



Passeio Geológico  
da Foz do Douro

O COMPLEXO METAMÓRFICO DA FOZ DO DOURO

# Um guia de campo didáctico

THE "FOZ DO DOURO" METAMORPHIC COMPLEX

# An educational field guide

## **FICHA TÉCNICA** TECHNICAL DETAILS

### **Título:**

O Complexo Metamórfico da Foz do Douro  
Um guia de campo didáctico  
The “Foz do Douro” Metamorphic Complex  
An educational field guide

### **Desenvolvimento** Development:

Departamento de Geologia da FCUP  
Centro de Geologia da Universidade do Porto

### **Equipa** Team:

Mónica Sousa  
Violeta Ramos  
Clara Vasconcelos  
Manuela Marques

### **Coordenação Científica:**

Fernando Noronha

### **Edição e Coordenação do projeto:**

Câmara Municipal do Porto

### **Equipa** Team:

Luísa Borges  
Filomena Alves

### **Ilustrações** Illustrations:

Rui Ramos

### **Revisão do texto em inglês** English Text Revision:

Paul Burton

### **Design** Design:

Loja das Ideias

### **Impressão e Acabamento** Printing and Finishing:

Tecniforma Print

### **Tiragem** Printing:

(Colocar o nº de exemplares impressos)

### **ISBN:**

????????????

### **Depósito legal:**

286110/08

# ÍNDICE

# CONTENTS

## INTRODUÇÃO

5

## INTRODUCTION

### A IDADE DAS ROCHAS

- Rochas com milhões de anos?  
Como podemos saber a sua idade?  
O que são os relógios das rochas?

6  
7

### THE AGE OF ROCKS

- Rocks millions of years old?  
How can we know their age?  
What are the timepieces of rocks?

### O COMPLEXO METAMÓRFICO DA FOZ DO DOURO

- Enquadramento Geológico  
Breve História Geológica  
Património Geológico

9  
11  
12

### THE "FOZ DO DOURO" METAMORPHIC COMPLEX

- Geological Setting  
Brief Geological History  
Geological Heritage

### PASSEIO GEOLÓGICO DA FOZ DO DOURO

- Um salto no tempo  
A erosão das rochas  
O gneisse nasceu granito  
"Mistura" de rochas  
Já fui fundo oceânico  
Brecha ígnea

14  
18  
22  
26  
30  
34

### "FOZ DO DOURO" GEOLOGICAL WALK

- A leap in time  
Rock erosion  
The gneiss was originally granite  
"Mixture" of rocks  
I was once sea floor  
Igneous breccia

### GLOSSÁRIO

38

### GLOSSARY

### BIBLIOGRAFIA

46

### BIBLIOGRAPHY



# INTRODUÇÃO

Ao longo da sua existência, o planeta Terra passou por inúmeras transformações que o foram moldando intensamente. A colisão de placas originou a formação de cadeias de montanhas, posteriormente arrasadas pela erosão. Inúmeros rios escavaram abruptos vales remodelados por poderosos glaciares que avançaram e regrediram devido a variações climáticas. A deriva continental alterou a posição de diversos continentes conquistados e abandonados por mares e oceanos.

A geografia e a paisagem foram, assim, modificadas ao longo do tempo geológico (contado em milhões de anos) e, embora aos nossos olhos permaneçam quase estáticas, elas continuam o seu processo de transformação.

Os processos geológicos que dão origem a estas modificações atuam, de uma forma geral, muito lentamente do ponto de vista da perspectiva humana. No entanto, há alguns processos que atuam e alteram a paisagem numa questão de minutos: tempestades marinhas que modificam as linhas costeiras, sismos, vulcões, cheias rápidas, entre outros.

Ao estudar os vários tipos de rochas, o geólogo pode reconstruir a longa história da Terra e perceber de que forma a paisagem e a geografia de uma dada região se modificaram.

As rochas presentes ao longo da faixa litoral da cidade do Porto, entre o Forte S. Francisco Xavier (vulgo Castelo do Queijo) e o molhe de Felgueiras, constituem verdadeiras “cápsulas do tempo” que encerram uma parte da história geológica da Península Ibérica e do nosso planeta.

Nas páginas que se seguem irão ser desvendados os segredos que encerram estas rochas velhíssimas, com milhões de anos.

# INTRODUCTION

Throughout its existence planet Earth has overcome countless changes that have profoundly influenced it. Plate collisions have led to mountain chain building, these to later be worn away by erosion. Countless numbers of rivers carved steep valleys subsequently remodelled by powerful glaciers that advanced and retreated due to climate changes. Continental drift modified the position of various continents that were conquered and abandoned by seas and oceans.

Geography and landscapes were, therefore, modified throughout geological time (counted in million years) and, although to our eyes they remain almost static, they continue to experience their process of transformation.

From the human perspective, the geological processes that give rise to these changes generally move very slowly. However, there are some processes that occur that can alter the landscape in a matter of minutes: ocean storms that change the coastlines, earthquakes, volcanoes, flash-floods, amongst others.

Studying the different types of rocks, the geologist can reconstruct the long history of the Earth and understand how the landscape and the geography of a specific region have changed.

The rocks present along the shoreline of Porto, between “S. Francisco Xavier” Fort and “Felgueiras” pier, are true “time capsules” that demonstrate a part of the geological history of the Iberian Peninsula and our planet.

In the following pages will be revealed the secrets that these ancient millions of years old rocks conceal.



Complexo Metamórfico da Foz do Douro "Foz do Douro" Metamorphic Complex

# A IDADE DAS ROCHAS

# THE AGE OF ROCKS

## Rochas com milhões de anos?

### Como podemos saber a sua idade?

Existem dois tipos de idades para as rochas: a idade relativa e a idade absoluta. Para a sua determinação utilizam-se métodos diferentes.

A idade relativa das rochas é estimada mediante a observação de um conjunto de rochas existentes num determinado local. Este método apenas permite identificar de forma qualitativa quais as rochas mais recentes e as mais antigas desse mesmo conjunto.

Por exemplo, considerando duas camadas de rochas sedimentares, se a posição destas não sofreu modificações desde a sua deposição considera-se que a mais recente se encontra por cima da mais antiga. Esta conclusão deve-se à aplicação do designado por “**Princípio da sobreposição**”.

Por outro lado, um filão ou uma falha que corta determinada rocha ou camada é posterior a essa rocha ou camada. Estamos a aplicar o que se designa por “**Princípio da Intersecção**”.

No século XX, os geólogos descobriram que as rochas contêm “Relógios Atómicos”. Estes permitem calcular quando uma rocha se formou, ou seja, a sua idade absoluta, pela medida da quantidade de elementos radioactivos nela existentes. Isto é, foi possível calcular uma idade em anos para as rochas.

## Rocks millions of years old?

### How can we know their age?

Two types of ages are considered when dating a rock: the relative age and the absolute age. Different methods are used to determine them.

The relative age of rocks is estimated through the observation of an assemblage of rocks existing in a certain place. This method allows only the qualitative identification of the most recent and the older rocks of that assemblage.

For example, considering two layers of sedimentary rocks, if their position did not suffer any change since their deposition it is concluded that the most recent rock is on the top. We arrive to this conclusion by applying the “**Superposition Principle**”.

On the other hand, a vein or a fault that cuts across a particular rock or a layer is more recent than that rock or layer. Here we are applying the “**Cross Cutting Principle**”.

In the 20th century, geologists found out that rocks contain “Atomic Clocks”. These permit the calculation of when a rock was formed, that is, its absolute age, by measuring the quantitative radioactive elements existing in the rock. So, it became possible to calculate an age in years for rocks.



Falha corta o gnaisse e o pegmatito (Princípio da Intersecção). A areia foi posteriormente depositada (Princípio da Sobreposição).

Fault cutting across gneiss and pegmatite (Cross Cutting Principle). The sand was deposited later (Superposition Principle).

## O que são os relógios das rochas?

A partir de métodos físico-químicos baseados no estudo do decaimento radioactivo de isótopos de elementos radiogénicos e seus produtos de desintegração é possível obter a idade absoluta de uma rocha. Este estudo tem como base o conhecimento do tempo de decaimento dos elementos radioactivos.

Diz-se que um dado elemento químico tem vários isótopos quando possui diferentes pesos atómicos, ou seja, diferente número de neutrões para um mesmo número de protões (p.e.  $U^{237}$ ,  $U^{238}$ ). Esses isótopos podem ou não ser radiogénicos. São radiogénicos quando por decaimento radioactivo vão dar lugar a outro elemento. Por exemplo o  $U^{238}$  (isótopo pai) dá lugar por decaimento ao  $Pb^{206}$  (isótopo filho).

A quantidade de tempo para que ocorra a transformação de um isótopo noutro designa-se por taxa de decaimento e é expressa em termos de meia-vida de um isótopo, ou seja, o tempo necessário para que a radioactividade de uma determinada quantidade de um elemento radioactivo decaia para metade do seu valor inicial. A grande maioria dos isótopos radioactivos têm taxas rápidas de decaimento (ou seja, períodos de meia-vida curtos), perdendo a sua radioactividade em poucos anos ou mesmo em poucos dias. No entanto, alguns isótopos decaem lentamente, sendo, por isso, alguns deles utilizados em datações radiométricas das rochas. É o caso, por exemplo, do  $U^{238} / Pb^{206}$  cuja meia vida é da ordem de 4500 milhões de anos, ou o  $K^{40}$  que decai gerando  $Ar^{40}$  com valores de meia-vida de cerca de 1250 milhões de anos. Se se conhecer correctamente a meia vida de um determinado isótopo radiogénico, a partir do doseamento preciso da quantidade de isótopo pai e isótopo filho, é então possível determinar a idade absoluta de uma rocha.

Nas rochas ígneas, sedimentares e metamórficas encontramos, frequentemente, cristais diminutos de um mineral que devido à sua estrutura atómica é capaz de providenciar uma imagem da história precoce da Terra e da evolução da crosta e do manto, o **zircão**. Este desde há muito que foi reconhecido como o melhor geocronómetro utilizando, para tal, o decaimento radioactivo de urânio para chumbo. Os zircões guardam registos que permitem calcular a idade de cristalização da rocha ígnea. Técnicas recentes de determinação da idade do zircão incluem análises ponto a ponto para doseamento do urânio e chumbo recorrendo à microssonda iónica.

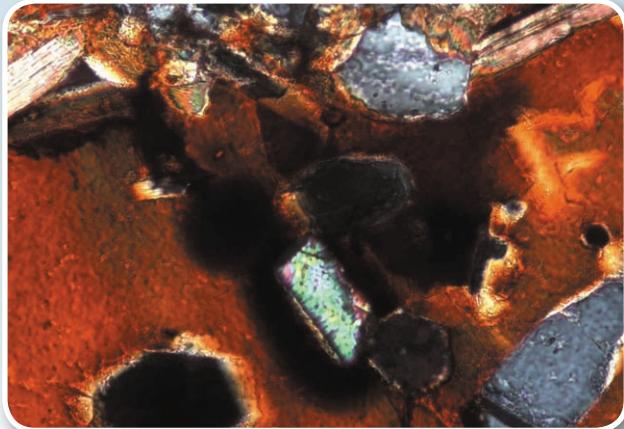
## What are the timepieces of rocks?

From physical-chemical methods based on the radioactive decay study of radiogenic isotopes and their disintegration products it is possible to obtain an absolute age for a rock. This study is based on the knowledge of radiogenic elements time of decay.

It is said that a certain chemical element has several isotopes when it has different atomic weights; this means a different number of neutrons to an equivalent number of protons (e.g.  $U^{237}$ ,  $U^{238}$ ). These isotopes may or may not be radiogenic. They are radiogenic when through radioactive decay they turn into another element. For example,  $U^{238}$  (parent isotope) turns through decay into  $Pb^{206}$  (daughter isotope).

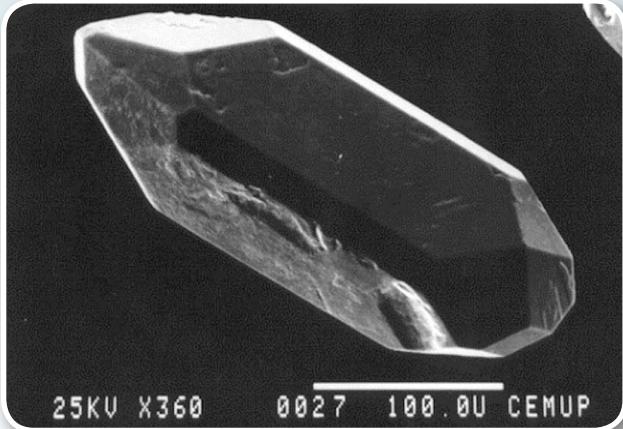
The time required for the transformation of one isotope into another is called the decay rate and is expressed in terms of isotope half-life, that is, the time required for the radioactivity of a certain quantity of a radioactive element to decay to half of its initial value. The great majority of radioactive isotopes have fast decay rates (that is, short half-life periods), losing their radioactivity in a few years or even in a few days. However, some isotopes decay slowly and, for that reason are used in rock radiometric dating. This is the case, for example, of  $U^{238} / Pb^{206}$  which has a half-life in the order of 4500 million years, or  $K^{40}$  that decays generating  $Ar^{40}$  with half-life values of about 1250 million years. If one knows the half-life of a certain radiogenic isotope, through the precise dosing of parent and daughter isotope quantities, then it is possible to determine the absolute age of a rock.

In igneous, sedimentary and metamorphic rocks are frequently found tiny crystals of a mineral that, due to its atomic structure, is able to provide an image of the early history of the Earth and of the evolution of the crust and mantle, the mineral is **zircon**. This mineral has long been recognized as the best geochronometer using the radioactive decay of uranium into lead. Zircons hold records that allow the calculation of the crystallization age of the igneous rock. Recent techniques on the determination of zircon age include point to point analyses to uranium and lead dosing through the use of the ionic microprobe.



Microfotografia de zircão (nicós cruzados, 20x)

Microphotograph of zircon (cross-polarized light, 20x)



Microfotografia de zircão (microscópio electrónico de varrimento)

Microphotograph of zircon (scanning electron microscope)

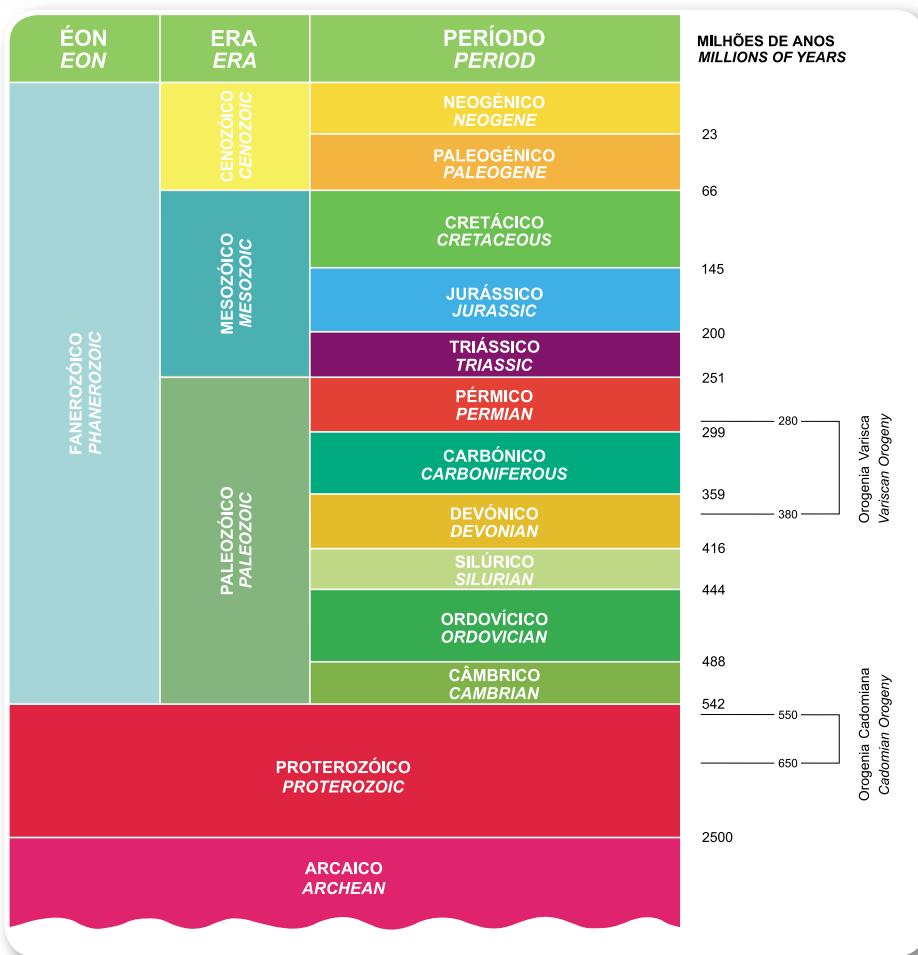


Tabela de Tempo Geológico

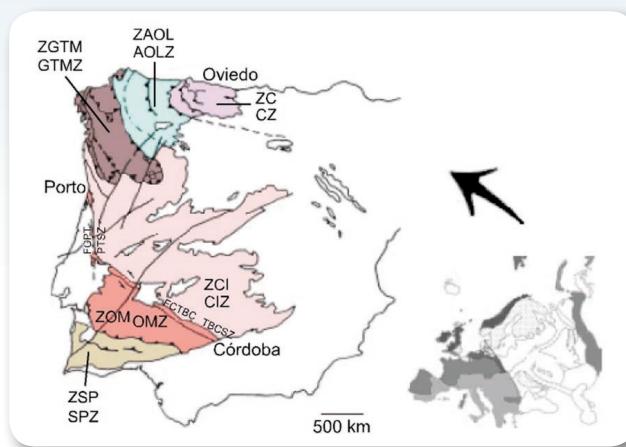
Geological time table

# O COMPLEXO METAMÓRFICO DA FOZ DO DOURO

# THE “FOZ DO DOURO” METAMORPHIC COMPLEX

## Enquadramento Geológico

A Península Ibérica é constituída por terrenos de distintos continentes que colidiram num passado muito longínquo. Devido às suas diferentes características geológicas esses terrenos foram agrupados em Zonas Geotectónicas que se dispõem paralelamente às linhas estruturais da cadeia Varisca ou Hercínica (Julivert et al. 1974).



As margens destes terrenos encontram-se, actualmente, “soltadas” formando como que “cicatrizes” que se materializam pela existência de falhas e de zonas de cisalhamento. É exactamente numa dessas zonas, mais concretamente, na Zona de Cisalhamento Porto-Tomar, que separa a ZCI da ZOM, que se localiza um tesouro geológico com milhões de anos: o *Complexo Metamórfico da Foz do Douro* (CMFD).

O CMFD situa-se na zona ocidental da cidade do Porto, nas freguesias de Nevogilde e Foz do Douro estendendo-se ao longo de uma série de pequenas praias entre a foz do rio Douro e o Forte S. Francisco Xavier. A área está representada na folha 122 (Porto) da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército, à escala 1:25 000 e está limitada a norte e a sul pelas seguintes coordenadas: 41°10'11.28"N; 8°41'17.87"W e 41°08'48.67"N; 8°40'30.17"W, respectivamente. A área em questão está integrada, igualmente, na folha 9-C (Porto) da Carta Geológica de Portugal dos ex-Serviços Geológicos de Portugal, à escala 1:50 000 e na Carta Geotécnica do Porto, à escala 1:10 000.

A geologia desta zona é dominada pela presença de uma estreita faixa de rochas metamórficas de idade Pré-Câmbrica

## Geological Setting

The Iberian Peninsula is composed of land masses originating from distinct continents that collided in the remote past. Due to their different geological features these masses were grouped into Geotectonical Zones orientated in parallel to the structural lines of the Variscan or Hercynian chain (Julivert et al. 1974).

### Zonas Geotectónicas da Península Ibérica

(adaptado de Chaminé 2000).

ZC – Zona Cantábrica; ZAOL- Zona Astúrica Occidental Leonesa; ZGTM – Zona Galiza-Trás-os-Montes; ZCI – Zona Centro Ibérica; ZOM – Zona de Ossa Morena; ZSP – Zona Sul Portuguesa; FCPT – Faixa de Cisalhamento Porto-Tomar; FCTBC – Faixa de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba.

### Geotectonical Zones of the Iberian Peninsula

(adapted from Chaminé 2000)

CZ – Cantábrica Zone; AOLZ – Astúrica Occidental Leonesa Zone; GTMZ – Galiza-Trás-os-Montes Zone; CIZ – Centro Ibérica Zone; OMZ – Ossa Morena Zone; SPZ – Sul Portuguesa Zone; PTSZ – Porto-Tomar Shear Zone; TBCSZ – Tomar-Badajoz-Córdoba Shear Zone.

The margins of these land masses are, nowadays, “welded” together along “scars” that were formed by the existence of faults and shear zones. It is exactly in one of these zones, more precisely, in the Porto-Tomar Shear Zone that separates the CIZ and the OMZ that is to be found a million year old geological treasure: the *“Foz do Douro” Metamorphic Complex* (FDMC).

The FDMC is situated on the western side of Porto, in the Nevogilde and Foz do Douro districts extending along a series of small beaches between the Douro river mouth and the “S. Francisco Xavier” Fort. The area is covered on sheet 122 (Porto) of the 1:25,000 scale Portugal Military Map published by Army Geographical Institute, and lies between the following north and south coordinates: 41°10'11.28"N; 8°41'17.87"W and 41°08'48.67"N; 8°40'30.17"W, respectively. The area in question is also covered by sheet 9-C (Porto) of the 1:50,000 scale Portuguese Geological Map published by the Portugal ex-Geological Services and on the 1:10,000 scale Geotechnical Map of Porto.

The geology of this zone is dominated by the presence of a thin band of Precambrian metamorphic rocks intruded by Variscan

intruídas por granitos variscos muito bem representados em Lavadores, a sul do rio Douro, e no Castelo do Queijo. Estes granitos pertencem ao grupo dos granitos tardi-variscos, com uma idade do Estefaniano inferior (Mendes 1967/1968; Silva 1995; Martins et al. 2001), que definem, no seu conjunto, um alinhamento paralelo à Zona de Cisalhamento Porto-Tomar, que terá condicionado a sua instalação (Chaminé et al. 2003).

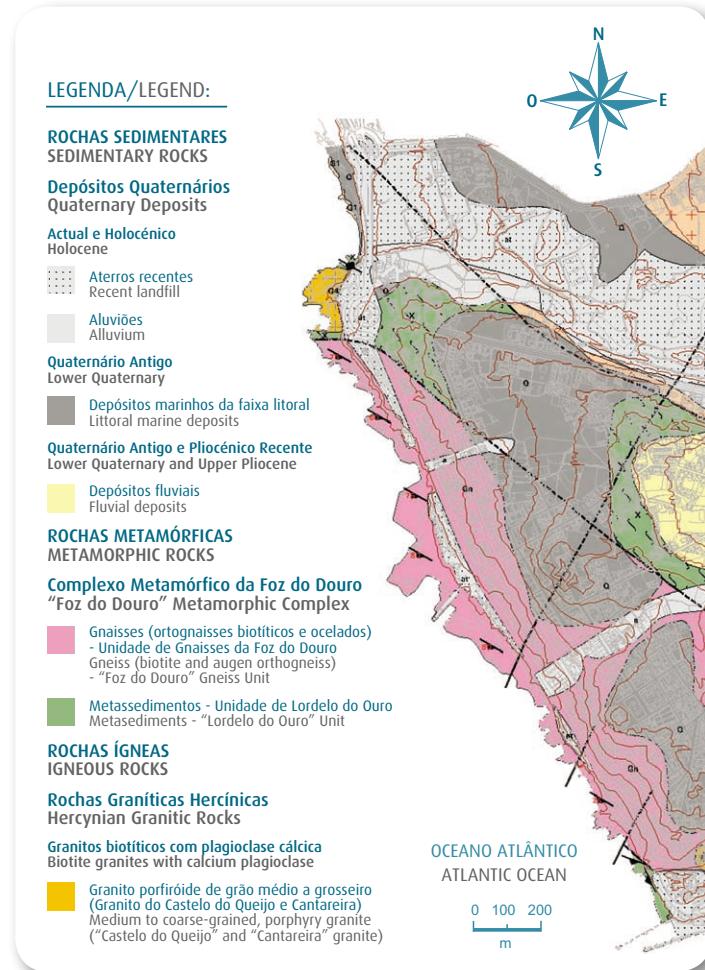
A faixa metamórfica é representada por magníficos afloramentos de rochas metasedimentares, espacialmente associadas a ortognaisse de diferentes tipos e a anfíbolitos que, no seu conjunto, constituem o CMFD (Borges et al. 1985, 1987; Noronha 1994; Noronha e Leterrier 1995, Leterrier e Noronha 1998; Marques et al. 2000; Noronha e Leterrier 2000; Carta Geotécnica do Porto 2003; Ribeiro et al. 2006).

O CMFD é constituído por duas unidades distintas (Noronha 1994; Carta Geotécnica do Porto 2003; Chaminé et al. 2003): a “Unidade dos Gnaisses da Foz do Douro” (UGFD) e a “Unidade de Lordelo do Ouro” (ULO).

granites, well represented at “Lavadores”, south of the Douro River, and at “Castelo do Queijo” (“S. Francisco Xavier” Fort). These granites belong to the late-Variscan granite group and are Lower Stefanian in age (Mendes 1967/1968; Silva 1995; Martins et al. 2001), defining, in their assemblage, a parallel alignment to the Porto-Tomar Shear Zone, that has probably influenced their emplacement (Chaminé et al. 2003).

The metamorphic band is represented by magnificent outcrops of metasedimentary rocks, spatially associated to orthogneisses of different types and to amphibolites that constitute the FDMC (Borges et al. 1985, 1987; Noronha 1994; Noronha and Leterrier 1995, Leterrier and Noronha 1998; Marques et al. 2000; Noronha and Leterrier 2000; Carta Geotécnica do Porto 2003; Ribeiro et al. 2006).

The FDMC is composed of two distinct units (Noronha 1994; Carta Geotécnica do Porto 2003; Chaminé et al. 2003): the “Foz do Douro” Gneiss Unit (FDGU) and the “Lordelo do Ouro” Unit (LOU).



A UGFD é essencialmente constituída por anfibolitos e quatro tipos de ortognaisses: gnaisses biotíticos, gnaisses leucocratas de tendência ocelada, gnaisses leucocratas e gnaisses leucocratas ocelados, estes últimos nitidamente afectados por deformação cisalhante (Borges et al. 1985). Os três primeiros tipos constituem o essencial da faixa metamórfica a sul, enquanto que a norte a unidade tem um aspecto completamente distinto, sendo constituída, dominantemente, por gnaisses leucocratas ocelados. A UGFD contacta a NE e SW com a ULO que é essencialmente constituída por micaxistas a que se associam, por vezes, rochas calcossilicatadas e anfibolitos. A UGFD e a ULO são intruídas por granitos biotíticos variscos.

Os metassedimentos da ULO estão dobrados verificando-se diferentes atitudes entre as foliações neles visíveis e as presentes nos gnaisses. Esta diferença de atitudes é ainda mais evidente nos pequenos retalhos de rochas metasedimentares dispersos no seio dos ortognaisses, o que atesta o carácter intrusivo destes últimos.

Associados com as rochas gnaissicas da UGFD e aos micaxistas da ULO ocorrem anfibolitos que correspondem a antigos basaltos toleíticos.

Estudos geocronológicos, pelo método U-Pb em zircões, atribuíram uma idade de  $567 \pm 6$  milhões de anos ao gnaisse biotítico, de  $606 \pm 17$  milhões de anos ao gnaisse leucocrata de tendência ocelada. Para os anfibolitos foi calculada uma idade modelo de 1050 milhões de anos (Noronha e Leterrier 2000).

### Breve História Geológica

A história geológica do CMFD começou há muitos milhões de anos, numa época em que o planeta Terra era muito diferente daquele que hoje conhecemos.

Há cerca de 1000 milhões de anos estava a ser formado o supercontinente Rodínia, resultante da colisão entre os vários continentes existentes e a Terra estava fechada numa Idade do Gelo global. Nas suas margens continentais depositavam-se sedimentos e no fundo oceânico formavam-se basaltos.

O Rodínia começou a fragmentar-se há cerca de 750 milhões de anos. A maioria das rochas que hoje ocorrem na Península Ibérica ainda não se tinha formado. No entanto, alguns dos terrenos que hoje lhe pertencem estariam localizados próximo do Pólo Sul, submersos num mar pouco profundo.

Alguns dos fragmentos do Rodínia acabariam, porém, por se voltar a juntar passando a constituir um novo continente, o Gondwana, que se estendia desde o Equador até ao Pólo Sul.

The FDGU is essentially composed of amphibolites and four types of orthogneisses: biotite gneisses, incipient augen leucocratic gneisses, leucocratic gneisses and augen leucocratic gneisses, the latter clearly affected by shear deformation (Borges et al. 1985). The first three types constitute the essential of the southern metamorphic band, while to the north the unity has a completely distinctive feature, being composed dominantly by augen leucocratic gneisses. The FDGU contacts at the NE and SW with LOU which is essentially composed of mica schists with which are occasionally associated calc-silicate rocks and amphibolites. The FDGU and the LOU are intruded by Variscan biotite granites.

The metasediments of the LOU are folded and one can observe different attitudes both in these rocks and in gneisses. This attitudes difference is even more evident in the small remnants of metasedimentary rocks dispersed in the middle of the orthogneisses, thus attesting the latter's intrusive character.

Associated to the FDGU rocks and the LOU mica schist are found amphibolites that correspond to ancient toleitic basalts.

Geochronological studies, by U-Pb method on zircons attributed a  $567 \pm 6$  million years age to the biotite gneiss and a  $606 \pm 17$  million years age to the incipient augen leucocratic gneiss. A 1050 million years model age was calculated for the amphibolite (Noronha e Leterrier 2000).

### Brief Geological History

The FDMC geological history began many million years ago, at a time when planet Earth was very different from the one we know today.

About 1000 million years ago the supercontinent Rodinia was being formed, resulting from the collision of the then existing continents. The Earth was enveloped in a global Ice Age. On Rodinia's continental margins, sediments were being deposited and basalts were being formed on the ocean floor.

Rodinia began to break up about 750 million years ago. The majority of rocks that occur today in the Iberian Peninsula had not yet been formed. However, some of the land masses that belong to it today were at that time located close to the South Pole, submerged in a shallow ocean.

Some of Rodinia's fragments would end up regrouping, however, to form another continent, Gondwana, spreading from the Equator to the South Pole. The lithospheric plate collision

A colisão de placas litosféricas que deu origem a este grande continente ocorreu por volta dos 650 a 550 milhões de anos e dela resultou a formação da cadeia de montanhas cadiomiana. No caso da crosta hoje representada pelos terrenos Pré-Câmbricos da Foz do Douro, a colisão deu origem à produção de granitos e tonalitos cadiomianos que intruíram formações mais antigas, os metasedimentos. A colisão levou à subducção e à obdução da crosta oceânica e desaparecimento do oceano então existente. O anfibolito representa, assim, um fragmento daquela crosta oceânica. Igualmente, durante o processo de colisão os sedimentos anteriormente depositados sofreram as primeiras deformações por enrugamento.

Foi durante o Carbónico e o Pérmico que a história do CMFD teve novo capítulo. Neste período de tempo ocorreu o fecho do Oceano Rheic, cuja abertura teve lugar no Ordovícico, dando origem à colisão entre os continentes Laurásia e Gondwana e a consequente formação do supercontinente Pangea. Formou-se, pois, a cadeia de montanhas varisca ou hercínica acompanhada da produção de granitos, como o granito do Castelo do Queijo, que intruíram as rochas pré-existentes. Durante o processo de intrusão, pedaços de gnaisses e de metasedimentos foram arrancados e incorporados por um granito varisco constituindo agora uma rocha mais recente, a brecha ígnea, visível na Praia dos Ingleses. Durante esta colisão as rochas graníticas e tonalíticas cadiomianas foram deformadas, juntamente com os metasedimentos e os anfibolitos, transformando-se em gnaisses. Este evento geológico origiou dobramentos especiais bem visíveis entre a Praia de Gondarém e a Praia da Senhora da Luz.

## Património Geológico

O CMFD, classificado desde 2001 como Património Natural Municipal, constitui um dos raros afloramentos da cidade reunindo características únicas, tais como, variedade de litologias, estruturas geológicas e aspectos geomorfológicos, constituindo um Património Geológico de inegável valor científico, didáctico e pedagógico.

Com vista à sua divulgação, preservação e valorização foi criado, em 2005, o Passeio Geológico da Foz do Douro que é o resultado do trabalho de colaboração entre a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e a Câmara Municipal do Porto, tendo tido a assessoria científica do Departamento de Geologia da FCUP.

that gave origin to this great continent occurred about 650 to 550 million years ago and resulted in the Cadomian mountain chain building. In the case of the crust that is represented today by the "Foz do Douro" Precambrian mass, the collision gave rise to the production of granite and tonalite that intruded more ancient formations, the metasediments. The collision led to the subduction and obduction of the oceanic crust and to the closure of the then existing ocean. Thus the amphibolites represent a fragment of that oceanic crust. Equally, during the collision event, previously deposited sediments suffered their first deformations through folding.

It was during Carboniferous and Permian periods that another chapter was added to the FDMC history. It was in this period of time that the closing of the Rheic Ocean that originally opened in the Ordovician occurred, leading to the collision of the Laurasian and Gondwanan continents and the subsequent formation of the Pangea supercontinent. The Variscan or Hercynian mountain chain was thus formed, accompanied by the production of granites, such as the "Castelo do Queijo" granite that intruded the pre-existing rocks. During the process of intrusion, pieces of gneiss and metasediments were detached and incorporated into the Variscan granite thereby forming a new rock, the igneous breccia that can be seen in "Praia dos Ingleses". As well as the metasediments and the amphibolites, the granitic and tonalitic Cadomian rocks were deformed during this collision thereby being transformed in gneisses. This geological event resulted in the spectacular folding that is clearly visible between "Praia de Gondarém" and "Praia da Senhora da Luz".

## Geological Heritage

The FDMC, classified since 2001 as Municipal Natural Heritage, constitutes one of the rare rock outcrops of the city that demonstrates unique characteristics such as a variety of lithologies, geological structures and geomorphologic features, and as such is a Geological Heritage of undeniable scientific and educational value.

With a view to its outreach, preservation and use, the "Foz do Douro" Geological Walk was created in 2005, resulting from cooperation between the University of Porto Faculty of Science and the municipality of Porto, with scientific advice been provided by the FCUP Geology Department.

Ao longo deste percurso temático, os visitantes podem observar um diversificado registo geológico que se encontra descrito nos vários painéis explicativos colocados. Podem, ainda, observar exemplos da fauna e da flora do litoral da cidade do Porto.

Os afloramentos do CMFD constituem, pois, um laboratório natural onde a compreensão dos fenómenos e processos geológicos se torna mais acessível. Este é, sem dúvida, um local privilegiado não só para os alunos do Ensino Superior, mas também, para os alunos dos Ensinos Secundário, Básico e até Primário, particularmente importante para as escolas da cidade e um elemento de trabalho para os professores na sua área de intervenção.

Along this thematic path visitors can observe a varied geological record described in a number of information panels. Visitors can also observe examples of fauna and flora whilst walking along this part of the city of Porto coastline.

The FDMC outcrops therefore constitute a natural laboratory where an understanding of geological phenomena and events becomes more accessible. This is, without doubt, a privileged place, not only for University students, but also important for the city's Secondary, Basic and Primary level students, and provides an important tool for teachers who are involved in this area of discipline.



A erosão das rochas

Rock erosion

# UM SALTO NO TEMPO

# A LEAP IN TIME

*“Aquilo que hoje está provado não foi outrora mais do que imaginado”*

William Blake

*“What is now proved was once only imagined”*

William Blake

A paisagem da Praia do Castelo do Queijo é dominada por afloramentos rochosos, que envolvem o areal e os seus visitantes. A morfologia da praia é influenciada quer pelos tipos de rochas presentes, quer por estruturas geológicas.

A norte, destaca-se um maciço granítico que intruiu xistos do Complexo Metamórfico da Foz do Douro. Este granito formou-se, em profundidade, durante o Carbónico superior/ Pérmico inferior (há cerca de 290 milhões de anos). Com o tempo, as rochas sobrejacentes foram erodidas expondo o granito à superfície.

Imediatamente a sul, ocorrem gnaisses leucocratas ocelados. Estas rochas correspondem a granitos muito antigos, formados durante o Pré-Câmbrico (há cerca de 607 milhões de anos), que foram posteriormente deformados.

O granito do Castelo do Queijo e os gnaisses ocelados resultaram de eventos distintos de formação de montanhas (diferentes orogenias). O primeiro é um granito varisco (ou hercínico) e os gnaisses ocelados são cadiomianos. Assim, em poucos metros, podemos testemunhar um salto no tempo equivalente a mais de 300 milhões de anos.

Perto do Forte S. Francisco Xavier, observam-se dois filões de uma rocha magmática subvulcânica (rocha ígnea instalada a pequena profundidade) que, por isso, possui grão muito fino. Estes filões cortam o granito do Castelo do Queijo, sendo mais recentes que este.

Nesta zona deve realçar-se a existência de uma importante falha (fractura ao longo da qual blocos opostos se deslocaram um em relação ao outro) que pôs em contacto dois terrenos outrora separados. A indicação da existência desta falha é dada pela rotação da foliação existente no gnaisse (cerca de 30°).

Destaca-se, ainda, a existência de marmitas (cavidades tendencialmente circulares que resultam da erosão turbilhonar da água juntamente com seixos e areias).

The “Praia do Castelo do Queijo” landscape is dominated by rocky outcrops that embrace the sands and its visitors. The beach morphology is influenced either by the existent types of rocks and by geological structures.

At north, one can observe a granite massif that has intruded schists from the “Foz do Douro” Metamorphic Complex. This granite was formed at great depth, during late Carboniferous/ early Permian Period (about 290 million years ago). With time, overlying rocks were eroded thus exposing the granite to the surface.

Immediately to the south, occur augen leucocratic gneisses. These rocks correspond to very ancient granites of Precambrian age (about 607 million years old).

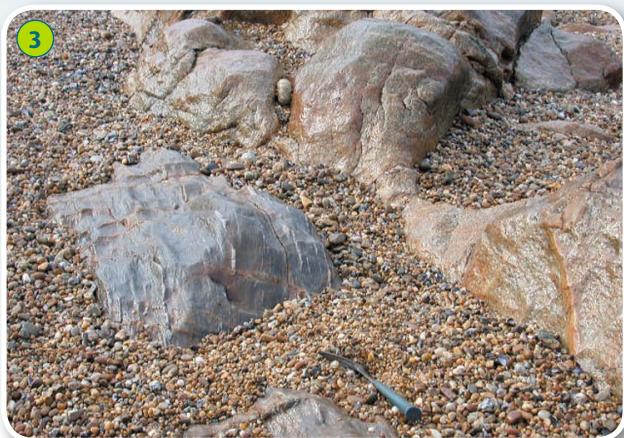
The “Castelo do Queijo” granite and the augen gneisses have resulted from several mountain building events (different orogenies).

The first one is a Variscan (or Hercynian) granite and the augen gneisses are Cadomian. Thus, in a few metres, one can visualise a leap in time of about 300 million years.

Near the “S. Francisco Xavier” Fort, one can observe two veins of a subvolcanic rock (igneous rock that solidified near the surface) which is, therefore, fine-grained. These veins cut the “Castelo do Queijo” granite, so they are younger in age.

In this sector one can conclude that there exists an important fault (fracture along which opposite blocks were displaced relative to each other) that has brought together two separated terrains. The rotation of the gneiss foliation (about 30°) is a key in identifying this fault.

One can also distinguish some potholes (circular cavities resulting from the swirling erosion of water together with pebbles and sands).



1 Granito do Castelo do Queijo

2 Gnaisse ocelado

3 Granito do Castelo do Queijo intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

4 Granito (agora gnaisse ocelado) intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

5 Filão de microgranito corta o granito do Castelo do Queijo

6 Marmita

1 "Castelo do Queijo" granite

2 Augen gneiss

3 "Castelo do Queijo" granite has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

4 Granite (now augen gneiss) has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

5 Microgranite vein cutting across "Castelo do Queijo" granite

6 Pothole

## GRANITO

O nome granito deriva do termo em latim *granum* que significa grão. Os granitos são compostos por cristais relativamente grandes e possuem uma textura granular irregular. São rochas magmáticas plutónicas, ou seja, provêm da cristalização de um magma em profundidade. O granito do Castelo do Queijo é constituído por quartzo: (silicato -  $\text{SiO}_4$ ), feldspato [silicato de potássio (K) e de sódio (Na) e cálcio (Ca)] e biotite [silicato ferromagnesiano (mica negra)].

Este granito possui cristais de feldspato mais desenvolvidos, designando-se, por isso, porfiróide. Tem a particularidade de possuir encraves (inclusões de material rochoso microgranular de rochas escuras).



## GRANITE

The name granite comes from the Latin *granum*, a grain. Granites are composed of fairly large crystals and have an irregular granular texture. They are magmatic plutonic rocks, that is, they derived from a deep-seated magma. The "Castelo do Queijo" granite is made up mainly of quartz: (silicate -  $\text{SiO}_4$ ), feldspar [potassium (K), sodium (Na) and calcium (Ca) silicate] and biotite [iron-magnesium silicate (black mica)].

This granite has well developed feldspar crystals and is, therefore, called porphyritic granite. It has the particularity of having dark-coloured microgranular enclaves.



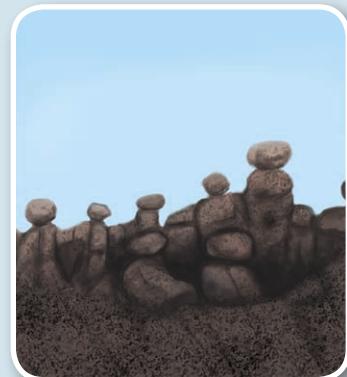
## CAOS DE BLOCOS

O granito do Castelo do Queijo sofreu meteorização e erosão ao longo de milhões de anos. As forças tectónicas provocaram o aparecimento de diaclases que foram posteriormente abertas devido às variações de temperatura e à circulação de água. Com o tempo, o maciço granítico foi transformado num aglomerado de blocos arredondados de menores dimensões, designado por caos de blocos. O Forte S. Francisco Xavier tem a denominação popular de Castelo do Queijo, devido à forma arredondada dos blocos de granito sobre o qual assenta.



## CHAOTIC MASS OF BOULDERS

The "Castelo do Queijo" granite was weathered and eroded over millions of years. The tectonic forces induced the formation of joints which were opened later due to temperature variations and water circulation. With time, the granitic massif was transformed into a group of small rounded blocks, called chaotic mass of boulders. The "S. Francisco Xavier" Fort has the popular designation of "Castelo do Queijo" (Cheese Castle), due to the rounded shape of the granite blocks on which it is situated.



### OCELOS

Como consequência da actuação de deformação por cisalhamento (corte) dúctil do granito cadomiano pré-existente, formaram-se ocelos (grãos ou agregados minerais em forma de olho).

No caso dos gnaisses ocelados do *Complexo Metamórfico da Foz do Douro*, os ocelos têm cerca de 1 cm de comprimento e são constituídos por quartzo e/ ou feldspato potássico.

### AUGENS

Mineral deformation by ductile shear of pre-existent Cadomian granite has led to augen formation (grains or mineral aggregates with eye-shaped form).

In the case of the augen gneisses from the "Foz do Douro" Metamorphic Complex, the augens are about 1 cm long and are made of quartz and/ or potash feldspar.



## EROSÃO DAS ROCHAS

## ROCK EROSION

*“Água mole em pedra dura, tanto bate até que fura”*

Provérbio popular

*“Soft water on hard rock will work until it makes a hole”*

Portuguese proverb

Nas regiões litorais o mar é um dos principais responsáveis pelo desgaste dos afloramentos rochosos. Os seus principais agentes erosivos e transportadores são as ondas, as marés e as correntes marinhas costeiras. A contínua meteorização e erosão das rochas contribuem para a formação de sedimentos como as areias (dimensão entre 0,064 a 2 mm) e os seixos (dimensão entre 4 a 64 mm).

Se observarmos atentamente as areias e os seixos existentes nesta faixa litoral, vamos encontrar, principalmente, minerais e/ ou fragmentos de rochas que provêm dos afloramentos existentes. Neste caso, o mineral mais abundante, porque é também o mais resistente, é o quartzo.

A forma destes sedimentos é condicionada pela orientação dos minerais na rocha pré-existente. Assim, rochas como o granito, em que a disposição dos grãos de minerais é relativamente aleatória, produzem seixos esféricos. Algumas rochas metamórficas, como o gnaisse, originam seixos ovais. Todos estes pedaços de rocha foram arrastados, empurrados e enrolados pela água até desgastarem as arestas, adquirindo assim uma forma arredondada.

Este local é dominado pela presença do gnaisse ocelado. No entanto, pode observar-se, igualmente, um granito de grão fino, biotítico [rico em biotite - silicato ferromagnesiano (mica negra)], varisco ou hercínico (com cerca de 290 milhões de anos) que cortou o gnaisse ocelado muito mais antigo (cerca de 607 milhões de anos). Tal como o gnaisse, o granito também se encontra erodido e a erosão marinha talhou aspectos curiosos como as marmitas.

In littoral regions the sea is one of the main causes of erosion of the rock outcrops. Its main erosion and transport agents are the waves, the tides and the coastal marine currents. The continuous rock weathering and erosion contribute to sediment formation such as sand (dimension between 0.064 to 2 mm) and pebbles (dimension between 4 to 64 mm).

Observing closely the sands and pebbles on this shoreline one can find, mainly, minerals and/ or rock fragments from the adjacent outcrops. In this case, the most abundant mineral, because it is also the most resistant, is quartz.

The shape of these sediments is controlled by mineral orientation in the pre-existent rock. Therefore, rocks like granite, which have relatively random mineral grain distribution, give rise to round shaped pebbles. Some metamorphic rocks, like gneiss, lead to ellipsoidal shaped pebbles. All of these broken rock fragments were dragged away, pushed and rolled up by water until their edges were worn away, thus acquiring a rounded shape.

This sector is dominated by the presence of the augen gneiss. However, one can also observe a Variscan or Hercynian (about 290 million years old) fine-grained biotite granite [rich in biotite - iron-magnesium silicate (black mica)] that has cut the ancient gneiss (about 607 million years old). Both rocks are eroded, and one can observe interesting features, like potholes carved by marine erosion.



1 Aspecto da erosão marinha no gnaisse ocelado

2 Seixos

3, 4 Granito biotítico de grão fino intruiu o gnaisse ocelado

1 Marine erosion in augen gneiss

2 Pebbles

3, 4 Fine-grained biotite granite has intruded the augen gneiss

### METEORIZAÇÃO E EROSÃO

Ao longo do tempo, as rochas são modificadas na superfície terrestre. A água, o vento, o gelo, a temperatura, alteram e desintegram as rochas durante os processos de meteorização (química - alteração química ou dissolução dos minerais - e física - fragmentação das rochas por processos mecânicos) e erosão (remoção, pelos agentes naturais, dos materiais resultantes da meteorização das rochas).

### WEATHERING AND EROSION

Through time, rocks are modified at the Earth's surface. Water, wind, ice and temperature modify and disintegrate rocks during weathering (chemical - chemical weathering or mineral dissolution - and physical - fragmentation of rocks by mechanical processes) and erosion (removal of weathered rock materials by natural agents) processes.



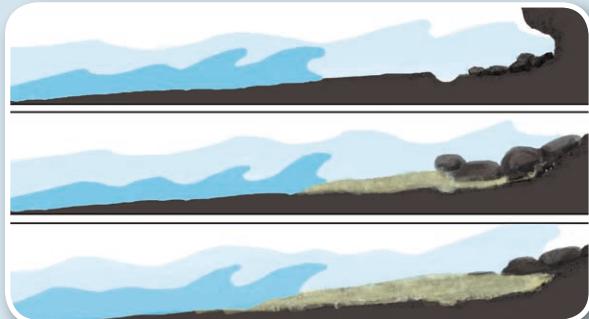
### SUPERFÍCIE DE ABRASÃO

A acção contínua das areias e dos seixos, transportados pelas ondas e marés, desgasta as rochas, podendo dar origem a superfícies de abrasão.



### ABRASION PLATFORM

Waves and tides carrying sands and pebbles wear away the rocks, thus creating abrasion platforms.



 Baixa-mar  
Low tide

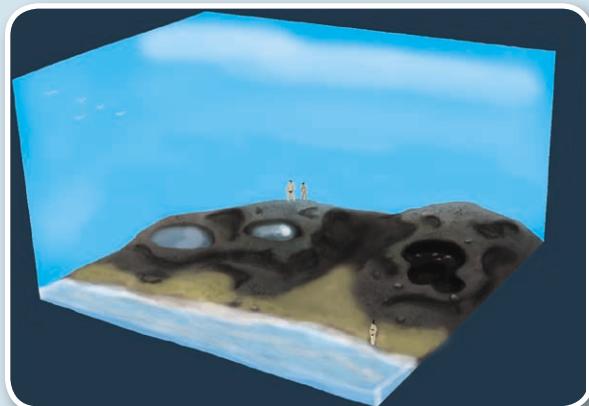
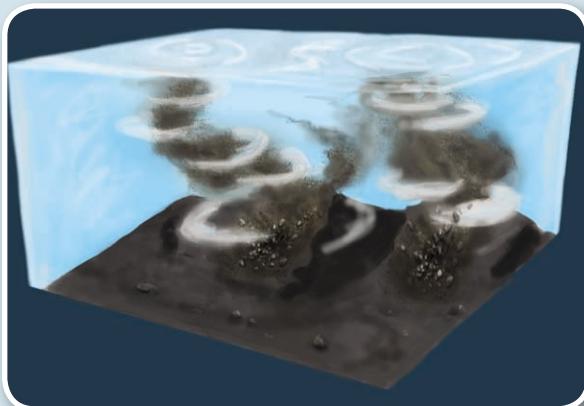
 Preia-mar  
High tide

### MARMITAS

As ondas do mar conseguem fazer rodopiar seixos e areias (materiais abrasivos) escavando nas rochas cavidades arredondadas de diferentes diâmetros e profundidades, designadas por marmitas.

### POTHOLES

Sea waves have the ability to whirl around pebbles and sands (abrasive materials), carving into rocks rounded cavities of different diameters and depths. These cavities are termed potholes.



### **POR QUE É O MAR SALGADO?**

A água é um poderoso solvente. Por essa razão, ao circular através das rochas da crosta terrestre dissolve muitos dos sais minerais e transporta-os para os oceanos, que ficam mais ricos em sais (e.g. cloreto de sódio – NaCl).

A origem dos sais pode resultar:

- da meteorização química das rochas dos continentes;
- de fontes hidrotermais marinhas;
- de vulcões submarinos.

### **WHY IS THE SEA SALTY?**

Water is a powerful solvent. Therefore, when circulating through rocks in the Earth's crust it dissolves many of the mineral salts and transports them to the oceans, which become richer in salts (e.g. sodium chloride – NaCl).

The salts in the sea come from:

- chemical weathering of continental rocks;
- marine hydrothermal vents;
- submarine volcanoes.



## O GNAISSE NASCEU GRANITO

## THE GNEISS WAS ORIGINALLY GRANITE

*“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”*

Lavoisier

*“In nature, nothing is created, nothing is destroyed, everything is transformed”*

Lavoisier

Ao longo do tempo, as rochas transformam-se noutras através de um conjunto de processos denominado por “Ciclo das Rochas”. Os principais motores dessas transformações são a tectónica de placas e os agentes erosivos.

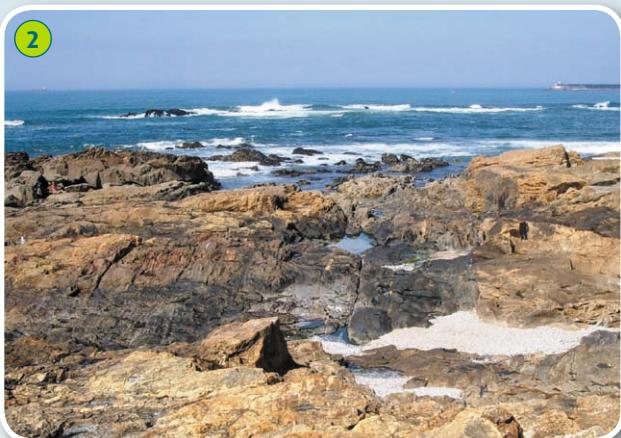
O gnaisse ocelado corresponde a um granito cadomiano (com cerca de 607 milhões de anos), que intruiu formações mais antigas, neste caso representadas pelos xistos. A formação deste granito está relacionada com uma colisão de placas litosféricas, que resultou na formação de montanhas (Orogenia Cadomiana) e na constituição de um grande continente, o Gondwana.

O granito cadomiano e os xistos foram depois deformados conjuntamente durante a Orogenia Varisca (ou Hercínica). O granito deu, assim, origem ao gnaisse ocelado que, por ter resultado de uma rocha magmática, se designa por ortognaisse. A deformação implicou a orientação de minerais e a ocorrência de foliação (planos com minerais orientados) paralela nos xistos e no gnaisse.

Through time, rocks are transformed into others by several processes within the so called “Rock Cycle”. The main motors of those transformations are plate tectonics and erosion agents.

The augen gneiss corresponds to a Cadomian granite (about 607 million years old) that has intruded ancient rock formations, represented in this case by schist. The formation of this granite is related to a lithospheric plate collision that has resulted in mountain building (Cadomian Orogeny) and in the assemblage of a great continent, the Gondwana.

The Cadomian granite and the schist were afterwards jointly deformed during the Variscan (or Hercynian) Orogeny. The granite was thus transformed in augen gneiss. As the latter resulted from a magmatic rock it is called an orthogneiss. Deformation has led to mineral orientation and parallel foliation (planes with oriented minerals) development both in schist and gneiss.



1 Gnaisse ocelado

2, 3, 4 Granito (agora gnaisse ocelado) intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

1 Augen gneiss

2, 3, 4 Granite (now augen gneiss) has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

#### GNAISSE

O gnaisse é uma rocha metamórfica, granular, de textura orientada (bandada), originada por metamorfismo regional de alto grau de sedimentos (paragnaisse) ou de rochas ígneas (ortognaisse). Os gnaisses do Complexo Metamórfico da Foz do Douro são ortognaisse, constituídos por feldspato [silicato de potássio (K) e de sódio (Na) e cálcio (Ca)], além de outros minerais como quartzo (silicato -  $\text{SiO}_2$ ) e mica (grupo de minerais da classe dos silicatos).



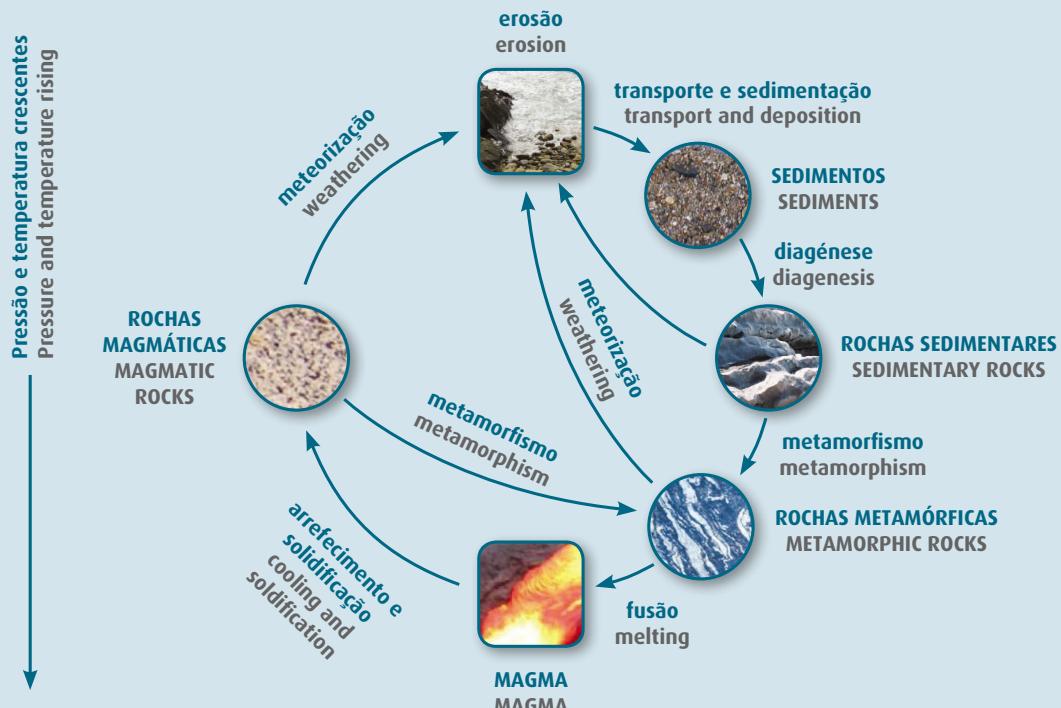
#### GNEISS

Gneiss is a granular metamorphic rock where minerals are arranged into bands. It results from high grade regional metamorphism of sediments (paragneiss) or igneous rocks (orthogneiss). The "Foz do Douro" Metamorphic Complex gneisses are orthogneisses, made up of feldspar [potassium (K), sodium (Na) and calcium (Ca) silicate], quartz (silicate -  $\text{SiO}_2$ ) and mica (group of silicate minerals).



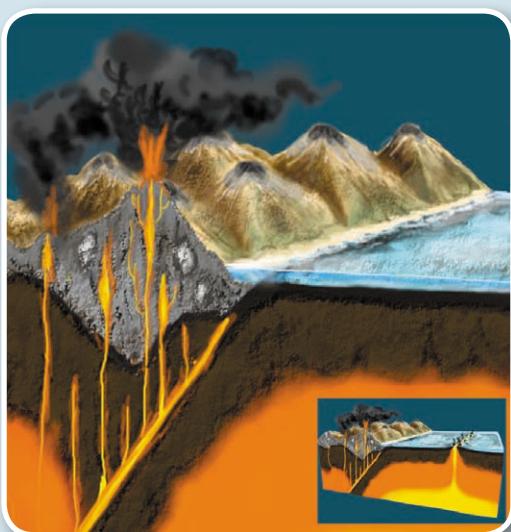
Ao longo do tempo, as rochas transformam-se noutras através de um conjunto de processos denominado por "Ciclo das Rochas".

Through time, rocks are transformed into others by several processes within the so called "Rock Cycle".

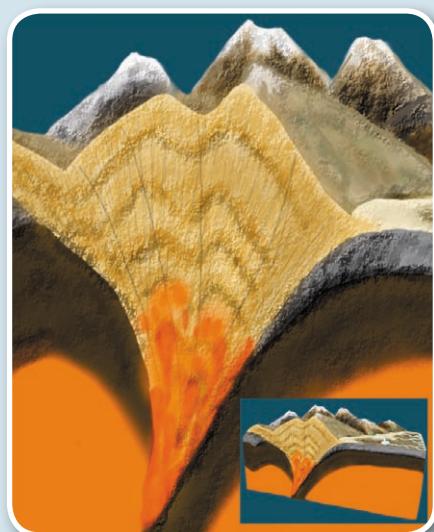


A tectónica de placas como agente de transformação das rochas!

Plate tectonics as rock transformation agent!



Um contexto de formação das rochas ígneas  
Origin of igneous rocks



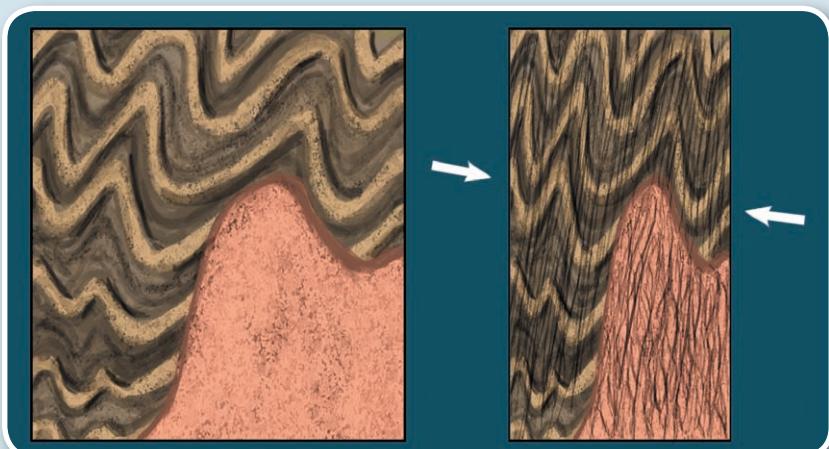
Um contexto de formação das rochas metamórficas  
Origin of metamorphic rocks

### FOLIAÇÃO

A foliação é uma estrutura planar, que se forma quando uma pressão comprime a rocha. Assim, originam-se novos minerais a partir dos já existentes, que se orientam perpendicularmente à direcção de maior compressão.

### FOLIATION

Foliation is a planar structure formed when pressure compresses a rock. Therefore, new minerals are formed from the existing ones, and are oriented perpendicularly to the direction of major compression.



## “MISTURA” DE ROCHAS

*“Fala com a Terra e ela te ensinará”*

Job 12:8

## “MIXTURE” OF ROCKS

*“Speak to the earth, and it should teach thee”*

Job 12:8r

Estendendo-se desde a Praia do Homem do Leme até à Praia de Gondarém, este sector apresenta maior complexidade geológica. Podem observar-se diferentes tipos de rochas, estruturas geológicas e aspectos de erosão diferencial.

O gnaisse biotítico [de cor mais escura devido à maior abundância de biotite - silicato ferromagnesiano (mica negra)] é a rocha com maior expressividade neste sector e corresponde a um tonalito [rocha sem feldspato potássio essencial, mas rica em plagioclase - feldspato de sódio (Na) e/ ou cálcio (Ca) - e biotite] cadomiano, com cerca de 580 milhões de anos, deformado durante a Orogenia Varisca.

Observa-se igualmente um gnaisse leucocrata (de cor mais clara porque é menos rico em biotite e mais rico em quartzo - silicato -  $\text{SiO}_2$ ), que corresponde também a um granito.

Quer o gnaisse biotítico quer o gnaisse leucocrata estão “misturados” com xistos (metassedimentos) mais antigos e mais dobrados. Os xistos eram antes sedimentos que se depositaram numa bacia sedimentar e os materiais que os constituem resultaram da alteração e erosão de rochas, com mais de 1000 milhões de anos, que constituíam antigos continentes. Os sedimentos, depois de serem enterrados e sujeitos a compressões, ficaram submetidos a temperaturas e pressões mais elevadas que as que existiam quando se depositaram. Por este motivo, transformaram-se numa rocha metamórfica. Mais tarde, no Carbónico e no Pérmico, sofreram também as deformações variscas, facto que gerou planos de minerais orientados (foliação), paralelos aos que ocorrem nos gnaisses.

Neste sector, podem, também, ser observados filões de quartzo e de pegmatito (rocha cristalina caracterizada pelo desenvolvimento considerável de certos minerais).

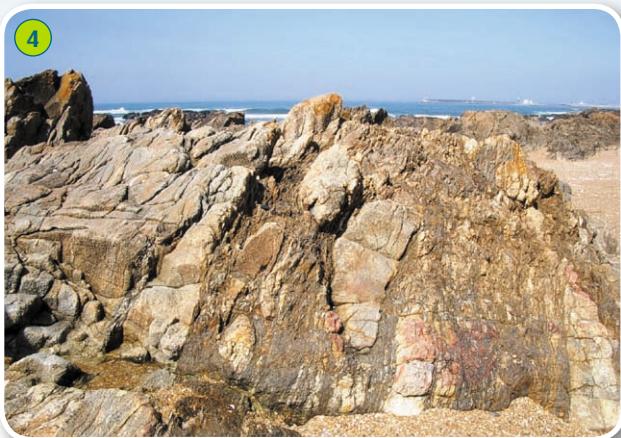
Lying between “Praia do Homem do Leme” and “Praia de Gondarém”, this sector presents greater geological complexity. One can observe different types of rocks, geological structures and differential erosion features.

This sector is dominated by a biotite gneiss [darker in colour due to the higher content in biotite - iron-magnesium silicate (black mica)] that originally was a cadomian tonalite [rock without potash feldspar but rich in plagioclase - sodium (Na) and calcium (Ca) feldspar - and biotite] of about 580 million years old, and deformed during the Variscan Orogeny.

One can also observe a leucocratic gneiss [lighter in colour because is less rich in biotite and richer in quartz (silicate -  $\text{SiO}_2$ )] that was originally granite.

Both biotite and leucocratic gneisses are “mixed” with older and more deformed schist (metasediments). The schist was previously a sediment that was deposited in a sedimentary basin and its forming material has resulted of weathering and erosion of rocks (older than 1000 million years) that formed ancient continents. After being buried and subjected to compressions, the sediments became exposed to higher temperatures and pressures different from the ones existing at the time they were deposited. For that reason, they were transformed in a metamorphic rock. Later, in Carboniferous and Permian Periods they have also suffered Variscan deformations, leading to the development of planes of oriented minerals (foliation), parallels to the ones occurring in gneiss.

In this sector, one can also observe quartz and pegmatite (extremely coarse-grained, crystalline rock with interlocking crystal) veins.



1 Filão de pegmatito corta gnaisse biotítico

2 Gnaisse biotítico (pormenor)

3, 4 Tonalito (agora gnaisse biotítico) intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

5 Gnaisse leucocrata

6 Granito (agora gnaisse leucocrata) intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

1 Pegmatite vein cutting across biotite gneiss

2 Biotite gneiss (detail)

3, 4 Tonalite (now biotite gneiss) has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

5 Leucocratic gneiss

6 Granite (now leucocratic gneiss) has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

### XISTO

O xisto (ou metassedimento) é uma rocha metamórfica, com xistosidade, que derivou de sedimentos que se depositaram numa bacia sedimentar. O xisto do *complexo Metamórfico da Foz do Douro* é constituído essencialmente por micas (grupo de minerais da classe dos silicatos).



### SCHIST

Schist (or metasediment) is a metamorphic rock with schistosity. It has derived from sediments that were deposited in a sedimentary basin. The “Foz do Douro” Metamorphic Complex schist is mainly made up of micas (group of silicate minerals).

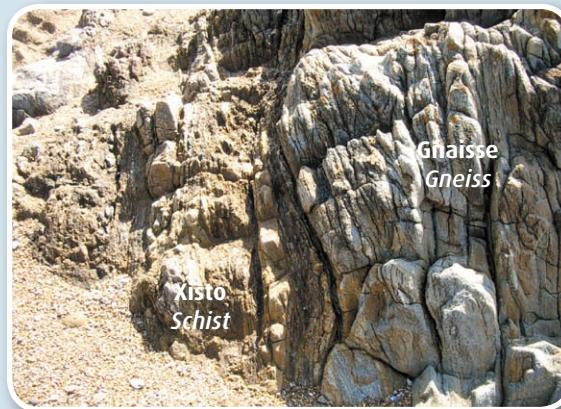


### EROSÃO DIFERENCIAL

Os gnaisses são rochas mais duras que os xistos (metasedimentos) e, por isso, são mais resistentes à erosão. Estas duas rochas, quando sujeitas à ação dos agentes erosivos apresentam taxas de erosão diferente - erosão diferencial.

### DIFFERENTIAL EROSION

Gneisses are harder rocks than schist (metasediments) and, therefore, are more resistant to erosion. These two rocks, when exposed to erosive agents, present different erosion rates - differential erosion.

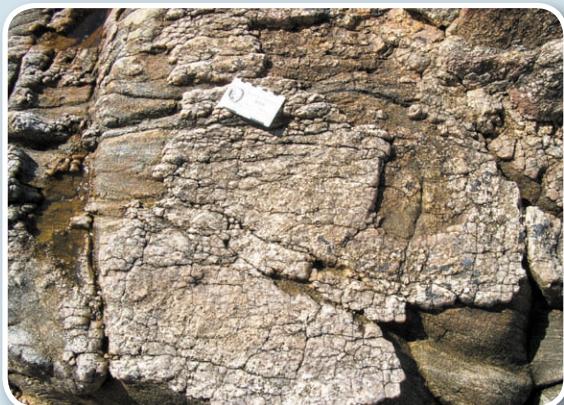


## FILÃO

As fracturas e as foliações nas rochas podem ser local de circulação e instalação de magmas e soluções aquosas quentes, podendo aí ocorrer cristalização/ precipitação (devido à diminuição de temperatura) de minerais de composição química variada. O preenchimento das fracturas gera corpos mais ou menos tabulares, com espessuras que poderão ser milimétricas – filonetes – ou centimétricas a métricas – filões.

## VEIN

Fractures and foliations in rocks may be paths to magmas and hot aqueous solutions circulation and accommodation. Thus, mineral of several chemical compositions precipitation (due to temperature decrease) can occur. Fracture filling generates milimetric to metric tabular shape bodies - veinlets and veins.



# JÁ FUI FUNDO OCEÂNICO

# I ONCE WAS SEA FLOOR

*"O presente é a chave do passado"*

James Hutton

*"The present is the key to the past"*

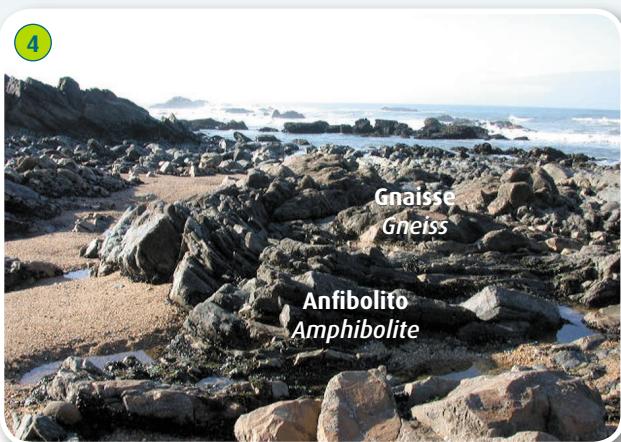
James Hutton

Nos afloramentos existentes entre a Praia de Gondarém e a Praia da Senhora da Luz podem observar-se anfibolitos, que resultaram, da modificação (metamorfismo) de um basalto, que se formou há cerca de 1000 milhões de anos. A composição química deste basalto é idêntica à dos basaltos que actualmente se formam no fundo dos oceanos. O contacto do magma quente (neste caso chamado lava) com a água fria levou ao seu rápido arrefecimento. Os minerais não tiveram, por essa razão tempo suficiente para crescer conferindo à rocha uma textura fina.

Os anfibolitos estão associados a xistos (metassedimentos) e a gnaisses (580 e 607 milhões de anos), estando o conjunto espectacularmente dobrado pelas fases da Orogenia Varisca.

Between "Praia de Gondarém" and "Praia da Senhora da Luz" outcrops, one can observe amphibolites that have resulted from the modification (metamorphism) of a 1000 million years old basalt. The chemical composition of this basalt is similar to the chemical composition of today's oceanic crust basalts. The hot magma (in this case termed lava) cooled almost instantly when it came in contact with cold water. Therefore, minerals didn't have enough time to grow so this rock has a very fine-grained texture.

The amphibolites are associated with schist (metasediment) and gneisses (580 to 607 million years old). The assemblage is spectacularly folded by Variscan Orogeny phases.



1 Anfibolito

2 Anfibolito dobrado (pormenor)

3, 4 Anfibolito e gnaisse dobrados.

5 Anfibolito, gnaisse e xisto dobrados

1 Amphibolite

2 Folded amphibolite (detail)

3, 4 Folded amphibolite and gneiss

5 Folded amphibolite, gneiss and schist

### ANFIBOLITO

O anfibolito é uma rocha metamórfica de cor negro-esverdeada e de grão fino. É essencialmente constituído por um mineral verde, chamado anfíbola [silicato de ferro (Fe), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)] e por plagioclase [feldspato de sódio (Na) e/ ou cálcio (Ca)].

O anfibolito do *Complexo Metamórfico da Foz do Douro* representa um fragmento de crosta oceânica.



### AMPHIBOLITE

Amphibolite is a black-green coloured, fine-grained metamorphic rock. It is mainly made up of a green mineral termed amphibole [iron (Fe), calcium (Ca) and magnesium (Mg) silicate] and plagioclase [sodium (Na) and calcium (Ca) feldspar].

The "Foz do Douro" Metamorphic Complex amphibolites represent a slice of oceanic crust.

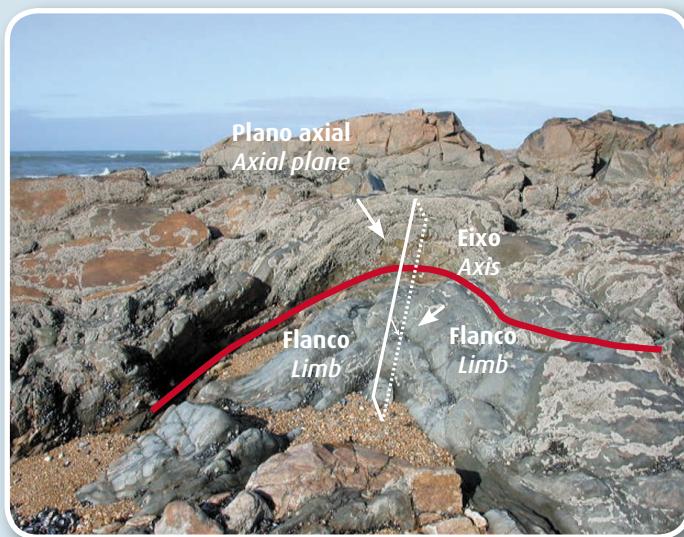


### DOBRA

Uma dobra é uma deformação em que se verifica o encurvamento de superfícies geralmente planas. O dobramento resulta da actuação de tensões de compressão e é uma manifestação da deformação dúctil (desenvolve-se sem ocorrência de fracturação).

### FOLD

A fold is a bend in planar surfaces, usually produced by deformation. Folding results from compression tensions action and is a ductile deformation manifestation (it develops without fracturing).

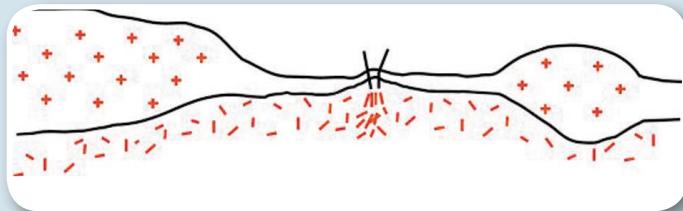


**UMA HISTÓRIA POSSÍVEL...**

À medida que os continentes se foram afastando um do outro começou a abrir-se um oceano e a formar-se nova crosta de composição basáltica.

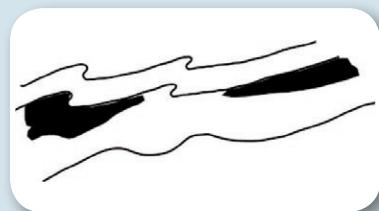
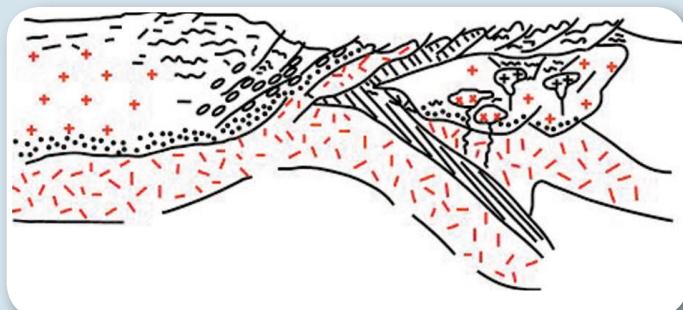
**A POSSIBLE STORY...**

As the continents moved apart an ocean began to appear and new crust of basaltic composition started to form.

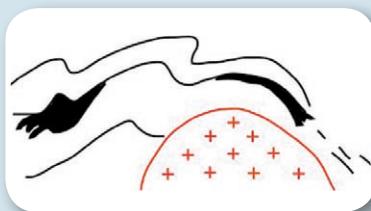


A colisão continental (orogenia) deu origem ao fecho do oceano e à formação de montanhas. A crosta oceânica foi subductada e provavelmente, também, obductada. Durante o processo de colisão deu-se a produção de novas rochas magmáticas que intruíram formações mais antigas.

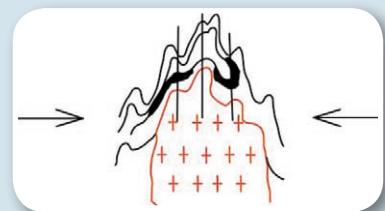
Continental collision (orogeny) led to the closure of the ocean and to mountain building. The oceanic crust was thus subducted and probably obducted as well. During this process of continental collision new magmatic rocks were produced intruding older formations.



Material ante-cadomiano  
Pre-cadomian material



Instalação dos granitos cadomianos  
Cadomian granite emplacement



Deformação varisca das rochas pré-câmbricas devido a compressão  
Variscan deformation of Precambrian rocks due to compression

## BRECHA ÍGNEA

*"Qualquer evento que corta outro evento é o mais novo dos dois"*

Charles Lyell

Entre a Praia dos Ingleses e a Praia da Senhora da Luz pode observar-se um conjunto variado de rochas (gnaisses biotíticos, gnaisses leucocratas, xistos e anfibolitos) e as suas relações geométricas: "a que corta é posterior à cortada".

Durante a baixa-mar, pode observar-se uma brecha ígnea gerada durante a intrusão de um granito varisco nas rochas mais antigas.

Mais a sul, ocorre um gnaisse leucocrata de tendência ocelada. Este gnaisse é uma rocha leucocrata (de cor clara) de grão médio a grosseiro. É idêntico ao que ocorre entre a Praia do Castelo do Queijo e a Praia do Homem do Leme (gnaisse ocelado), contudo, apresenta-se menos deformado por cisalhamento (corte) dúctil, que aquele e, por isso, é designado de "tendência ocelada".

Neste sector é, ainda, possível observar diversas estruturas geológicas como falhas e filões, e interessantes aspectos de erosão marinha: arcos de abrasão marinha e marmitas.



## IGNEOUS BRECCIA

*"Any feature that cuts across another is the younger of the two"*

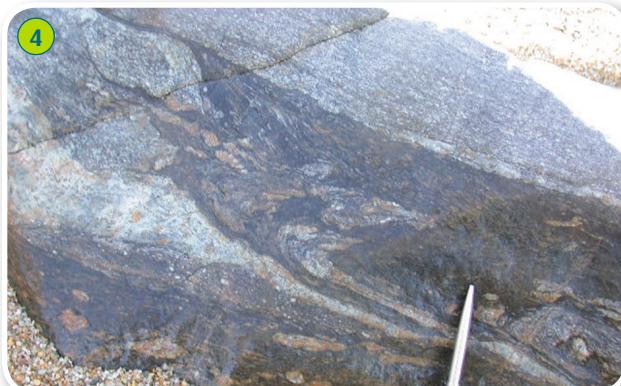
Charles Lyell

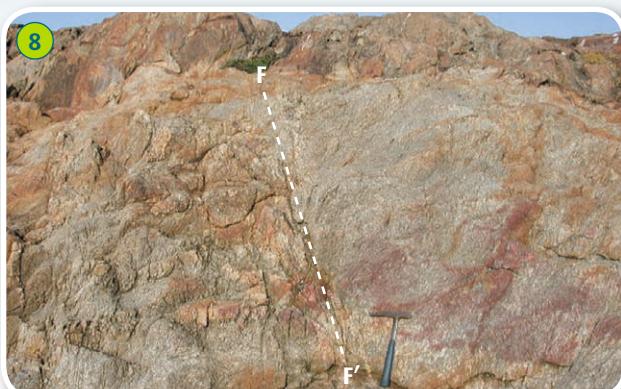
Between "Praia dos Ingleses" and "Praia da Senhora da Luz" one can observe several types of rocks (biotite gneiss, leucocratic gneiss, schist and amphibolites) and their geometric relationships: "the one that cuts is younger than the one that is cut".

At low tide, one can observe an igneous breccia formed during a Variscan granite intrusion in the older rocks.

To the south occurs incipient augen leucocratic gneiss. This gneiss is a leucocratic (light-coloured) medium to coarse-grained rock. It is similar to the one that occurs between "Praia do Castelo do Queijo" and "Praia do Homem do Leme" (augen gneiss), however, is less deformed by ductile shear than the other and is termed "incipient augen".

In this sector one can also observe several geological structures, such as faults and veins, and interesting marine erosion features: marine abrasion arcs and potholes.





1 Uma vista geral da paragem “Brecha ígnea”

2 Gnaiss biotítico (pormenor)

3 Xisto (metassedimento)

4 Tonalito (agora gnaiss biotítico) intruiu rochas escuras pré-existentes (xistos ou metassedimentos)

5 Filão de pegmatito (claro) corta o gnaiss biotítico

6 Gnaiss leucocrata de tendência ocelada mostrando variação de cor devido a alteração

7 Gnaiss leucocrata de tendência ocelada (pormenor)

8 Gnaiss leucocrata de tendência ocelada afectado por uma falha

9 Filão de quartzo deformado

10 Marmitas

1 A general view of the “Igneous breccia” stop

2 Biotite gneiss (detail)

3 Schist (metasediment)

4 Tonalite (now biotite gneiss) has intruded dark-coloured rock (schist or metasediment)

5 Pegmatite (light-coloured) vein cutting across biotite gneiss

6 Leucocratic incipient augen gneiss showing colour variation due to weathering

7 Leucocratic incipient augen gneiss (detail)

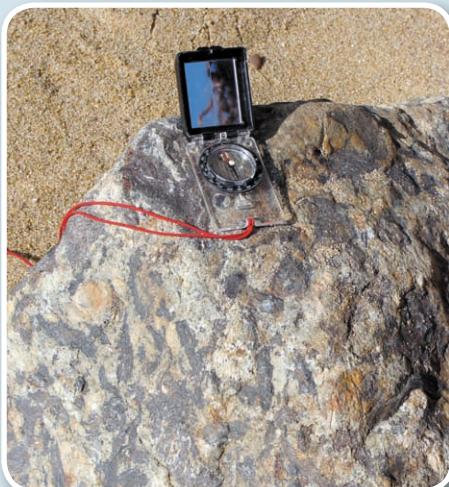
8 Faulted leucocratic (light-coloured) incipient augen gneiss

9 Deformed quartz vein

10 Potholes

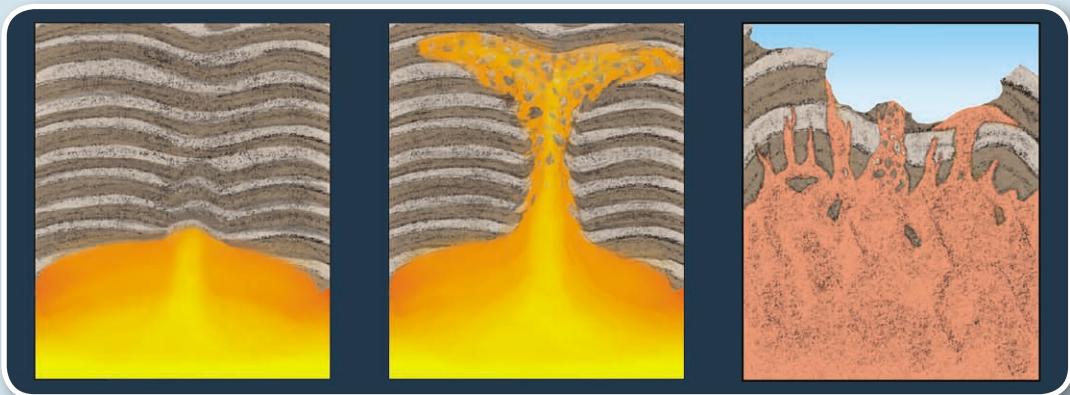
### BRECHA ÍGNEA

Como resultado da colisão continental varisca, foram produzidos granitos que intruíram as rochas pré-existentes. Durante este processo e quando os granitos sobem muito na crosta, podem gerar-se brechas no contacto com as rochas envolventes – “brechas ígneas”. A brecha ígnea existente neste sector possui elementos de rochas de diferentes naturezas (gnaisses e xistos) e idades, “cimentadas” pelo granito.



### IGNEOUS BRECCIA

The Variscan continental collision produced granites that intruded pre-existent rocks. During this event and when granites raise high in the crust, breccias can be generated at the contact zone of the evolving rocks – “igneous breccias”. The igneous breccia seen in this sector is made up of elements of various rock types and ages “cemented” by granite.



### FALHA

Devido a movimentos na crosta terrestre podem ocorrer fracturas ao longo das quais blocos opostos se deslocam um em relação ao outro. A este tipo de fractura dá-se o nome de falha.

### FAULT

Due to movements in the Earth's crust fractures can occur along which opposite blocks are differentially displaced. This kind of fracture is termed a fault.

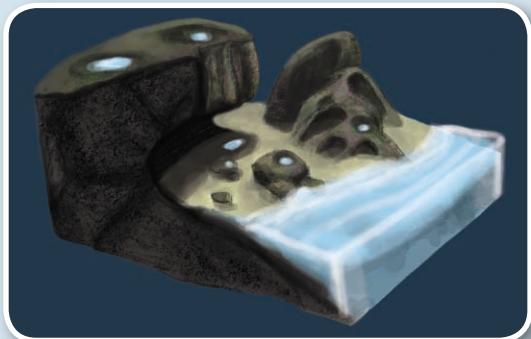
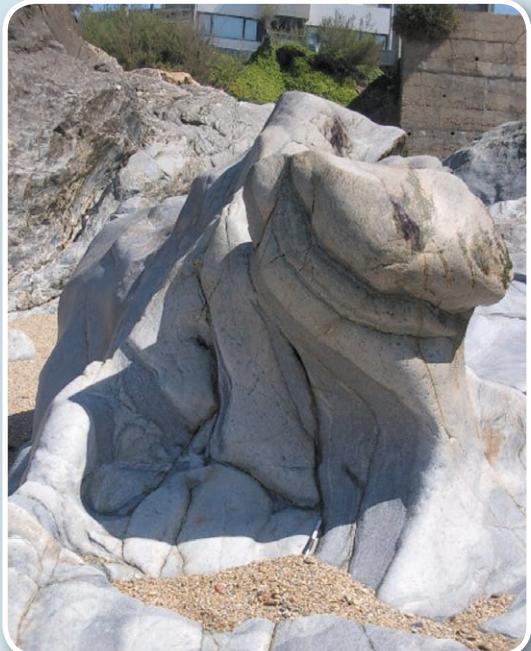


### ARCOS DE ABRASÃO MARINHA

Na praia-mar, quando a ondulação é forte, as ondas transportando seixos e areias embatem, violentamente, nos afloramentos. Quer no Inverno quer na época de marés vivas, as ondas acentuam a ação sobre as rochas, desgas-tando-as na base e ajudando a criar formas peculiares: os arcos de abrasão marinha.

### MARINE EROSION ARCS

At high tide, when the swell is strong, the waves carrying pebbles and sands collide, violently, with the outcrops. Either in winter or in high tides periods, the waves accentuate their action on the rocks, wearing the rock base away and thus contributing to create peculiar forms: marine erosion arcs.



## GLOSSÁRIO

**Afloramento** – exposição natural ou artificial de uma rocha.

**Agente erosivo** – agente externo que contribui para a erosão (a água, o vento, o gelo, o mar).

**Anfibolito** – rocha metamórfica máfica composta essencialmente por anfíbola e plagioclase, podendo apresentar ou não foliação.

**Anfíbola** – grupo de minerais da classe dos silicatos (inossilicatos) que pode conter sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al), ocorrendo frequentemente em rochas ígneas e metamórficas máficas.

**Areia** – rocha sedimentar detritica não consolidada constituída por fragmentos com dimensões que variam entre 0,064 mm e 2 mm de diâmetro (Escala de Wentworth). Resulta da fragmentação de rochas ou de minerais por ação de agentes erosivos (vento ou água).

**Arco de abrasão marinha** – forma de um afloramento de rocha resultante da erosão marinha. O mar, conjuntamente com areias em suspensão, desgasta a base da rocha conferindo-lhe a forma de um arco.

**Atitude** – posição que uma determinada estrutura geológica ocupa no espaço. É definida por dois parâmetros, direcção e inclinação, que são determinados com auxílio de uma bússola e um clinómetro.

**Basalto** – rocha magmática vulcânica de cor escura (máfica) e grão fino, constituída essencialmente por plagioclase cárnea e piroxena, com ou sem vidro intersticial. A olivina pode estar presente. Os minerais acessórios mais frequentes são óxidos de ferro e de titânio. As rochas basálticas são as principais representantes das rochas vulcânicas, e constituem o essencial da crosta oceânica.

**Basalto toleítico** – grupo de basaltos composto principalmente por fenocristais de plagioclase, piroxena e óxidos de ferro dispersos numa matriz vítreia.

**Biotite** – mineral ferromagnesiano da classe dos silicatos (filossilicatos) e do grupo das micas (mica negra).

**Biotítico** – relativo a biotite.

**Brecha ígnea** – rocha constituída por fragmentos de rochas de diferentes tipos aglutinados por material ígneo, por exemplo, granito.

**Cadeia Varisca ou Hercínica** – conjunto de relevos formados pela actuação da Orogenia Varisca ou Hercínica.

**Caos de blocos** – aglomerado caótico de blocos, normalmente de forma arredondada, resultante da erosão/alteração de uma rocha. É característico das paisagens graníticas.

**Cisalhamento** – estrutura geológica semelhante a uma falha que resulta de uma resposta dúctil ou frágil-dúctil das rochas a um campo de tensões.

**Complexo Xisto-Grauváquico** – unidade litoestratigráfica, pré-Câmbrica e/ou Câmbria, representada principalmente nas Beiras (Grupo das Beiras) e no Alto Douro (Grupo do Douro), na qual abundam os xistos e metagrauvaques.

**Contacto geológico** – superfície ou zona que separa rochas diferentes.

**Diaclase** – superfície de ruptura de uma rocha (fractura) ao longo da qual não há evidências de movimento significativo.

**Diagénesis** – mudanças físicas e químicas que ocorrem nos sedimentos durante e depois da sua deposição e que vão transformar a rocha incoerente numa rocha coerente.

**Diorito** – rocha plutónica de textura granular constituída essencialmente por plagioclases e por menores quantidades de minerais máficos (escuros).

**Dobra** – arqueamento das rochas por acção de um campo de tensões. Uma dobra caracteriza-se por ter um eixo, um plano axial e dois flancos.

**Encrave** – qualquer inclusão de material rochoso dentro de outra rocha.

**Erosão marinha** – desgaste das rochas por agentes erosivos marinhos e transportadores, tais como as ondas, as marés e as correntes marinhas costeiras.

**Estefaniano** – último andar do período Carbónico.

**Falha** – estrutura geológica representada por uma superfície de ruptura (fractura) com evidência de movimento e que resulta de uma resposta frágil das rochas a um campo de tensões.

**Feldspato** – grupo de minerais da classe dos silicatos (tectossilicatos), contendo potássio (K), sódio (Na) ou cálcio (Ca). Incluem genericamente os feldspatos potássicos (corresponde ao termo 6 da escala de dureza de Mohs) e as plagioclases (felspatos só com Na e/ou Ca).

**Félsico** – termo usado para descrever minerais claros, como o quartzo, os feldspatos e a moscovite.

**Fenocristais** – cristais visíveis à vista desarmada dispersos numa rocha ígnea de matriz fina, em que a maior parte dos cristais não é visível à vista desarmada ou à lupa.

**Filão** – estrutura de forma tabular, resultante do preenchimento de fracturas por material diferente do envolvente.

**Foliação** – designação genérica utilizada para descrever as estruturas planares presentes em algumas rochas metamórficas. Estas estruturas resultam da orientação preferencial de minerais ou da sua concentração por segregação durante o processo metamórfico. A foliação pode ser evidente e possível de observar a olho nu (em afloramento ou em amostra de mão), ou apenas ao microscópico.

**Forma geomorfológica** – elemento de uma paisagem resultante de um processo de erosão.

**Gnaisse** – rocha metamórfica de granularidade média a grosseira, com estrutura bandada, geralmente com alternâncias de leitos félsicos e máficos. Deriva de sedimentos (paragnaisse) ou de rochas ígneas (ortognaisse) por acção de metamorfismo regional ou orogénico.

**Granito** – rocha magmática plutónica, fanerítica (cristais visíveis à vista desarmada), composta essencialmente por quartzo e feldspatos alcalinos, aos quais se associam, ou não plagioclases. Estão, frequentemente, presentes as micas (biotite e moscovite). Como principais minerais acessórios, destacam-se a apatite, o zircão, a magnetite e a ilmenite. As rochas granítóides (granitos e rochas afins) são as principais representantes das rochas plutónicas em domínio continental.

**Grauvaque** – rocha sedimentar de origem detritica, com granulometria até 2 mm, composta por uma elevada percentagem de fragmentos de rocha (de que resulta, normalmente, uma cor cinzenta).

**Intrusão** – processo de instalação/injecção de um magma numa rocha pré-existente.

**Leucocrata** – termo usado para descrever uma rocha de cor clara, isto é, com predominância de minerais félsicos como o quartzo e o feldspato e, como tal, pobre em minerais máficos como a biotite e a anfíbola.

**Litificação** – processo de transformação de um material friável, inconsolidado, principalmente sedimentar, em rocha maciça.

**Litologia** – descrição das características macroscópicas de uma rocha.

**Máfico** – termo usado para descrever minerais escuros, ricos em ferro e magnésio, como as anfíbolas, a biotite e os opacos.

**Magma** – material silicatado em fusão a partir do qual, por consolidação se formam, as rochas ígneas.

**Marmita** – cavidade tendencialmente circular com dimensões centimétricas a métricas, encontrada nos leitos de rios e nas zonas litorais. Resulta da erosão turbilhonar da água juntamente com sedimentos abrasivos (seixos e areias).

**Melanocrata** – termo usado para descrever uma rocha de cor escura, isto é, com predominância de minerais máficos como a biotite e a anfíbola e, como tal, pobre em minerais felsicos como o quartzo.

**Metagrauvaque** – grauvaque metamorfizado.

**Metamorfismo** – processo que consiste na transformação mineralógica, no estado sólido, das rochas como consequência das variações físicas. Em geral, o metamorfismo gera-se por uma aumento de pressão e de temperatura ou de ambos os factores.

**Metassedimento** – rocha metamórfica com características que indicam ter sido originada por metamorfismo a partir de rochas sedimentares.

**Meteorização** – processo de modificação das rochas provocada pelos agentes meteóricos. A meteorização manifesta-se pela desagregação (meteorização física) e/ou decomposição (meteorização química) das rochas, levadas a cabo pelos agentes externos (físicos, químicos e biológicos), convertendo-se em outros produtos naturais em equilíbrio com as condições do meio.

**Mica** – grupo de minerais da classe dos silicatos (filossiliocatos).

**Micaxisto** – Rocha metamórfica (xisto), constituída essencialmente por quartzo e mica, e cuja foliação (xistosidade) se encontra materializada pelo alinhamento paralelo dos cristais de mica.

**Microgranito** – rocha magmática plutónica, de grão muito fino e com composição igual à do granito.

**Mineral** – material sólido, natural e inorgânico, com estrutura interna cristalina e uma composição química bem definida.

**Ocelo** – mineral ou agregado de minerais, em forma de olho, visível em algumas rochas metamórficas, como o gnaisse.

**Orogenia Cadomiana** – período de formação de montanhas que ocorreu entre 650 e 550 milhões de anos. Afectou sobretudo a Europa.

**Orogenia Varisca ou Hercínica** – período de formação de montanhas que ocorreu entre 380 e 280 milhões de anos. Afectou sobretudo a Europa.

**Ortognaisse** – ver gnaisse.

**Paragnaisse** – ver gnaisse.

**Património Geológico** – conjunto de aspectos ou de exemplos de geodiversidade (diversidade geológica), que pelo seu valor cultural, estético, económico, funcional, científico e educativo deve ser preservado para as gerações vindouras.

**Pegmatito** – rocha cristalina caracterizada pelo desenvolvimento considerável de certos minerais. É fonte importante de feldspato, mica, gemas e elementos raros.

**Plagioclase** – feldspato de sódio (Na) e/ou cálcio (Ca).

**Plataforma de abrasão** – superfície rochosa litoral, aplanada e irregular, que resulta da erosão marinha. Por vezes, é também denominada por plataforma litoral.

**Pré-Câmbrico** – todo o tempo geológico anterior ao início da era Paleozóica (anterior a 542 milhões de anos).

**Quartzo** – Mineral da classe dos silicatos (tectossilicatos) constituído por óxido de silício ( $SiO_2$ ). Corresponde ao termo 7 da escala de dureza de Mohs. É o mineral mais abundante e disperso na superfície terrestre.

**Rejeito de falha** – medida do deslocamento que se verificou ao longo do plano de falha.

**Rocha** – massa de matéria mineral (um mineral ou, mais frequentemente, uma associação natural de minerais), consolidada ou não.

**Rocha calcossilicatada** – rocha metamórfica constituída essencialmente por calcite (carbonato de cálcio:  $\text{CaCO}_3$ ) e silicatos de cálcio.

**Rocha ígnea ou magmática** – rocha que cristalizou a partir de um magma.

**Rocha metamórfica** – rocha que sofreu metamorfismo sob ação de temperatura e/ou pressão e que foi reorganizada, textural, estrutural e/ou mineralogicamente face a essas novas condições.

**Rocha sedimentar** – rocha constituída pela acumulação de sedimentos detriticos (clastos – fragmentos de dimensões variadas provenientes da alteração de outras rochas), químicos (resultantes da precipitação de substâncias dissolvidas na água) e/ou biogénicos (restos de seres vivos, como conchas, ossos, fragmentos de plantas, pólens, etc.) e que sofreu diagénese ou litificação.

**Sedimentação** – processo de deposição de sedimentos.

**Seixo** – fragmento de mineral ou de rocha com dimensão compreendida entre 4 mm e 64 mm (escala de Wentworth).

**Tardi-Varisco** – relativo à fase final da Orogenia Varisca.

**Tempo geológico** – período de tempo que se estende desde a formação da Terra até ao presente.

**Textura** – refere-se ao tamanho, forma e arranjo dos constituintes de uma rocha.

**Tonalítica** – referente ao grupo de rochas plutónicas com composição semelhante à de um diorito, mas contendo grandes quantidades de quartzo (mais de 20%).

**Unidade litoestratigráfica** – conjunto de rochas individualizadas e delimitadas com base nos seus caracteres litológicos, independentemente da sua idade.

**Xisto** – rocha metamórfica que apresenta xistosidade, ou seja, uma foliação marcada pela orientação preferencial de minerais ou agregados, individualizáveis a olho nu.

**Xistosidade** – elemento estrutural de uma rocha, evidenciado pela existência de planos paralelos (foliação) resultantes da recristalização dos minerais que a constituem. Como resultado a rocha divide-se em finas lâminas paralelas.

**Zircão** – mineral da classe dos silicatos (nesossilicatos) constituído por óxido de zircónio e de silício ( $\text{ZrSiO}_4$ ). É um mineral acessório frequente nas rochas ígneas ocorrendo, por vezes, nas rochas sedimentares detriticas devido à sua resistência. Este mineral contém elementos radioactivos na sua estrutura que permitem calcular a sua idade absoluta de cristalização por decaimento radioactivo.

**Zona de cisalhamento** – superfície, habitualmente planar, devida à deformação das rochas por corte (shear).

**Zona Geotectónica** – unidade estrutural com características tectónicas, magmáticas, metamórficas e paleogeográficas distintas.

## GLOSSARY

**Abrasion platform** – levelled and irregular littoral rock surface resulting from marine erosion.

**Amphibole** – a group of silicate minerals (inosilicates) that may contain sodium (Na), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe) and aluminum (Al), commonly found in mafic igneous and metamorphic rocks.

**Amphibolite** – a mafic metamorphic rock composed mainly of amphibole and plagioclase. It may or not present foliation.

**Attitude** – the position that a certain geological structure occupies in space. It is defined by two parameters, trend and dip, determined with a compass and a clinometer.

**Augen** – eye-shaped mineral grain or mineral aggregate visible in some metamorphic rocks, such as gneiss.

**Basalt** – a dark-coloured (mafic), fine-grained magmatic rock of volcanic origin, composed largely of calcium plagioclase and pyroxene, with or without interstitial glass. Olivine may be present. The common accessory minerals are iron and titanium oxides. The basaltic rocks are the mainly volcanic rocks representatives and form the essential of the oceanic crust.

**Biotite** – magnesium-iron silicate mineral (phyllosilicate) in the mica group (black mica).

**Biotitic** – relative to biotite (mineral).

**Cadomian Orogeny** – a mountain building period occurring between 650 and 550 million years ago. It affected mainly Europe.

**Calc-silicate rock** – a metamorphic rock consisting mainly of calcite (calcium carbonate:  $\text{CaCO}_3$ ) and calcium-bearing silicates.

**Chaotic mass of boulders** – a chaotic grouping of boulders, usually round-shaped, resulting from rock erosion/ weathering. It is common in granitic landscapes.

**Diagenesis** – chemical and physical changes occurring in sediments during and following their deposition but before consolidation and metamorphism.

**Diorite** – a plutonic rock with granular texture composed largely of plagioclase feldspar with smaller amounts of mafic (dark-coloured) minerals.

**Enclave** – any inclusion of rock material inside another rock.

**Erosion agent** – an external agent that contributes to erosion (water, wind, ice, sea).

**Fault** – a geologic structure represented by a fracture surface along which there is discernible evidence of displacement resulting from the failure of rocks subjected to pressure.

**Feldspar** – a group of silicate (tectosilicate) minerals containing potassium (K), sodium (Na) and calcium (Ca). They generically include potash feldspar (hardness 6 on Mohs scale) and plagioclases (Na and/or Ca feldspars).

**Felsic** – a term used to describe light-coloured minerals, such as quartz, feldspars and muscovite.

**Phenocrysts** – large, conspicuous grains in a fine matrix igneous rock in which the majority of grains are not visible to the eye or with a magnifying glass.

**Fold** – a curved or angular shape in an originally planar rock strata produced by a pressure field. A fold is characterized by having an axis, an axial plane and two limbs.

**Foliation** – a generic term used to describe planar structures in some metamorphic rocks. These structures result from the preferential orientation of minerals or of their concentration by segregation during the metamorphic process. The foliation can be clear and possible to observe with the naked eye (in an outcrop or hand specimen), or only with the microscope.

**Geologic contact** – a surface or zone separating different rock formations or types.

**Geologic time** – the period of time spanning from the formation of the Earth until the present.

**Geological Heritage** – an assemblage or example of geodiversity feature(s) (geological diversity) that through their cultural, aesthetic, economic, functional, scientific and educational value should be preserved for future generations.

**Geomorphologic form** – a landscape element resulting from an erosion process.

**Geotectonic Zone** – a structural unit with distinct tectonic, magmatic, metamorphic and paleogeographic characteristics.

**Gneiss** – a medium to coarse-grained metamorphic rock, with a felsic and mafic banded texture. Derived from sediments (paragneiss) or igneous rocks (orthogneiss) by regional or dynamic metamorphism.

**Granite** – a phaneritic (visibly crystalline) plutonic rock mainly composed of quartz and alkali feldspar to which may or may not be associated plagioclase. Micas (biotite and muscovite) are frequently present. The main accessory minerals that can occur include apatite, zircon, magnetite and ilmenite. The granitic rocks (granites and related rocks) are the main representatives of continental plutonic rocks.

**Greywacke** – a fine-grained (up to 2 mm) detrital sedimentary rock composed of a high percentage of rock fragments (resulting, usually, in a grey colour).

**Igneous breccia** – rock composed by different types of rock fragments cemented by igneous material such as granite.

**Igneous or magmatic rock** – a rock that solidified from magma.

**Intrusion** – the process of emplacement of magma in pre-existing rock.

**Joint** – a fracture in a rock (fracture), along which there is no discernible evidence of displacement.

**Late-Variscan** – relating to the final phase of Variscan Orogeny.

**Leucocratic** – a term used to describe a light-coloured rock that has a predominance of felsic minerals such as quartz and feldspar and, as a result, a lack of mafic minerals such as biotite and amphibole.

**Lithification** – a transformation of a friable, unconsolidated material, mainly sedimentary, into an indurated rock.

**Lithology** – description of the macroscopic features of a rock type.

**Lithostratigraphic unit** – A grouping of individual rocks based on their lithological characteristics independent of their age.

**Mafic** – a term used to describe dark-coloured minerals, rich in iron and magnesium, such as amphiboles, biotite and other opaque minerals.

**Magma** – a molten silicate rock material from which, after cooling and solidification, igneous rocks are formed.

**Marine erosion** – weathering of rocks by marine erosion agents, such as waves, tides and marine coastal currents.

**Marine erosion arc** – a rock outcrop form resulting from marine erosion. The sea and the sands wear the rock base way thus creating an arc form.

**Melanocratic** – a term used to describe a dark-coloured rock that through a predominance of mafic minerals such as biotite and amphibole is poor in felsic minerals such as quartz.

**Metagreywacke** – metamorphosed greywacke.

**Metamorphic rock** – a rock that has suffered metamorphism through the action of temperature and/or pressure and that as a result suffered textural, structural and/or mineralogical changes.

**Metamorphism** – a mineralogical transformation, in solid state, of rocks as a consequence of physical variations. Generally, metamorphism is generated by an increase of pressure and/or temperature.

**Metasediment** – a metamorphic rock formed from sedimentary rock.

**Mica** – a silicate mineral (phyllosilicate) group.

**Mica schist** – a metamorphic rock (schist) which is composed essentially of mica and quartz and whose characteristic foliation is mainly due to the parallel orientation of the mica plates.

**Microgranite** – a very fine-grained plutonic rock with granite like composition.

**Mineral** – solid, natural and inorganic material with an internal crystalline structure and a well-defined chemical composition.

**Offset of a fault** – the measure of displacement that occurred along a fault plane.

**Orthogneiss** – see *gneiss*.

**Outcrop** – a natural or artificial rock exposure.

**Paragneiss** - see *gneiss*.

**Pebble** – mineral or rock fragment having a dimension ranging between 4 mm and 64 mm (Wentworth scale).

**Pegmatite** – an extremely coarse-grained, crystalline rock with interlocking crystal. It is an important source of feldspar, mica, gemstones and rare elements.

**Plagioclase** – sodium (Na) and/or calcium (Ca) feldspar.

**Pothole** – a normally circular hole, ranging from centimetres to metres in size, found in river beds and in littoral zones. Results from the swirling erosion of water together with pebbles and sands.

**Precambrian** – all geological time prior to the beginning of the Paleozoic era (predating 542 millions of years ago).

**Quartz** – a silicate mineral (tectosilicate) composed of silicon oxide ( $\text{SiO}_2$ ). Hardness 7 on Mohs scale. It is the most abundant and widespread mineral in the Earth's surface.

**Rock** – a consolidated or unconsolidated mass of mineral matter (one mineral or, more frequently, a natural association of minerals).

**Sand** – an unconsolidated detrital sedimentary rock consisting of fragments between 0.064 mm and 2 mm in diameter (Wentworth Scale). It results from the breakdown of rocks or minerals by erosion agents (wind or water).

**Schist** – metamorphic rock that has schistosity, that is, a foliation marked by the preferential orientation of minerals or aggregates, discernible with naked-eye.

**Schist-Greywacke Complex** – Precambrian and/ or Cambrian lithological unit widely represented in Portugal, in which schists and greywackes are abundant (these, obviously, metamorphosed).

**Schistosity** – structural element of a metamorphic rock, discernible by the existence of parallel planes (foliation) resulting from the recrystallization of minerals. As a result the rock splits into fine parallel plates.

**Sedimentary rock** – a rock composed by detrital (clasts – fragments of various dimensions from the weathering of other rocks), chemical (resulting from the precipitation of water dissolved substances) and/or biogenic (remnants of living beings, such as shells, bones, plant fragments, pollens, etc,) sediment accumulation that has subsequently suffered diagenesis and lithification.

**Sedimentation** – the process of sediment deposition.

**Shear** – a geologic structure similar to a fault which results from the ductile or semi-ductile response of rocks to a shear displacement.

**Shear zone** – a tabular area of rock that has been deformed by shear strain.

**Stephanian** – the last stage of the Carboniferous period.

**Texture** – the physical appearance or character of a rock.

**Tholeiite** – a silica-oversaturated basalt composed mainly of plagioclase, pyroxene, and iron oxide minerals as phenocrysts in a glassy groundmass.

**Tonalitic** – referring to a group of plutonic rocks having the composition of diorite but with large amounts of quartz (greater than 20%).

**Variscan or Hercynian chain** – a mountain range formed during the Variscan or Hercynian Orogeny.

**Variscan or Hercynian Orogeny** – a mountain building period occurring between 380 and 280 million years ago. It affected mainly Europe.

**Vein** – a tabular form structure resulting from the filling of fractures by material of different composition from the host rock.

**Weathering** – a modification of rocks on exposure to meteoric agents. Weathering is the disintegration (physical weathering) and/or decomposition (chemical weathering) of rocks by external agents (physical, chemical and biological) which convert them into other natural products in equilibrium with the environment.

**Zircon** – a silicate mineral (nesosilicate) composed of zirconium and silicon oxide ( $ZrSiO_4$ ). It is a frequent accessory mineral in igneous rocks occurring, sometimes, in detrital sedimentary rocks due to its resistance. This mineral contains radioactive elements in its structure allowing the estimation of its absolute crystallization age by radioactive decay.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAPHY

- Borges, F. S., Marques, M. e Noronha, F. (1985). *Excursão geológica no complexo gnáissico da Foz do Douro*. In: Livro guia das escursões geológicas a realizar e Portugal. IX Reunião sobre a Geologia do Oeste Peninsular. Porto
- Borges, F.S., Marques, M., Noronha, F. (1987). *Metamorphic terrains of Foz do Douro*. In: Ribeiro A., Dias, R., Pereira, E., Merino, H., Borges, F.S., Noronha, F., Marques, M., Coords, Guide-book for the Miranda do Douro-Porto Excursion. Conference on Deformation and Plate Tectonics, Oviedo, pp. 11-19.
- Bravo, M.S., Abrunhosa, M.J. (1978). *Sobre a petrografia, composição e origem dos anfibolitos da Foz do Douro (Porto-Portugal)*. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto, Número: XC – 4ª Série, 95: 7-26.
- Chaminé, H. (2000). *Estratigrafia e Estrutura da Faixa Metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): Implicações Geodinâmicas*. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto (Tese de Doutoramento).
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E.; Noronha, F. e Lemos de Sousa, M. J. (2003). *Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal)*, Cadernos Lab. Xeolóxicos de Laxe, Coruña, Vol. 28: 37-78.
- Carta Geotécnica do Porto* (2003). Câmara Municipal do Porto, COBA, FCUP.
- Costa, J.S.C. (1938). *O Porto: Geografia, Geologia*. Companhia Portuguesa Editora.
- Costa, J. Carrington e Teixeira, C. (1957). *Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50.000. Notícia explicativa da folha 9C-Porto*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., Conde, L.E.N. (1974). *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, Escala 1: 1000 000*. Memoria Explicativa, 113 pp. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Leterrier, J., Noronha, F. (1998). *Evidências de um plutonismo calcoalcalino Cadomiano e de um magmatismo tipo MORB no Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto)*. In: Azeredo, A., Coord., Actas do V Congresso Nacional de Geologia (Resumos Alargados), Lisboa 1998. Comum. Inst. Geol. Min./Soc. Geol. Portugal, 84, 1: B146-B149.
- McGraw-Hill dictionary of Geology and Mineralogy*, Second Edition (2003). McGraw-Hill Companies, Inc. Eds.
- Marques, M., Noronha, F., Flores, D. & Rodrigues, B., (2000). *Geologia da faixa costeira Lavadores-Porto*. In: Livro-guia da ex-cursão geológica do XX Curso de Actualização de Professores de Geociências, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto/Associação Portuguesa de Geólogos, Porto.
- Martins, H.C.B., Almeida A., Noronha, F., Leterrier, J. (2001). *Novos Dados Geocronológicos de Granitos da Região do Porto: Granito do Porto e Granito de Lavadores*: VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XII Semana de Geoquímica.
- Mendes, F. (1967/1968). *Contribution à l'étude géochronologique, par la méthode au stontium, des formations cristallines du Portugal*. Bol. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa, 11, 1:3-155 (Tese de Doutoramento).
- Noronha F. (1994). *Geologia e Tectónica*. In: Carta Geotécnica do Porto. Vol. 1, Tomo 1 – Memória, pp. 36-49. Câmara Municipal do Porto, COBA, FCUP.
- Noronha, F., Leterrier, J. (1995). *Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). Geoquímica e Geocronologia. Resultados preliminares*. In: Borges, F.S., Marques, M., Coords., IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 1998, Resumos Alargados. Mem. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 4: 769-774.
- Noronha, F., Leterrier, J. (2000). *Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). Geoquímica e Geocronologia*. Revista Real Academia Galega de Ciências. Volume XIX, pp. 21-42.

- Noronha, F., Marques, M., Sousa, M. (2008). *O Complexo Metamórfico da Foz do Douro*. 6º Encontro de Campo do Grupo de Geologia Estrutural e Tectónica, Sociedade Geológica de Portugal.
- Pinto, M. S., Casquet, C., Ibarrola, E., Corretge, L. G. E Ferreira, M. P. (1987). *Síntese geocronológica dos granitóides do Macizo Hespérico*. In: Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico. Libro homenaje a L. C. García de Figueiroa. pp. 69-86. Editorial Rueda. Madrid.
- Ribeiro, M.A., Marques, M., Flores, D., Vasconcelos, C. (2006). *Geologia da Faixa Litoral entre Lavadores e o Castelo do Queijo*. Simpósio Ibérico do Ensino da Geologia/XXVI Curso de Actualização de Professores de Geociências (Aveiro, Portugal). Livro Guia de Campo, pp. 7-42.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M. L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., Pedro, J. (2007). *Geodynamic evolution of SW Europe Variscides*. Tectonics 26 (2007 doi: 10.1029/2006/TC002058).
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Fonseca, P., Pereira, E., Noronha, F., Romão, J., Rodrigues, J., Castro, P., Meireles, C., Ferreira, N. (in press). *Mechanics of thick-skinned Variscan overprinting of Cadomian basement (Iberian Variscides)*.
- Silva, M.M.V.G. (1995). *Mineralogia, petrologia e geoquímica de encraves de rochas graníticas de algumas regiões portuguesas*. Tese de Doutoramento, Univ. Coimbra, 288pp.
- Teixeira, C. (1970). *Aspectos Geológicos da Orla Litoral do Porto e de V.N. Gaia*. Naturalia, 10, 1 pp. 13-29.
- Teixeira, C. (1976). *Acerca da idade das rochas graníticas portuguesas*. Bol. Soc. Geol. Portg., Lisboa, 20, 1/2 : 131-163.
- Teixeira, C. (1981). *Geologia de Portugal. Vol. I – Precâmbrico, Paleozóico*. 629 pp. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Vieira da Silva, J.C., Flores, D. (2002). *Viagem ao Património Geológico da Faixa Litoral da Cidade do Porto. Geologia no Verão 2002*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – Departamento de Geologia.

Praia do Castelo do Queijo

Um salto no tempo  
(A time leap)



A erosão das rochas  
(Rock erosion)



O gnaisse nasceu granito  
(The gneiss was originally granite)



“Mistura” de rochas  
("Mixture" of rocks)



Já fui fundo oceânico  
(I once was sea floor)



Brecha ígnea  
(Igneous breccia)

