

Prof. Fernando Manuel da Costa Peres Rodrigues



1 - INTRODUÇÃO

Fernando Manuel da Costa Peres Rodrigues, de 73 anos de idade, concluiu, no Instituto Superior Técnico (IST), o curso de Engenheiro Civil no ano lectivo de 1949/50 com a classificação final de 15,2 valores, tendo obtido o prémio “Francisco da Fonseca Benevides”.

Exerce, actualmente, os seguintes cargos:

- Colaborador do Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico de Lisboa;
- Colaborador da FUNDEC – Fundação para a Formação Contínua em Engenharia Civil, sediada no Departamento de Engenharia Civil do IST;
- Consultor e sócio da firma ENARCO – Gabinete de Engenharia e Arquitectura Lda, com sede em Lisboa.

1.1 - GRAUS ACADÉMICOS, ESPECIALIDADES E ASSOCIAÇÕES

- Investigador pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
- Especialista em Geotecnia pela Ordem dos Engenheiros (OE)

Membro da :

- Ordem dos Engenheiros (OE)
- Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG)
- Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM)
- Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (ISSMFE)
- Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG)

2 - ACTIVIDADE NO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Iniciou a sua actividade profissional no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Novembro de 1950, tendo-se dedicado, nas cinco divisões, secções ou núcleos onde trabalhou, a estudos nos domínios das barragens, dos betões e da Mecânica das Rochas.

No LNEC, obteve em 1977, mediante concurso público de provas públicas, o grau de Investigador com a defesa da tese subordinada ao título: "Anisotropia das rochas e dos maciços rochosos - Aplicação de quárticas fechadas ao estudo da deformabilidade e da rotura", com a qual passou à categoria de Investigador-Coordenador.

No Núcleo de Fundações Rochosas, que chefiou a convite do Prof. Manuel Rocha, de Julho de 1972 a Março de 1989, dedicou-se em especial aos estudos da anisotropia e do efeito de escala de diversas características das rochas e dos maciços rochosos.

A partir de 1989 deu a sua colaboração à Chefia do Departamento de barragens, até ao dia 31 de Agosto de 1990, data em que se reformou.

Durante a sua permanência no LNEC de 40 anos, deu a sua colaboração e subscreveu 112 relatórios referentes a pedidos solicitados por entidades nacionais e estrangeiras.

3 - ACTIVIDADE DOCENTE NO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Teve a seu cargo, de 1971 a 1975 no Instituto Superior Técnico, a regência da cadeira de Álgebra Linear e Geotecnia Analítica do 1º ano, contratado como Professor Auxiliar.

A partir do ano lectivo de 1978/79 deu o seu apoio ao Prof. Manuel Rocha na cadeira de Mecânica das Rochas do 5º ano de Civil até à data do seu falecimento, passando então, a reger a referida cadeira. Durante os anos lectivos de 1980/81 a 1983/84 leccionou e regeu também a Cadeira de Introdução à Geomecânica, do 2º ano de Minas.

Com a criação do perfil de Geotecnia no curso de Engenharia Civil, no ano lectivo de 1992/93, passou, também, a reger a cadeira de Obras em Maciços Rochosos.

Foi contratado, a partir de Janeiro de 1985, neste estabelecimento universitário, com a categoria de Professor Catedrático convidado para reger as cadeiras de Mecânica das Rochas e de Obras em maciços Rochosos, até Janeiro de 1995, altura em que, por limite de idade, cessou a sua actividade como docente.

4 - ACTIVIDADE LIBERAL NA ENARCO

Conjuntamente com o Prof. Eng. João Francisco Lobo Fialho e o Arqtº Miguel Pestana, fundou em 1954 o Gabinete de Estudos ENARCO, no qual tem dado a sua colaboração a projectos de edificações urbanas e industriais, pontes, barragens, túneis e outras estruturas especiais de construção civil.

5 - COMUNICAÇÕES E PUBLICAÇÕES

Escreveu só ou em co-autoria 56 trabalhos, que foram apresentados como comunicações em reuniões científicas portuguesas ou internacionais, ou publicados em revistas da especialidade.

MODELO REOLÓGICO DE BURGER'S SUBMETIDO A UMA TENSÃO LINEAR CÍCLICA. ALGUNS CASOS PRÁTICOS*•*

A rheological Burger's model submitted to a cycle linear stress.
Some practical cases

FERNANDO PERES RODRIGUES**

RESUMO - Apresenta-se numa primeira parte, uma descrição das principais características das rochas e dos maciços rochosos, pondo em destaque o interesse e utilidade da reologia no estudo destes mesmos materiais. Como homenagem a Manuel Rocha apresenta-se, pela primeira vez, o estudo da aplicação ao modelo de Burger's duma tensão linear cíclica.

Numa segunda parte, de índole experimental, apresenta-se, por meio de diapositivos, alguns estudos e ensaios realizados, no país e no estrangeiro, nas décadas de 60, 70 e 80, com a aplicação de técnicas e aparelhagens desenvolvidas no LNEC por iniciativa e acompanhamento de Manuel Rocha.

SYNOPSIS - In the first part of the work a description is made of the main characteristics of the rocks and rock masses, the interest and utility of the rheology in the study of these materials being emphasised. In honour to Manuel Rocha a presentation is made, for the first time, of an application study of the Burger's model with a cyclic linear stress.

In the second part, of an experimental nature, several studies and tests performed are presented by slides, in the decades 60, 70 and 80, with application of the techniques and equipment's developed at LNEC on the initiative and attendance of Manuel Rocha.

1 - INTRODUÇÃO

A exposição que se segue relativa à XIIIª Lição Manuel Rocha, vai ser dividida em duas partes:

Na primeira parte, mais de índole teórica, far-se-á, rapidamente, uma descrição das principais características das rochas e dos maciços rochosos de forma a dar-se uma ideia das maiores ou menores dificuldades encontradas nos seus estudos, e para focar as peculiaridades destes materiais naturais em relação à maioria dos materiais em que intervém a acção do homem.

Esta parte terminará com a apresentação das conclusões de um estudo relativo ao comportamento do modelo reológico de Burger's submetido à acção de uma tensão linear cíclica, que é apresentado pela primeira vez, e que constitui da nossa parte uma homenagem singela mas sincera à memória de Manuel Rocha. Posteriormente e com o devido desenvolvimento teórico fará parte de um artigo a enviar à revista Geotecnia e de uma comunicação a apresentar ao 6º Congresso Nacional de Geotecnia a realizar em Lisboa no próximo ano.

Na segunda parte, mais de índole experimental, passar-se-á em revista, através da projecção de diapositivos, algumas das intervenções do LNEC, nas décadas de 60, 70 e 80, no

* XIIIª Lição Manuel Rocha

** Investigador do LNEC, Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico, Lisboa.

país e no estrangeiro, com a finalidade de determinar por meio de ensaios, algumas das características reológicas das rochas e dos maciços rochosos que mais interessavam para um melhor conhecimento das suas propriedades. Nesta parte, que será apenas informativa, não serão feitos quaisquer comentários aos resultados obtidos, mas tão somente a indicação dos tipos de ensaios efectuados, a maioria deles aplicando técnicas e aparelhagem desenvolvidas pelo LNEC por iniciativa e acompanhamento de Manuel Rocha.

2 - GENERALIDADES

2.1 - Elasticidade e anelasticidade

Como se sabe os materiais ou corpos ditos elásticos quando sujeitos a um estado de tensão, reagem deformando-se instantaneamente, e recuperando também instantaneamente essa deformação, logo que retirado o estado de tensão. Se houver proporcionalidade entre a tensão aplicada e a extensão ou deformação unitária sofrida diz-se que a deformação elástica é também linear, e nesse caso o material comporta-se como um elemento elástico perfeito, podendo ser regido pelas leis de Hooke simples e generalizada para os casos dos estados de tensão uniaxial e estados de tensão bi e triaxial, respectivamente.

A lei de Hooke generalizada pressupõe o conhecimento de dois parâmetros independentes para a caracterização de cada material, como, por exemplo, o módulo de elasticidade longitudinal ou de Young e o coeficiente de Poisson.

A experimentação tem mostrado que grande número de materiais naturais e artificiais, não seguem para determinados níveis de tensões, a lei de Hooke, pelo que não poderão ser considerados, para esses níveis de tensões, como elásticos, sê-lo-ão, por isso, anelásticos. Deste facto resulta, que o módulo de elasticidade e também o coeficiente de Poisson passarão a ser funções do estado de tensão instalado. Trata-se, assim, de uma complicação adicional ao estudo da caracterização dos materiais quer por via teórica, quer por via experimental.

2.2 - Isotropia e anisotropia

Diz-se que uma dada característica de um material é isotrópica quando o seu valor em relação a qualquer direcção em torno de um ponto desse material é o mesmo, sendo neste caso essa característica considerada como uma grandeza escalar. Quando tal se não verifique a característica torna-se anisotrópica e será representada por uma grandeza vectorial. Muitos materiais possuem características anisotrópicas, como por exemplo, a madeira, as rochas xistosas e muitos outros, em que o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, a tensão de rotura por compressão uniaxial e outras, variam com a direcção considerada em torno de um ponto.

Existe, hoje, com desenvolvimento bastante pormenorizado, a teoria matemática da elasticidade aplicada aos materiais anisotrópicos, admitindo vários tipos de anisotropia baseados nas simetrias da sua fábrica ou textura.

Muito rapidamente, dir-se-á que essas simetrias, são por ordem decrescente de complexidade: triclinica, monoclinica, ortotrópica, tetragonal, cúbica, transversalmente isotrópica e esférica ou isotrópica.

Para mostrar o grau de dificuldade da aplicação desta teoria, lembra-se que na simetria triclinica, a relação entre os vectores das tensões e das extensões é feito mediante uma matriz

simétrica de 6ª ordem, o que implica o conhecimento ou determinação prévia de 21 parâmetros independentes, tarefa muito difícil e quase praticamente impossível.

Além deste inconveniente acresce o facto desta teoria só poder ser aplicada aos materiais cujo comportamento seja ou se aproxime do elástico, facto que infelizmente, não é verdadeiro para um grande número de materiais com aplicação na engenharia civil.

Assim têm-se desenvolvido, através da experimentação, por métodos indutivos, leis que permitem, com aproximação considerada aceitável, obter os valores de características anisotrópicas tendo em conta a direcção pretendida e a probabilidade de ocorrência ou de risco para determinados intervalos de valores. Assim, e cada vez mais as mecânicas aplicadas devem ser consideradas como mecânicas probabilísticas e não deterministas.

Estudos realizados no LNEC, nas décadas de 60 e 70, permitiram a aplicação de elipsóides e quárticas fechadas à deformação de materiais anisotrópicos com o máximo de 5 parâmetros, que embora ainda longe dos 21 da simetria triclinica, têm a vantagem de poderem ser obtidos mediante ensaios, como se ilustra nas Figs. 1 a 3.

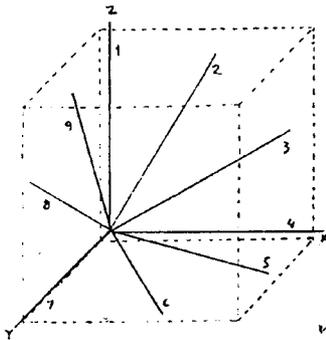


Fig. 1

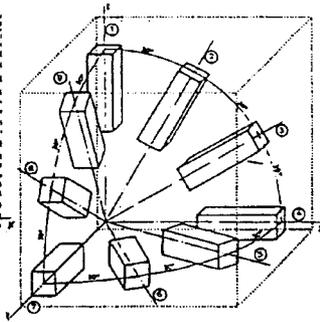


Fig. 2

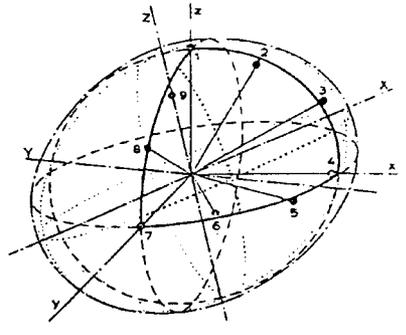


Fig. 3

2.3 - Homogeneidade e heterogeneidade

Diz-se que uma característica de um material é homogénea quando o seu valor em quaisquer dois pontos diferentes do material é o mesmo, quer essa característica seja representada por uma grandeza escalar ou por uma grandeza vectorial.

Se tal não se verificar diz-se que essa característica é heterogénea.

A heterogeneidade tem sido uma dificuldade enorme para a caracterização de uma grande parte de materiais utilizados na engenharia civil, sobretudo os materiais naturais.

Torna-se bastante difícil encontrar leis que definam essa heterogeneidade; este facto tem sido contornado zonando os materiais, sobretudo os maciços rochosos, isto é, dividindo-o em zonas, dentro das quais uma dada característica apresenta valores cuja dispersão seja considerada compatível com a aplicação dos conhecimentos existentes, e com os erros admissíveis.

Acresce o facto de o zonamento poder variar com os parâmetros em estudo, tornando assim a caracterização do material bastante mais complexa e morosa.

2.4 - Continuidade e descontinuidade

A maior parte das teorias referentes à caracterização dos materiais pressupõe a continuidade dos mesmos, mas, como se sabe, existe um número apreciável de materiais que

apresentam descontinuidades que vão alterar não só os estados de tensão e extensão como também aumentar as possibilidades de ataque e alteração devidas à acção das condições ambientais. O betão e os maciços rochosos são exemplos típicos do que se acaba de expor.

A condição de existência de descontinuidades vem tornar mais complicado o estudo do comportamento dos materiais dado o seu carácter aleatório, traduzido por não obedecerem, na maior parte dos casos, a leis simples que permitam a sua consideração.

Em relação aos maciços rochosos, é hoje assunto de diversas investigações que procuram determinar a sua influência no comportamento já de si complexo dos mesmos. É ponto assente que são pelas descontinuidades, diaclases e ou falhas, que os maiores desastres se têm processado, devido a descontinuidades já existentes ou a outras aparecidas durante a vida das obras.

A teoria matemática da elasticidade também não contempla a existência de descontinuidades.

2.5 - Efeito de escala e amostragem

A heterogeneidade é sobretudo importante na caracterização dos maciços rochosos, dada a sua influência nos valores da maior parte das suas características mais relevantes. Por isso na determinação, por meio de ensaios, dos valores mais prováveis e suas dispersões seja importante as dimensões dos provetes, isto é, o seu efeito de escala. Como se disse atrás, em 2.3, este problema é, em parte, contornado pelo zonamento, que tende a considerar cada zona como homogénea em relação à característica em estudo. Por outro lado, o número de zonas a estabelecer não deve ser exagerado, sob pena de se tornar excessivamente moroso e caro o estudo a realizar, nem tão pequeno que obrigue as dimensões dos provetes a serem demasiado grandes, tornando necessária aparelhagem com dimensões e capacidades de carga incomportáveis. Está demonstrado que à medida que as dimensões dos provetes aumentam, diminuem as dispersões dos valores encontrados e vice-versa; mas por outro lado, para que o valor médio da característica em estudo se mantenha praticamente constante, será necessário que além de uma correcta amostragem, o número de provetes ensaiados aumente quando as dimensões diminuem e vice-versa. Estudos realizados no LNEC sobre o módulo de elasticidade em relação a três materiais bastante diferentes sob o ponto de vista de textura, nos quais foram determinados cerca de trinta mil valores sobre provetes com diversas dimensões, comprovaram as afirmações feitas

3 - REOLOGIA

A teoria matemática da elasticidade, pela sua formulação, não tem em consideração a variável tempo, pelo que as deformações viscosas e plásticas que se processam, significativamente, em muitos materiais não poderão ser determinadas nesta teoria, e em particular no caso da fluência.

Para obviar a este inconveniente, a reologia veio dar um contributo valioso ao procurar descrever e interpretar o comportamento dos materiais por meio de modelos reológicos, mais ou menos complexos, que pretenderão traduzir por meio de equações diferenciais as relações entre as tensões aplicadas e as extensões sofridas, tendo em consideração a variável tempo.

A reologia aparece, assim, na engenharia civil, como uma necessidade em face da incapacidade da teoria matemática da elasticidade de resolver um grande número de problemas envolvendo materiais cujo comportamento se afaste da referida teoria.

3.1 - Fluência

Define-se fluência como a propriedade que certos corpos ou materiais têm de se deformarem ao longo do tempo, quando submetidos a uma tensão constante. A curva extensão-tempo pode apresentar, no caso mais geral, o aspecto da Fig. 4.

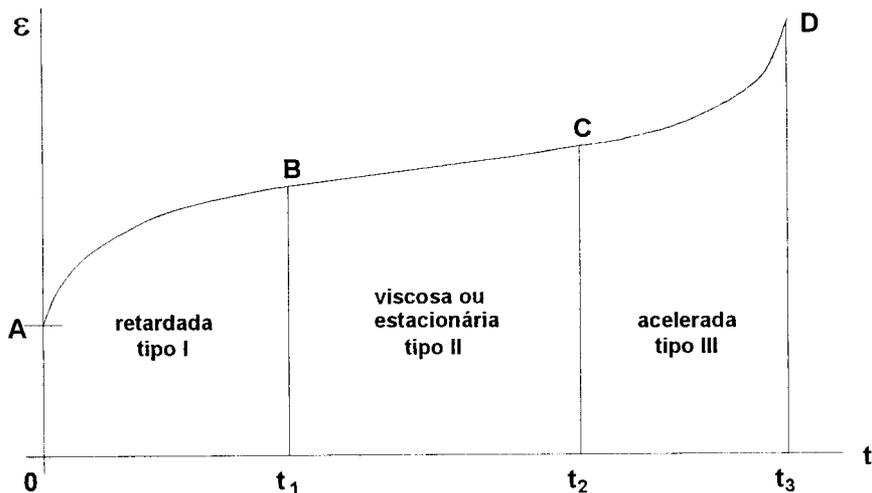


Fig. 4

Assim; após a aplicação da tensão constante, o corpo deforma-se instantaneamente (deformação elástica) segundo o segmento OA, depois prossegue a sua deformação, por fluência, ao longo do tempo podendo apresentar os três tipos de fluência indicados, ou apenas alguns deles. No tipo I, denominada fluência retardada, a sua taxa de variação diminui no tempo apresentando-se a curva AB com a concavidade voltada no sentido das tensões decrescentes; no tipo II, denominada fluência viscosa ou estacionária, a taxa de variação mantém-se constante no tempo, e a sua representação é dada pelo segmento de recta BC; no tipo III, denominada fluência acelerada, a taxa de variação cresce no tempo e a sua representação é dada pela curva CD com a concavidade voltada no sentido das extensões crescentes.

As fluências dos tipos II e III levam invariavelmente à ruína do material, por deformação excessiva ou por rotura, só a fluência retardada poderá tender assimptoticamente para um valor limite finito, sem atingir a ruína.

3.2 - Modelos simples de Hooke e Newton

Os dois modelos reológicos simples que vão ser apresentados a seguir são os necessários ao prosseguimento da nossa exposição.

O modelo de Hooke é um modelo reológico simples que representa o comportamento de uma mola submetida a uma compressão axial, (Fig. 5). Este comportamento assemelha-se ao dos corpos perfeitamente elásticos, isto é, lineares e reversíveis.

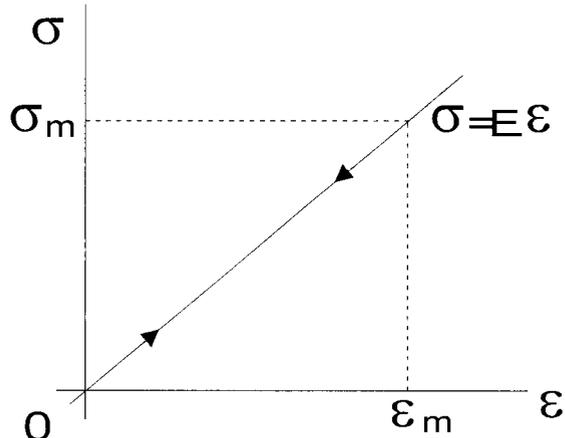


Fig.5

Os corpos que exibem este comportamento, independente do parâmetro tempo, recebem o nome de corpos ou materiais de Hooke.

Este modelo representa o comportamento dos corpos obedecendo à teoria matemática da elasticidade, isto é, o diagrama tensões - extensões, é representado por uma recta passando pela origem.

Assim se se aplicar à mola uma tensão σ crescente, a extensão ε irá, também, crescendo, proporcionalmente à tensão aplicada; descarregando em seguida a mola até à tensão nula, a extensão diminuirá até se anular, seguindo uma recta de descarga que coincide com a recta de carga. É por este facto que o corpo se diz ter um comportamento linear e reversível e, portanto, perfeitamente elástico.

Se se mantiver constante a tensão aplicada à mola durante um certo intervalo de tempo, a extensão manter-se-á, também, constante, durante o mesmo intervalo de tempo, daí a não influência do parâmetro tempo no comportamento da mola.

A equação reológica que traduz o comportamento do modelo de Hooke é a já conhecida lei de Hooke simples:

$$\sigma = E\varepsilon$$

em que a constante de proporcionalidade, E , é o módulo de elasticidade da mola e, portanto, do corpo que ela simula.

O modelo de Newton é um modelo reológico simples que representa o comportamento de um amortecedor formado por um êmbolo poroso que se desloca num cilindro contendo um líquido (Fig. 6). Este modelo traduz o comportamento dos corpos perfeitamente viscosos denominados corpos ou materiais de Newton. O comportamento viscoso é caracterizado por o valor da tensão, σ , em cada instante só depender, e ser proporcional, à taxa de variação da extensão no tempo:

$$\sigma(t) = K \frac{d\varepsilon}{dt}$$

onde K é um coeficiente que caracteriza o amortecedor.

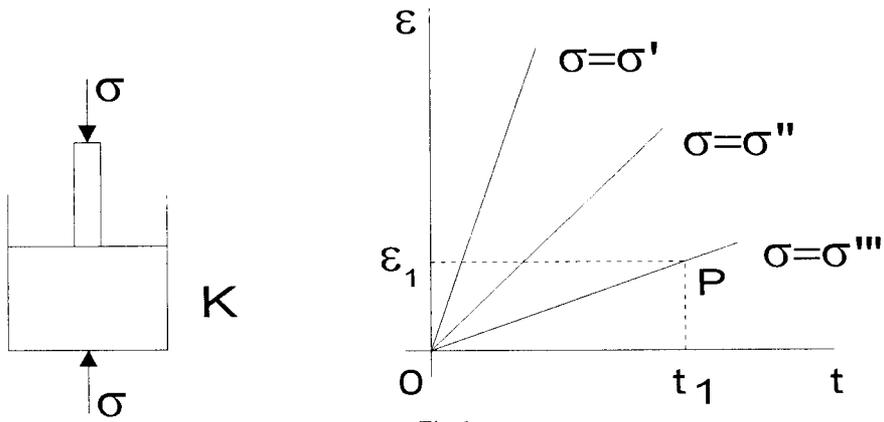


Fig.6

No caso particular de no instante $t=0$ se aplicar uma tensão, σ , constante, a extensão do modelo de Newton é dada por uma recta passando pela origem correspondente à fluência estacionária ou viscosa, única que este modelo possui; também não apresentando deformação inicial instantânea. Este corpo atingirá sempre a ruína por rotura ou deformação excessiva, conforme o seu comportamento, para as condições ambientais, for frágil ou dúctil.

Se num dado instante, t , se se retirar a tensão, σ , aplicada, o modelo manterá a extensão que tinha nesse instante.

Este modelo traduz o comportamento dos corpos perfeitamente viscosos, e tem em conta a variável tempo.

3.3 - Modelos compostos de Maxwell e Kelvin

Com os dois modelos apresentados é possível pela sua associação formar dois modelos compostos. Assim, se os associarmos em série, ter-se-á o modelo composto de Maxwell, e se os associarmos em paralelo o modelo composto de Kelvin.

Duma maneira geral, nos modelos compostos resultantes da associação em série de vários modelos, a tensão aplicada ao modelo composto transmite-se integralmente a cada um dos modelos associados, e a extensão do modelo composto é a soma das extensões de cada um dos modelos associados podendo, por isso, ser-lhe aplicado o princípio da sobreposição dos efeitos: nos modelos compostos resultantes da associação em paralelo de vários modelos, a tensão aplicada ao modelo composto divide-se pelos modelos associados de tal maneira que as extensões destes sejam iguais à do modelo composto.

O modelo de Maxwell é um modelo reológico composto formado pela associação em série de um modelo de Hooke com um modelo de Newton (Fig. 7) e pretende reproduzir os corpos ou os materiais com comportamento predominantemente visco-elástico. Este modelo adapta-se um pouco melhor ao comportamento de alguns materiais, sobretudo das rochas, dado ter já em conta a existência de uma fluência do tipo viscoso, além da deformação inicial instantânea.

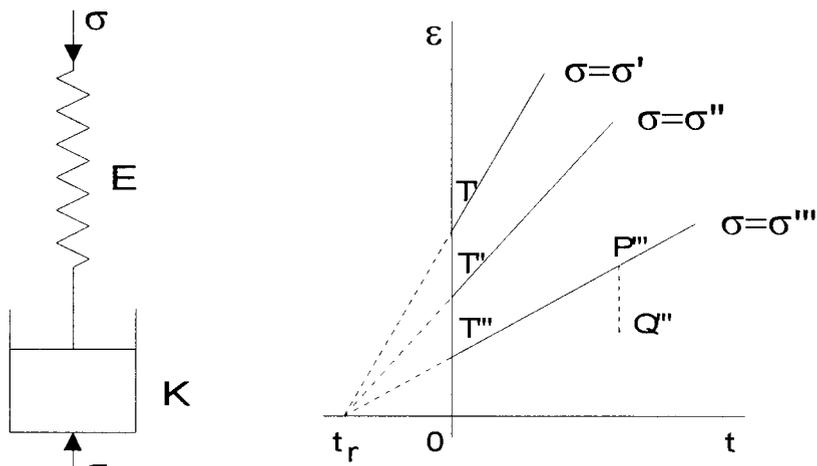


Fig.7

No caso particular de a tensão aplicada ser constante e não existir extensão inicial, a extensão final assume o aspecto indicado na figura.

Em fenómenos geológicos sujeitos a tensões ou temperaturas elevadas, o modelo de Maxwell tem sido largamente utilizado para descrever a evolução das deformações à escala das eras geológicas.

O modelo de Kelvin é um modelo reológico composto pela associação em paralelo de um modelo de Hooke com um modelo de Newton (Fig. 8) e pretende reproduzir os materiais que sujeitos a uma tensão σ_0 constante, apresentem predominantemente, uma fluência retardada, não apresentando, contudo, nem deformação elástica nem fluências estacionária e acelerada.

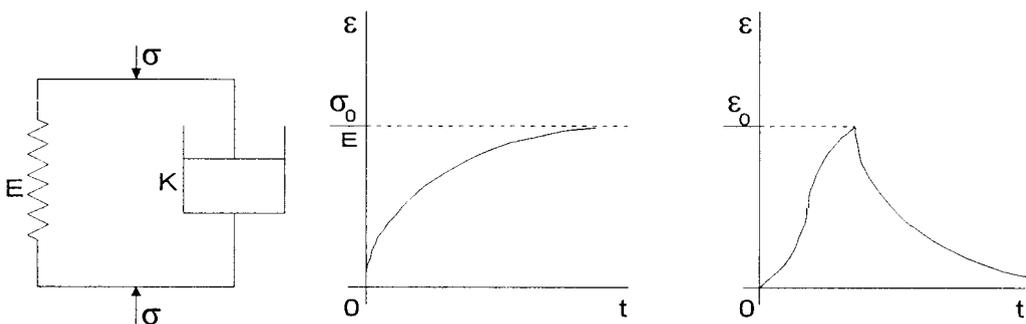


Fig.8

Assim, no modelo de Kelvin, a tensão, σ , aplicada decompõe-se em duas parcelas, uma que actua no modelo de Hooke designada por tensão elástica e outra que actua no modelo de Newton designada por tensão viscosa.

Se num dado instante considerado inicial, se se retirar a tensão, σ , quer esta se tenha mantido constante ao longo do tempo quer tenha sido seguida uma determinada lei, demonstra-se que a extensão tenderá assintoticamente para zero, dando-se a esta característica o nome de elasticidade retardada; isto é, o modelo de Kelvin, depois de

descarregado recuperará ao longo do tempo toda a extensão sofrida, não apresentando, assim, extensão permanente.

3.4 - Modelo composto de Burger's submetido a uma tensão linear cíclica

O modelo de Burger's é um modelo reológico composto, formado pela associação em série de um modelo de Maxwell com um modelo de Kelvin (Fig. 9) e pretende reproduzir os materiais que possuam deformação elástica e fluências retardada e viscosa, mas não fluência acelerada.

No modelo de Burger's a tensão aplicada, σ , actua integralmente nos dois modelos simples do modelo de Maxwell e reparte-se pelos dois modelos simples que formam o modelo de Kelvin.

Se num dado instante, t_1 , se retirar a tensão, σ_0 , aplicada, o modelo recupera instantaneamente a extensão elástica da mola do modelo de Maxwell, e ao longo do tempo, a extensão devido à elasticidade retardada do modelo de Kelvin, conservando-se a extensão viscosa do amortecedor do modelo de Maxwell como extensão permanente.

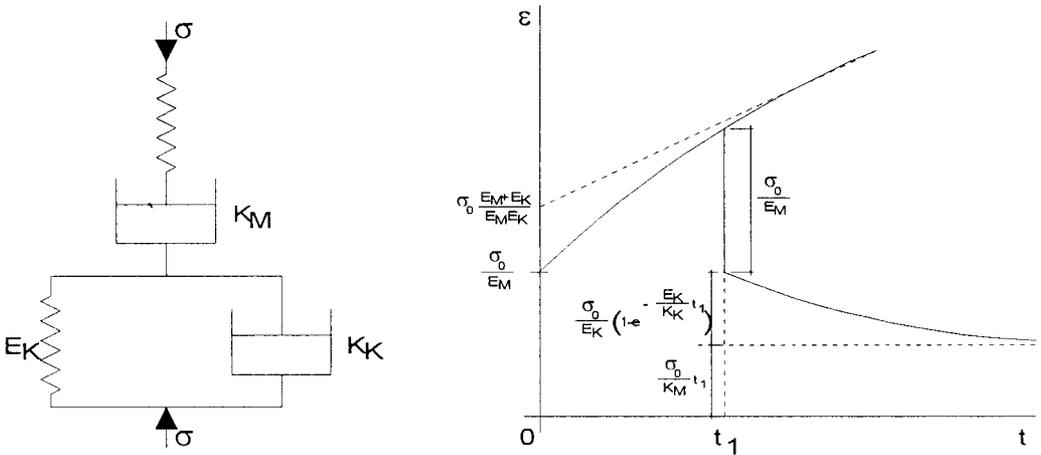


Fig.9

A reologia continua a ser um vasto campo de investigação teórica e experimental, quer pela criação de novos modelos, quer pela diversidade de leis de tensões que se podem considerar.

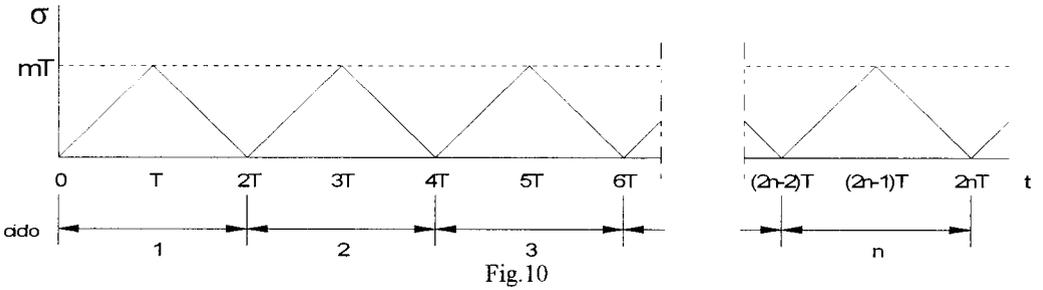
Para terminar esta primeira parte ir-se-á apresentar um exemplo de aplicação de uma lei de tensão linear cíclica ao modelo composto de Burger's e daí tirar algumas conclusões de interesse prático.

Sujeite-se o modelo de Burger's a uma tensão linear cíclica de valor máximo $mT = \sigma_M$ e do semi-período T , conforme se indica na Fig. 10.

A tensão linear cíclica considerada neste estudo, pode representar de um ponto de vista teórico, entre outras, as seguintes situações práticas com uma larga faixa de semi-períodos, desde os muito grandes ao praticamente nulos, com uma amplitude praticamente constante:

- sismos;
- fundações de aparelhagem com funcionamento por cambotas ou transmissões semelhantes;

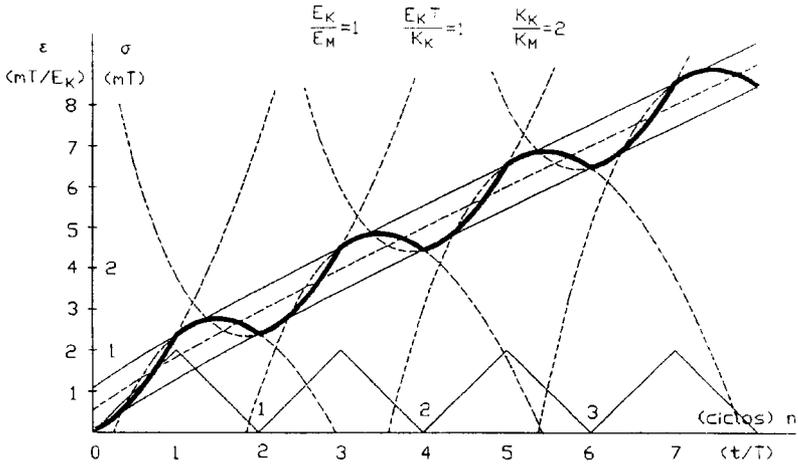
- c) fundações de travessas de caminho de ferro;
- d) fundações de pilares de pontes de caminho de ferro;
- e) pilares e suas fundações para suporte de vigas de caminhos de pontes rolantes;
- f) terrenos onde se cravam estacas-pranchas ou estacas pré-fabricadas.



Prova-se que as extensões, ε_c e ε_d , correspondentes aos ramos crescentes e decrescentes, são dadas por troços de exponenciais compostas pertencentes cada uma delas, a uma família de curvas de parâmetro, n , ordem do ciclo considerado (Fig. 11), cujas definições se apresentam na mesma figura.

A curva final das extensões, ε , é representada por um diagrama constituído por troços curvilíneos em que os pontos de transição entre troços são pontos angulosos, isto é, admitem tangentes diferentes à esquerda e à direita. Este facto é devido à existência no modelo de Maxwell de uma mola associada em série.

Prova-se, também, que quando o semi-período, T , tender para zero, o diagrama das extensões, ε , vai tender para um diagrama quebrado formado de troços rectos, dando assim origem a um fenómeno vibratório (Fig. 12). A linha média deste diagrama corresponde à fluência de uma tensão igual a metade da tensão máxima, σ_M , aplicada ao modelo de Burger's.



$$\varepsilon_c(t) = \frac{mT}{E_K} \left\{ \frac{1}{2} \frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} \left(\frac{t}{T} \right)^2 + \left[\left[\frac{E_K}{E_M} + 1 \right] - \frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} (2n-2) \right] \frac{t}{T} + \left[\frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} (n-1)(2n-1) - \left[\frac{E_K}{E_M} + 1 \right] (2n-2) \right] - \right. \\ \left. - \frac{K_K}{E_K T} \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{t}{T} - (2n-2) \right) \frac{E_K T}{K_K}} \left[1 + \frac{1 - e^{-\frac{E_K T}{K_K}}}{1 + e^{-\frac{E_K T}{K_K}}} \left[1 + e^{-2(n-2) \frac{E_K T}{K_K}} \right] \right] \right\} \right\}$$

$$\varepsilon_d(t) = \frac{mT}{E_K} \left\{ -\frac{1}{2} \frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} \left(\frac{t}{T} \right)^2 - \left[\left[\frac{E_K}{E_M} + 1 \right] - 2 \frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} n \right] \frac{t}{T} - \left[\frac{E_K T}{K_K} \frac{K_K}{K_M} n(2n-1) - 2 \left[\frac{E_K}{E_M} + 1 \right] n \right] + \right. \\ \left. + \frac{K_K}{E_K T} \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{t}{T} - (2n-1) \right) \frac{E_K T}{K_K}} \left[1 + \frac{1 - e^{-\frac{E_K T}{K_K}}}{1 + e^{-\frac{E_K T}{K_K}}} \left[1 + e^{-2(n-1) \frac{E_K T}{K_K}} \right] \right] \right\} \right\}$$

Fig.11

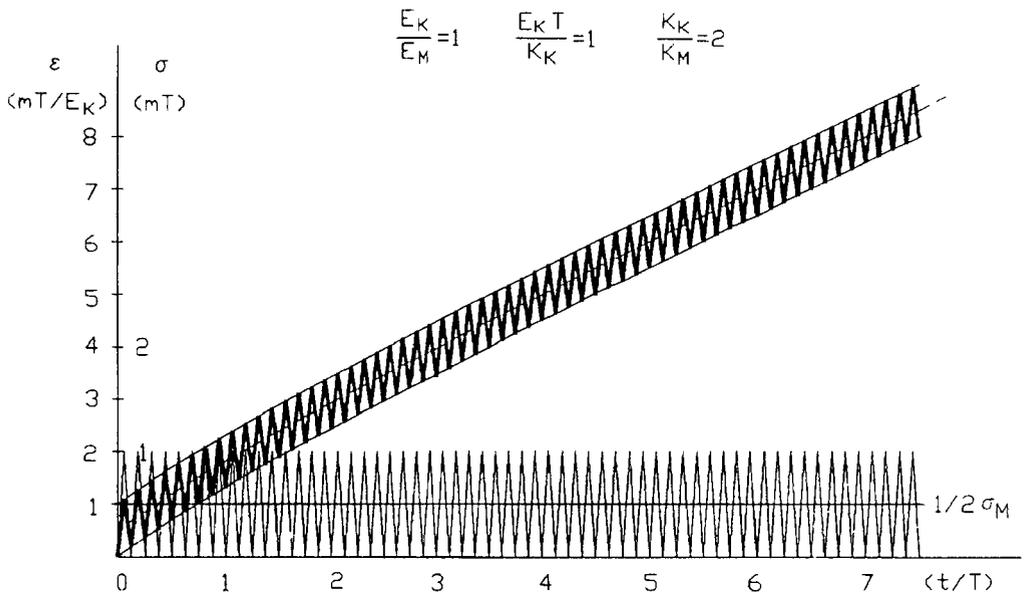


Fig.12

4 - ALGUNS CASOS PRÁTICOS

Como se disse na introdução irão ser passados alguns diapositivos referentes a ensaios efectuados em laboratório e no campo para estudos solicitados por entidades portuguesas e estrangeiras. Estes estudos destinavam-se, pois, a determinar os valores das características reológicas das rochas e dos maciços rochosos de forma a possibilitar aos donos das obras e aos projectistas a melhor utilização dos programas destinados ao dimensionamento estrutural das obras e/ou tomarem decisões sobre o prosseguimento das mesmas.

Os ensaios foram realizados com técnicas e aparelhagem desenvolvidas no LNEC e reportaram-se a estudos levados a cabo nas décadas de 60, 70 e 80.

Foram projectados 62 diapositivos, que se encontram discriminados abaixo, no qual se indica por estudo, o local, o país, o ano ou anos de realização dos ensaios e, finalmente, entre parêntesis recto o número de diapositivos apresentado:

- | | | |
|--------|--|-----|
| 4. 1 - | Vilarinho das Furnas (Portugal) 1964/6 | [2] |
| 4. 2 - | Avlaki (Grécia) 1965 | [4] |
| 4. 3 - | Alcântara (Espanha) 1964/8 | [5] |
| 4. 4 - | Cabora-Bassa (Moçambique) 1966/72 | [8] |
| 4. 5 - | Carrapatelo (Portugal) 1968/9 | [5] |
| 4. 6 - | Leerstetten (Alemanha Oc.) 1971 | [3] |
| 4. 7 - | Itaipu (Brasil) 1976 | [4] |
| 4. 8 - | Aslantas (Turquia) 1978 | [9] |
| 4. 9 - | Mintang (Formosa) 1978 | [5] |
| 4.10 - | Ernstbachtal (Alemanha Oc.) 1979 | [3] |
| 4.11 - | Cabril (Portugal) 1981/5 | [7] |
| 4.12 - | Cambambe (Angola) 1982 | [4] |
| 4.13 - | Domiz (Espanha) 1984 | [3] |

AGRADECIMENTO

O autor agradece ao Eng^o Nuno Guerra, Assistente de Geotecnia do IST, a sua colaboração na elaboração das Figs. 11 e 12 desta XIII^a Lição Manuel Rocha.