

JORGE BONITO

**ATIVIDADES PRÁTICAS
NO ENSINO DA
DEFORMAÇÃO DAS ROCHAS**

- TEXTO PEDAGÓGICO -



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

2021

ÍNDICE

1. Introdução.....	3
2. A especificação das estratégias	6
3. Propostas de atividades práticas.....	9
3.1. Introdução.....	9
3.2. Objetivos.....	10
3.3. Atividade prática de laboratório (Estratégia n.º 4).....	11
3.3.1. Materiais.....	11
3.3.2. Experimento n.º 1 - Medição de forças. Comportamento dos materiais, função da intensidade e tempo de aplicação das forças mecânicas e da temperatura e pressão.11	
3.4. Atividade prática de laboratório (Estratégia n.º 5).....	13
3.4.1. Materiais.....	13
3.4.2. Experimento n.º 2 - Compressão de uma série sedimentar. Formação de dobras e de falhas inversas. Erosão de uma dobra. Discordância angular	15
3.4.3 Experimento n.º 3 - Formação de um <i>graben</i> . Formação de falhas normais. Formação de um <i>horst</i> . Colmatação de um <i>graben</i>	18
3.4.4. Experimento n.º 4 - Formação de uma falha de desligamento.	22
3.5. Conservação dos modelos	24
3.6. Atividades de discussão	27
4. Referências.....	31

ATIVIDADES PRÁTICAS NO ENSINO DA DEFORMAÇÃO DAS ROCHAS¹

Num quadro didático, o modelo não é um dado de partida, mas justamente o objetivo declarado de ensino².

1. Introdução

As atividades práticas que se apresentam não constituem estratégias únicas a desenvolver nesta unidade de ensino relative à deformação das rochas. Querem, antes, representar opções fundamentadas que, uma vez utilizadas, poderão melhorar os rendimentos escolares, permeando uma aprendizagem significativa, isto é, ativa e procedimental. Estas atividades, por nós concetualizadas e desenvolvidas, foram objeto de reflexão pré e pós-realização. Carecem todavia, de uma “experimentação no terreno”³, imprescindível, realizada na sala de aula com os alunos.

Dentro da medida do possível, a experimentação no terreno deveria ser realizada pelos próprios professores dos grupos-turma. Tal caminho consistiria em testar a confiabilidade e a validade das nossas propostas junto dos alunos, *i.e.*, procurar saber em que medida as nossas opções estratégicas representam o que pretendemos, e qual o grau de precisão dessa mesma representação. Haverá necessidade de uma identificação e avaliação das concepções que os alunos apresentam, por exemplo, acerca de todos os aspetos que os modelos usados pretendem representar. Só desta forma poderemos falar, numa instância seguinte, da utilidade, riqueza e valor didático dos materiais curriculares práticos que produzimos, função da própria orientação dada. Precisamente por isso, é importante ensinarmos de tempos em tempos, nas turmas onde queremos desenvolver a investigação, fazendo-nos aceitar pelos alunos, impregnando-nos da sua atmosfera⁴.

Para a realização de atividades práticas, o professor e os alunos podem dispôr de abundantes meios de procedência muito variada. Uns poderão ser confeccionados ou adquiridos em empresas especializadas em material didático ou científico. Outros porém,

¹ Adaptado de Bonito (1996).

² Johsua e Dupin (1993, p. 197).

³ Landsheere (1982, p. 43).

⁴ Mialaret (1954).

encontram-se ao alcance no campo, no parque, no recinto da escola, no supermercado, na drogaria, na pastelaria, etc. Podemos citar alguns exemplos de materiais úteis para observação e atividades de reflexão sobre fenómenos geológicos: fósseis, rochas, minerais, rio, depósitos de vertente, água que corre por um rego, barreiras de estradas, arraste de materias pelo vento, etc. Além disso, muitos objetos de uso quotidiano poderão constituir bons materiais para observação e experimentação escolares, desenvolvendo simultaneamente uma dupla motivação nos alunos: (a) aquela que acompanha a realização das atividades práticas, e (b) uma outra que advém do facto de trabalharem com materiais que eles mesmo obtiveram, ou que são do seu conhecimento diário.

Não é correto afirmar que um material didático, por ser caro, bonito ou complexo, constitui um bom recurso didático. Algumas variáveis são fundamentais para apurar a sua validade e riqueza didática. Os materiais didáticos usados devem reunir algumas características essenciais:

- Facilitar ao aluno a compreensão do fenómeno que se estuda em cada caso. Decorre daqui a necessidade da adequação dos materiais às características psicológicas dos alunos e à profundidade com que se estudam as matérias, função dos objectivos exigidos.
- Apresentarem uma estrutura simples que possibilite ao aluno o conhecimento e compreensão, mais fácil e clara, dos aspetos essenciais do(s) fenómeno(s) que deseja(m) estudar-se.
- O seu manuseamento e construção devem ser fáceis, podendo em muito casos, os próprios alunos prepararem os materiais que irão experimentar e observar.
- Deve procurar produzir-se materiais com um custo reduzido. Esta característica, arrasta consigo três implicações: (a) o aspeto económico é muitas vezes limitante nas nossas escolas, (b) nem sempre os materiais mais caros reúnem as condições anteriores, e (c) é ocasião para desenvolvermos um contributo à educação social, no seu aspeto ético-económico.

Uma vez que nem todo o material didático existente oferece garantias de eficácia e utilidade do ponto de vista educativo, apresenta-se uma grelha de avaliação do material científico escolar (**Quadro 1**).

Quadro 1 - Grelha de avaliação dos materiais curriculares práticos, em função do seus valores científicos e educativos⁵.

VALOR / CARACTERÍSTICA
<i>1. Valor científico</i>
1.1. Conduz a conhecimentos e compreensões corretas.
1.2. A sua linguagem (ou o seu conteúdo conceitual) é clara.
1.3. A sua linguagem (ou o seu grau de complexidade) é adequada ao desenvolvimento intelectual e aos conhecimentos dos alunos.
1.4. Apresenta consistência, ou liga-se a um método de trabalho, e provoca uma atividade científica significativa e ordenada.
1.5. A sua qualidade material possibilita o seu correto funcionamento.
<i>2. Valor educativo</i>
2.1. Apresenta poder motivador.
2.2. Provoca desejo de observar e de experimentar.
2.3. Induz a implementação de meios de expressão próprios das ciências.
2.4. Leva à reflexão.
2.5. Desenvolve o sentido crítico.
2.6. Desenvolve a criatividade.
2.7. Facilita o desenvolvimento de valores sociais.
2.8. Enfatiza os valores interdisciplinares e humanísticos da ciência.
2.9. O momento em que se utiliza é funcional em relação com a unidade temática do momento.

De seguida, apresentam-se algumas atividades práticas para o ensino das deformações da crosta terrestre, enquadradas de acordo com as considerações anteriores.

⁵ Adaptado de Martín et al. (1992, p. 185).

2. A especificação das estratégias

Uma vez especificados os conteúdos e os objetivos educacionais a atingir pelos alunos, urge concetualizar uma planificação da ação, com estratégias bem definidas, que pareçam num primeiro momento, estarem mais adequadas e indicadas ao desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem. A natureza fechada de um ciclo avaliativo é importante, constituindo a única via que nos permite obter um certo *feed-back* da nossa ação. Daí escrevermos “num primeiro momento”. O processo de *feed-back* é vital para manter um verdadeiro processo educativo (aliás, como acontece na maior parte das nossas funções fisiológicas). Em todo o caso, quer o processo, quer o produto (os resultados) devem ser cuidadosamente observados e avaliados. Se as coisas correm bem, é indicação para continuarmos a nossa ação. Caso contrário, há necessidade de estabelecer ajustes e alterações à nossa operação, seja dos conteúdos, estratégias ou objetivos.

As estratégias que concetualizámos não constituem única via. Fundamentados nas nossas considerações anteriores, estas opções parecem-nos, neste dado momento, exequíveis em qualquer escola. Além da plena intervenção do aluno, estas estratégias constituem uma boa fonte, a partir da qual brotarão bastantes dados, que uma vez discutidos amplamente conduzirão a uma aprendizagem significativa, e portanto, ativa. Não pretendemos ser exaustivos na planificação das atividades a desenvolver. Debrucámo-nos natural e essencialmente sobre as atividades práticas, considerando sempre as sérias limitações que cada estabelecimento escolar eventualmente apresentará. A especificação das estratégias (**Quadro 2**) deixa bem abertas as possibilidades de diálogo (horizontal e vertical), com ajustes, alterações ou modificações a uma determinada realidade pedagógica, que só o professor do grupo-turma, melhor que outrem, conhecerá.

Quadro 2 - Especificação das estratégias para a unidade “Deformações da Crusta Terrestre”.

OBJECTIVOS	ESPECIFICAÇÃO DO CONTEÚDO	ESPECIFICAÇÃO DA ESTRATÉGIA
1. Conhecer diferentes tipos de deformação litológica.	1. Deformações da crosta terrestre 1.1 Deformações no terreno: 1.1.1. Falhas 1.1.2. Diáclases 1.1.3. Dobras 1.1.4. Clivagem 1.1.5. Xistosidade 1.1.6. Foliação	1. Atividade prática de campo ou, na impossibilidade da sua realização, exploração de diapositivos, fotografias ou vídeos. - Esta atividade deve ser orientada de acordo com os objetivos a atingir. Trata-se do nível de domínio cognitivo mais baixo - memorização. - Esta estratégia pode ser planeada como atividade geradora de problemas, assumindo-se como atividade prática de campo alternativa de tipo II ⁶ .

⁶ Cfr. Bonito (2001).

Quadro 2 (continuação) - Especificação das estratégias para a unidade “Deformações da Crusta Terrestre”.

OBJECTIVOS	ESPECIFICAÇÃO DO CONTEÚDO	ESPECIFICAÇÃO DA ESTRATÉGIA
2. Caraterizar os elementos de uma falha e de uma dobra.	2. Caraterização de dobras 2.1. Flancos 2.2. Eixo da dobra 2.3. Charneira 2.4. Superfície axial 2.5. Crista 2.6. Quilha e plano de quilha 2.7. Linha de inflexão 2.8. Superfície bissetora 2.9. Superfície envolvente 3. Classificação das dobras 3.1. Atendendo ao fecho e às relações estratigráficas das rochas 3.2. Baseada nos aspetos descritivos 3.3. Baseada nos aspetos morfológicos 4. Caraterização de falhas 4.1. Blocos de falha 4.2. Plano de falha 4.3. Espelho de falha 4.4. Atitude de uma falha 4.5. Teto 4.6. Muro 4.7. Traço de falha 4.8. Rejeto 5. Classificação das falhas 5.1. Baseada nos aspetos genéticos 5.2. Baseada nos aspetos geométricos	2. Atividade prática de laboratório de tipo II ⁷ . - Com esta atividade pretende-se que os alunos construam modelos que representem os diferentes tipos de falhas e de dobras já introduzidos com a atividade anterior. - A construção deve ser feita com materiais adequados ao efeito, como por exemplo, sabão, madeira, esferovite, plasticina ou esponja. Os modelos devem ser orientados no sentido da sua exploração proporcionar uma visão de alguns movimentos que ocorrem na formação de tais estruturas.
3. Conhecer alguns fatores implicados na deformação das rochas.	6. Tensão 7. Elipsóide de tensão 8. Deformação 9. Elipsóide de deformação 10. Propriedades reológicas dos corpos 11. Curvas de tensão-deformação	3. Atividade prática - Exploração de diapositivos, transparências, e modelos dos elipsóides de tensão e de deformação. - Realização de fichas de trabalho. - Atividades de discussão.
4. Caraterizar comportamentos elástico, plástico e frágil dos materiais.	12. Tipos de deformação	4. Atividade prática de laboratório de tipo III ⁸ . - Pretende-se que os alunos preparem um aparato experimental (experiência) que lhes permita (re)descobrir os efeitos de forças sobre distintos materiais. - Procurar-se-á produzir diferentes tipos de deformações, função do tipo de material, intensidade e duração da força aplicada, temperatura e pressão.
5. Compreender a influência da pressão, temperatura e tempo de atuação das forças, na deformação dos materiais.	13. Fatores que influenciam o comportamento físico dos materiais rochosos	

⁷ Cfr. Bonito (2001).⁸ Cfr. Bonito (2001).

Quadro 2 (continuação) - Especificação das estratégias para a unidade “Deformações da Crusta Terrestre”.

OBJECTIVOS	ESPECIFICAÇÃO DO CONTEÚDO	ESPECIFICAÇÃO DA ESTRATÉGIA
5. Compreender a influência da pressão, temperatura e tempo de atuação das forças, na deformação dos materiais.	13. Fatores que influenciam o comportamento físico dos materiais rochosos	5. Atividade prática de laboratório de tipo III ⁹ . - Procurar-se-á a gestão e desenvolvimento de experimentos que permitam a observação do efeito de forças compressivas e distensivas sobre diferentes tipos de materiais. NOTA: Sempre que se revele oportuno, os alunos deverão resolver exercícios práticos e experimentos para contrastar hipóteses, materializados, por exemplo, em fichas de trabalho orientadas para estas atividades.

⁹ Cfr. Bonito (2001).

3. Propostas de atividades práticas

3.1. Introdução

Para abordar o estudo das deformações da crosta terrestre, os professores usam, frequentemente, esquemas, diapositivos e fotografias para os alunos observarem e inferirem um certo número de noções tectônicas. Todos estes recursos, ainda que corretamente aproveitados e para além do seu contínuo grande valor, oferecem visões estáticas dos fenómenos naturais.

Através da construção de um modelo reduzido analógico de utilização pedagógica, que procure reproduzir cadeias montanhosas ou fossas tectônicas, é possível observar e estudar (analogicamente), esse dinamismo que caracteriza o planeta Terra. Quando a construção do modelo é feita pelos próprios alunos verificam-se comportamentos entusiastas e expectantes, além de abrir um leque grande de traços pertinentes provenientes da observação do próprio modelo.

Os modelos que explorámos nas nossas três experiências, oferecem variadas e grandes potencialidades. Graças às paredes transparentes da tina que usámos, é possível observar as estruturas geológicas profundas em formação, como a charneira de uma dobra ou o fundo de um *graben*. Inferem-se, também, os mecanismos de formação de uma falha de desligamento. Os materiais que se comprimem são areia, gesso ou cimento. Alguns professores têm realizado experiências muito aproximadas, embora utilizem outros materiais (*e.g.*, bolos amoldáveis, com distintas camadas e várias coberturas de *chantilly*), obtendo resultados menos ricos que os nossos.

Estas experiências decorrem durante alguns minutos e procuram representar dezenas de Ma na realidade. Acelerando o tempo apreendemos melhor a disposição espacial de uma dobra, de uma falha ou a evolução das deformações. As estruturas obtidas são muito expressivas e assemelham-se muito àquelas que a natureza nos revela. Realizando estas experiências, podemos compreender a razão das dobras e falhas afetarem massas consideráveis em grandes profundidades e/ou superfícies. Estas deformações dão-nos consciência da amplitude dos movimentos que as produziram e testemunham a atividade do globo.

3.2 Objetivos

Os materiais que selecionámos para utilizar nestes dois modelos, permitem atribuir-lhes uma tripla vantagem em relação a outros similares: (a) o modelo analógico fabricado pode conservar-se para uso em aplicações posteriores; (b) os alunos podem realizar atividades práticas através de experiências simples e curtas temporalmente (adequadas a muitas das aulas); e (c) este modelo é um bom recurso para todo o leigo que deseje compreender melhor a atividade da Terra realizando as distintas experiências que propomos.

A nível cognitivo alunos deverão ser capazes de:

1. Conhecer alguns fatores implicados nas deformações dos materiais rochosos;
2. Caracterizar comportamentos elástico e plástico;
3. Compreender a influência do tempo e da intensidade da força na deformação das rochas;
4. Relacionar a formação de cadeias montanhosas, dobras e falhas inversas, com as diferentes forças compressivas que as originam;
5. Relacionar a formação de *grabens* e falhas normais, como resposta aos movimentos distensivos;
6. Compreender os mecanismos de deformação ao longo de uma falha de desligamento;
7. Inferir as figuras de deformação das rochas em zonas submetidas a um desligamento;
8. Relacionar a distribuição das forças sísmicas e a repartição das fraturas no espaço e no decurso do tempo;
9. Demonstrar que distintos materiais têm respostas diferentes aos mesmos agentes deformadores;
10. Planear experiências para comprovar o efeito de forças de compressão e/ou de tração sobre os diferentes materiais;
11. Compreender os fenómenos erosivos;
12. Reconhecer relações entre a génese sedimentar e as deformações das rochas.

Estas atividades promovem, também, a operacionalização de objetivos a nível afetivo e psicomotor, incluindo objetivos de manipulação (de materiais, movimentos finos e precisos) e de argumentação científica (adoção de uma atitude explicativa e resolutória de um problema, exploração de modelos analógicos em Geociências).

3.3. Atividade prática de laboratório (Estratégia n.º 4)

3.3.1. Materiais

Dinamómetro; Mola metálica helicoidal; Cronómetro; Massas marcadas ($m_1 < m_2 < m_3 < m_4$); Suporte; Lamparina; Materiais-Prova: fita de borracha, plastilina, lâmina (de microscopia), lamela (de microscopia), vareta oca de vidro, prego de Ferro, fita de zinco, fita de folha-de-flandres; argila seca; argila recém humedecida.

3.3.2. Experimento n.º 1 - Medição de forças. Comportamento dos materiais, função da intensidade e tempo de aplicação das forças mecânicas e da temperatura e pressão.

1. Colocar o dinamómetro fixo no suporte.
2. Introduzir à vez, na argola do dinamómetro, as massas m_1 , m_2 , m_3 , e m_4 (**Figura 1**).
3. Observar e anotar os valores registados na escala dinamométrica.
4. Repetir a operação 2, associando desta vez as distintas massas.

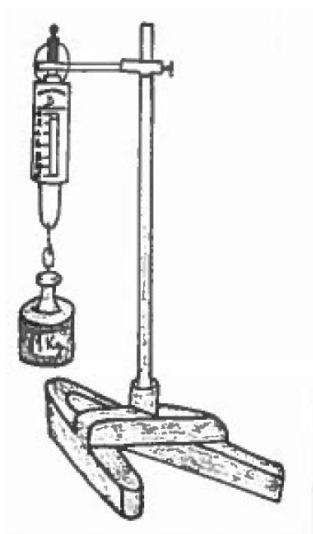


Figura 1 - Medição de massas no dinamómetro.

5. Prender a mola verticalmente a uma placa fixa ou, por exemplo, a um suporte.
6. Colocar na extremidade da mola a massa m_1 (Figura 12.2).
7. Manter o dispositivo montado durante um minuto.
8. Observar e registar os resultados obtidos.
9. Repetir os procedimentos 2, 3 e 4, utilizando as massas m_2 , m_3 , e m_4 , respetivamente.

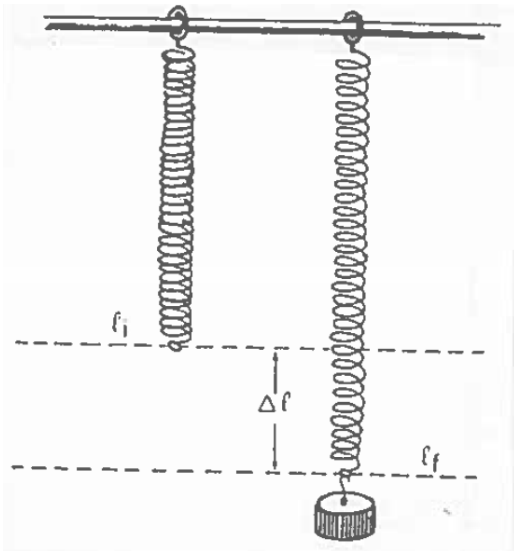


Figura 2 - Alongamento da mola devido ao efeito do peso do corpo.

10. Colocar a massa m_4 na extremidade da mola.
11. Manter o dispositivo montado durante: a) 2 min; b) 5 min; c) 15 min; d) 25 min.
12. Observar e registrar os resultados obtidos.
13. Submeter os materiais-prova, um de cada vez, aos seguintes testes:
 - 13.1. Força distensiva;
 - 13.2. Força compressiva;
 - 13.3. Aquecimento com as mãos e aplicação de uma força compressiva;
 - 13.4. Aquecimento com as mãos e aplicação de uma força distensiva;
 - 13.5. Aquecimento da vareta oca de vidro e do prego de ferro à chama de uma lamparina. Aplicação de uma força compressiva.
 - 13.6. Aquecimento da vareta oca de vidro e do prego de ferro à chama de uma lamparina (**Figura 3**). Aplicação de uma força distensiva.

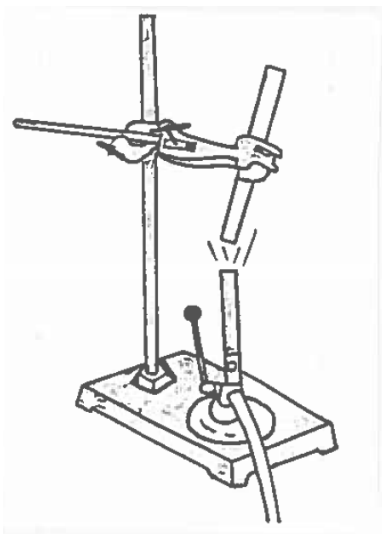


Figura 3 - Aquecimento de uma vareta oca de vidro.

13.7. Pressão forte com a parte posterior de um lápis (**Figura 4**).

13.8. Observar e registrar os resultados.

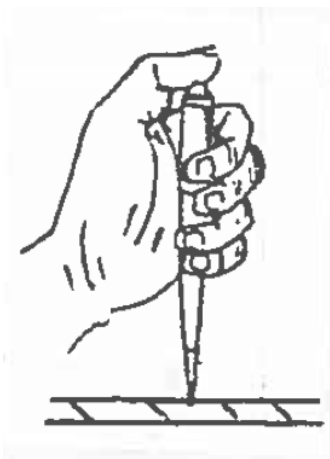


Figura 4 - Pressão forte com a parte posterior de um lápis.

3.4. Atividade prática de laboratório (Estratégia n.º 5)

3.4.1. Materiais

Para a construção deste modelo necessitamos de alguns materiais, que podem facilmente ser obtidos no mercado local.

- Uma tina em acroleína (ou vidro) transparente (e.g., 36 cm de comprimento, 20 cm de altura, e 20 cm de largura, 0,4 cm de espessura), perfurada em seis locais: (a) nas duas paredes laterais de menor largura, a 3,5 cm da base, por um orifício de φ 0,8 cm; e (b) na base, em quatro locais aleatórios com orifícios do mesmo diâmetro, de forma que uma linha imaginária que os una forme um quadrado.
- Uma tina em acroleína (ou vidro) transparente (e.g., 50 cm de comprimento, 6 cm de altura, e 30 cm de largura, 0,4 cm de espessura), cortada longitudinalmente ao meio;
- Uma placa em acroleína transparente (19 cm x 14 cm x 0,4 cm), furada a 3 cm da base, sobre a qual é adaptada uma haste amovível (cilíndrica, com \varnothing 0,5 cm e 19 cm de comprimento) em madeira ou metal. Este conjunto funcionará como um pistão
- Duas placas, em acroleína transparente, em forma de L. Em cada placa é adaptada uma haste amovível igual à supra-referida. A largura da parte vertical da placa em L tem que corresponder à largura do interior da tina (29 cm), e a altura situar-se aproximadamente nos 14 cm. A parte horizontal da placa em L apresenta dimensões de 19 cm x 7 cm x 0,4 cm;

- Uma placa de madeira ou em acroleína (8 cm x 8 cm x 0,4 cm), com uma haste idêntica à descrita anteriormente, embora com um comprimento mais reduzido (15 cm). Esta placa funcionará como um maço, destinado a compactar o material utilizado;
- Uma placa de madeira ou de acroleína (70 cm x 50 cm x 1 cm);
- Dois sarrafos (50 cm x 1 cm x 0,5 cm);
- Corantes em pó: ocre amarelo (± 250 g), ocre vermelho (± 250 g), ocre castanho (± 250 g), azul-ultramar (± 250 g), preto-Itália (± 250 g), amarelo-metilo (± 250 g);
- Farinha (± 500 g);
- Gesso (± 2 kg);
- Lacre (± 1 kg);
- Uma barra de sabão “azul-e-branco”;
- Cimento branco e cinzento (± 1 kg);
- Areia crivada a 4 granulometrias: (a) grão < 60 mesh; (b) 60 mesh < grão < 25 mesh; (c) 25 mesh < grão < 18 mesh; (d) 18 mesh < grão < 14 mesh. (± 1 kg)¹⁰;
- Plastilina (vários rolos de diferentes cores);
- Argila (± 3 kg);
- Pregos para madeira;
- Parafusos para madeira ou para metal;
- Chave-de-fendas para parafusos;
- Duas folhas de papel vegetal;
- 50 cm de napa branca autocolante;
- Quatro canetas de feltro (azul, vermelho, preto e verde);
- Um serrote de mão;
- Uma colher das de sopa;
- Uma faca de cozinha;
- Uma espátula de metal;
- Água;
- Uma máquina fotográfica;
- Uma máquina videográfica, e um tripé.

¹⁰ Conversão da escala Mesh na escala métrica:

Sistema Mesh	Sistema Métrico
60	250 μ m
25	710 μ m
18	1,00 mm
14	1,4 mm

3.4.2. Experimento n.º 2 - Compressão de uma série sedimentar. Formação de dobras e de falhas inversas. Erosão de uma dobra. Discordância angular.

1. Montagem do dispositivo experimental:

1.1. Colocar a placa de acroleína (19 cm x 14 cm x 0,4 cm) no interior da tina e adaptar, a partir do exterior, a respetiva haste (**Figura 5**). Uma vez controlada do exterior, permitirá que o sistema funcione como um êmbolo.

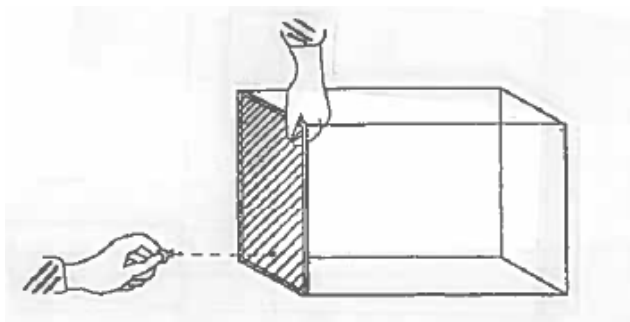


Figura 5 - Montagem do dispositivo experimental¹¹.

1.2. Repartir os diversos tipos de areia (com diferentes cores, resultado da adição dos vários corantes) em camadas de espessura regular (aproximadamente de um cm) e horizontal (**Figura 6A**). O maço ajudará a nivelar as camadas de areia (**Figura 6B**), compactando-as de seguida (**Figura 6C**).

1.3. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal, as camadas sedimentares horizontais compactadas, que servirão posteriormente de referência.

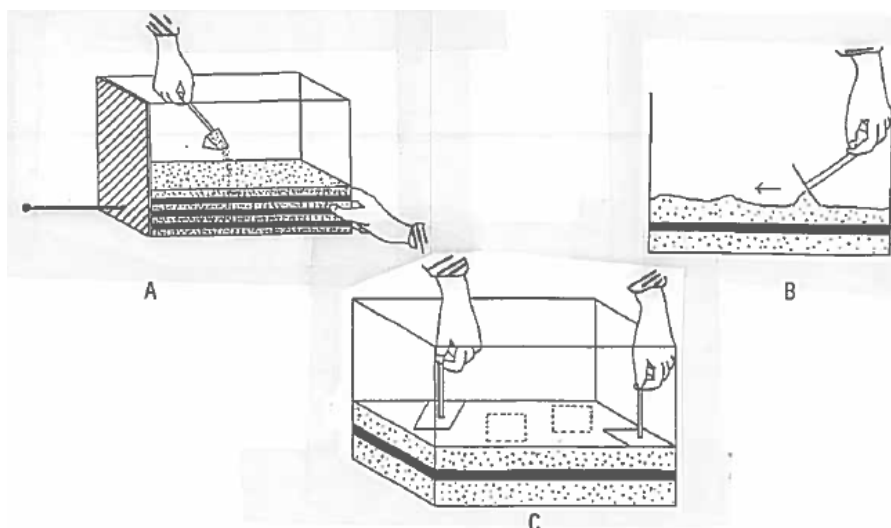


Figura 6 - Deposição, na tina, dos diferentes tipos de areia. A - Devem formar-se estratos regulares e horizontais; B - bem nivelados e; C - compactados¹².

¹¹ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

¹² Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

2. Estruturas resultantes de forças compressivas

2.1. Segurar firmemente na tina, e imprimir uma força compressiva apoiando-se na haste do pistão (**Figura 7A**). A deslocação do pistão dentro da tina exerce uma compressão sobre as camadas de areia (**Figuras 7B e 7C**).

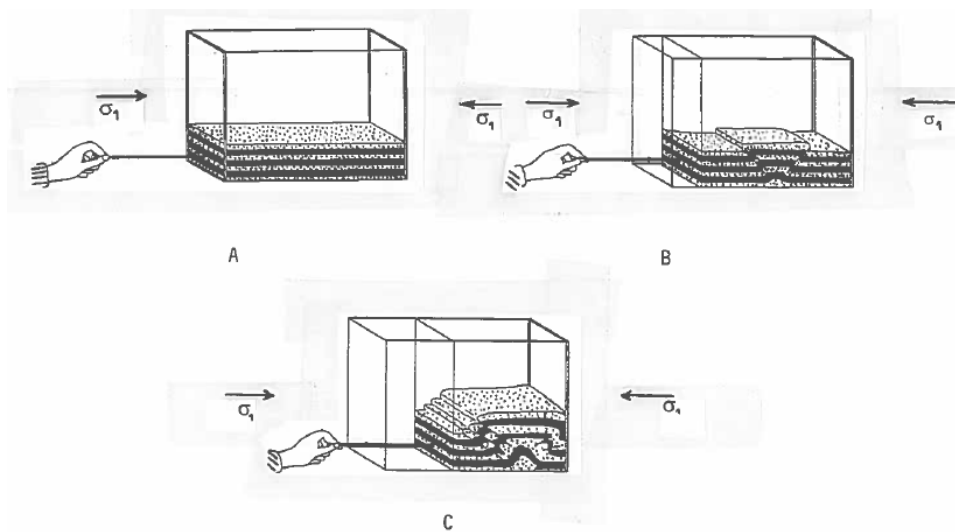


Figura 7 - Aplicação de uma força compressiva sobre as camadas de areia. A - Segurar com firmeza a tina e a haste do pistão; B - Empurrar o pistão no sentido do topo oposto da tina; C - À medida que a força compressiva assume maior intensidade, assim se formam estruturas deformadas, mais evidentes e diferentes¹³.

2.2. Marcar na tina, fotografar, gravar ou desenhar (à escala) em papel vegetal, os diferentes momentos e estruturas de deformação (**Figura 8**), consequência dos incrementos de intensidade aplicados.

¹³ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

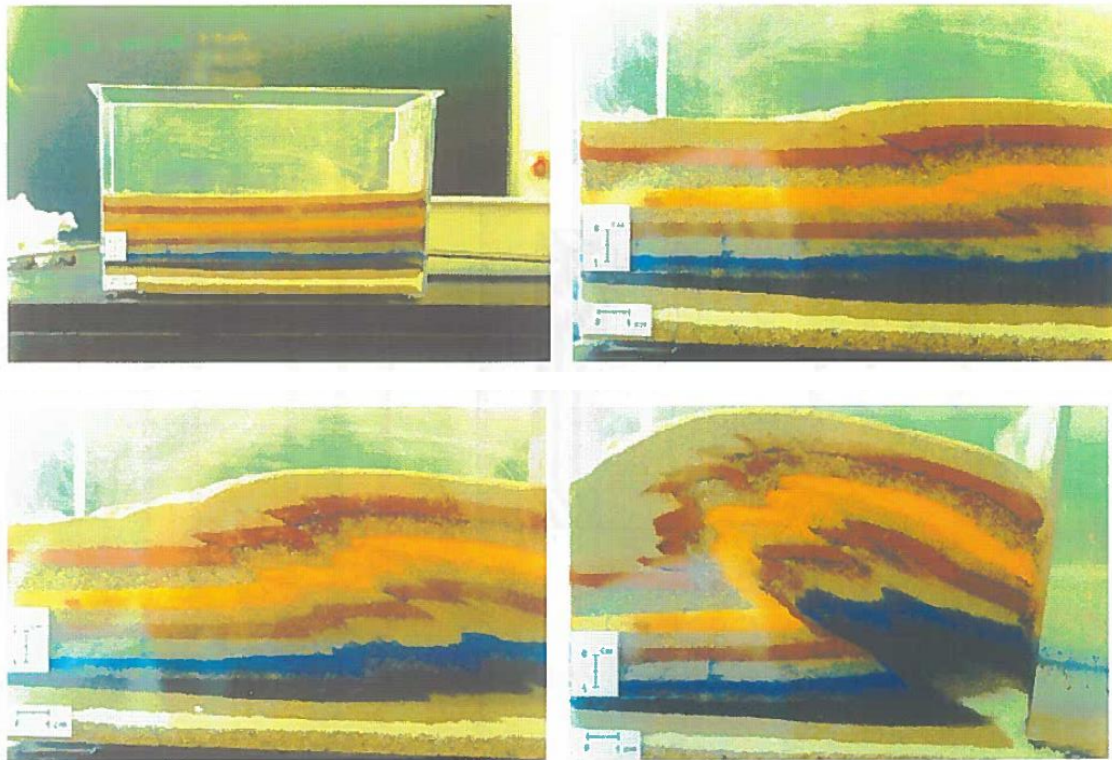


Figura 8 - Estruturas resultantes da aplicação de uma força compressiva sobre as camadas de areia.

3. Erosão uma dobra:

3.1. Com o auxílio de uma colher, escavar um talvegue no relevo, retirando pequenas porções de areia.

3.2. Observar as camadas coloridas que são colocadas a descoberto (**Figura 9**).

3.3. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas produzidas no relevo.

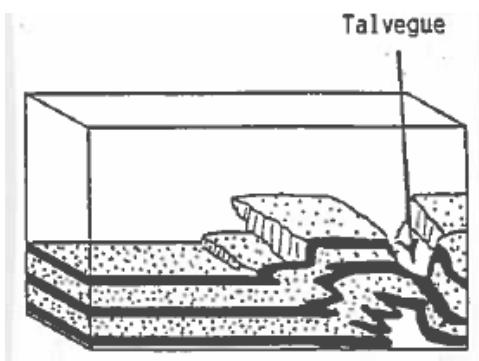


Figura 9 - Talvegue escavado nas camadas de areia dobradas¹⁴.

¹⁴ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

4. Produção de uma discordância angular:

- 4.1. Retirar mais sedimentos, até obter uma superfície plana (peneplanície).
- 4.2. Depositar em cima várias camadas (coloridas) horizontais de areia (**Figura 10**).
- 4.3. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas produzidas no relevo.

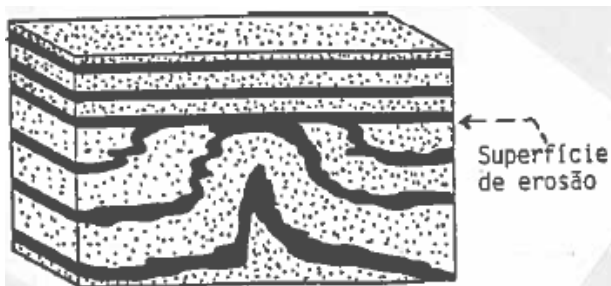


Figura 10 - Contacto de camadas por uma superfície de erosão (discordância angular)¹⁵.

3.4.3 Experimento n.º 3 - Formação de um *graben*. Formação de falhas normais. Formação de um *horst*. Colmatação de um *graben*.

1. Montagem do dispositivo experimental:

- 1.1. Colar a napa ao longo do bordo terminal horizontal de cada placa em forma de L, numa faixa de 4 cm, de forma que apenas 2 cm fiquem em contacto com a acroleína.
- 1.2. Colocar as placas de acroleína em forma de L no interior da tina e adaptar, a partir do exterior, as respetivas hastes (**Figura 11**). As duas placas devem ficar colocadas, de maneira que se sobreponham ligeiramente.

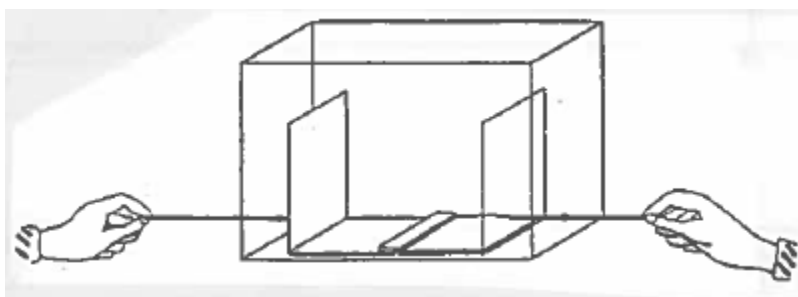


Figura 11 - Montagem do dispositivo experimental com as placas de acroleína em forma de L¹⁶.

- 1.3. Repartir os distintos tipos de areia (com diferentes cores, resultado da adição de vários corantes) em numerosas camadas (no mínimo 6) de espessura regular (aproximadamente 1 cm) e horizontal (**Figura 12A**). A areia deve estar muito bem seca.

¹⁵ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

¹⁶ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

O maço ajudará a nivelar as camadas de areia (**Figura 12B**), compactando-as de seguida (**Figura 12C**).

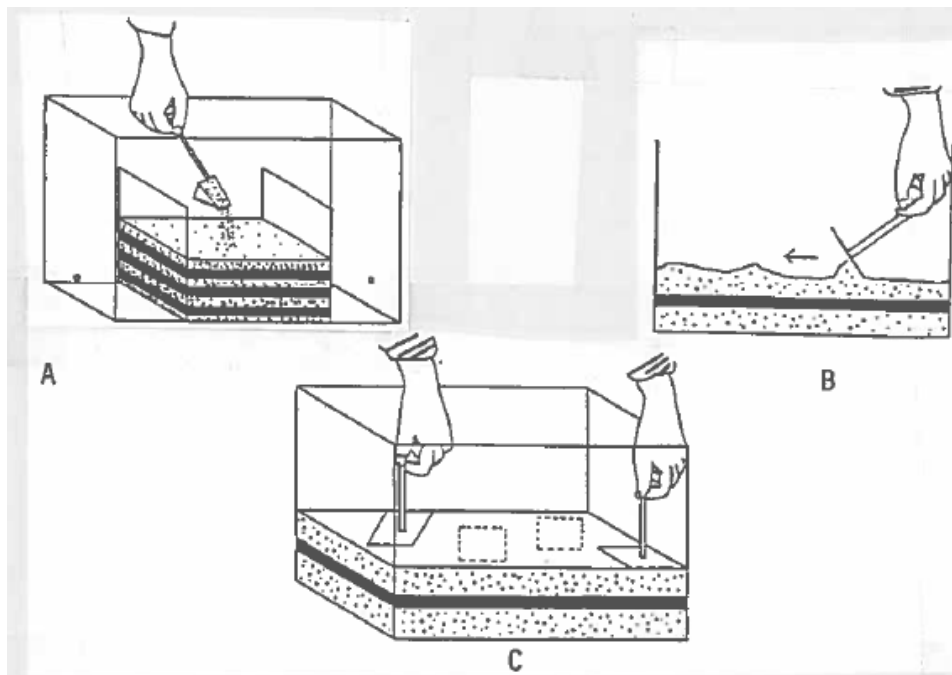


Figura 12 - Deposição, na tina, dos diferentes tipos de areia. A - Devem formar-se estratos regulares e horizontais; B - bem nivelados e; C - compactados¹⁷.

1.4. Marcar pequenos orifícios circulares na superfície da última camada para visualizar melhor as deformações a produzir.

1.5. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal, as camadas sedimentares horizontais compactadas, que servirão posteriormente de referência.

2. Formação de *grabens* e *horsts*

2.1. Aplicar, suavemente, uma força distensiva sobre as duas hastes que estão ligadas às placas que suportam as camadas de areia (**Figura 13**).

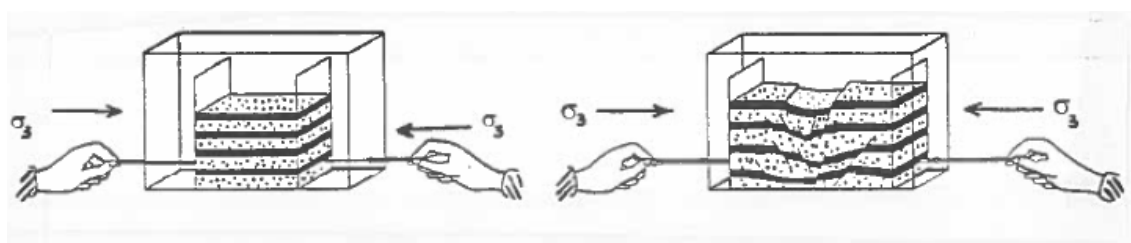


Figura 13 - Aplicação de uma força distensiva sobre as camadas de areia¹⁸.

¹⁷ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

¹⁸ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

2.2. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas produzidas (**Figuras 14 e 15**).

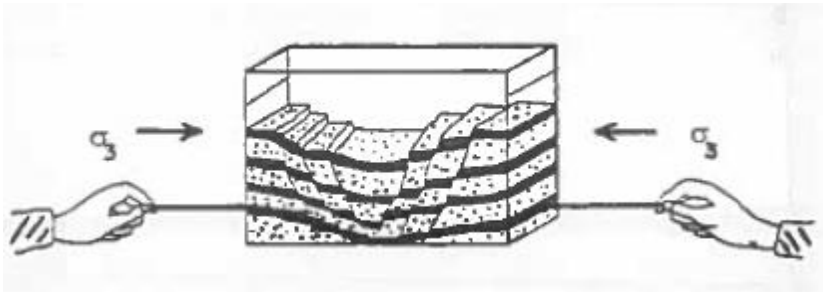


Figura 14 - Formação de falhas normais e grabens¹⁹.

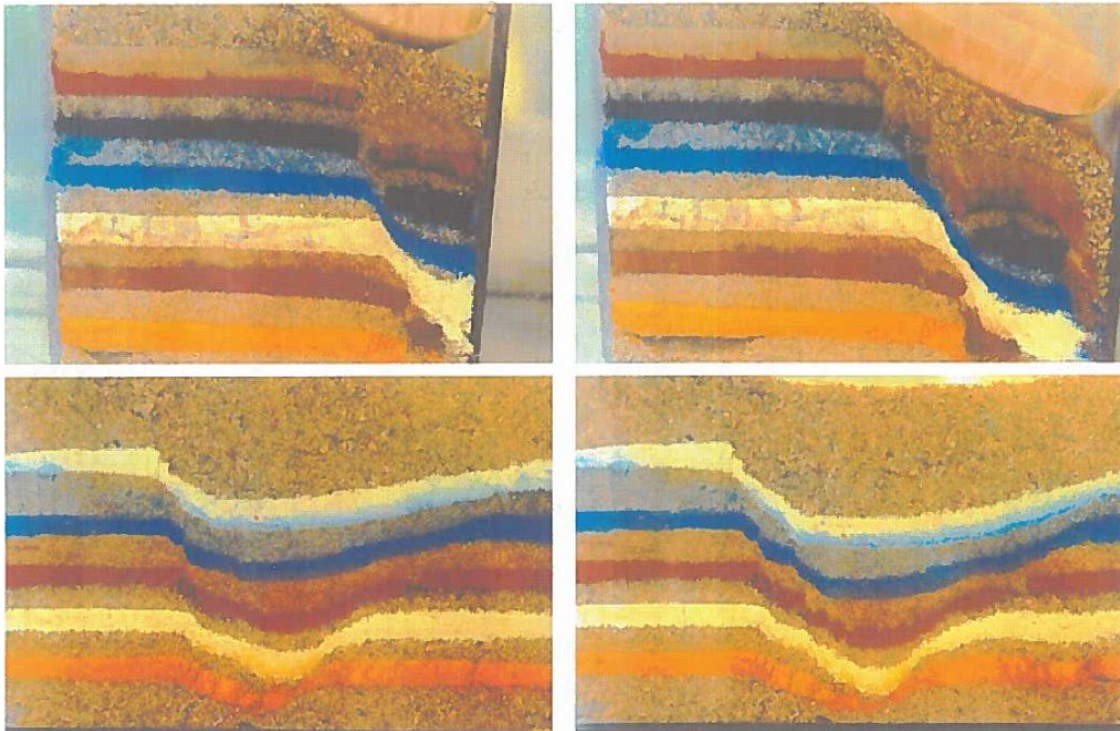


Figura 15 - Formação de falhas normais e graben no modelo.

Outros materiais referidos, como, por exemplo, o lacre, a plastilina, o cimento e o sabão azul-e-branco, podem ser igualmente usados em vez de areia. Os resultados obtidos com estes últimos, devem ser sempre confrontados com aqueles resultados dos experimentos com areia.

Identificámos dois condicionadores dos resultados que pretendemos obter com este experimento: (a) a espessura total das camadas, e (b) a quantidade de água retida nos poros da areia. O deslizamento, ao longo de falhas normais, é dificultado por uma espessura sedimentar global demasiadamente fina, e pela presença de água nos poros da areia.

¹⁹ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

Quando um destes fatores, ou ambos, estão presentes num experimento, pensamos que é sempre conveniente explorar os resultados obtidos, investigando as suas causas.

Como solução, é possível arranjar uma carga litostática que facilite o deslizamento das camadas através dos planos de falha. Um saco de plástico fino, com uma massa de areia no seu interior, pode ser suficiente para anular a fraca espessura global das camadas de areia, ou a presença de água. A pressão gerada pela “carga litostática” deve ser repartida uniformemente ao longo de toda a superfície de areia (**Figuras 15 e 16**).

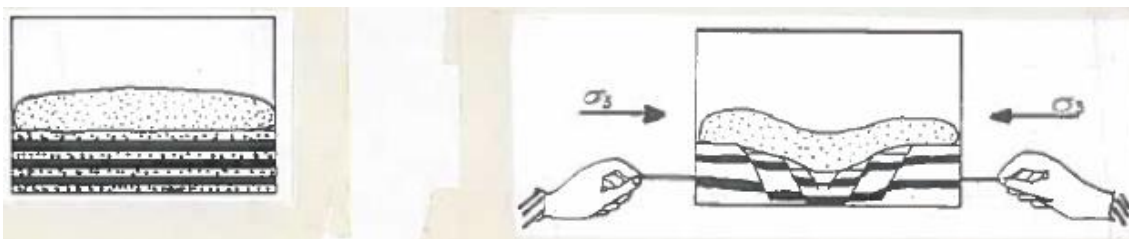


Figura 16 - Aplicação de uma carga litostática (saco com areia) para compensar a reduzida espessura global das camadas sedimentares e/ou a presença de água nos poros da areia²⁰.

Podemos ainda procurar obter dois *grabens* separados por um *horst*. Para que se produza tal efeito, procedemos da seguinte forma:

- 2.3. Deixar um espaço de 2 cm entre as duas placas. As camadas sedimentares ficarão, desta forma, sobre as duas placas e simultanea e diretamente sobre o fundo da tina. Nestas condições obter-se-ão dois *grabens* (**Figura 17**).

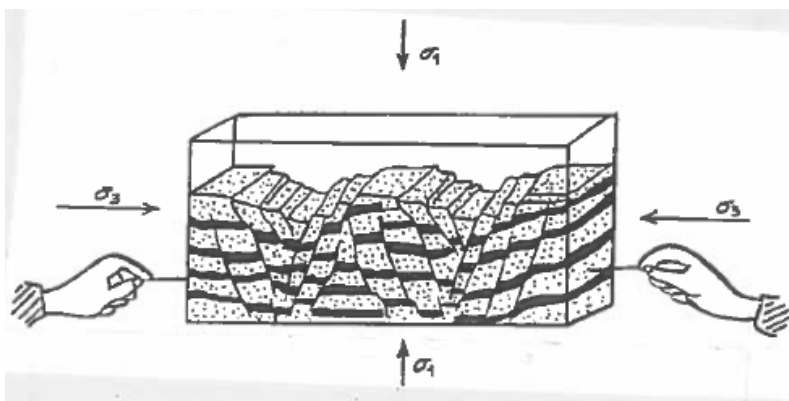


Figura 17 - Formação de dois *grabens*²¹.

- 2.4. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas produzidas.

3. Colmatação de um *graben*

- 3.1. Aplicar sobre o *graben* gerado, areia de cor diferente (ainda não utilizada), procurando deixar visíveis os bordos da fossa.

²⁰ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

²¹ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

3.2. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal, as estruturas, que servirão posteriormente de referência.

3.3. Aplicar, no prosseguimento, uma força distensiva nas hastas das placas em L.

3.4. Voltar a encher a depressão produzida com areia de outra cor.

3.5. Repetir os passos 3.3 e 3.4 até que se queira (e seja possível).

3.6. Fotografar, gravar, marcar na tina ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas produzidas.

3.4.4. Experimento n.º 4 - Formação de uma falha de desligamento.

1. Montagem do dispositivo experimental:

1.1. Traçar sobre a placa de madeira linhas transversais equidistantes a 0,5 cm, com 50 cm de comprimento.

1.2. Pregar longitudinalmente os dois sarrafos, cabendo entre eles a tina de acroleína (50 cm x 30 cm x 6 cm).

1.3. Unir as duas metades da tina de acroleína e colocá-la entre os sarrafos.

1.4. Depositar várias camadas de areias, compactadas com o maço (**Figura 18**), ou uma camada espessa (2-3 cm) de argila.

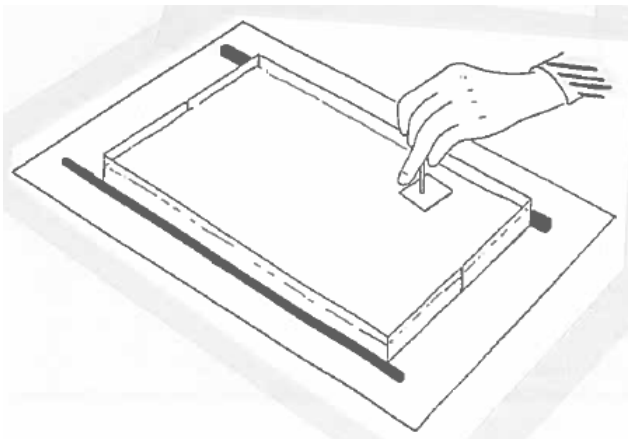


Figura 18 - Deposição de camadas de diferentes areias, compactadas por um maço²².

2. Formação de falhas de desligamento

2.1. Aplicar uma compressão horizontal, progressiva e gradual, numa das metades da tina, deslizando-a lentamente sobre a placa de madeira (**Figura 19**).

²² Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

2.2. Fotografar, gravar ou desenhar (à escala) em papel vegetal as estruturas sucessivamente produzidas.



Figura 19 - Ao aplicar uma compressão horizontal numa das metades da tina, surgem pequenas fraturas, denominadas fendas de tração.

À medida que se faz deslizar um compartimento da tina em relação ao outro, começam a surgir pequenas fraturas de tração, dispostas em degraus. O espaçamento das aberturas é regular e depende da espessura das camadas. As fendas permitem o deslocamento ligeiro da matéria deformável. Gradualmente, o comprimento das fraturas aumenta, e simultaneamente, giram no sentido da abertura do cisalhamento. A partir das fracturas *en échelon* formam-se lenticulas de cisalhamento. De seguida, a falha paralela ao desligamento do soco recorta as fendas *en échelon* (**Figura 20**).

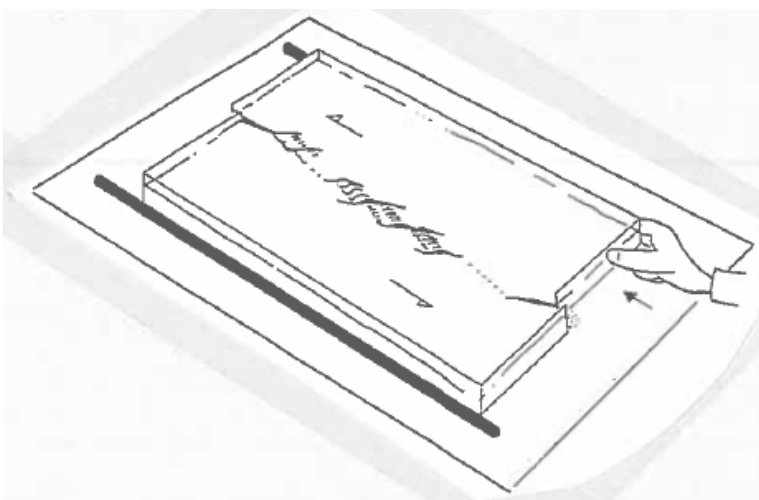


Figura 20 - Exemplo do resultado de uma experiência de desligamento esquerdo²³.

A grande falha aparece, após as pequenas fracturas *en échelon*, pela união de uma sucessão de ruturas alinhadas, torcidas, produzidas em cascata. Enquanto se formam as fissuras, o regime geral de forças compressivas provoca zonas elevadas com dobramentos e cavalgamentos, permitindo o desenvolvimento de um relevo no corredor de desligamento. No início, a deformação é simples, lenta e progressiva. Rapidamente os campos de falhas tornam-se cada vez mais complexos, com junção de fraturas que crescem, acentuando-se o relevo.

²³ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

Com base na atividade prática laboratorial (estratégia n.º 4), pode desenvolver-se um sistema que mede a intensidade das forças aplicadas, quer sejam compressivas ou distensivas. Para conseguirmos tal efeito, procedemos do seguinte modo:

- A tina fica solidamente fixa à bancada por intermédio de parafusos;
- Cada haste do pistão é furada na parte terminal, e adaptada uma argola de metal. Para forças compressivas, prendem-se dois fios de *nylon* à argola. Cada fio passa pelas paredes laterais da tina, reunindo-se ambos numa outra argola, onde é aplicado o dinamómetro.
- Um dinamómetro é seguro na argola.

No estágio inicial, a força de aplicação é nula ($\sigma_1 = 0$). Os incrementos de força são aplicados no dinamómetro, especificamente, na extremidade oposta à que está copulada à argola. À medida que a força se produz, é possível verificar os registos da sua intensidade na escala dinamométrica. Quando se interrompe a operação, o marcador da escala volta ao zero. Ao reiniciar a aplicação de forças, as suas medias devem ser adicionadas às anteriores.

Pode acontecer que não esteja ainda claro para os alunos, a relação entre a força e o tipo de materiais a dobrar, ou seja, por exemplo, a necessidade de aplicar forças de módulo elevado a fim de dobrar camadas muito espessas. Com uma atividade simples, daremos uma ideia dessa relação.

Distribuámos uma folha inteira (4 páginas) de jornal a cada aluno e solicitamos-lhes que a dobrem ao meio, o número de vezes que conseguirem. À medida que o papel está mais dobrado torna-se mais difícil voltar a fazê-lo novamente, uma vez que a quantidade de papel duplica cada vez que as duas partes são sobrepostas. Com esta estratégia, simples e prática, podemos desenvolver uma ideia aproximada das relações entre intensidade das forças e as respetivas deformações produzidas.

Podemos ainda controlar, com uma margem bastante reduzida, o fator tempo. Trata-se de desenvolvermos as experiências com uma lentidão muito acentuada, ou pelo contrário, aplicar presteza na sua execução. Analisando os resultados das duas situações, podemos procurar uma melhor aproximação, indutiva, acerca dos processos reais, e da influência do fator tempo na deformação de materiais, embora naturalmente, bastante limitada.

3.5. Conservação dos modelos

Para conservarmos o modelo, para estudos ou ilustrações posteriores, podemos adicionar cimento e água à areia da tina, formando argamassa. Este método traz contudo, alguns

inconveniente desagradáveis: (a) a manipulação do cimento, para algumas pessoas, produz reações alérgicas, pelo que é necessária uma máscara para se proteger das poeiras; (b) assim que endurece a argamassa, surgem traços brancos do cimento, havendo necessidade de envolver tudo muito bem com água, destruindo obviamente as estruturas; (c) o tempo de secagem da argamassa é prolongado, e (d) o modelo depois de seco é dificilmente serrado.

Para evitar estes dissabores, podemos usar gesso, menos incómodo na manipulação, e mais fácil de serrar quando está ainda húmido, com a ajuda de um vulgar serrote. Além disso, a fina espessura do pó de gesso e a sua cor branca permite desenvolverem-se estruturas muito precisas.

Os procedimentos descritos anteriormente, a respeito da deposição de camadas de areia, devem ser seguidos com igual cuidado quando aplicamos gesso. Os corantes devem ser usados na proporção 4 colheres de corante para 1 kg de gesso.

Após a realização das distintas experiências, a tina com o modelo é imersa numa outra tina, alguidar, ou pia, com água, desde que as suas dimensões sejam significativamente superiores à primeira. A água infiltra-se no gesso através dos orifícios laterais e basais da tina, expulsando o ar contido nos poros do modelo (**Figura 21**).

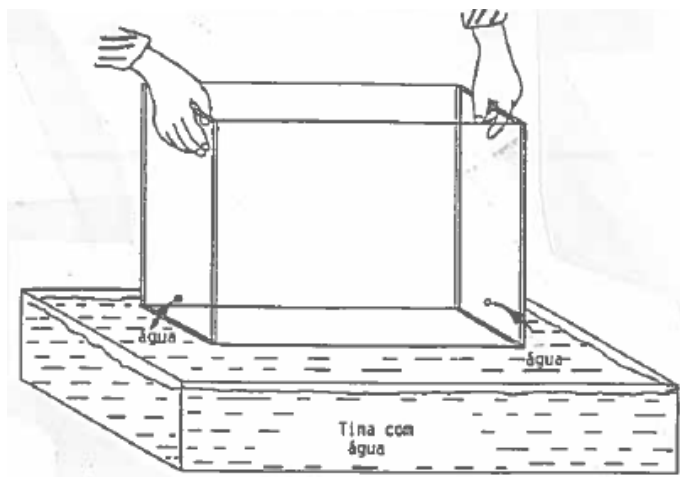


Figura 21 - Imersão do modelo em gesso numa tina com água²⁴.

O nível de água deve subir gradualmente, a fim de evitar a erosão da superfície por inundação. Devido às duas placas em forma de L do modelo de estruturas distensivas, a água infiltra-se facilmente no gesso a partir dos lados (**Figura 22**).

²⁴ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

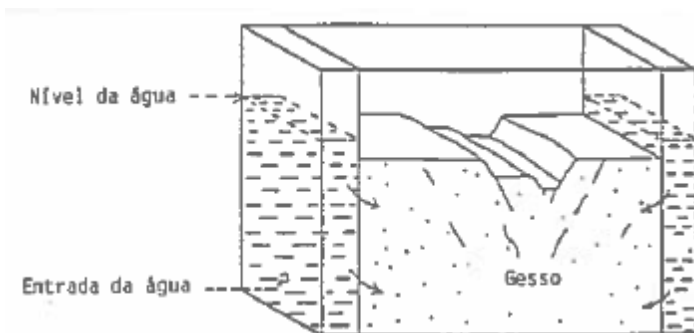


Figura 22 - Infiltração da água no modelo em gesso. A - nível da água; B - entrada de água; C - água; D - gesso²⁵.

No modelo de estruturas compressivas devemos aplicar uma segunda placa (um segundo pistão, ou placa) no lado oposto, evitando desta maneira, que a água ao entrar pelo orifício da tina contacte logo diretamente com o gesso, correndo o risco de causar danos ao modelo, aumentando ainda o tempo de imersão necessário (**Figura 23**).

O tempo de imersão necessário é aproximadamente de 20 min. Após este tempo, a tina (alguidar ou pia) com água deve ser esvaziada, ou na impossibilidade de tal realização, elevar a tina que contém o modelo, emergindo-a da água, deixando-a secar cerca de duas horas. Uma vez seco, o modelo é desenformado da tina facilmente. Podemos rodar a parte superior da tina 180°, para que fique com a abertura para baixo, e por ação da gravidade, o modelo cairá.

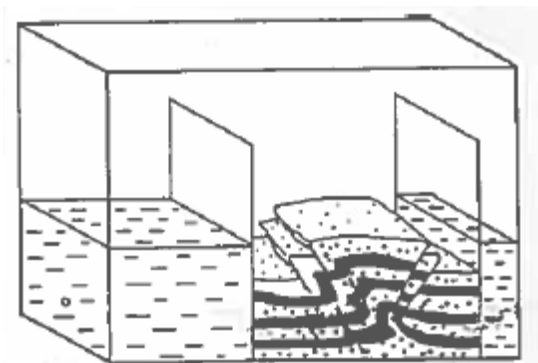


Figura 23 - Aplicação de um segundo pistão ao modelo de estruturas compressivas, evitando o contacto inicial direto da água com o gesso²⁶.

O gesso pode depois ser facilmente serrado em blocos paralelos (**Figura 24**). A serragem deve ser suave e delicada, aliviando os dois blocos com a mão livre. Se o serrote encrava no gesso, pode-se molhá-lo regularmente em água, facilitando o exercício.

²⁵ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

²⁶ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

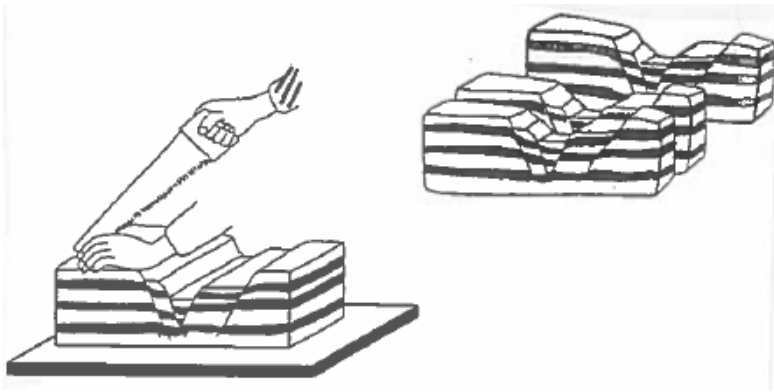


Figura 24 - Corte, em blocos, do modelo em gesso²⁷.

3.6. Atividades de discussão

A “discussão na aula deve ser encarada como um complemento” das práticas laboratoriais, “centro das atividades de aprendizagem”²⁸. A partir da nossa representação de atividades práticas laboratoriais é impensável terminá-las com a simples arrumação dos materiais. Após a realização dos experimentos ou das experiências (ou outro tipo de atividades práticas), deverá desenvolver-se uma discussão na qual se analisam os resultados obtidos, se procura uma interpretação, e se tecem considerações conclusivas, envolvendo o aluno numa atividade intelectual que contribuirá para a compreensão do verdadeiro significado da atividade desenvolvida.

Ao mesmo tempo que o aluno chega ao conhecimento em si por intermédio de atividades de discussão, atingem-se igualmente objetivos no domínio sócio-afetivo. Neste nível, um dos objetivos mais importantes é o “saber escutar”. A maior parte das pessoas ouve parcialmente, isto é, capta um ou outro ponto da conversação ou discussão ao mesmo tempo que tem o pensamento em qualquer assunto diferente. Saber escutar requer, no entanto, toda a nossa concentração e, muitas vezes, não implica sequer, uma resposta. O cerne da comunicação com um interlocutor é sentir tanto quanto possível o que ele sente, ser capaz de captar o que os seus olhos e as suas expressões tentam “dizer” e que as palavras não transmitem.

As linhas de discussão que teceremos não constituem uma síntese das fases de discussão no nosso assunto. Querem antes servir como operações de “focagem”, estabelecendo os conteúdos ou tópicos e operações cognitivas a realizar, podendo ainda apresentarem-se

²⁷ Com base em Pierron – Asco & Celda (2021).

²⁸ Domingos, Neves, e Galhardo (1987, p. 162).

como “extensão” do processo de discussão, ou seja, transferirem o pensamento para outro patamar, ainda dentro do mesmo nível cognitivo²⁹.

Atividade prática de laboratório (estratégia n.º 4)

1. Enunciar os fatores de deformação em estudo.
2. Relacionar o tipo de deformação sofrida pela mola com:
 - 2.1. A intensidade da força atuante; e
 - 2.2. O tempo de atuação da força.
3. Caracterizar os vários comportamentos manifestados pela mola.
4. Inferir acerca da força necessária para mover determinada massa.
5. Completar o **Quadro 3**, utilizando a seguinte chave: E - Comportamento elástico; P - Comportamento plástico; R - Comportamento rígido; F - Comportamento frágil.

Quadro 3 - Comportamentos dos materiais-prova em resposta aos diferentes testes a que foram submetidos.

Testes	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	Outro
Objetos								
1. Fita de borracha								
2. Plastilina								
3. Lâmina								
4. Lamela								
5. Vareta oca de vidro								
6. Pregão de ferro								
7. Fita de zinco								
8. Fita de folha-de-Flandres								
9. Argila seca								
10. Argila húmida								

6. Um mesmo material apresenta comportamentos distintos face a diferentes condições.
 - 6.1. Explicar as condições intrínsecas do material que podem alterar o seu comportamento.
 - 6.2. Identificar condições extrínsecas que podem modificar o comportamento de um material.
 - 6.3. Inferir acerca da possível maneira de alterar o comportamento dos materiais-prova 6 e 7.

²⁹ Cfr. Taba, citado em Klinckman (1981).

6.4. A partir dos resultados comportamentais obtidos, referir o tipo de materiais a que a maioria das rochas pertence.

6.5. Relacionar os testes a que foram submetidos os materiais-prova, com as condições existentes em meio natural.

6.6. Inferir as condições naturais que podem modificar o comportamento das rochas.

7. Sob uma mesma intensidade de esforço compressivo, inferir o comportamento dos seguintes tipos de rochas:

7.1. Argila;

7.2. Petróleo;

7.3. Calcário;

7.4. Granito.

Atividade prática de laboratório (estratégia n.º 5)

1. Identificar o tipo de tensão a que se encontram sujeitos os estratos da **Figura 7**.

2. Descrever o tipo de acidente tectónico sofrido que os estratos representados na **Figura 14** simulam.

3. Indicar os objetos do dispositivo experimental representado na **Figura 14** que simulam:

3.1. A pressão litostática;

3.2. A pressão dirigida.

4. Explicar os comportamentos detetados ao aplicar forças de tração.

5. Comparar os comportamentos observados na estratégia n.º 4 com os obtidos com estes materiais quanto à duração da deformação sofrida.

6. Comentar as seguintes afirmações:

6.1. Assim que as pressões excedem o limite de elasticidade das rochas, surge uma rutura num ponto: o foco.

6.2. As falhas resultam sempre da atuação de tensões compressivas.

7. Confrontar a espessuras máximas dos estratos no estágio inicial e durante os outros momentos com a formação de cadeias montanhosas.

8. Calcular, em percentagem, os rejets verificados nos estratos, comparando o número de falhas que surgem logo após o início da compressão com aquele imediatamente anterior ao estágio final.

9. Comparar as estruturas formadas dentro da tina com um corte simplificado do carreamento da Carrapateira.

10. Descobrir os parâmetros que diferenciam as experiências laboratoriais dos fenômenos geológicos.
11. Explicar a inclinação e a disposição das camadas de um lado e do outro da superfície de erosão.
12. Comentar as seguintes afirmações:
- 12.1. Nos sedimentos, é possível encontrarmos rochas vulcânicas. A menos de 10 km de profundidade, a temperatura de fusão das rochas poderá ser suficiente para ocorrerem incursões astenosféricas numa zona de adelgaçamento.
- 12.2. Ao longo das falhas existem fontes termominerais gasosas, consideradas como manifestações vulcânicas.
13. Explicar o adelgaçamento progressivo da crosta continental e a separação das duas margens continentais.
14. Relacionar os movimentos compressivos e distensivos com a disposição cronológica dos estratos num anticlinal e num sinclinal.
15. Num vale cujas vertentes apresentam 45° de pendente, aflora um estrato horizontal. A espessura da camada no afloramento é de 4 m. Calcular a espessura deste estrato.
16. Refere se numa falha normal o ângulo formado entre o muro e o plano de falha é maior ou menor que 90° . E numa falha inversa?

4. Referências

- Bonito, J. (1996). *As atividades práticas no ensino das Geociências. Contributos para o ensino da deformação das rochas no ensino secundário*. (Dissertação de Mestrado não publicada). Universidade de Coimbra.
- Bonito, J. (2001). *As atividades práticas no ensino das Geociências. Um estudo que procura a concetualização*. Instituto de Inovação Educacional.
- Domingos, A. M., Neves, I. P., & Galhardo, L. (1987). *Uma forma de estruturar o ensino e a aprendizagem*. Livros Horizonte.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Presses Universitaires de France.
- Klinckman, E. (1981). *Manual do professor de Biologia* (2.^a ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Landsheere, G. (1982). *Introduction a la recherche en éducation*. Armand Colin-Bourrelier.
- Martín, C., Campo, J., García, A., & Wehrle, A. (1992). *Enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Ediciones Rialp.
- Mialaret, G. (1954). *Nouvelle pédagogie scientifique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pierron - Asco & Celda (2021). *Maquette de démonstration tectonic*. <https://www.pierron.fr/tectodidac.html>