

Fragmentos piroclásticos ou piroclastitos → são produzidos por processos conectados com erupções e expelidos através de aberturas vulcânicas, independentes de tamanho, forma ou composição.

Fragmentos hidroclásticos → são fragmentos piroclásticos produzidos na interface magma-água.

Tephra → fragmentos piroclásticos aéreos ejetados em aberturas vulcânicas.

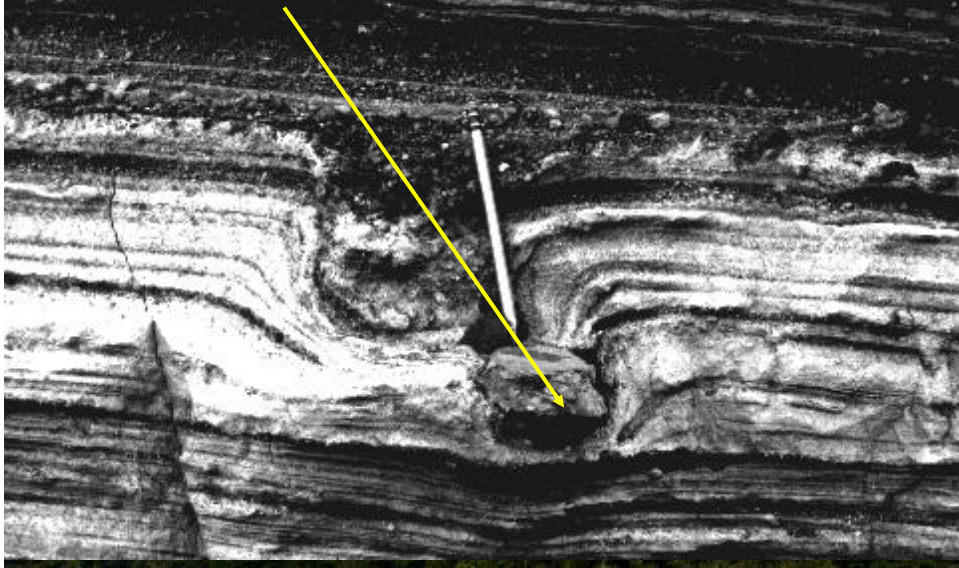
Hialoclastito → fragmentos vítreos produzidos pela interação com água (*hyaloclastite*) segundo Rittmann, 1958, 1962 em Fisher & Schmincke, 1984).



EJEÇÃO EXPLOSIVA - PROJÉTEIS BALÍSTICOS

- Não são controlados pelo vento
- Grandes projéteis são lançados a muitos quilômetros de distância, mas geralmente se depositam nas proximidades da cratera
- Podem ser utilizados como indicadores do centro vulcânico e, conseqüentemente, do centro hidrotermal

Bombas vulcânicas balísticas afundadas em cinzas vulcânicas



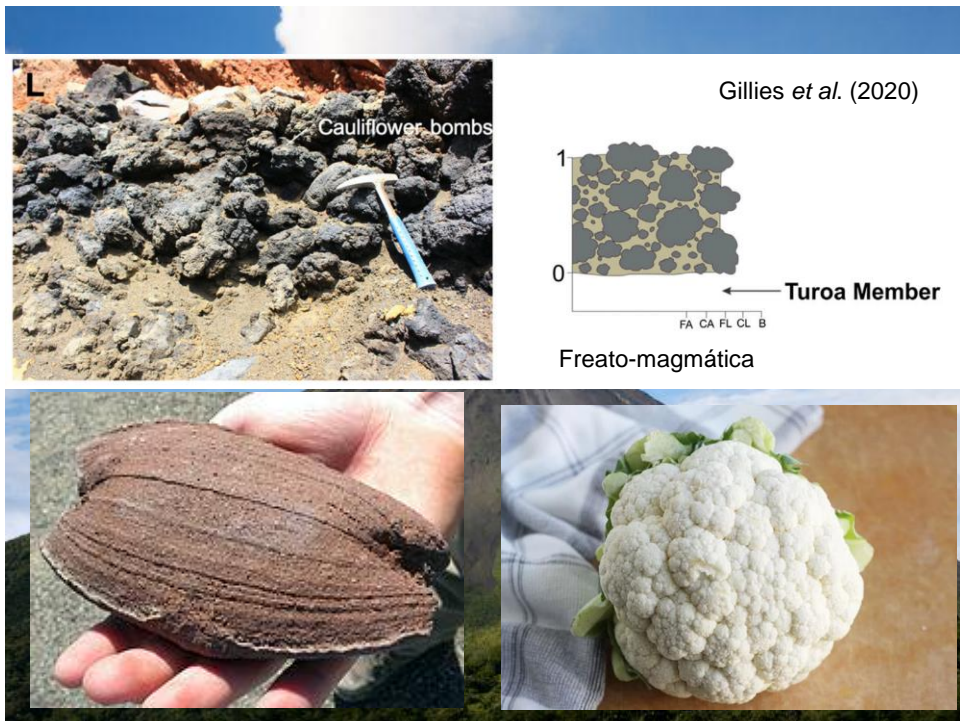
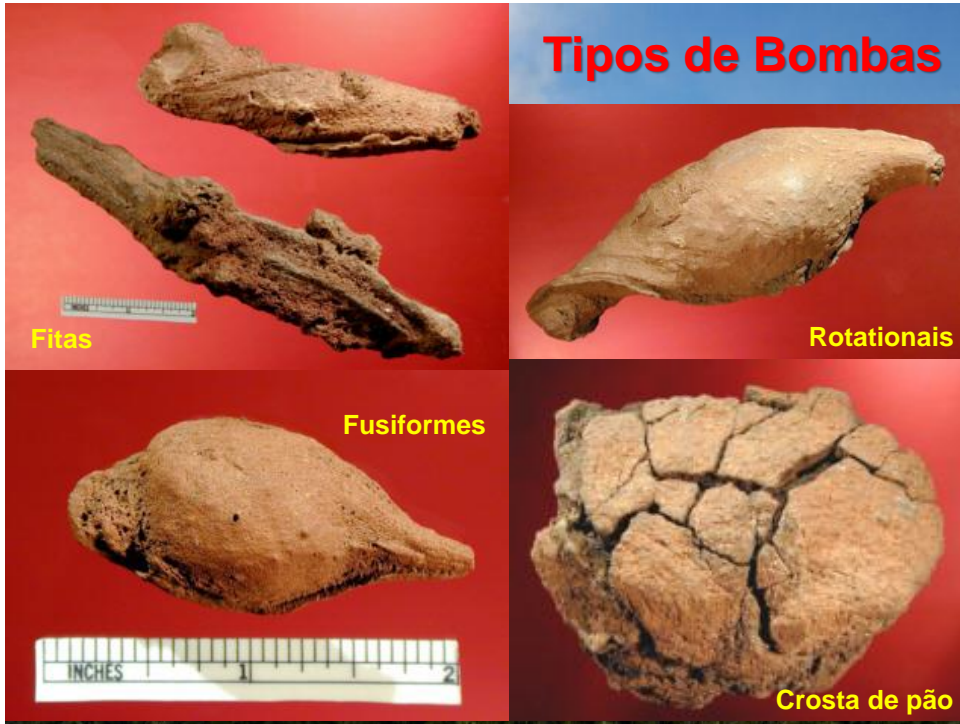
Bombas vulcânica balísticas afundadas em cinzas vulcânicas e lapilli-tufos





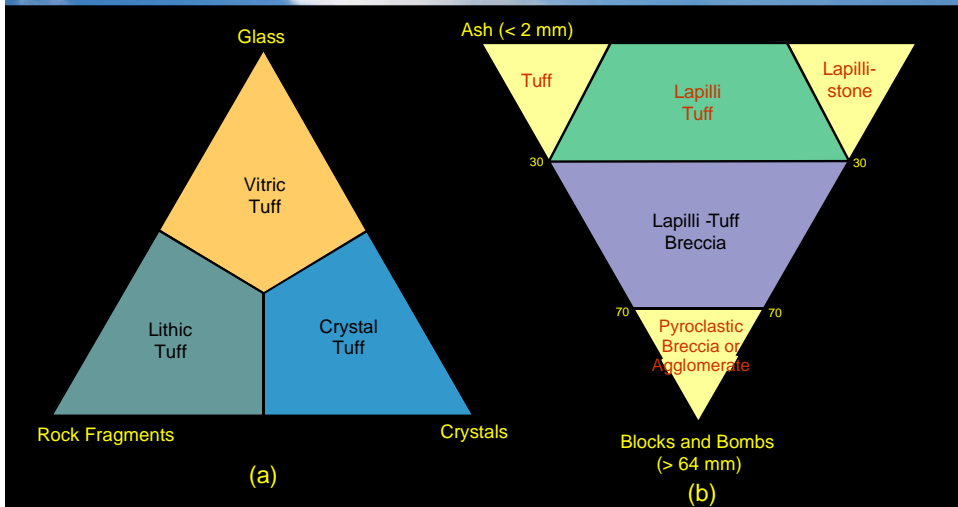
Bloco vulcânico com ~ 7 t ejetado a 1 km da cratera Halema 'uma 'u crater do vulcão Kīlauea em 18/05/1924 (U. S. Geological Survey)



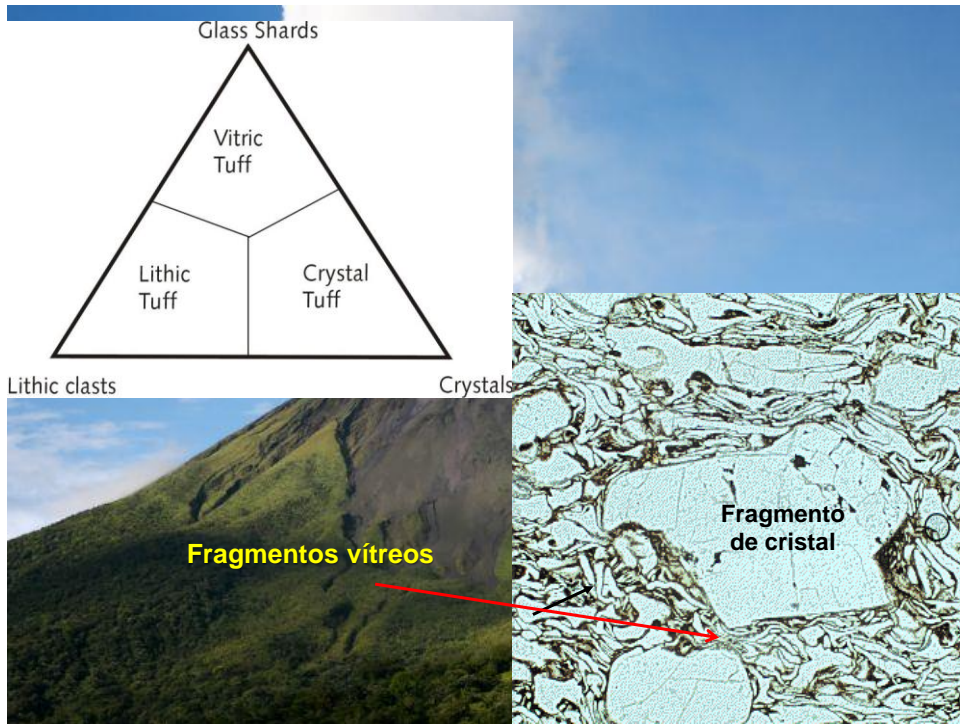




Classificação das Rochas Piroclásticas



Classification of the pyroclastic rocks. **a.** Based on type of material. After Pettijohn (1975) *Sedimentary Rocks*, Harper & Row, and Schmid (1981) *Geology*, 9, 40-43. **b.** Based on the size of the material. After Fisher (1966) *Earth Sci. Rev.*, 1, 287-298.



Rocha vulcanoclástica → inclui todos os materiais vulcânicos formados por qualquer processo de fragmentação, transportados por qualquer tipo de agente e depositado em qualquer ambiente. Podem estar misturados com outros materiais que não tenham origem vulcânica (Fisher, 1961).

As rochas vulcanoclásticas são divididas em:

- **Piroclásticas** → compostas por material vulcânico, transportados pelo espaço da fonte até o depósito (atividade explosiva)
- **Autoclásticas** → compostas por material vulcânico fragmentado no local do depósito, por fragmentação não explosiva (resfriamento e decomposição pré-diagenética)
- **Epiclásticas** → compostas por piroclastos retrabalhados por processos pós-vulcânico, durante a atividade vulcânica. Pode ter aporte de sedimentos terrígenos.




Hialoclastito

Grau de soldagem → ignimbritos de alto grau (altamente soldados) e ignimbritos de baixo grau (pouco ou não soldados).

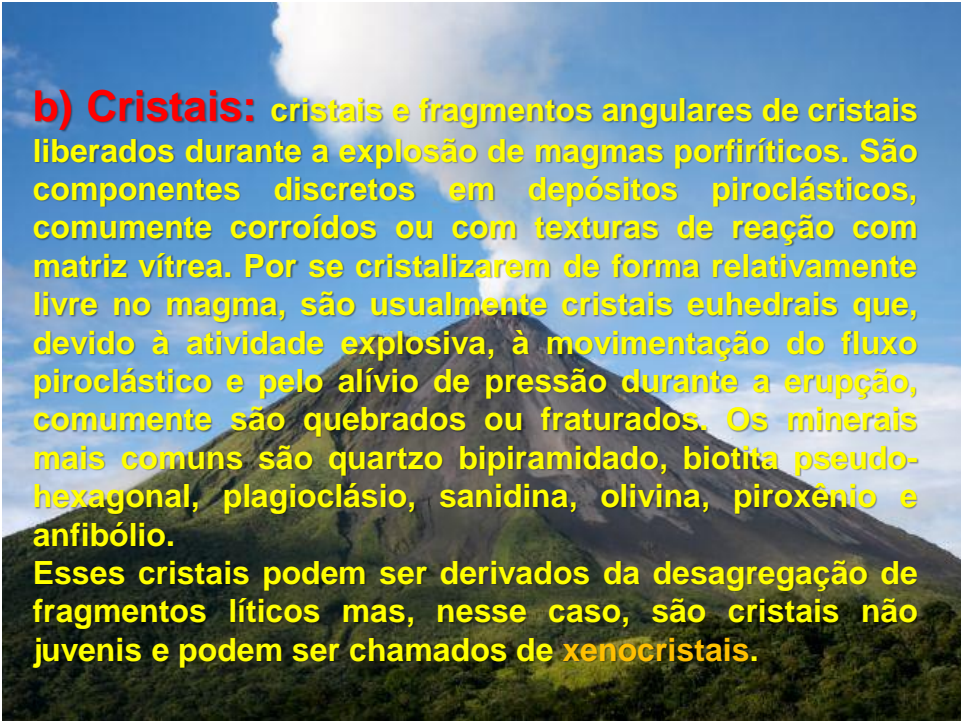
Erupções com baixo conteúdo de gás e baixa velocidade de gás resultam em colunas de colapso de pequena altura, favorecendo a **formação de ignimbritos altamente soldados**. Essas mesmas condições não favorecem a presença de **cinzas vítreas (vitric ash)**.

Devitrificação → cristalização *sub-solidus* de vidro meta-estável → formação de cristobalita e feldspato potássico. Esse processo é mais intenso em ignimbritos densamente soldados e naqueles protegidos pelo resfriamento rápido, como os formados em caldeira vulcânicas.



Fisher & Schmincke (1984) dividem os fragmentos piroclásticos em três variedades: juvenis, conatos e acidentais. Cas & Wright (1987), adotam outra divisão, que engloba anterior:

a) Fragmentos juvenis: amostras do magma eruptivo cristalizado ou não. Bombas, púmice, lapilli, cinzas e fragmentos vítreos são característicos dessa variedade.



b) Cristais: cristais e fragmentos angulares de cristais liberados durante a explosão de magmas porfiríticos. São componentes discretos em depósitos piroclásticos, comumente corroídos ou com texturas de reação com matriz vítrea. Por se cristalizarem de forma relativamente livre no magma, são usualmente cristais euhedrais que, devido à atividade explosiva, à movimentação do fluxo piroclástico e pelo alívio de pressão durante a erupção, comumente são quebrados ou fraturados. Os minerais mais comuns são quartzo bipiramidado, biotita pseudo-hexagonal, plagioclásio, sanidina, olivina, piroxênio e anfibólio.

Esses cristais podem ser derivados da desagregação de fragmentos líticos mas, nesse caso, são cristais não juvenis e podem ser chamados de **xenocristais**.

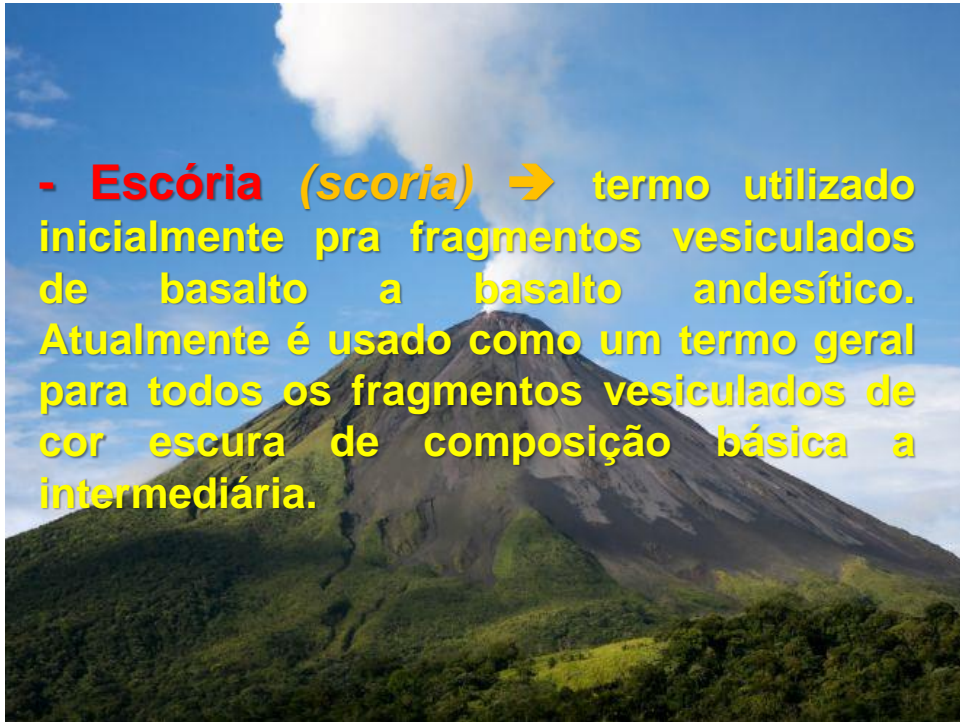
c) Fragmentos líticos:

- **líticos conatos** → são magmáticos juvenis e não possuem vesículas
- **líticos acessórios** → são fragmentos de rochas associadas ao evento vulcânico, tais como fragmentos de peridotito mantélicos, de andesito e de rochas intensamente hidrotermalizadas. São xenólitos
- **líticos acidentais** → são clastos das rochas encaixantes, também chamados de xenólitos

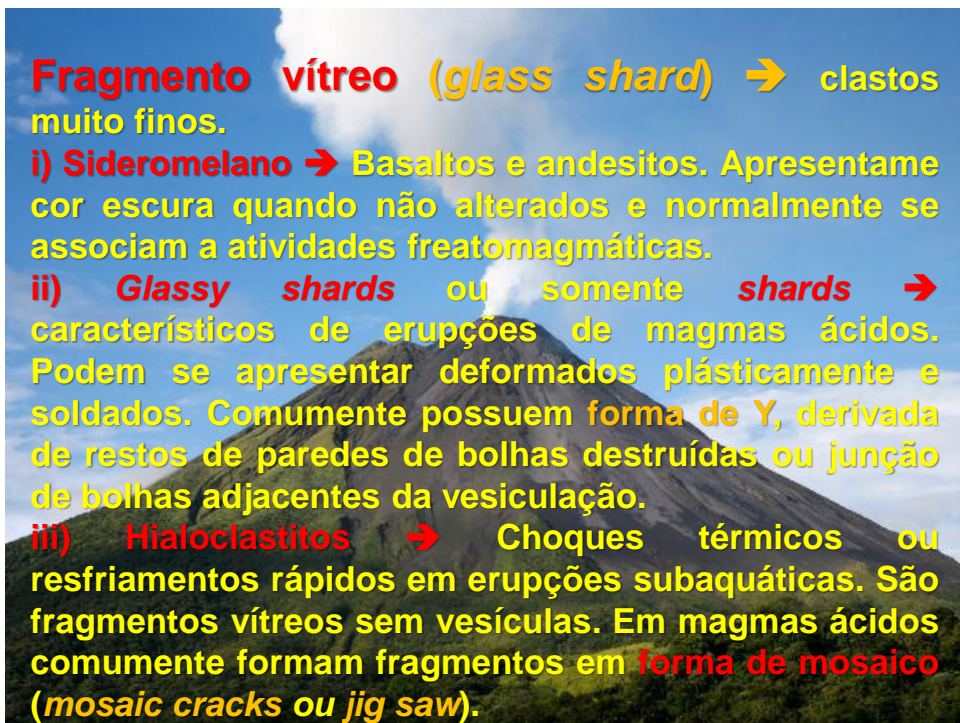
Outros termos comuns são:

- **Púmice:** fragmentos juvenis muito ricos em vesículas, comum em erupções magmáticas explosivas de magmas ácidos a intermediários. São normalmente claros e, quando originados de magmas porfiríticos, podem possuir cristais e fragmentos vulcanoclásticos.

Devido à presença de vesículas, tem baixa densidade, podendo flutuar em água. Esta característica, associada a variações de tamanho e forma, pode originar granocrescência em depósitos piroclásticos e comumente constituem estratos em depósitos epiclásticos.



- **Escória (scoria)** → termo utilizado inicialmente pra fragmentos vesiculados de basalto a basalto andesítico. Atualmente é usado como um termo geral para todos os fragmentos vesiculados de cor escura de composição básica a intermediária.

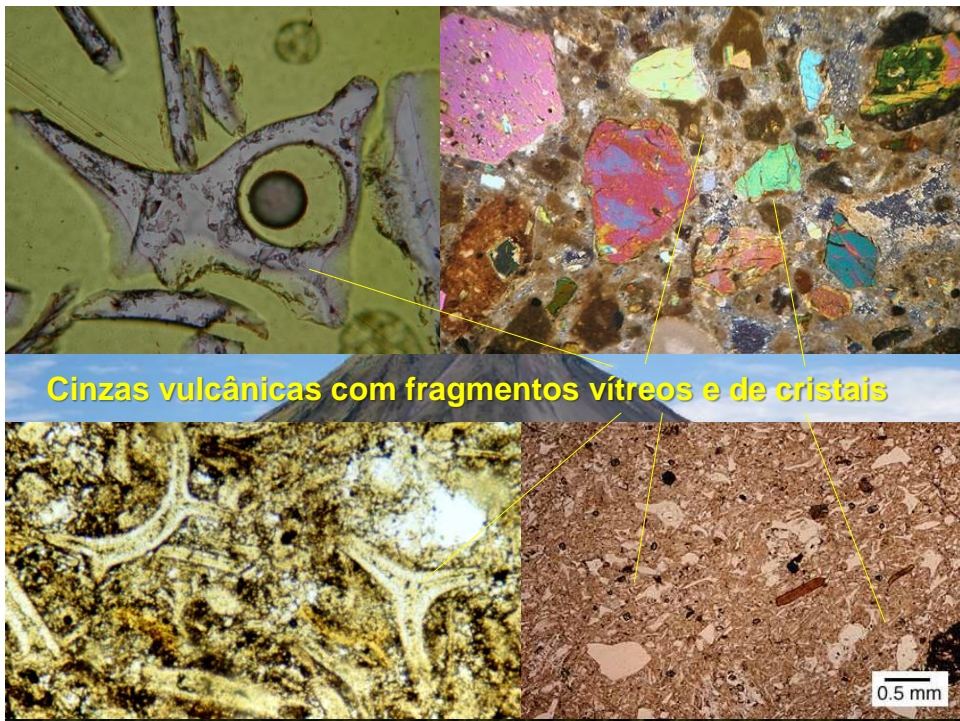
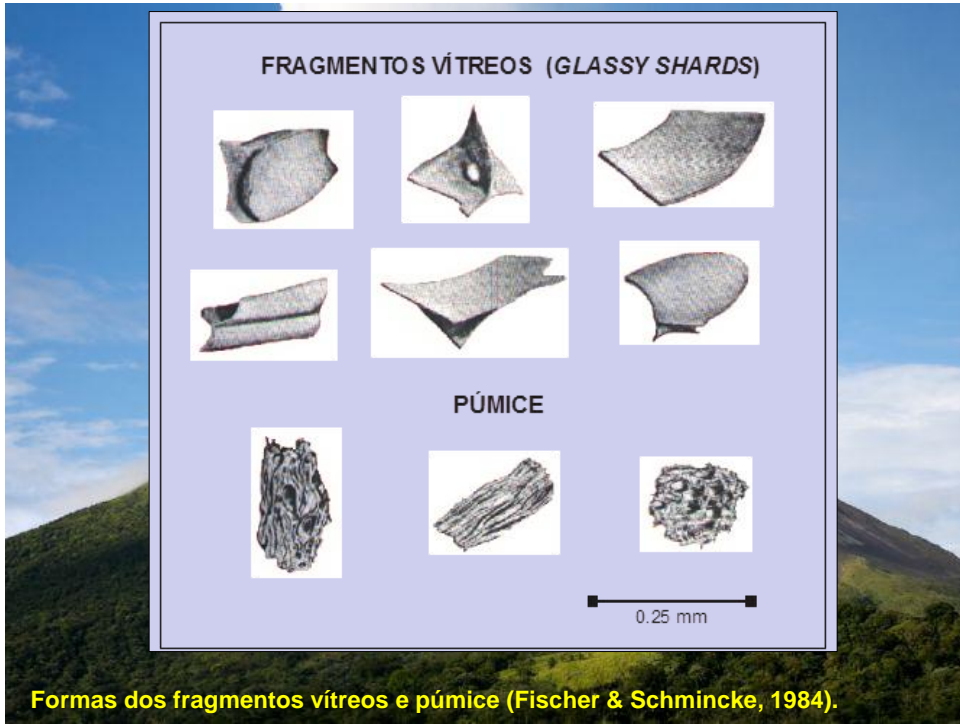


Fragmento vítreo (glass shard) → clastos muito finos.

i) **Sideromelano** → Basaltos e andesitos. Apresentam cor escura quando não alterados e normalmente se associam a atividades freatomagmáticas.

ii) **Glassy shards** ou somente **shards** → característicos de erupções de magmas ácidos. Podem se apresentar deformados plásticamente e soldados. Comumente possuem forma de Y, derivada de restos de paredes de bolhas destruídas ou junção de bolhas adjacentes da vesiculação.

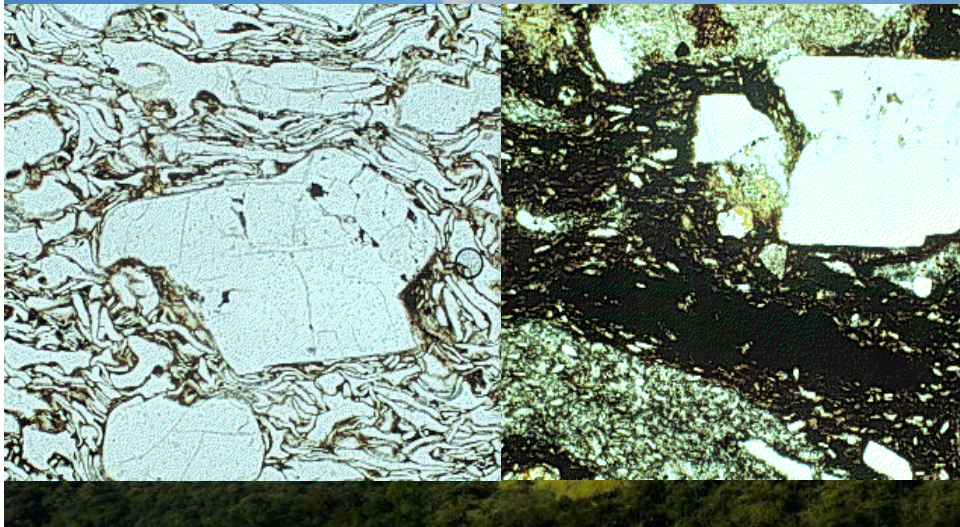
iii) **Hialoclastitos** → Choques térmicos ou resfriamentos rápidos em erupções subaquáticas. São fragmentos vítreos sem vesículas. Em magmas ácidos comumente formam fragmentos em **forma de mosaico (mosaic cracks ou jig saw)**.

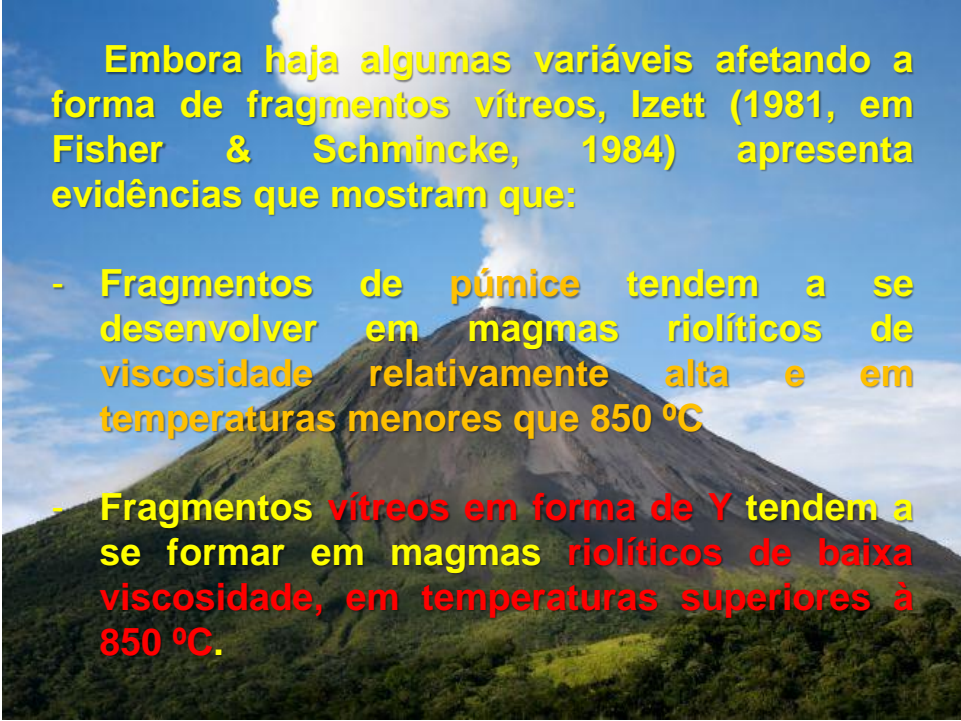







Alguns depósitos de cinzas proximais podem ser depositados quentes e podem ser soldados, assemelhando-se a ignimbritos





Embora haja algumas variáveis afetando a forma de fragmentos vítreos, Izett (1981, em Fisher & Schmincke, 1984) apresenta evidências que mostram que:

- Fragmentos de púmice tendem a se desenvolver em magmas riolíticos de viscosidade relativamente alta e em temperaturas menores que 850 °C
- Fragmentos vítreos em forma de Y tendem a se formar em magmas riolíticos de baixa viscosidade, em temperaturas superiores à 850 °C.



Além da **classificação genética**, os fragmentos podem ser classificados segundo tamanho e angulosidade, de modo semelhante às classificações adotadas para sedimentos e rochas sedimentares (Fisher, 1961; 1966).

Classificação granulométrica de fragmentos piroclásticos e de depósitos piroclásticos bem selecionados e unimodais (Schmid, 1981).

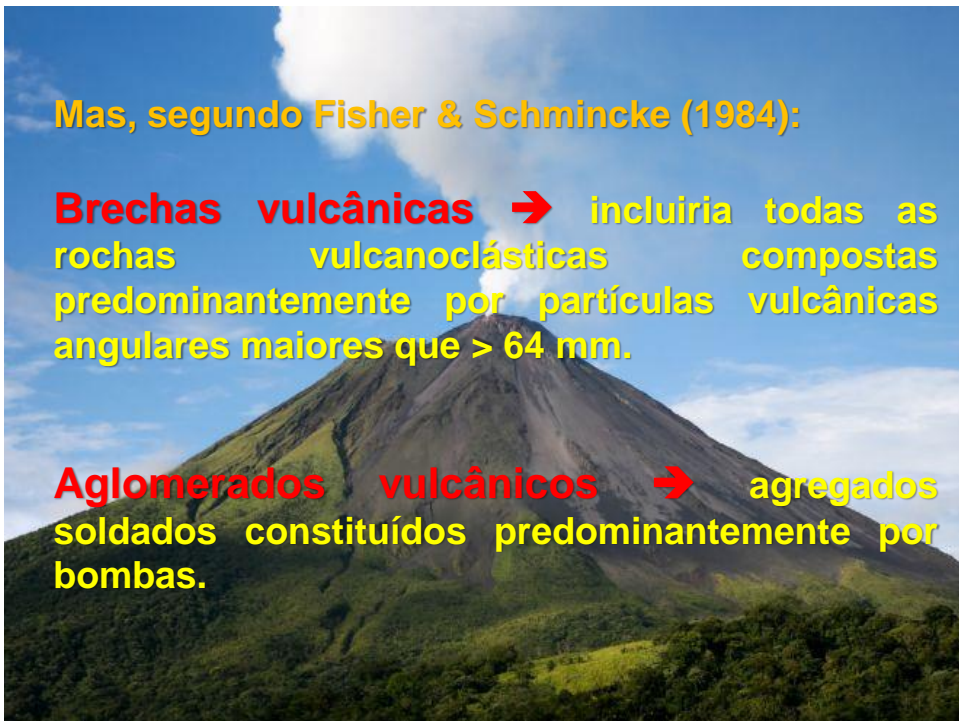
TAMANHO DO CLASTO (MM)	FRAGMENTO PIROCLÁSTICO	DEPÓSITO PIROCLÁSTICO	
		INCONSOLIDADO	CONSOLIDADO
		tefra	rocha piroclástica
64	bloco, bomba	aglomerado tefra de bloco	aglomerado, brecha piroclástica
2	lápili	tefra de lápili	pedra de lápili (<i>lapillistone</i>)
1/16	cinza grossa	cinza grossa	tufo de cinza grosso (<i>coarse ash tuff</i>)
	cinza fina (<i>dust</i>)	cinza fina <i>dust</i>	tufo de cinza fino (<i>fine ash tuff or dust tuff</i>)



Mas, segundo Fisher & Schmincke (1984):

Brechas vulcânicas → incluiria todas as rochas vulcanoclásticas compostas predominantemente por partículas vulcânicas angulares maiores que > 64 mm.

Aglomerados vulcânicos → agregados soldados constituídos predominantemente por bombas.



Segundo Cas & Wright (1987):

Aglomerados vulcânicos → são depósitos piroclásticos grossos, compostos predominantemente por bombas vulcânicas (> 64 mm) de formas arredondadas, com estruturas de fluxo. A rigor o termo implica em depósitos de queda piroclástica (*fall deposits*) e são indicadores da proximidade da abertura vulcânica.

Brechas vulcânicas → são formados por fragmentos angulosos de > 64 mm, na maioria das vezes situados nas proximidades das aberturas vulcânicas. São distinguidas dos aglomerados por serem constituídas por fragmentos associados a depósitos de fluxo piroclástico.



DEPÓSITOS LITIFICADOS

Devitrificação, recristalização, cristalização de novos minerais durante a diagênese, metamorfismo de baixo grau e a deformação modificam a textura e a mineralogia original em intensidade variada.

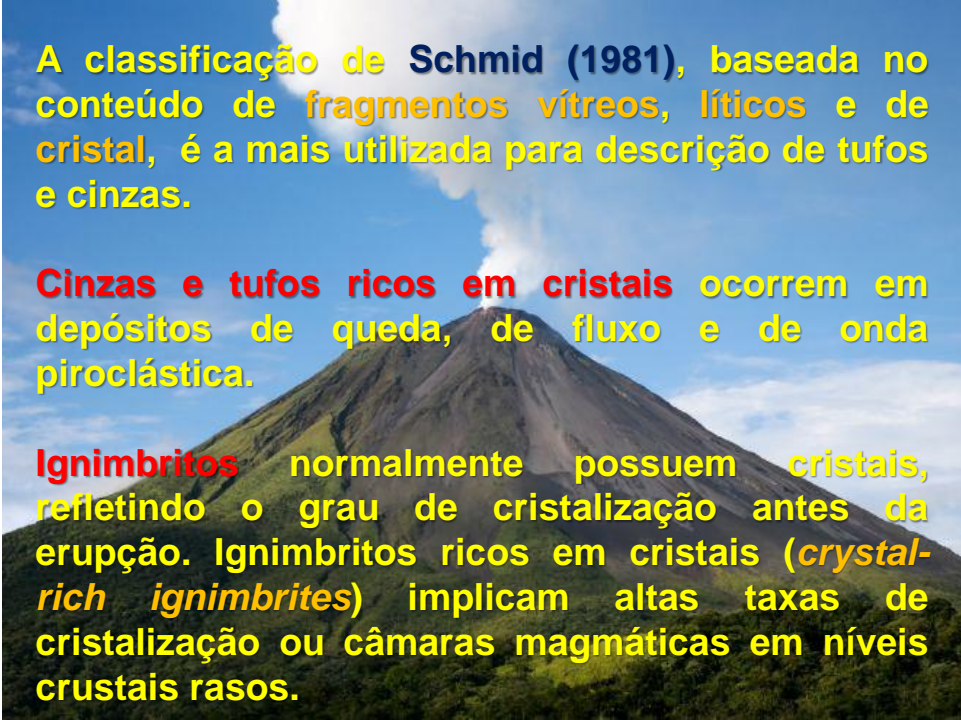
Para depósitos litificados Cas & Whright (1987) recomendam a utilização da classificação não genética de Fisher (1961, 1966).

Em rochas litificadas, **tufo** equivale a depósitos de cinzas.

Cinza e tufo são termos genéticos e devem ser aplicados à agregados que indicam fragmentação e deposição por processos piroclásticos e com granulação < 2mm.

Dependendo das proporções de *lapilli* (< 10%) tem-se *lapilli-cinza* (*lapilli ash*) ou *lapilli-tufo* (*lapilli tuff*).

Se o processo de formação for piroclástico pode-se classificar essas rochas como **ignimbrito** (*ignimbrite - welded tuff*), **tufo de queda aérea** (*air-fall tuff*) e **tufo de base de onda** (*base-surge tuff*).



A classificação de Schmid (1981), baseada no conteúdo de fragmentos vítreos, líticos e de cristal, é a mais utilizada para descrição de tufos e cinzas.

Cinzas e tufos ricos em cristais ocorrem em depósitos de queda, de fluxo e de onda piroclástica.

Ignimbritos normalmente possuem cristais, refletindo o grau de cristalização antes da erupção. Ignimbritos ricos em cristais (*crystal-rich ignimbrites*) implicam altas taxas de cristalização ou câmaras magmáticas em níveis crustais rasos.

Ignimbritos

Marshall (1935, em Cas & Wright, 1987 e Fisher & Schmincke, 1984) criou esse termo para descrever rochas piroclásticas da Nova Zelândia compostas por fragmentos vítreos, púmice e cristais depositados sob alta temperatura.

Comumente o termo é usado para descrever **tufos soldados** (*welded tuff*) ou com **sentido genético**, referindo-se a depósitos formados por fluxo piroclástico e ignimbritos. A ocorrência de soldagem por vezes é considerada uma evidência de fluxo piroclástico.

Entretanto, há ignimbritos com zonas não soldadas (Cas & Wright, 1987) e, portanto, a soldagem (*welding*) não deve ser considerada uma característica fundamental de ignimbritos.

OUTROS TERMOS USADOS NA DESCRIÇÃO DOS IGNIMBRITOS

Púmice piroclástico (*pumiceous pyroclastic flows*) → corresponderia a ignimbritos, independentemente do grau de soldagem (Sparks *et al.*, 1973).

Tufo de fluxo de cinza (*ash flow tuff*) → termo muito comum na literatura, devido ao domínio de partículas de tamanho de cinza (< 2 mm) num fluxo piroclástico (Smith, 1960; Ross & Smith, 1961).

Nuvem ardente (*nuée ardente*) → usado para ignimbritos e outros tipos de fluxos piroclásticos. Está em desuso, pois há termos mais específicos associados às nuvens ardentes, como **onda de cinzas** (*ash cloud surge*) e **depósitos de queda de cinzas** (*ash fall deposits*).

Brechas co-ignimbríticas (Wright & Walker, 1977):

→ são geradas pela coluna eruptiva que formam os ignimbritos. São ricas em fragmentos líticos, algumas sustentadas por fragmentos líticos e outras por matriz ignimbrítica. As relações entre estas brechas e os ignimbritos são complexas.



Há dois tipos de **brechas ignimbríticas** Wright (1987):

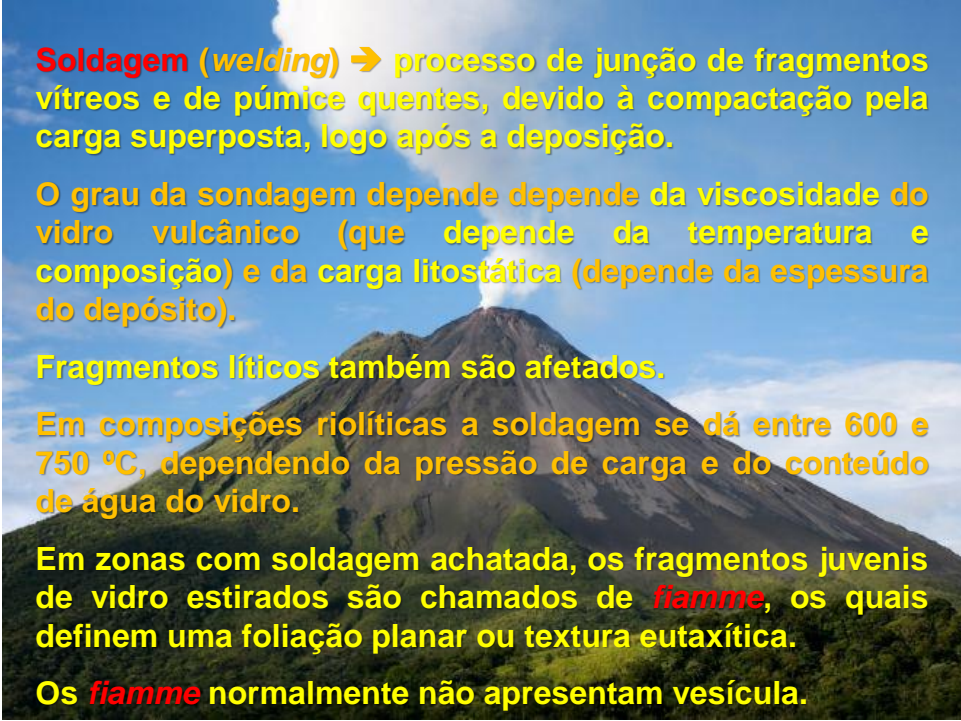
- **Tipo 1:** ocorre nas proximidades do *vent*, definindo uma zona de concentração de fragmentos líticos segregados pelo fluxo. Druitt & Sparks (1982, em Cas & Wright, 1987) propõe para esse caso o termo brechas **co-ignimbríticas de abandono** (*co-ignimbrite lag breccias*)

- **Tipo 2:** nesse tipo a segregação de fragmentos líticos é devida à movimentação por fluxo (*pumice flow*) altamente fluidizado. É chamada de **brecha basal** (*ground breccia*)



CINZAS CO-IGNIMBRÍTICAS (*co-ignimbrites ash falls*)

Estudo mais detalhados de depósitos de ignimbritos têm identificado corpos cinzas (*air-fall ashes*) sincrônicas a deposição, denominadas cinzas **co-ignimbríticas**.



Soldagem (welding) → processo de junção de fragmentos vítreos e de púmice quentes, devido à compactação pela carga superposta, logo após a deposição.

O grau da soldagem depende da viscosidade do vidro vulcânico (que depende da temperatura e composição) e da carga litostática (depende da espessura do depósito).

Fragmentos líticos também são afetados.

Em composições riolíticas a soldagem se dá entre 600 e 750 °C, dependendo da pressão de carga e do conteúdo de água do vidro.

Em zonas com soldagem achatada, os fragmentos juvenis de vidro estirados são chamados de **fiamme**, os quais definem uma foliação planar ou textura eutaxítica.

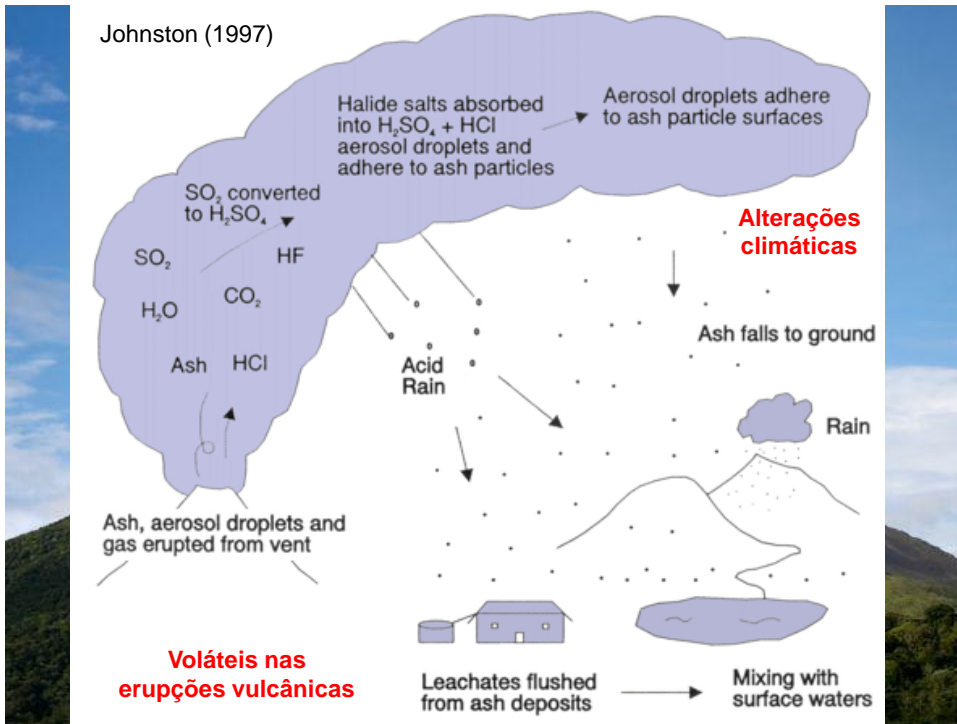
Os **fiamme** normalmente não apresentam vesícula.

Os **fiamme** indicam fluxo de massa secundário que ocorre durante a soldagem *por movimentação nas encostas*, chamado de **reomorfismo**. **Dobras de fluxo** são algumas vezes bem desenvolvidas durante a soldagem.

Schmincke & Swanson (1967) e Chapin & Lowell (1979) consideram, entretanto, que o estiramento e a soldagem de **fiamme** são decorrentes do *fluxo primário* durante os estágios finais do fluxo piroclástico.

Tufos soldados reomórficos (rheomorphic welded tuff) são mais frequentes em riolitos peralcalinos, devido a sua baixa viscosidade, se comparados aos riolitos cálcio-alcalinos.

Tufos densamente soldados possuem aspecto vítreo em amostras de mão. Esses são chamados de **vitrófiros**.

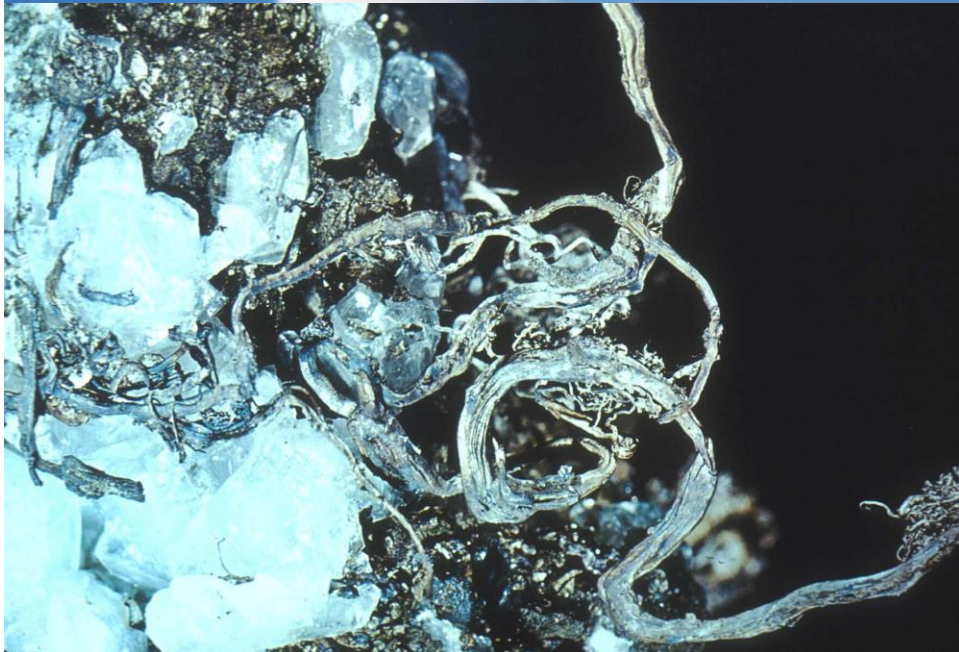


PLANO DA AULA

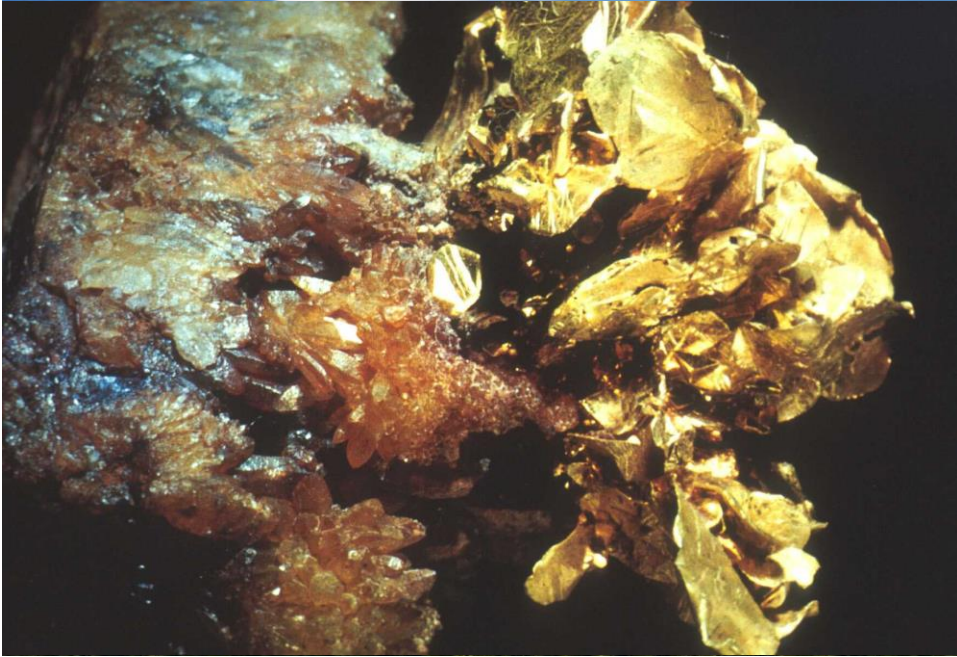
- Fluidos e alteração hidrotermal em sistemas vulcânicos e sub-vulcânicos



Prata Hidrotermal

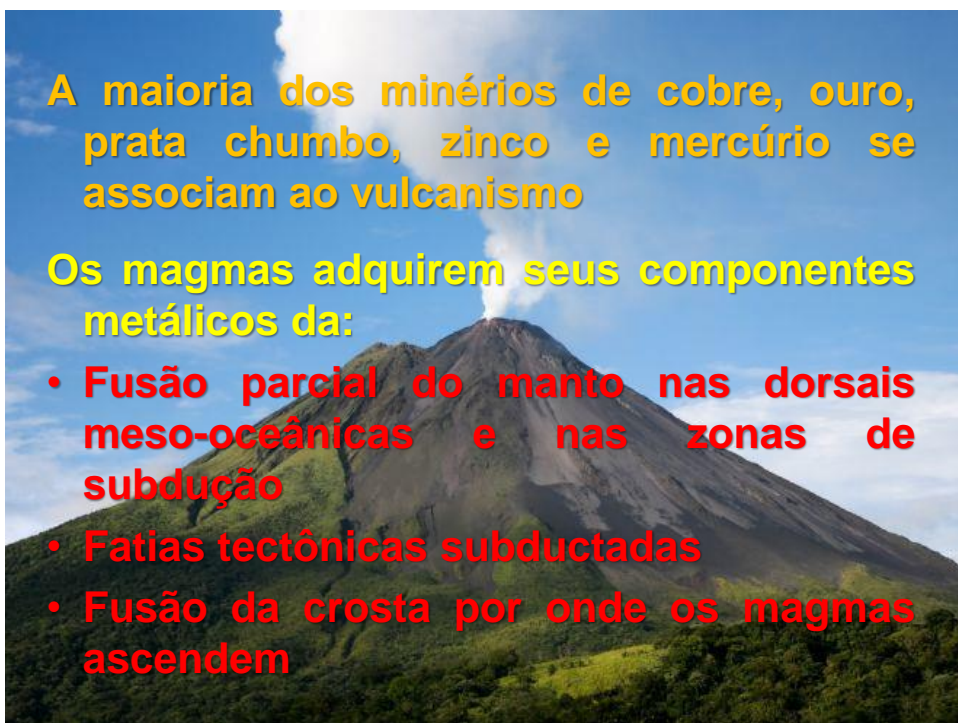
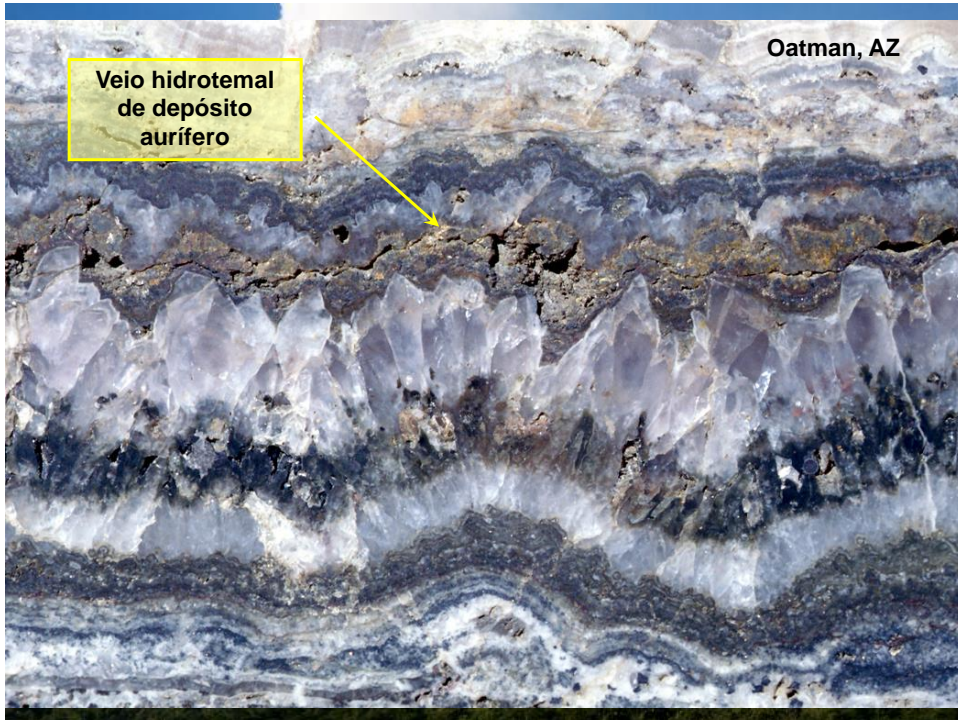


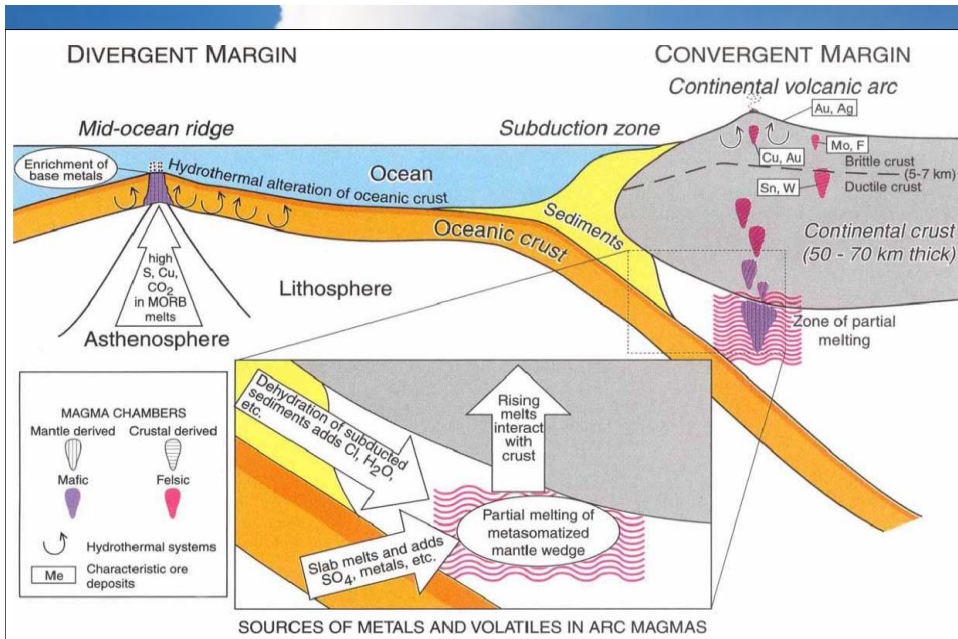
Ouro Hidrotermal



Ouro Hidrotermal







Hendenquist & Lowenstern (1994) The role of Magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, Vol. 370.

Sulfetos são os minerais mais comuns de minérios metálicos



Galena
(lead sulfide)

Cinnabar
(mercury sulfide)

Pyrite
(iron sulfide)

Sphalerite
(zinc sulfide)

Grande quantidade de depósitos de sulfetos são formados nas atividades vulcânicas submarinas dorsais meso-oceânicas e no *back-arc* e nas vulcânicas (depósitos epitermais) e subvulcânicas (pórfiros) associadas aos estrato-vulcões

Minerais de Minério de Cobre



Chalcopyrite
(a copper sulfide)

Malachite
(a copper sulfide)

Chalcocite
(a copper sulfide)

→ **Sistemas geotermiais ativos em crosta continental e oceânica**

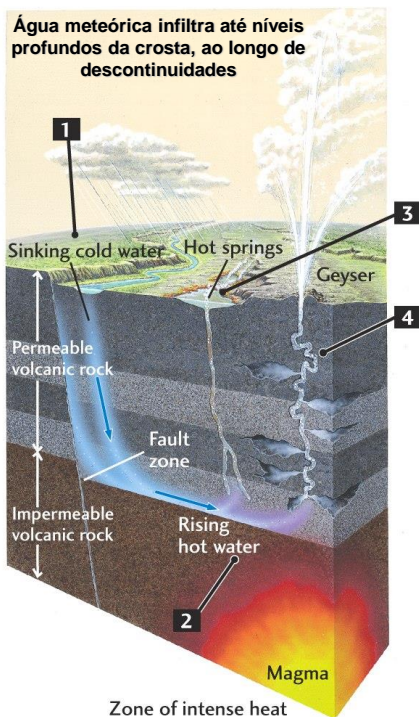
→ **Inclusões fluidas**

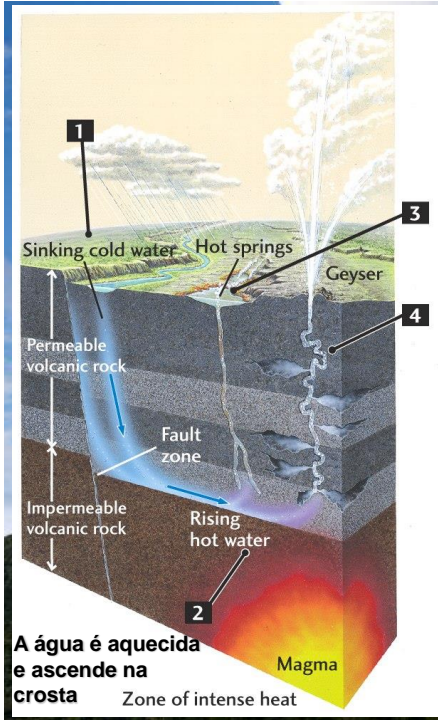


Mas, nem todos magmas são eruptados e eles podem se consolidar lentamente sob os edifícios vulcânicos

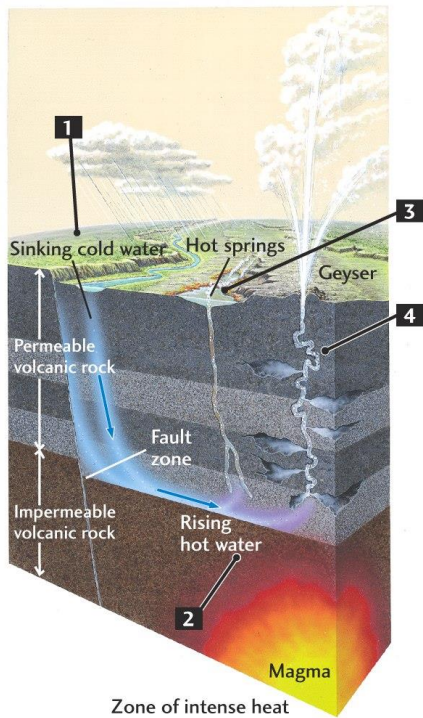
Quando o magma resfria os elementos metálicos se concentram nos fluidos residuais aquosos, resultando das Soluções Hidrotemais

Água subterrânea ou marinha podem também formar ou se misturar com as soluções hidrotermais





Sistemas Hidrotermais



Hot Springs Geysers

Sistemas Hidrotermais

Atividade Hidrotermal

Resulta da circulação de gases e água aquecida (derivada do magma em cristalização, bacinal, meteórica e oceânica) em rochas vulcânicas, vulcanoclásticas, subvulcânicas e do embasamento.

Pode ser identificada em sistemas ativos por:

- Fumarolas
- Geysers
- Energia Geotermal

Fluido hidrotermal

FLUIDO = H_2O + Sais + Voláteis (CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S , etc.)
= Solução aquosa

Diluição: Soluções diluídas (0,2 – 0,5% solutos) a altamente concentradas (25% solutos) → predominância de Na^+ e Cl^- .

Salinidade: muito baixa = 0,2 - 0,5%
baixa = < 5%
moderada = 10 - 20%
hipersalino = > 50%

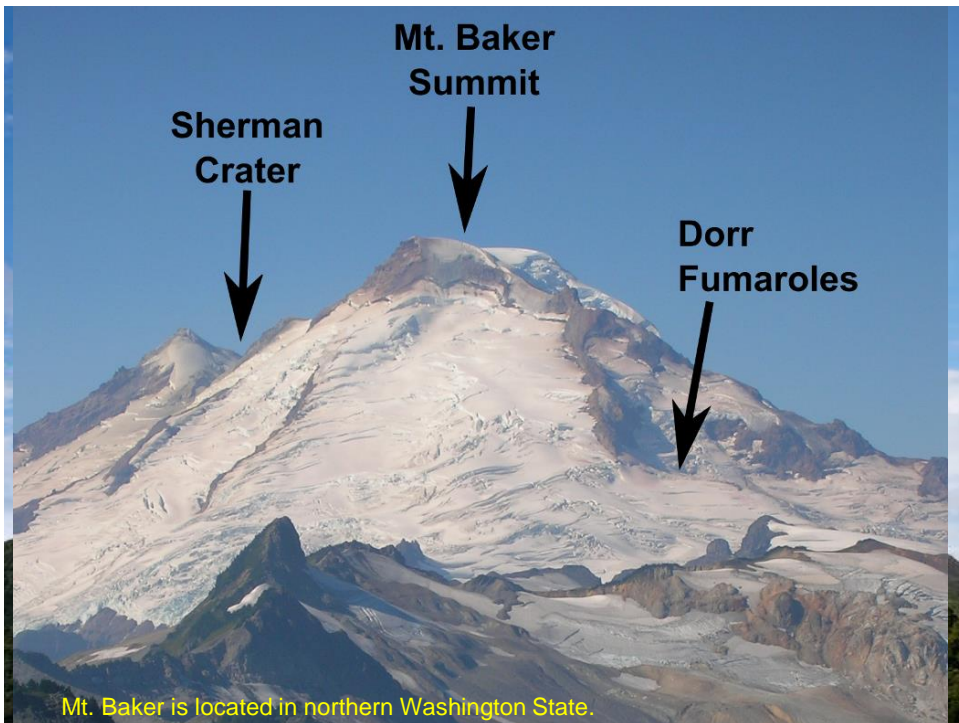
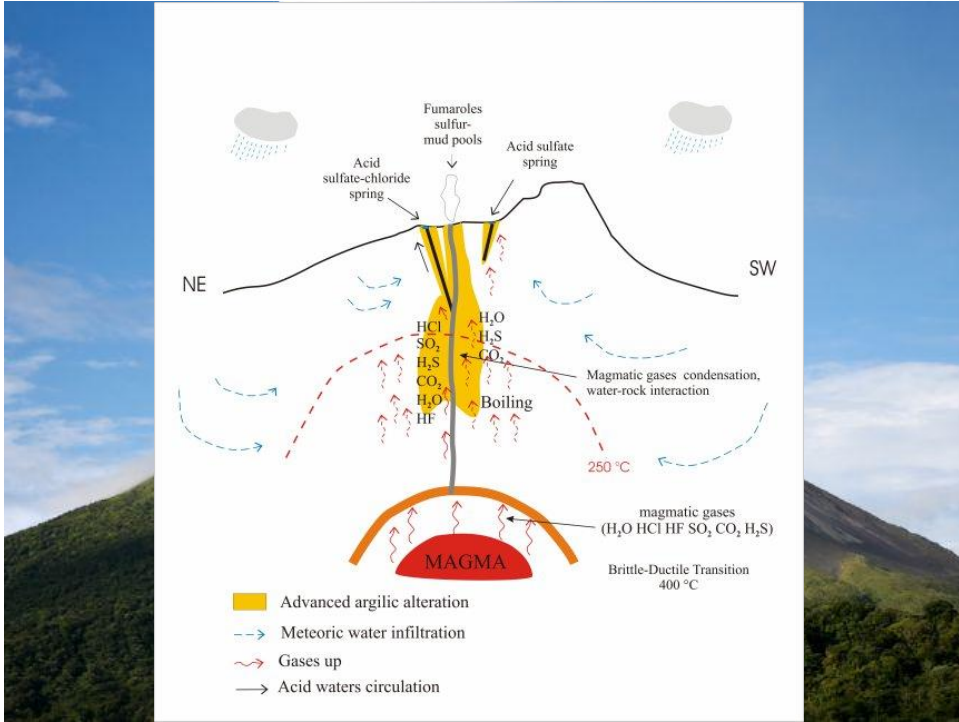
Temperatura variada: 50 °C a > 600 °C

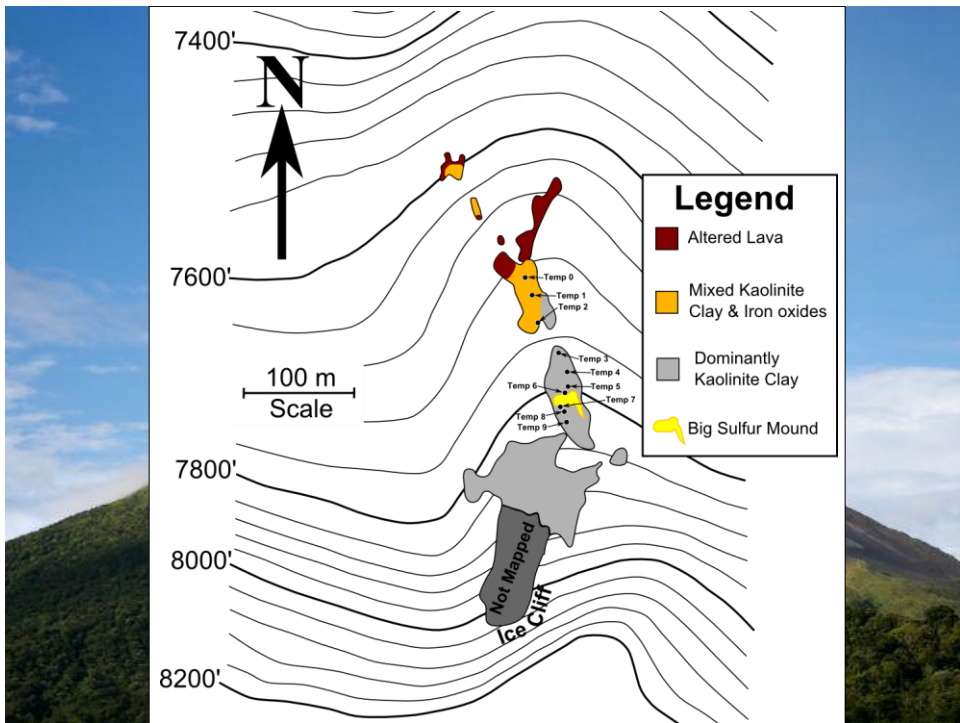
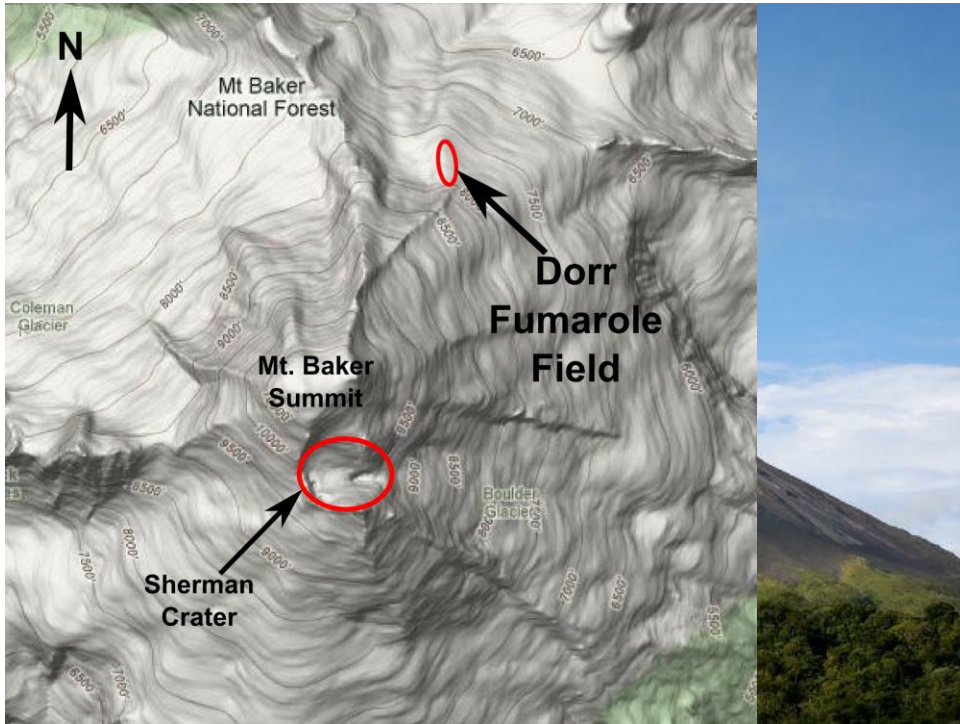
pH variado: ácido, neutro a levemente alcalino

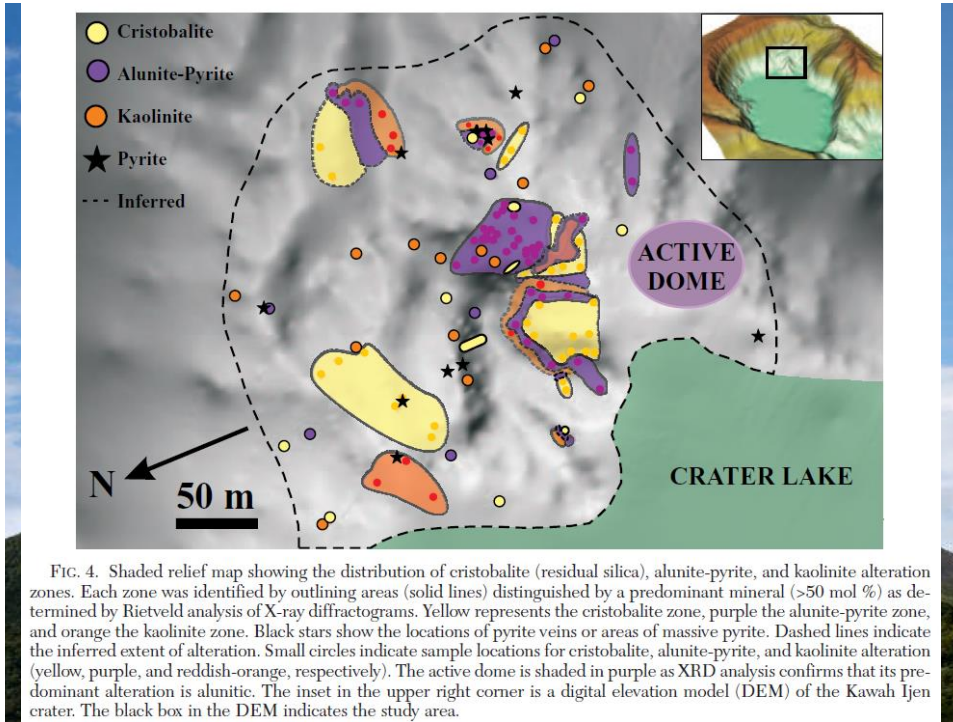
Voláteis (CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S , etc.) → controlam o estado redox dos fluidos

Metais → complexos iônicos (e.g. $\text{Au}(\text{HS})^{-2}$; AuCl^{-2})

Fluidos transportam os metais



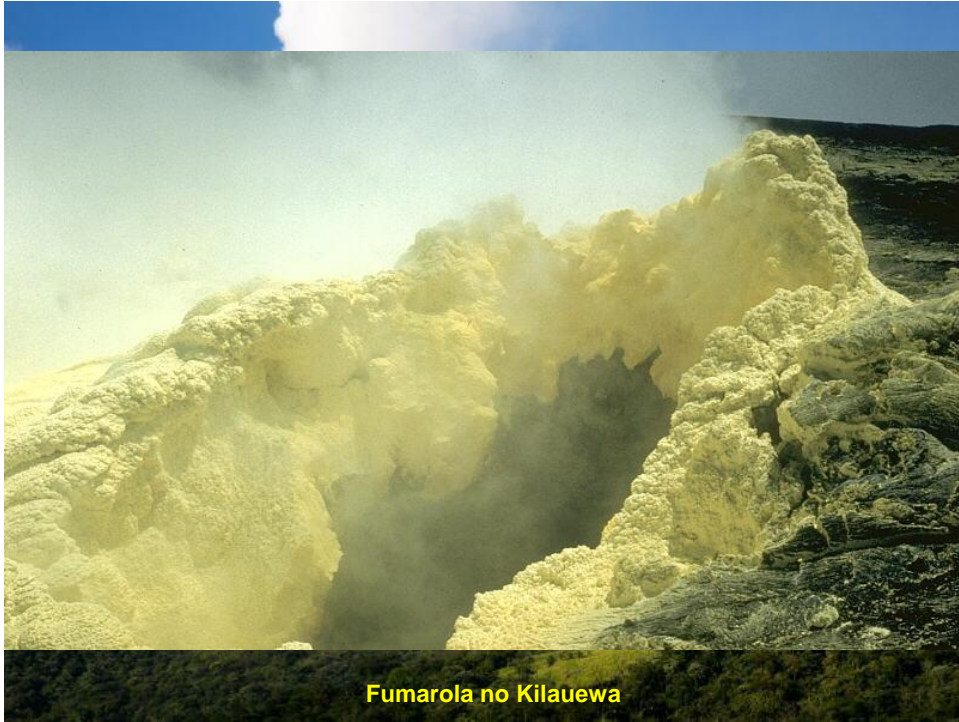




Fumarolas

- São escapes de gases associados ao vulcanismo para atmosfera
- Esses escapes de dão em zonas fraturadas, fissuras, *stockworks* em derrames de lavas, depósitos piroclásticos e domos de lavas
- Essas atividades podem permanecer ativas de décadas a centenas de anos se a fonte quente for persistente, ou até poucas semanas ou meses quando os depósitos e as atividades vulcânicas são pequenas
- Os fluidos são ricos em metais

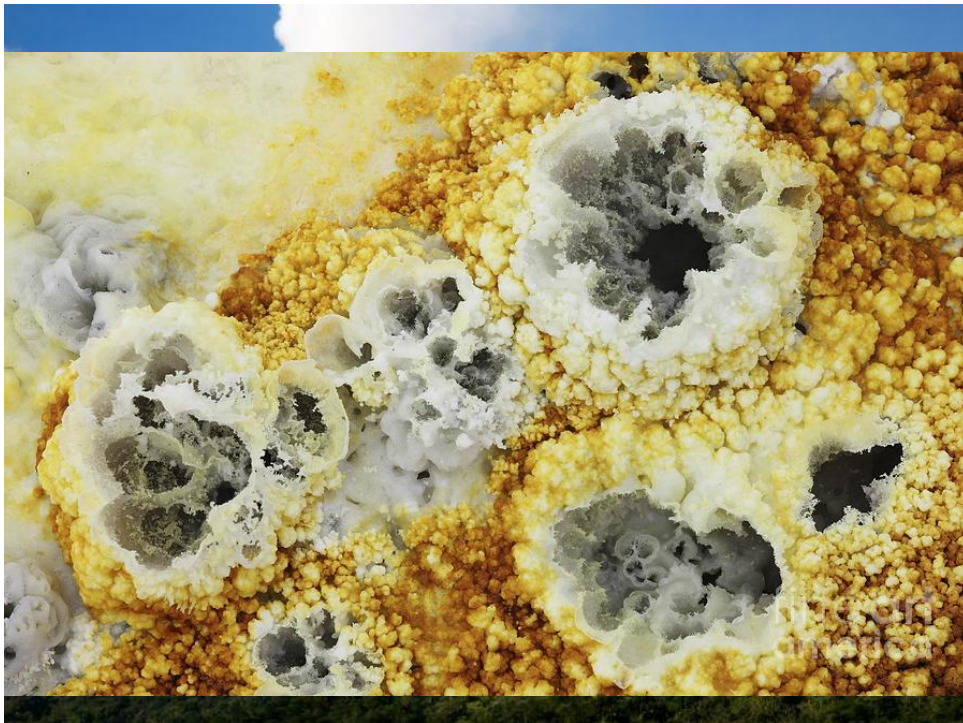




Fumarola no Kilauea



Foto de Kurt Wahlgren



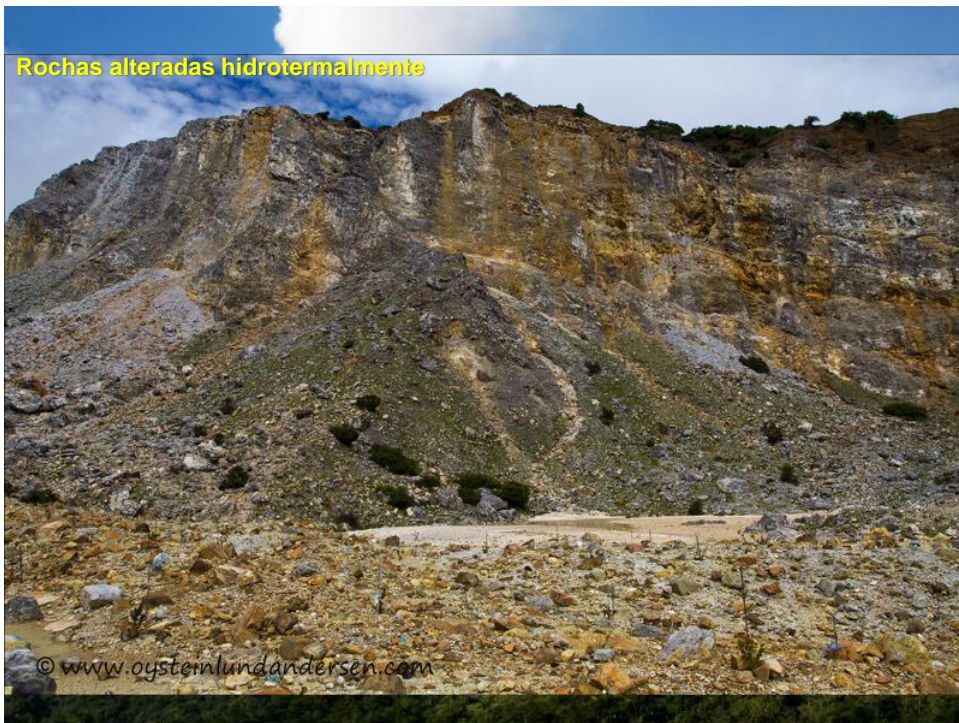


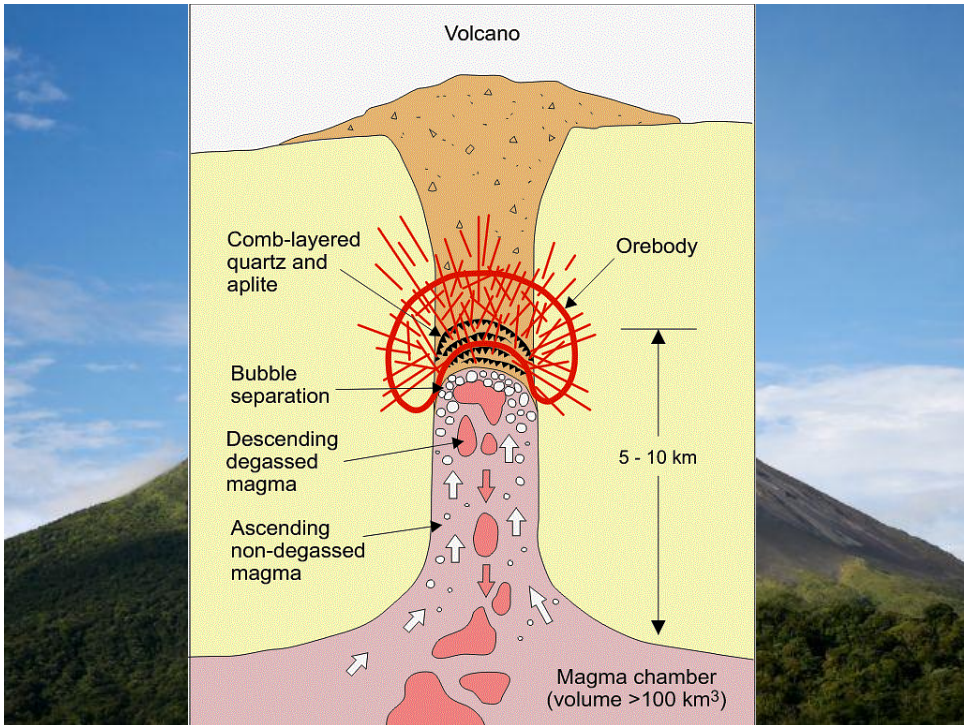
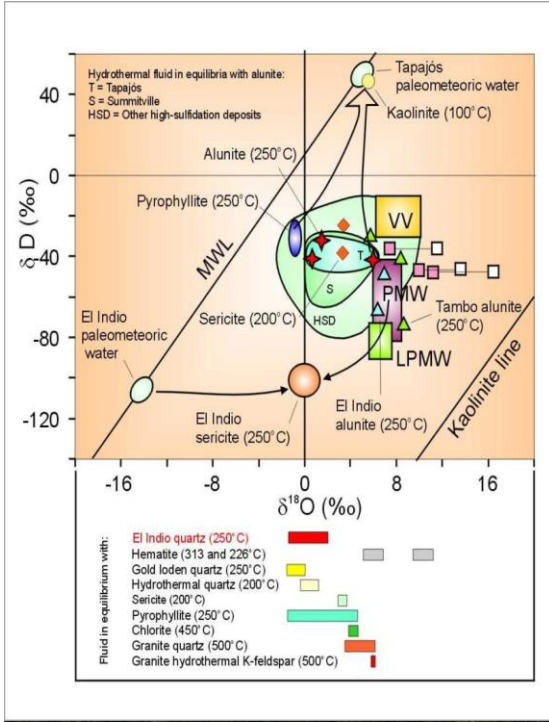
Námafjall, Iceland. Fumarole

Wolfgang Sauber



RM00320 [RM] © www.visualphotos.com





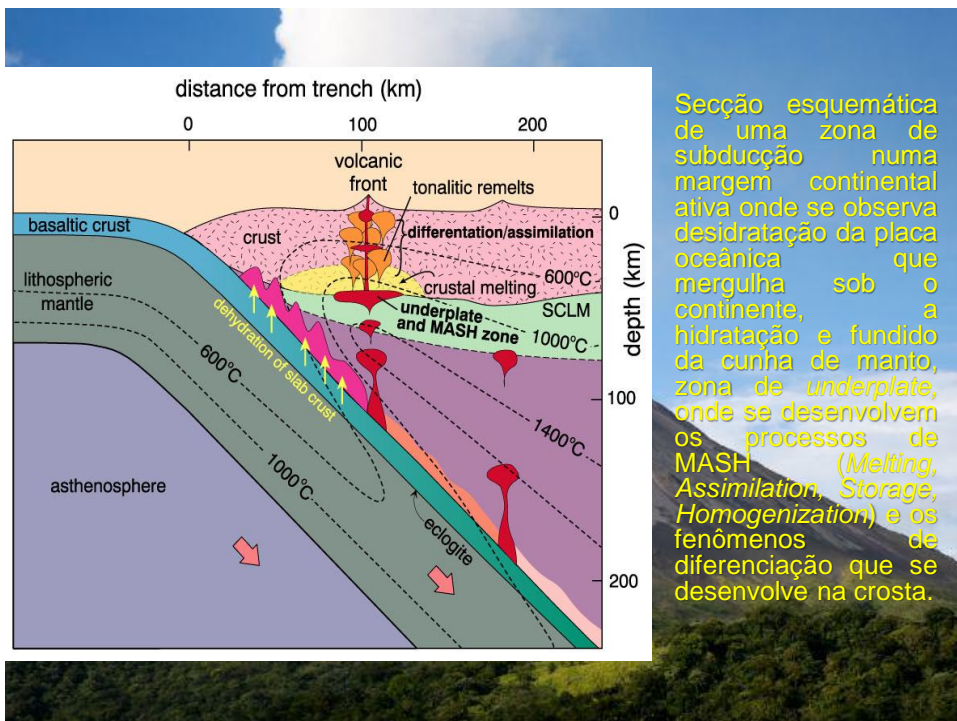


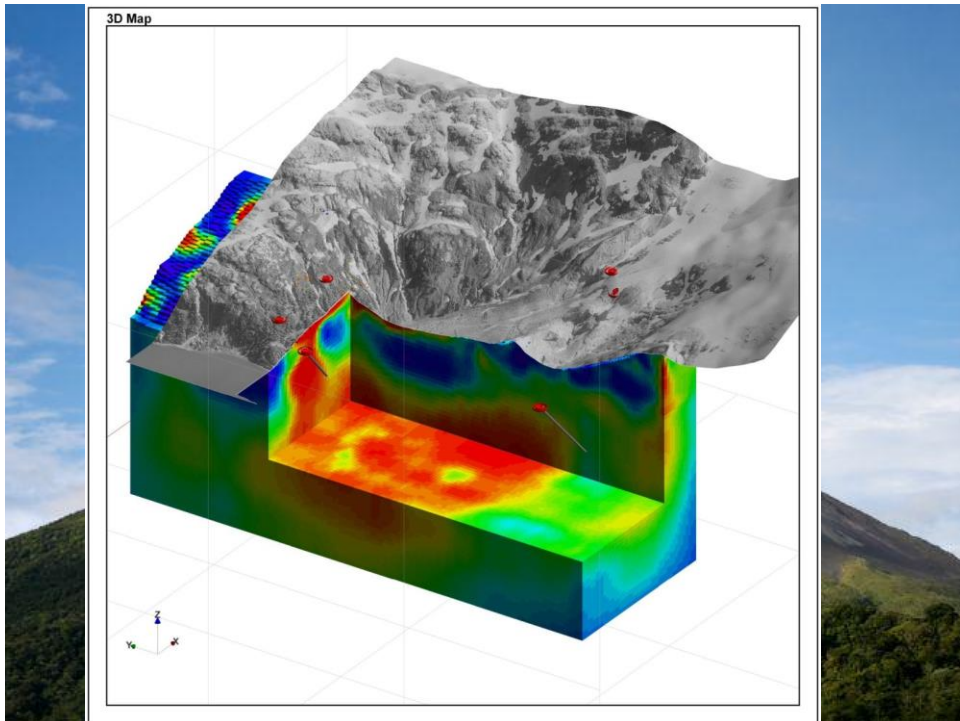
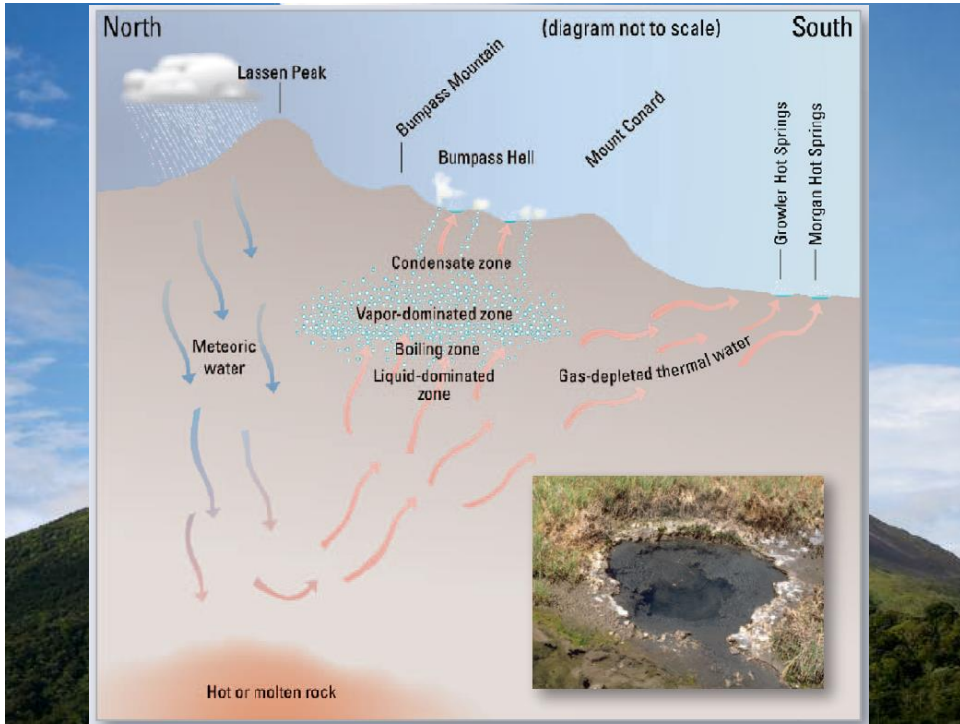
TIPOS DE SISTEMAS HIDROTERMAIS

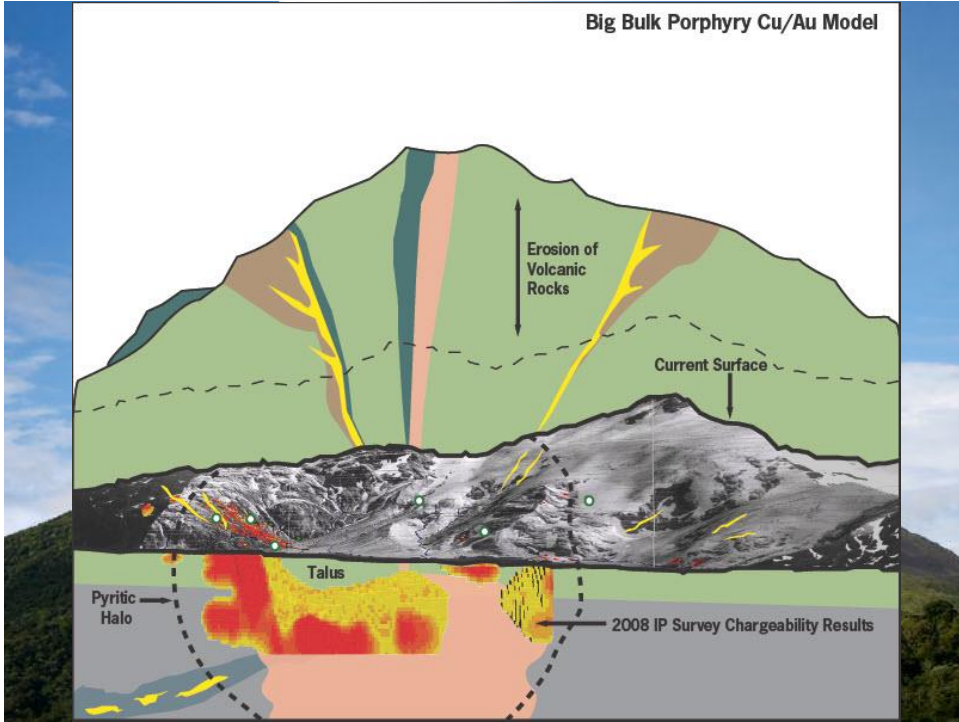
- a) Magmáticos relacionados a atividade plutônica rasa ou profunda.
Geram depósitos do tipo Sn-W *greisens*.
- b) Magmáticos-meteóricos a predominantemente meteóricos, presentes em ambientes vulcano-plutônicos a subvulcânicos, relacionados à atividade vulcânica.
São responsáveis por mineralizações porfíricas, *skarns*, depósitos epitermais de metais preciosos e de base, assim como por diversos tipos de depósitos na forma de veios.
- c) Atuantes sob o assoalho oceânico.
São responsáveis pela formação de uma ampla gama de depósitos vulcanogênicos de sulfetos maciços (Besshi, Cyprus, tipo *Kuroko*, tipo *Noranda*).

TIPOS DE SISTEMAS HIDROTERMAIS

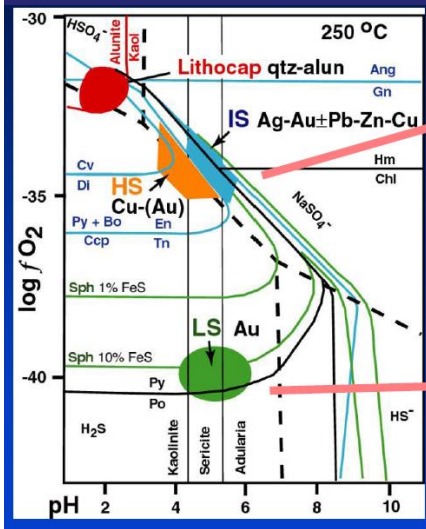
- d) Associados a *rifts* presentes em bacias sedimentares, podendo ou não estarem associados à atividade ígnea. Formam depósitos de sulfetos estratiformes exalativos sedimentares de Broken Hill e Mount Isa - Austrália, Gamsberg-Aggeney - África do Sul, Sullivan - Canadá.
- e) Depósitos do tipo *stratabound* de sulfetos encaixados em rochas carbonáticas. Podem ser considerados como membros finais daqueles do grupo (d).
- f) Sistemas hidrotermais relacionados ao metamorfismo, estando geralmente relacionados a eventos metamórficos progressivos. Depósitos de Au encaixados em turbiditos, depósitos arqueanos tipo *lode*.



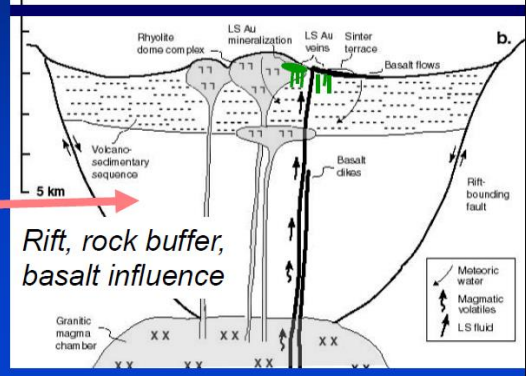
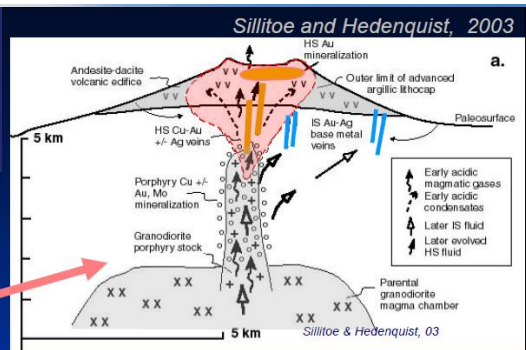


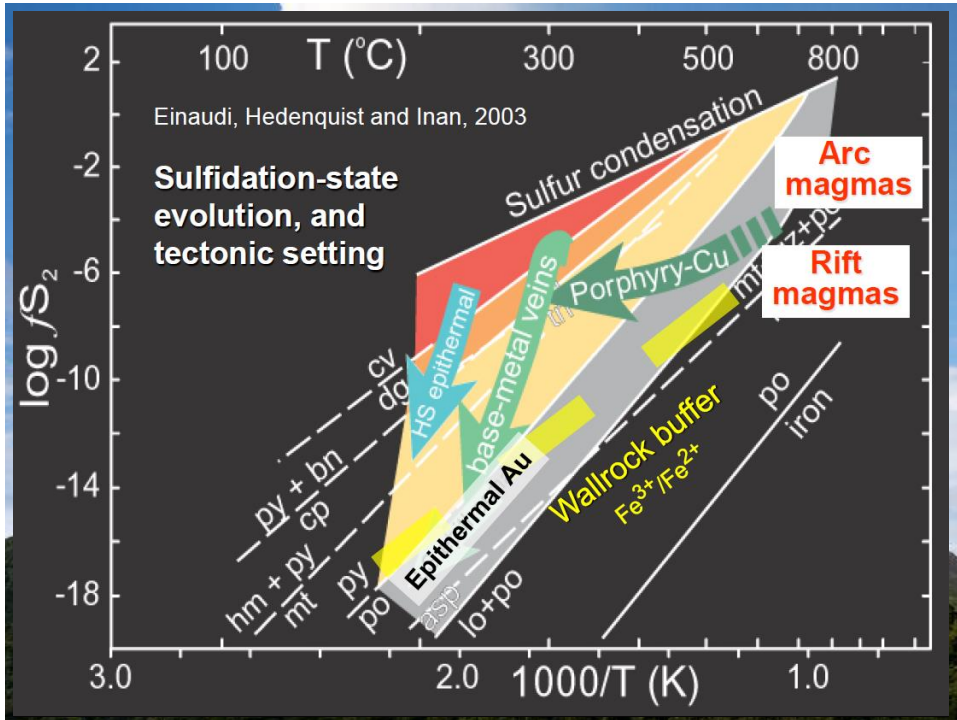


Tipos de depósitos epitermais no magmatismo de arcos e de rifts: diferenças fundamentais



Hedenquist et al., 2001





AMBIENTES DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL

- 1) Diagenese
- 2) Metamorfismo
- 3) Pós-magmatismo
- 4) Metassomatismo
- 5) Fundos oceânicos

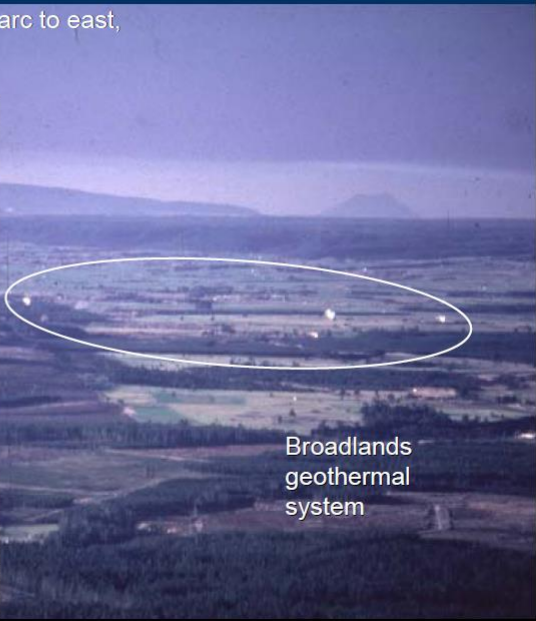


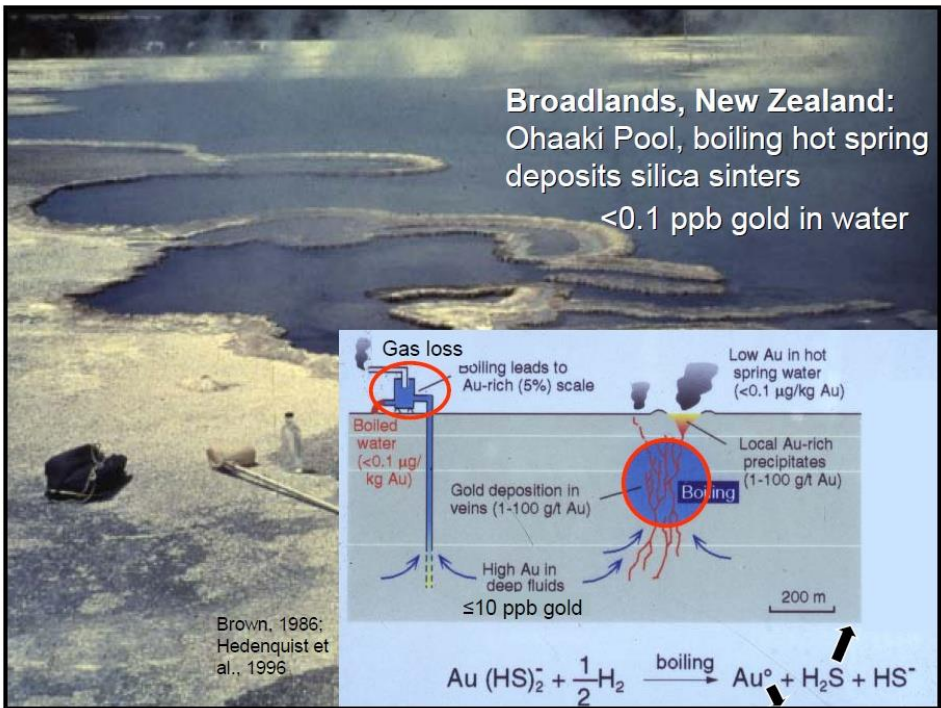
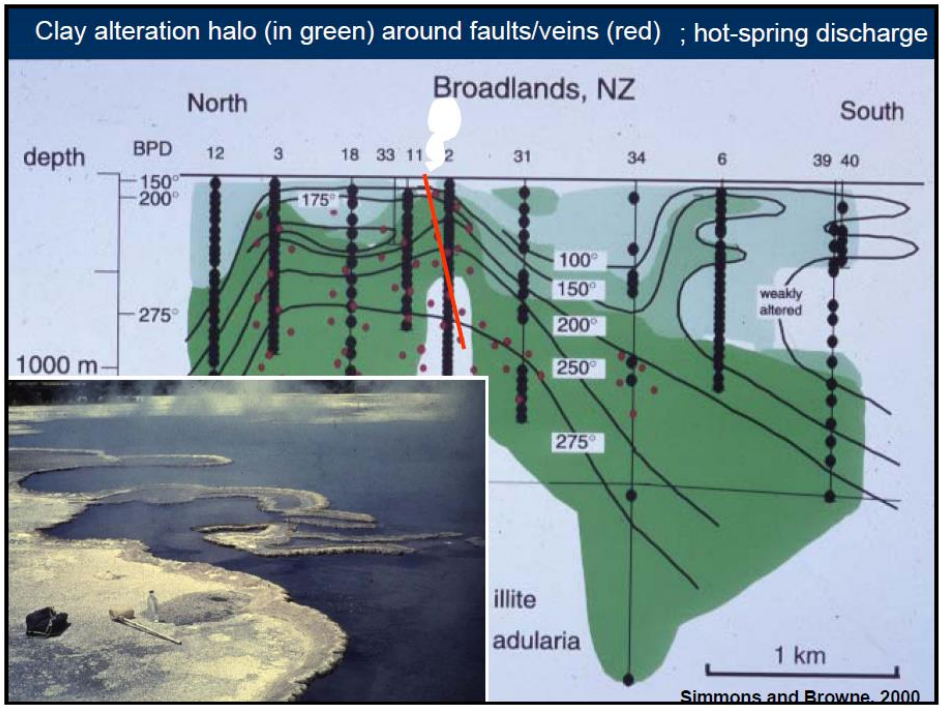
- **Missing links: gold deposits and hot springs**

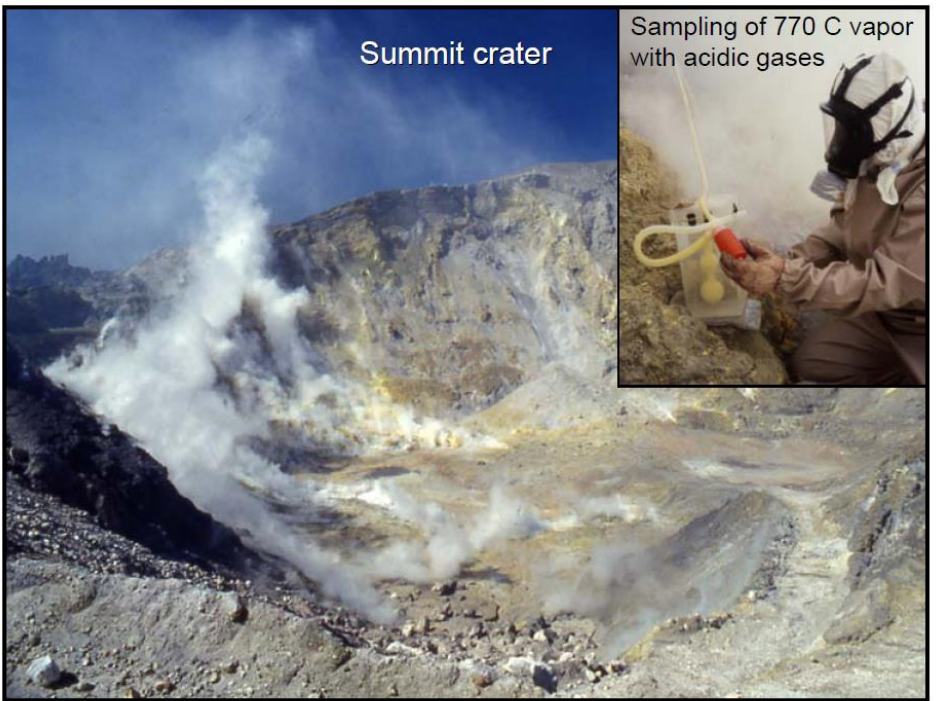


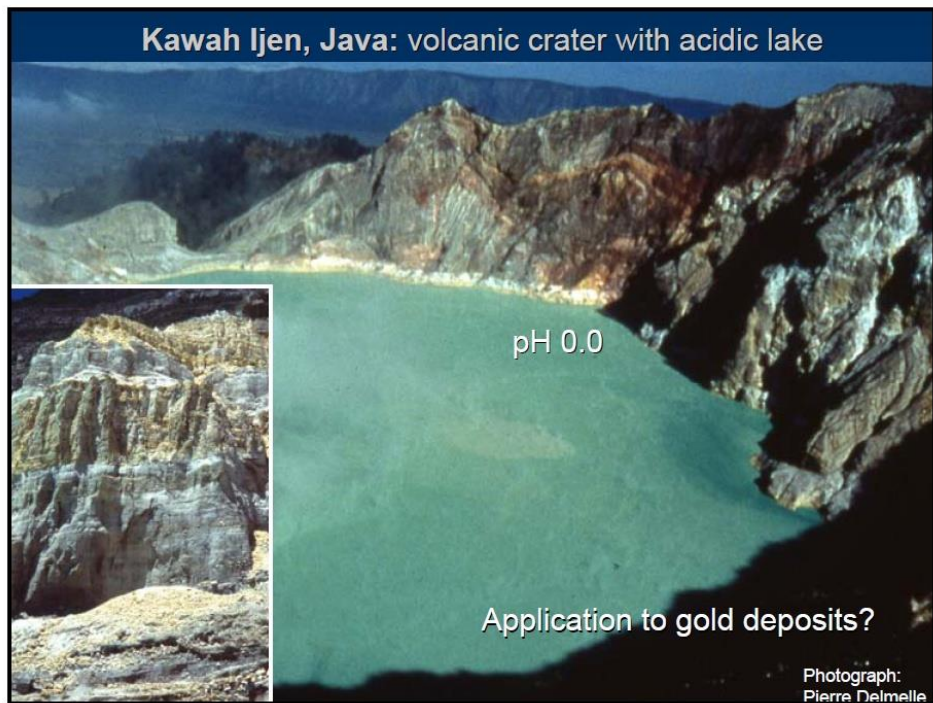
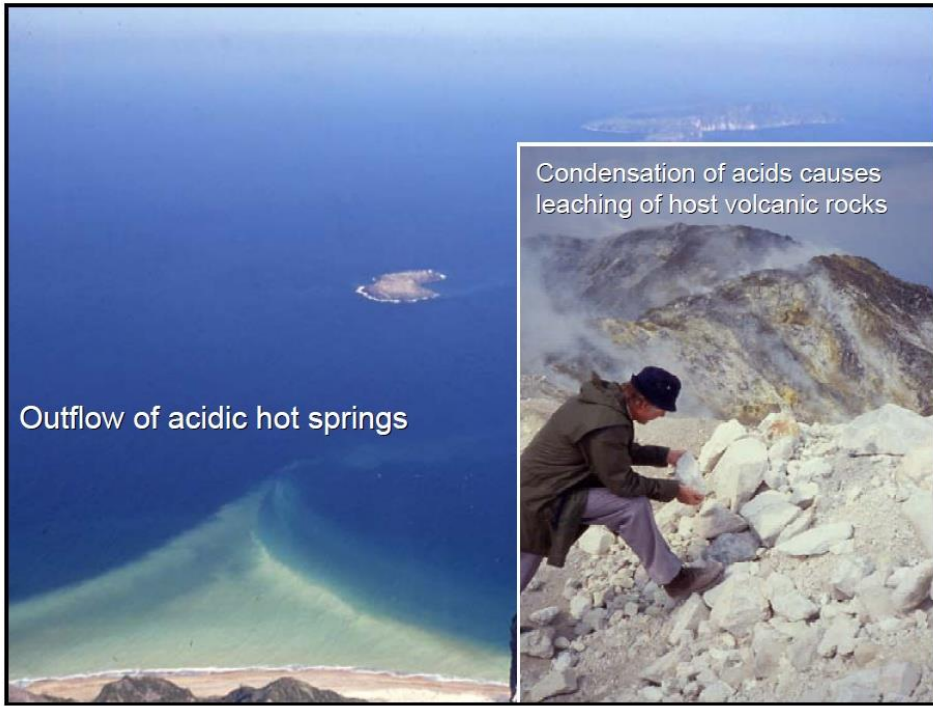
Taupo Volcanic Zone, New Zealand: Second missing link

Looking northeast: volcanic arc to east,
volcanic rift to west



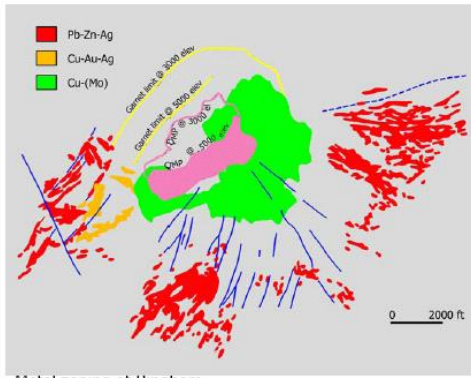




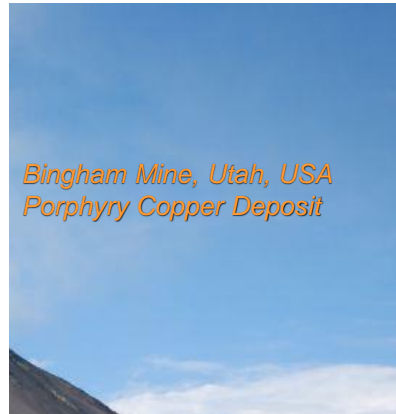




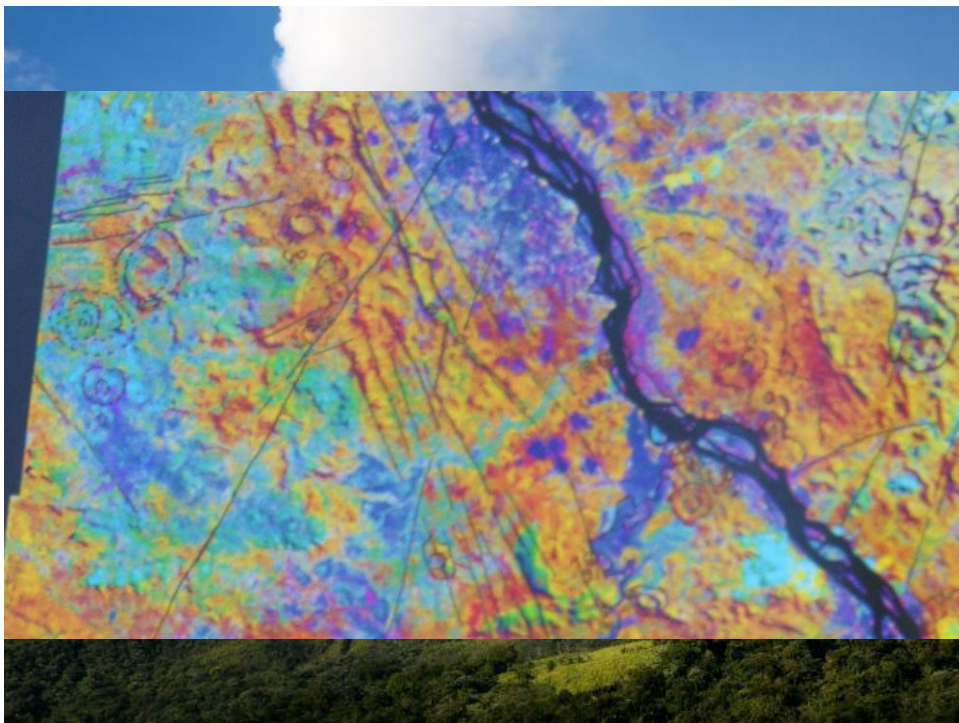
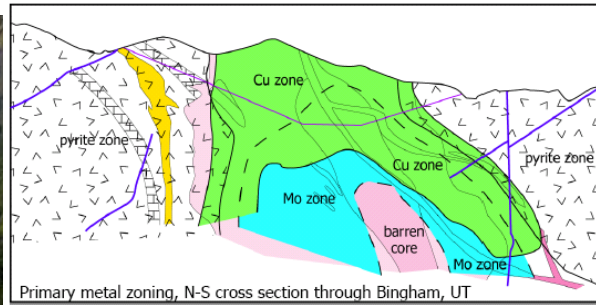
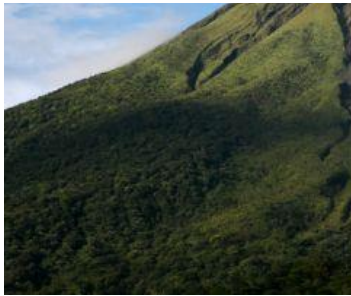
Ore Deposits



Metal zoning at Bingham



Bingham Mine, Utah, USA
Porphyry Copper Deposit

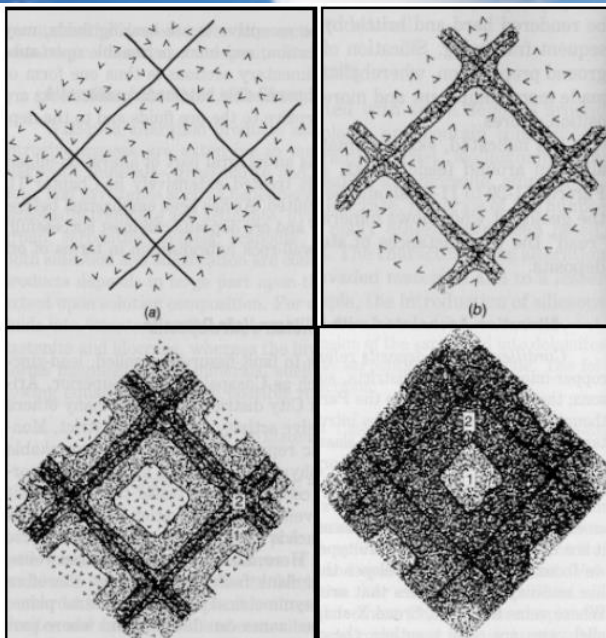


Estilos de Alteração Hidrotermal

Não existe consenso na definição dos estilos de alteração hidrotermal na literatura, reflexo dos diferentes critérios aplicados na descrição e classificação dos depósitos minerais, mas os estilos mais comuns são:

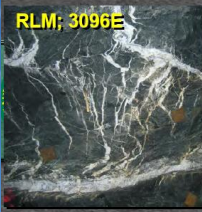
- **Fissural:** substituições ou preenchimentos em veios e/ou fraturas, com atuação em até alguns centímetros ao redor
- **Pervasivo:** substituição total ou da maior parte dos minerais originais da rocha, resultando na obliteração parcial ou total das texturas originais
- **Pervasivo seletivo:** caracterizado pela substituição de determinados minerais da rocha, como, por exemplo, a substituição de determinados megacristais, resultando em texturas pseudomórficas.

ESTILOS DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL

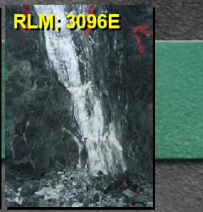


Fissural


Seletivamente
pervasivo
e
Pervasivo



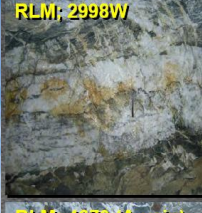
RLM; 3096E




RLM; 3096E




RLB gold mineralization: style




RLM; 2998W



RLM; 3096E



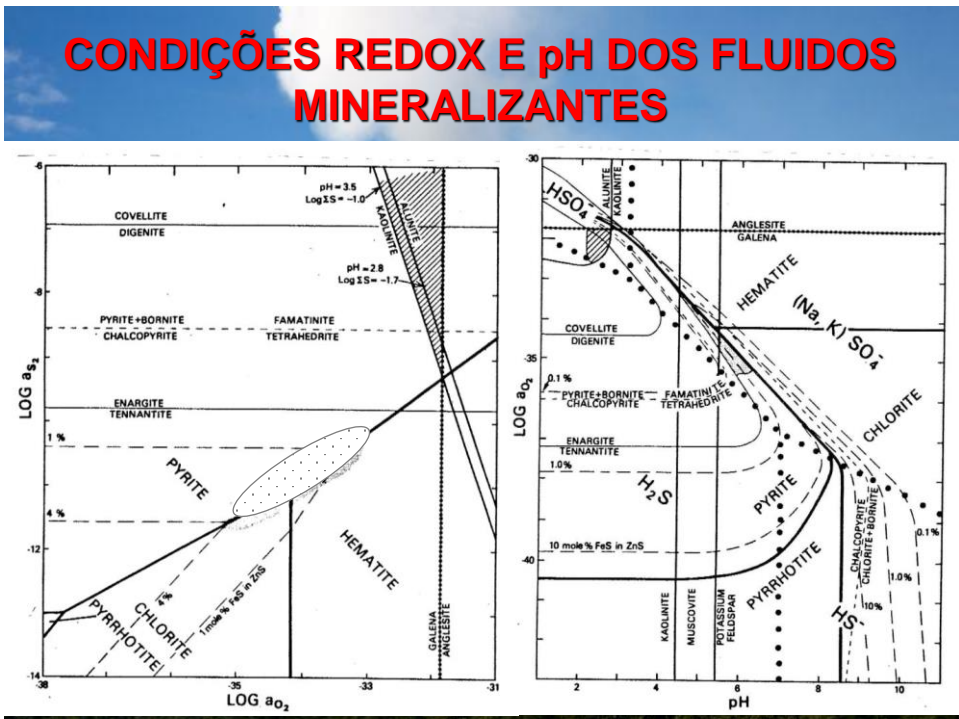
RLM; 4670 (A-vein)



SG-1; L6E

- brittle-ductile shear zones
- shear and tensile fracture arrays
- competent rock types, with strength anisotropies
- shear-hosted veins – massive, laminated and brecciated
- evidence of 'fault-valve' (Sibson et al., 1988) behaviour
- extension-vein stockworks – intensify into hydraulic breccia
- subhorizontal extension veins

- high degree of structural control
- synkinematic vein emplacement
- brittle-ductile (mid-crustal) conditions
- high fluid pressure (transiently supralithostatic)





Soluções hidrotermais podem ser alimentadas por águas


Marinhas

Meteóricas

Conatas (Formacionais ou bacinais)

Metamórficas

Magmáticas (Juvenis)



**Tipos de alterações hidrotermais
próxima aula.....**

e mais os epitermais....