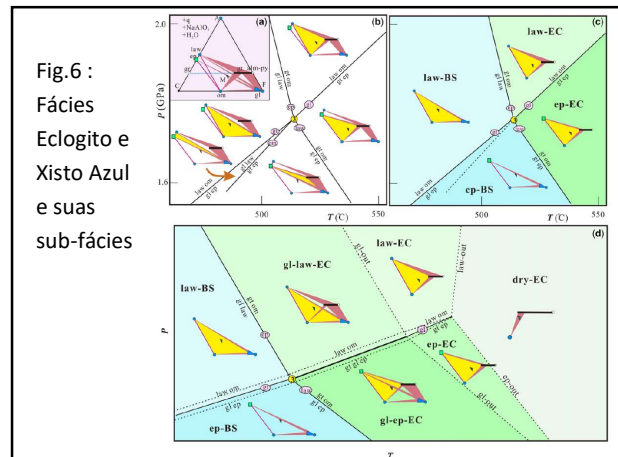
99



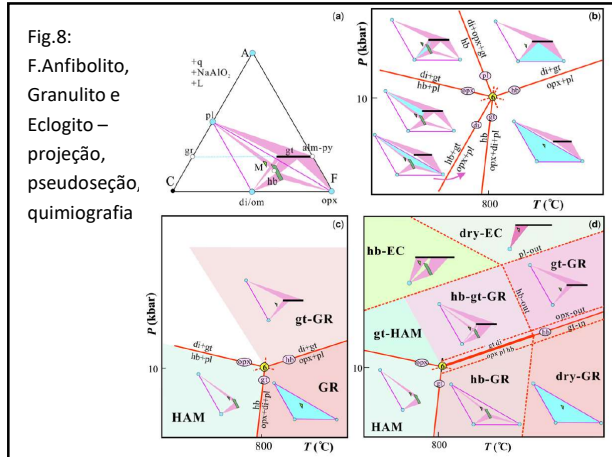
100



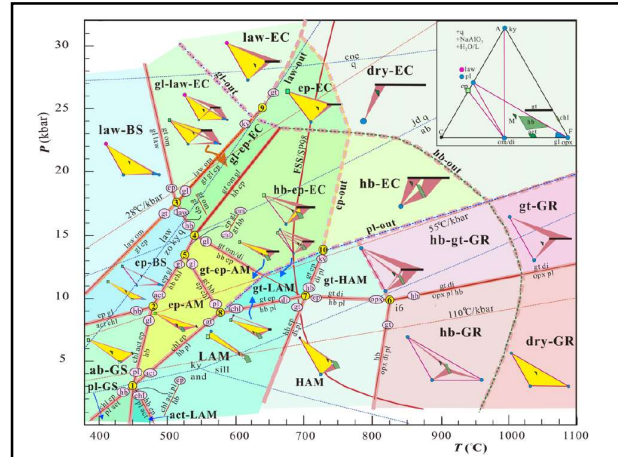
101



102



103



104

Complemento:

Com base na “grade petrogenética” (“qualitative pseudosections for metabasic rocks of MORB composition”) que elaboraram, baseada nas 5 fácies e 22 sub-fácies, Wei e Duan (2019) sugerem quatro regimes báricos (“four fold classification of metamorphism”): razões P/T baixas, médias, altas e muito altas.

105

Bibliografia

Apted, Liou, 1983 – Phase relations among greenschist, epidote-amphibolite and amphibolite in basaltic system. *Am. J. Sci.* 283A: 328-354

Diener, J.F.A.; Powell, R.; White, R.W.; Holland, T.J.B. 2007 – A new thermodynamic model for clino and orthoamphiboles in the system Na₂O–CaO–FeO–MgO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O–O. *J. metamorphic Geol.* 25: 631-656

Bucher, K.; Grapes, R. 2011 – *Petrogenesis of Metamorphic Rocks – 8th Ed.* Springer . Cap. 9 – p.339-393

Wei, C.J.; Duan, Z.Z. 2018 – Phase relations in metabasic rocks: constraints from the results of experiments, phase modelling and ACF analyses. Geological Society, London, Special Publications, 474, 11 May 2018, <https://doi.org/10.1144/SP474.10>

106