

ROCHAS SEDIMENTARES

1. INTRODUÇÃO

Das rochas que constituem a crosta terrestre, as rochas sedimentares ocupam apenas 7.9%. Destes, 53% são 'shales', 22% arenitos e 25% calcários e dolomites. A exame de mapas geológicos de zonas continentais da Terra revelam que cerca de 66% das áreas estão cobertas por rochas sedimentares. Estes dados revelam também que quanto mais antigas as rochas menor a percentagem de rochas sedimentares. Na verdade, mais de metade de todas as rochas sedimentares têm idades inferiores a 130 Ma. Habitualmente, as rochas sedimentares são caracterizadas por apresentarem estratificação, isto é, apresentam várias camadas sobrepostas com diversas características.

2. PROCESSOS DE FORMAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES

A formação de rochas sedimentares engloba a conjugação de vários processos: a meteorização, a erosão, o transporte, a sedimentação e a diagénese. As rochas sedimentares são constituídas por partículas, denominadas **sedimentos**, que podem provir de diversas origens. A existência de rochas expostas à superfície terrestre e sujeitas aos agentes de **meteorização** (água das chuvas, ventos, gelo, etc.) constitui o ponto de partida para a formação dos sedimentos. A **erosão** dos maciços rochosos fragilizados pela meteorização conduz à degradação dos mesmos, originando partículas que ficam sujeitas aos agentes atmosféricos. A acção destes agentes pode, ou não, transportar estes sedimentos para longe das áreas de origem (áreas mãe) até depositá-los em zonas mais estáveis conhecidas por bacias de sedimentação. A **deposição** continuada de sedimentos, provoca um afundamento do fundo das bacias (mecanismo conhecido por subsidência) ficando os sedimentos sujeitos a novas condições físicas. Estas passam por um aumento da pressão e temperatura que vai provocar um empacotamento, desidratação, litificação, etc., isto é, um conjunto de processos globalmente conhecidos por **diagénese** e que termina com a formação de uma rocha sedimentar compacta e coerente.

As rochas e minerais estão em equilíbrio apenas no conjunto de condições físicas e químicas onde se formaram. Em novas condições tendem a alterar-se de modo a atingir um novo estado de equilíbrio. As rochas ígneas e metamórficas formam-se a temperaturas e pressões muito superiores àquelas que existem à superfície da Terra e em ambientes que contêm muito menos água, menos oxigénio, menos dióxido de carbono, e muito pouca matéria orgânica. Assim, é natural que estas rochas sejam instáveis e sofram modificações químicas e físicas quando atingem a superfície devido á erosão, forças tectónicas ou isostáticas. Estas modificações constituem um processo denominado meteorização. A **meteorização** é normalmente composta por processos biológicos, químicos e físicos. A meteorização química envolve essencialmente reacções de oxidação e de hidrólise; a água, por reacção com o dióxido de carbono atmosférico, torna-se ácida o que permite degradar os minerais. A ordem pela qual os minerais se alteram mais facilmente, por meteorização química, é grosseiramente o inverso da série de Bowen. Os processos físicos contribuem para a desagregação mecânica da rocha;

essencialmente são de quatro tipos: insolação (típica em climas desérticos), hidratação/desidratação (típica em savanas e climas temperados), libertação de tensões (possível em qualquer tipo de ambiente) e gelo/desgelo (mais vulgar em climas polares). Finalmente, os processos biológicos são causados pelos efeitos químicos e físicos da actividade orgânica sobre a rocha, causando essencialmente a formação dos solos.

A velocidade de alteração de um grão de um dado mineral em ambiente sedimentar é determinado por quatro factores: composição química, integridade estrutural, cristalinidade e as características químicas do ambiente.

Composição química - as forças de ligação entre os catiões e os aniões em silicatos são normalmente de tipo iónico ou covalente. As ligações iónicas são facilmente quebradas pelas moléculas de água dipolares, relativamente às ligações covalentes. Assim, minerais que contenham ligações iónicas são mais facilmente alterados (p.e. halite) do que os que são formados por ligações covalentes (p.e. quartzo). Os silicatos e aluminossilicatos são estruturas relativamente insolúveis em água devido às ligações Si-O e Al-O serem predominantemente covalentes.

Integridade estrutural - devido ao ataque químico ocorrer ao longo de superfícies, fracturas, clivagens, contactos entre minerais ou superfícies de maclas, a meteorização avança mais rapidamente em minerais que apresentam estes aspectos.

Cristalinidade - um cristal sem defeitos cristalográficos é o caso mais resistente à meteorização. Com a substituição de elementos e defeitos da malha cristalina, a estabilidade do mineral diminui. Assim, um feldspato potássico com algum sódio em solução sólida não é tão resistente à meteorização como um feldspato potássico puro. Os sólidos amorfos, tal como opala ou vidro vulcânico são estruturalmente desorganizados e, assim, facilmente dissolvidos pelas águas.

Característica química do ambiente - os silicatos são menos estáveis em meios ácidos do que em básicos e menos estáveis a altas temperaturas do que a baixas.

A **erosão** pode ser causada por quatro agentes: gravidade, acção dos glaciares, escorrência de água e vento. A força da gravidade provoca a queda dos sedimentos nas zonas instáveis (encostas p.e.) podendo originar verdadeiras avalanches de sedimentos. O lento deslocamento dos glaciares sobre o substrato rochoso provoca uma abrasão do mesmo dando origem a vales com um perfil típico. A água em movimento é um poderoso agente erosivo num vasto número de situações geomorfológicas desde zonas litorais, ambientes fluviais, etc. A acção erosiva do vento é das mais insignificantes; porém, o vento que sopra sobre um deserto, rapidamente levanta nuvens de areia que podem percorrer consideráveis distâncias.

É de salientar que, colocar a erosão depois da meteorização, constitui uma simplificação. Os processos da meteorização necessitam de tempo para que os seus efeitos sejam significativos (figura 1). Em algumas zonas, em especial zonas com um acentuado relevo, a erosão pode ocorrer tão depressa que a rocha exposta ao ar não tem tempo de se meteorizar significativamente (figura 2).

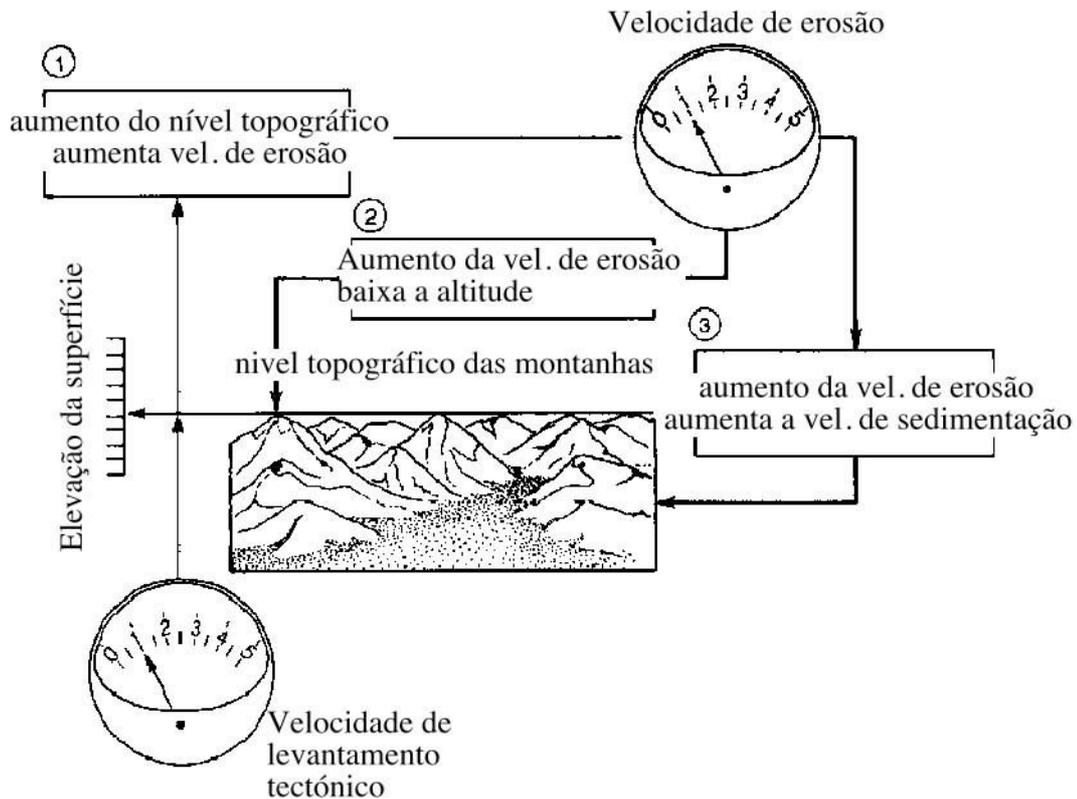


Figura 1 - Relação entre levantamento/erosão (1), elevação do nível topográfico (2) e sedimentação (3)

A acções da gravidade, gelo, água e vento constituem quer agentes de erosão quer de **transporte**. Os produtos da meteorização são de dois tipos: solutos e resíduos. Os solutos são as fracções solúveis das rochas transportadas pela água. Os resíduos são os produtos insolúveis da meteorização, podendo apresentar variadas granulometrias. A maior ou menor capacidade dos agentes transportadores deslocarem e segregarem os resíduos é conhecida por competência. A gravidade e o gelo são competentes para transportarem todos os tipos de produtos de meteorização, solúveis e insolúveis. A água, pelo contrário, é um agente muito eficiente no transporte de material em solução, sendo menos eficiente no transporte de sedimentos sólidos. Quanto mais forte a corrente de água, maiores serão as partículas transportadas. Finalmente, a acção do vento é a mais selectiva. Normalmente, o vento apenas consegue transportar sedimentos com diâmetros médios inferiores a 0.35 mm.

Os sedimentos são partículas de diversas formas, origens e composição. As propriedades

físicas das partículas devem ser caracterizadas quer na perspectiva da textura da superfície (podendo obter-se informações sobre a história geológica da partícula) quer da forma externa da partícula (graus de esfericidade e arredondamento) quer das suas dimensões (desde argila a blocos) (figuras 3 e 4).

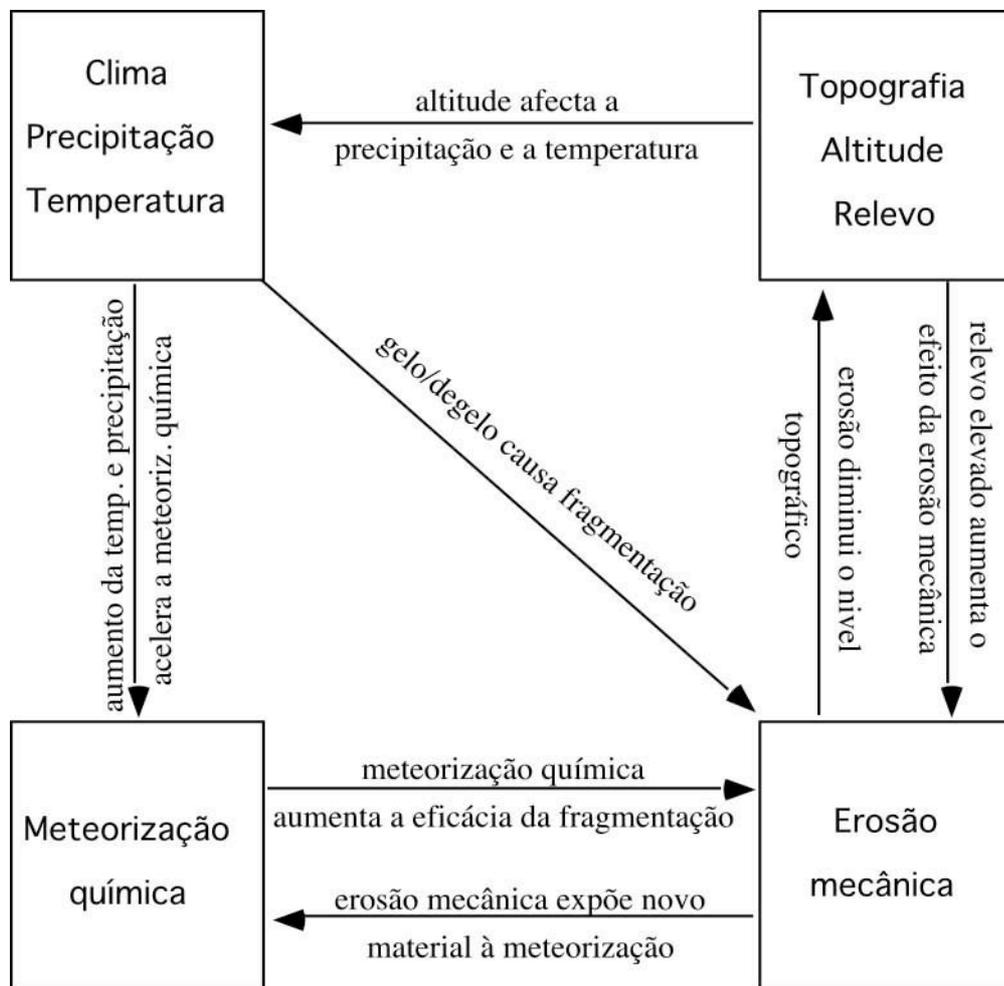


Figura 2 - Inter-relação entre os principais factores que controlam a meteorização e erosão

	muito angular	angular	subangular	sub-arredondado	arredondado	muito arredondado
alta esfericidade						
baixa esfericidade						

Figura 3 - Esfericidade e arredondamento de sedimentos

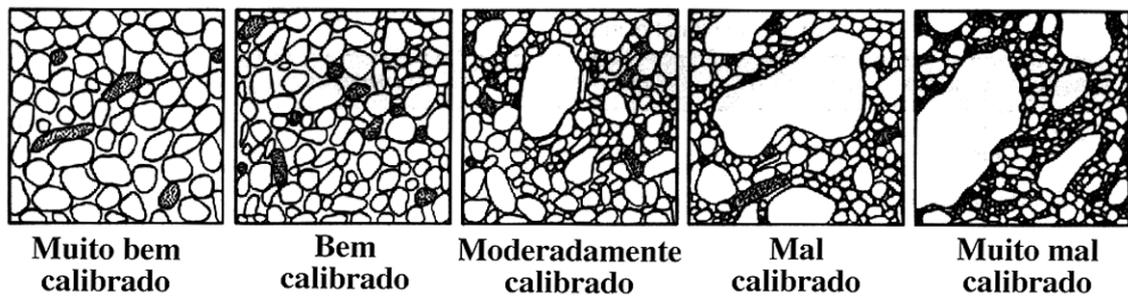


Figura 4 - Esquemas ilustrativos do conceito de calibração

A **erosão**, **transporte** e **sedimentação** estão relacionados entre si. O diagrama de Hjulstrom (figura 5) ilustra as respectivas relações. Em termos gerais, quando maior a granulometria de um sedimento, maior terá de ser a velocidade de transporte. Porém, verifica-se que para partículas muito finas, a velocidade para iniciar o transporte terá de ser relativamente elevada, muito maior do que inicialmente previsto. Este facto justifica-se pela facilidade de agregação entre partículas pequenas, formando partículas maiores, de maior peso, que entram em transporte com maior dificuldade.

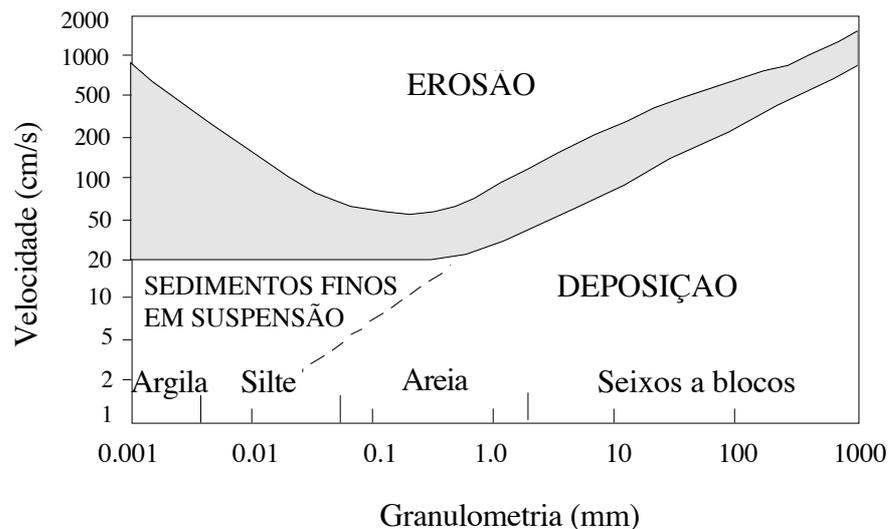


Figura 5 - Diagrama de Hjulstrom que relaciona erosão/transporte/sedimentação

Uma vez o sedimento depositado e coberto por outros sedimentos, não fica imune a mudanças. Basta observarmos as diferenças na dureza, coesão e porosidade entre argilas ou areias recentemente depositadas e argilitos ou arenitos para constatar este fenómeno. Os vários processos que produzem modificações na composição e textura de uma rocha após a deposição são chamados de **diagénese**. Geralmente eles conduzem a um endurecimento do sedimento, ou seja, à sua litificação. A diagénese pode também alterar a composição mineralógica dissolvendo alguns minerais originais e precipitando outros.

A modificação física mais importante da diagénese é a compactação, isto é, a diminuição de

porosidade causada pela união dos vários grãos provocada pelo peso dos sedimentos sobrejacentes. As areias são relativamente bem empacotadas à medida que ocorre a sua deposição pelo que a diagénese provoca nelas uma pequena compactação. Porém, argilas recentemente depositadas são bastante porosas. Normalmente possuem mais de 60% de água, de modo que a compactação vai reduzir bastante o seu volume. A porosidade de um sedimento pode também diminuir francamente pela precipitação de minerais diagenéticos nos poros.

As modificações diagenéticas químicas resultam de duas tendências principais. A primeira consiste numa aproximação gradual em direcção ao equilíbrio químico da mistura de vários minerais (que 'viajaram' juntos num sedimento) em condições de não equilíbrio. Assim, a sedimentação pode misturar minerais de dois tipos muito diferentes de rochas ígneas (p.e.) minerais que seriam incompatíveis nas condições originais de formação de rochas ígneas, tais como plagioclase rica em sódio de um granito com plagioclase rica em cálcio de um basalto. As reacções diagenéticas tendem a dissolver os feldspatos ricos em Ca e a precipitar feldspatos ricos em Na, 'deslocando' a rocha no sentido do equilíbrio. Um outro exemplo de não equilíbrio é a existência de grãos de aragonite num sedimento carbonatado o qual, com o tempo, tende a transformar-se em calcite, a forma de carbonato de cálcio mais estável a baixas pressões e temperaturas. Esta tendência para o equilíbrio resulta em muitas outras reacções químicas entre minerais incompatíveis ou instáveis o que resulta na formação de novos minerais conduzindo a rocha a uma nova composição em equilíbrio com o meio envolvente.

A segunda tendência é para um sedimento ser enterrado mais ou menos profundamente na crosta. À medida que ele vai ficando mais profundo, fica sujeito a temperaturas ($\pm 1^\circ\text{C}$ por 33m) e pressões (± 1 atm por cada 4.4m) cada vez mais elevadas. Os minerais e a água que coexistem em contacto tendem a reagir (nestas novas condições termodinâmicas) e a formar novos minerais. Este processo levado a um determinado nível é chamado de metamorfismo e conduz à transformação numa nova rocha. A fronteira entre diagénese e metamorfismo é um pouco arbitrária, embora se costume atribuir a temperatura de 300°C .

A diagénese tem uma importância capital na formação de recursos geológicos de interesse económico. É com base neste processo que se formam as reservas de petróleo, gás, carvão.

3. CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES

A classificação principal dos sedimentos está relacionada com a granulometria (figura 6). Como se pode ver nesta figura, existem designações específicas para o caso de sedimentos desagregados e agregados. Assim, por exemplo, sedimentos com dimensões da ordem de 0.01 mm designam-se por silte. Se estas partículas formarem uma rocha, então esta designa-se por siltito.

As rochas sedimentares consistem quase inteiramente de três tipos: arenitos (20-25%),

argilitos (65%) e rochas carbonatadas (10-15%), sendo as restantes rochas sedimentares inferiores a 5%. No entanto, estas médias mundiais variam bastante quer a uma escala regional como local.

S (mm)	Phi (-log ₂ S)	DESAGREGADOS	AGREGADOS	
256	-8	blocos	conglomerado	
128	-7			
64	-6	seixos		
32	-5			
16	-4			
8	-3			
4	-2			
2	-1			
1	0	areia	arenito	
0.5	1			muito grosseira
0.25	2			grosseira
0.125	3			média
0.0625	4		fina	siltito
0.0312	5		muito fina	
0.0156	6		grosseiro	
0.0078	7		médio	
0.0039	8	fino	argilito	
		muito fino		
		argila		

Figura 6 - Classificação granulométrica de Wentworth

As rochas sedimentares dividem-se em dois grandes grupos: detríticas ou terrígenas e químicas. Para cada um destes grupos, existe uma classificação, como veremos seguidamente.

As rochas detríticas classificam-se de acordo com a granulometria dos clastos e sua tipologia, e percentagem de matriz (figura 7). O tipo de cimento pode ainda ser utilizado para melhor caracterizar a rocha (p.e. arenito ferruginoso, conglomerado carbonatado).

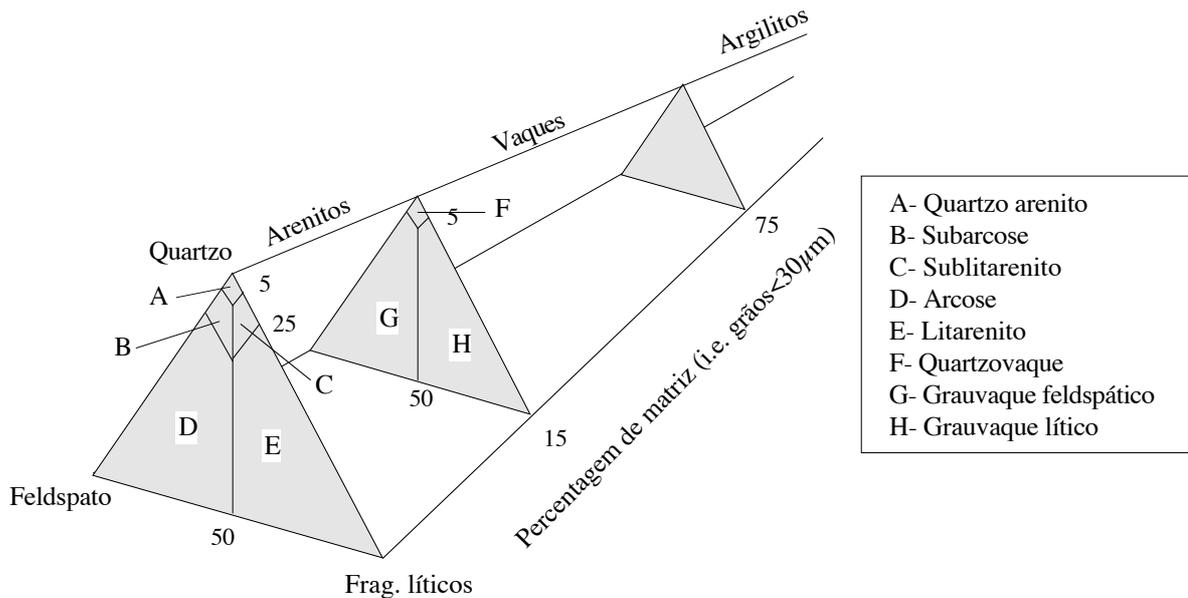


Figura 7 - Classificação de rochas sedimentares detríticas

As rochas sedimentares químicas, em virtude da sua grande homogeneidade composicional com o predomínio do carbonato de cálcio, possuem uma classificação baseada sobretudo em aspectos texturais.

Existe alguma correspondência, em termos estruturais, entre rochas detríticas e carbonatadas:

Rochas detríticas	Rochas químicas
Clastos	Aloquímicos
Matriz	Micrite
Cimento	Esparrite

De acordo com a granulometria das rochas químicas, assim se classificam como calcirudito (>2mm), calcarenito (2mm-62µm) e calcilito (<62µm).

Livros recomendados:

- Selley R. C. (1988) - Applied sedimentology. Academic Press
- Press F. & Siever R. (1986) - Earth.
- Petijohn E.J. (1975) - Sedimentary rocks

Páginas de interesse na Internet:

- <http://www.techcenter.fc.peachnet.edu/tests/sedrk.html>
- <http://www.fossilfuels.org/>
- <http://www.science.ubc.ca/~geol202/sed/sedimentary.html>