

PAVIMENTOS DE ESTRADAS E AERÓDROMOS
E SUAS FUNDAÇÕES

CHAUSSÉES DE ROUTES ET AÉRODROMES
ET PLATE-FORMES SUPPORT

Fernando E.F.Branco⁽¹⁾

SUMÁRIO

Apresentam-se breves noções sobre as funções, concepção geral, tipos e funcionamento estrutural dos pavimentos de estradas e aeródromos.

Analisam-se as funções da fundação dos pavimentos, os materiais utilizados e a sua caracterização para efeitos de dimensionamento da estrutura, dedicando-se uma atenção especial ao leito do pavimento.

Finalmente, comentam-se alguns aspectos, com maior interesse para o nosso País, relativos à construção, ao controle e à recepção dos materiais.

RESUMÉ

Les fonctions, la conception générale, les types principaux et le comportement structurel des chaussées des routes et des aérodromes sont, sommairement, passés en revue.

On analyse les fonctions de la plate-forme support de la chaussée, les matériaux utilisés et leur caractérisation du point de vue du dimensionnement de la structure. Une attention particulière est dédiée à la couche de forme.

On se détient alors sur certains aspects de la construction, du controle et de la réception de la plate-forme avec un intérêt particulier pour les conditions du Pays.

(1) - Engenheiro civil. Colaborador da COBA, SARL. Investigador-Coordenador e Chefe do Departamento de Vias de Comunicação do LNEC

1 - NOÇÕES GERAIS SOBRE PAVIMENTOS DE ESTRADAS E AERÓDROMOS

1.1 - Funções

1.1.1 - Os solos não têm, habitualmente, características que lhes permitam suportar repetidas aplicações das cargas das rodas dos veículos sem sofrerem significativas deformações. Torna-se, assim, necessário colocar sobre eles uma estrutura que suporte o tráfego, sem deformações apreciáveis quer do solo quer dela própria. Nas estradas, ruas e aeródromos tais estruturas são os pavimentos.

A sua função principal consiste, pois, em assegurar a existência de superfícies de rolamento que possibilitem a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um certo período (a vida do pavimento), em determinadas condições ambientes e sob a acção das solicitações do tráfego.

1.1.2 - Certas características dessas superfícies dependem essencialmente da constituição da parte superior dos pavimentos. São, designadamente, as relacionadas com a textura e com a cor, ou sejam, por exemplo, as qualidades anti-derrapantes (rugosidade, características de polimento dos agregados), as qualidades ópticas (luminância, especularidades), as qualidades associadas à geração de ruído de rolamento, etc.

Outras características estão, em geral, mais relacionadas com o comportamento estrutural dos pavimentos, como sejam, a regularidade e o desempenho da superfície, isto é, a ausência de covas, depressões e outras deformações permanentes diferenciais.

1.2 - Concepção geral

1.2.1 - Para assegurar o bom desempenho das suas funções com uma realização quanto possível económica, é habitual formar os pavimentos com várias camadas, de materiais bastante diferentes.

Na parte superior colocam-se os mais capazes de garantir as pretendidas qualidades superficiais, resistir às acções agressivas do tráfego e do ambiente, e proteger as camadas subjacentes. Em geral são estes os materiais de custo mais elevado.

Inferiormente, vão-se dispondo camadas de materiais de qualidade e custo progressivamente decrescentes, em consonância com a sucessiva redução das solicitações com a profundidade.

1.2.2 - Os pavimentos são, portanto, estruturas laminares, estratificadas, com apoio contínuo sobre a fundação.

Uma das suas dimensões (o comprimento) pode considerar-se infinitamente grande, quando comparado com a largura (em geral entre 4 e 8 m) e com a espessura, que anda por algumas dezenas de centímetros.

1.2.3 - As solicitações mais importantes são:

a) as cargas do tráfego, rolantes ou estáticas, que se distribuem na superfície, normal e tangencialmente a esta, com distribuição espacial, intensidade, e duração assaz variáveis;

b) as solicitações de origem térmica que se repercutem, de um modo também bastante variável, na modificação acentuada das características reológicas dos materiais betuminosos, ou em deformações e, eventualmente, no estado de tensão das camadas de betão de cimento.

1.3 - Tipos de pavimentos e sua composição

1.3.1 - Consoante a deformabilidade das camadas dos pavimentos, é habitual agrupá-los em duas categorias: os pavimentos rígidos e os flexíveis.

Os primeiros são pavimentos pouco deformáveis em que a principal função estrutural é assegurada por uma laje de betão de cimento ($E = 2$ a 3×10^4 MPa). A elevada resistência à flexão deste elemento conduz a que as cargas exteriores sejam rapidamente distribuídas, de tal modo que a profundidade relativamente pequena as tensões verticais transmitidas ao solo de fundação assumem valores compatíveis com a resistência deste.

Nos pavimentos flexíveis as camadas são de materiais mais deformáveis (materiais betuminosos com E da ordem de 3 a 7×10^3 MPa; camadas granulares com E da ordem de 2 a 5×10^2 MPa) que degradam as cargas mais lentamente, exigindo, por isso, espessuras maiores para as reduzir, ao nível da fundação, a valores adequados.

A composição mais típica destes pavimentos é esquematizada na fig.1.

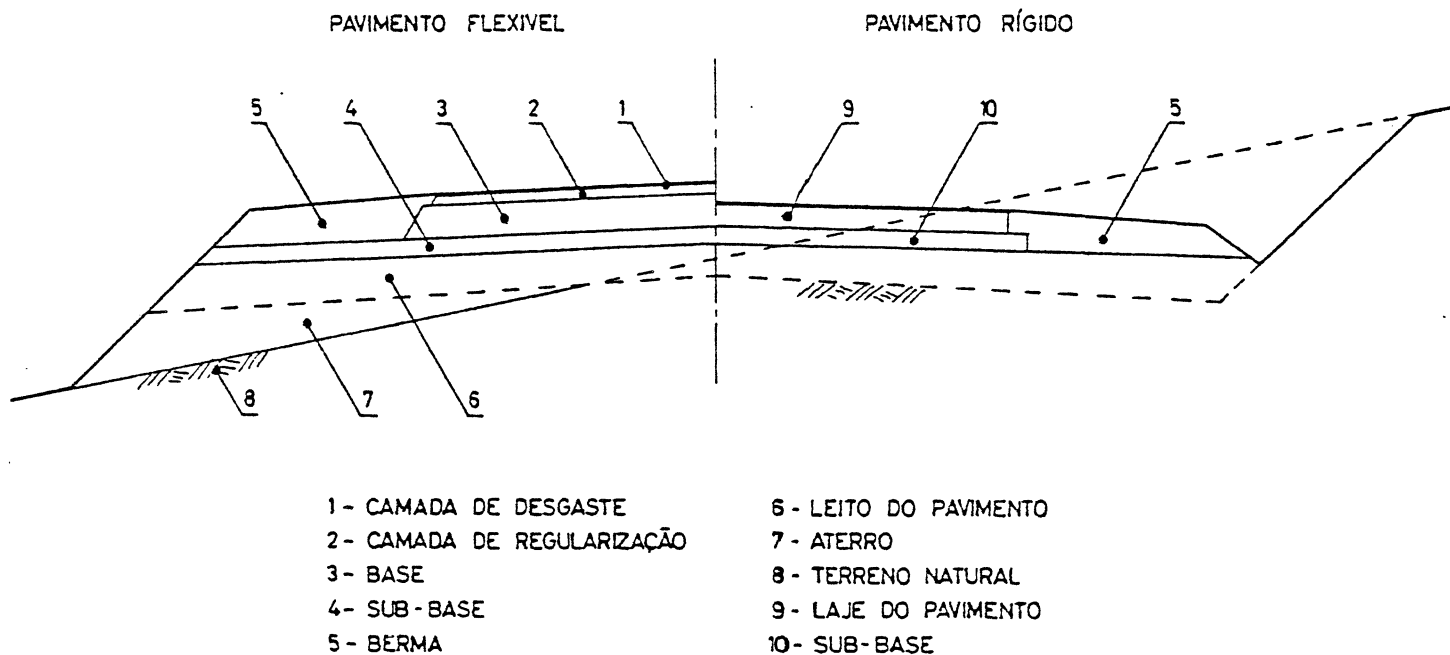


Fig. 1 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DOS PAVIMENTOS

1.3.2 - Os pavimentos flexíveis incluem, essencialmente, três tipos de camadas:

a) A camada ou as camadas mais superficiais, que asseguram, como se disse, um papel funcional e um papel estrutural.

São, em geral, constituídas por betões betuminosos ou outros aglomerados betuminosos. No caso de estradas de tráfego reduzido podem limitar-se a um simples revestimento superficial betuminoso que não desempenha função estrutural.

b) A camada de base, que assegura, essencialmente, um papel estrutural, distribuindo e reduzindo as tensões sobre a sub-base e o solo de fundação, mas que constitui também a base de apoio necessária para a construção e o funcionamento das camadas sobrejacentes.

É habitualmente formada por materiais granulares (naturais ou britados), por vezes tratados com aglutinantes betuminosos ou hidráulicos (cimento, escórias, cal e pozolana, cinzas volantes e cal, etc.). No nosso País predomina o uso das bases não tratadas, com material britado de granulometria extensa.

c) A sub-base, que assegura o apoio da base e, em particular, permite a sua adequada compactação. Desempenha às vezes também uma acção drenante e anti-contaminante no sentido de evitar a penetração dos finos do solo de fundação na camada de base. No caso de solos de fundação bons, a sub-base pode não existir.

É, em geral, formada por materiais do tipo dos da base, embora de qualidade inferior. No nosso País são mais usados materiais naturais, pouco plásticos, com certas exigências granulométricas, e com uma boa capacidade de suporte.

1.3.3 - Nos pavimentos rígidos a composição mais habitual contempla as seguintes camadas:

a) A camada de desgaste, constituída por betão de cimento de boa qualidade (B 35F ou B 40F) que assegura os papéis funcional e estrutural.

b) A sub-base (ou base, se se preferir) cujas funções são:

- garantir uma superfície estável para a construção da laje de betão;
- assegurar a uniformidade de apoio da laje, e, em particular, na zona das juntas;
- evitar o fenómeno de bombagem ("pumping"), com a expulsão de finos do solo de fundação através das juntas;
- aumentar a capacidade de suporte do solo de fundação tanto em relação com a manobra do equipamento como em relação ao funcionamento do pavimento;
- contribuir, pelo seu peso, para o controle das variações de volume de solos de fundação expansivos;
- contribuir para a protecção do solo de fundação contra a acção do gelo, quando for caso disso;
- desempenhar, eventualmente, funções drenantes.

A camada de sub-base pode ser constituída pelos materiais indicados para as bases e sub-bases dos pavimentos flexíveis, embora, na prática mais geral, se adoptem materiais tratados com cimento (bases granulares tratadas com cimento, solo-cimento, betão magro).

1.4 - Funcionamento estrutural

1.4.1 - Nos métodos de dimensionamento mais recentes, baseados na análise estrutural, os pavimentos flexíveis são assimilados a sistemas de camadas elásticas, sobrepostas e aderentes, assentes sobre um maciço semi-indefinido também elástico. Nalguns métodos já se pode tomar em consideração o carácter visco-elástico dos materiais betuminosos, e a não linearidade do comportamento das camadas granulares não tratadas.

Os critérios de ruína adoptados visam, essencialmente, evitar (fig.2):

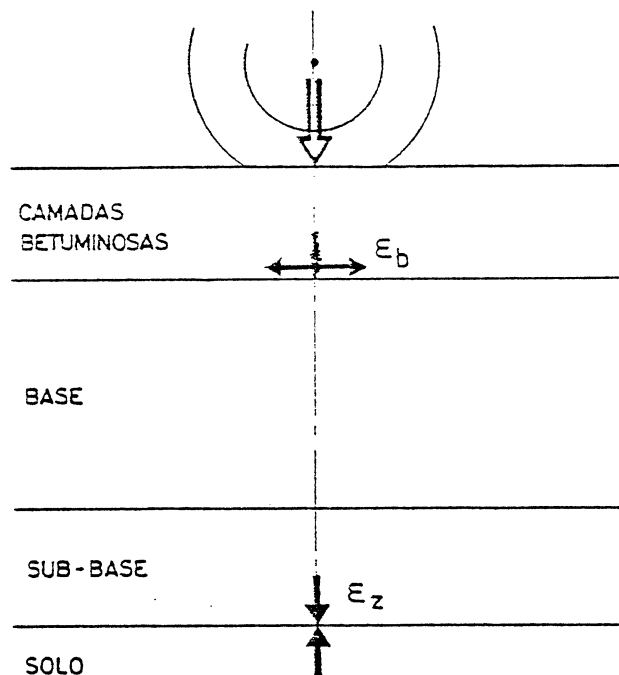


Fig. 2 - PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. EXTENSÕES CRÍTICAS

- a rotura por fadiga à tracção derivada da flexão repetida das camadas betuminosas, que se repercute em fissuração e posterior desagregação destas camadas;

- a ocorrência de deformações permanentes excessivas na superfície dos pavimentos, resultantes das deformações verticais permanentes ocorrentes nas camadas do pavimento e, sobretudo, no solo de fundação, em consequência da aplicação repetida das cargas;

- em certos casos, a rotura por fadiga à tracção derivada da flexão repetida das camadas tratadas com cimento.

1.4.2 - No método de dimensionamento de pavimentos rígidos mais generalizado (método da Portland Cement Association baseado nos estudos de H.M.Westergaard, Picket

e outros), o pavimento é assimilado a uma placa apoiada sobre um meio contínuo cuja reacção é proporcional ao assentamento.

O critério de ruína adoptado visa evitar a rotura por fadiga à tracção derivada da flexão da laje. Nestes pavimentos os critérios de ruína não envolvem, em geral, o que se passa ao nível do solo de fundação, uma vez que as tensões aí instaladas são muito pequenas.

2 - AS FUNDAÇÕES DOS PAVIMENTOS

2.1 - Funções

A fundação dos pavimentos é constituída pelo produto final dos trabalhos de terraplenagem.

Na sequência do que se disse sobre a constituição e funcionamento dos pavimentos, a fundação deve assegurar as seguintes funções:

a) oferecer uma superfície regular e desempenada que possibilite a execução das camadas subjacentes com as espessuras previstas no projecto;

b) garantir uma capacidade de suporte uniforme que

- a curto prazo permita a realização (compactação) da camada subjacente em boas condições;

- a longo prazo garanta o bom funcionamento estrutural do pavimento;

c) assegure a circulação do equipamento de construção, embora, em geral, para o mais pesado se preveja nos estaleiros importantes a existência de caminhos de serviço.

2.2 - O leito do pavimento

2.2.1 - Em princípio, quase todos os tipos de solo podem constituir a fundação dos pavimentos. Isso mesmo é considerado em numerosas especificações e recomendações de uso generalizado (AASHTO, LCPC, TRRL, FAA, STBA, etc.), e também nos cadernos de encargos tipo e nas especificações nacionais.

2.2.2 - Todavia, no caso da ocorrência dos solos mais finos e plásticos, podem levantar-se várias dificuldades, como sejam:

- a plataforma suportar mal o tráfego do estaleiro, em especial no inverno;

- a plataforma exibir pequena capacidade de suporte, em presença da água interna ou das chuvas, a curto e a longo prazo.

A estas limitações haverá ainda que acrescentar a muito frequente variação de características dos solos ocorrentes ao longo do traçado ou disponíveis às diferentes cotas nos locais de empréstimo, o que se repercute, por vezes, em grande heterogeneidade da plataforma nas zonas em escavação, na passagem das escavações para os aterros e até nas zonas em aterro onde todavia já pode ser feita uma certa selecção.

Para fazer face a estas situações tira-se, frequentemente, partido das sub-bases dos pavimentos. Mas, por vezes, há dificuldade em dispor de materiais apropriados em quantidade suficiente, ou então as sub-bases são de materiais bastante elaborados (e portanto caros), o que recomenda um substrato de qualidade razoavelmente boa.

Por esta razão tornou-se corrente entre nós, e está também bastante generalizado no estrangeiro, o recurso à realização de uma zona melhorada no topo superior das terraplenagens.

2.2.3 - Essa zona, integrada ainda nos trabalhos de terraplenagem, visa objectivos de regularização geométrica da plataforma, facilidade de circulação do equipamento, protecção das camadas inferiores contra as intempéries, protecção contra o gelo, anti-contaminação, melhoria e homogenização da capacidade de suporte da plataforma, e drenagem (evitando a ascensão capilar das águas internas).

Ela pode ser conseguida à custa de solos com características adequadas seleccionados nas escavações ou empréstimos ou à custa de tratamento de solos, no local, com cimento, cal, etc.

A essa zona, denominada entre nós por "leito do pavimento", corresponde a designação francesa de "couche de forme", inglesa de "capping layer", ou americana de "improved subgrade".

2.2.4 - Em França o uso da "couche de forme" é praticamente a regra, uma vez que os pavimentos franceses das estradas submetidas e tráfego importante têm, em geral, todas as camadas do pavimento tratadas com aglutinantes betuminosos ou hidráulicos. São camadas caras, a que se exige, por isso, um bom funcionamento. Isso implica a existência de uma boa camada subjacente e daí o ser muito frequente o uso na "couche de forme" de materiais de muito alta qualidade e homogeneidade, que chegam a ser preparados em central.

Neste caso, como é natural, esta camada aproxima-se muito das camadas do pavimento, o que tem dado origem a uma certa confusão conceptual que se nota na bibliografia francesa, em especial no que respeita à consideração de tal camada no dimensionamento do pavimento.

2.2.5 - Entre nós, onde são usuais as bases e sub-bases granulares (estas com valores de CBR mínimo da ordem de 20 a 30%), bastará, em geral, assegurar no leito do pavimento, por um lado, uma razoável homogeneidade e, por outro lado, uma capacidade de suporte, a curto e a longo prazo, traduzida por um CBR mínimo da ordem de 5 a 10%.

Isso tem-se conseguido com o recurso a materiais granulares constituídos por solos dos tipos A-1, A-3, A-2-4 e A-2-5, portanto com

% passada no pen. 200 \leq 35%
IP \leq 10%

Na construção das auto-estradas portuguesas as exigências têm sido ligeiramente maiores:

D_{max} \leq 80 mm
% passada no pen. 200 \leq 25%
LL \leq 35%
 d_{max} (AASHTO mod.) \geq 1,85 g/cm³
CBR (a 0,95 $\gamma_{d_{max}}$) \geq 6%

2.2.6 - A espessura da zona tratada não é em geral calculada. Ela resulta das características das camadas contíguas (sub e sobrejacente), da técnica de construção e da importância da estrada.

Os valores mais correntes situam-se entre um mínimo de 15 a 20 cm em estradas com tráfego leve e valores da ordem de 60 cm em estradas importantes.

2.3 - Caracterização da fundação para efeitos de dimensionamento

2.3.1 - Nos métodos de dimensionamento de base empírica, o solo de fundação é caracterizado por um parâmetro que define a sua capacidade de suporte. Entre os parâmetros de uso mais geral podem indicar-se:

- o CBR (California Bearing Ratio) que está na base de vários métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis;

- o "soil support value" usado no método AASHTO para pavimentos flexíveis;

- as "classes de plataforma" usadas no método francês de dimensionamento de pavimentos rodoviários, flexíveis ou rígidos;

- o "módulo de reacção" de Westergaard (k) usado em vários métodos para pavimentos rígidos (AASHTO, Portland Cement Association, FAA, STBA).

Para o "soil support value" já existe, estabelecida pela AASHTO, uma relação mais ou menos válida com o CBR e com outros ensaios praticados nos Estados Unidos.

As "classes de plataforma" são definidas em função das características granulométricas e de plasticidade dos solos e das condições de drenagem; procura-se porém que elas exprimam gamas de valores de um "módulo de deformabilidade" do solo.

O "módulo de reacção" é determinado de acordo com uma metodologia normalizada, mas dispõe-se de relações mais ou menos satisfatórias com o CBR.

Deste modo, para o emprego dos métodos empíricos mais vulgarizados pode dizer-se que o solo é caracterizado ou pelos seus usuais parâmetros de identificação geotécnica, ou por um dos índices CBR ou k.

2.3.2 - A aplicação dos métodos de dimensionamento baseados na análise estrutural implica a consideração dos seguintes elementos:

- módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, para a avaliação dos estados de tensão e deformação na estrutura e, em particular, no solo;

- lei de deformação permanente que traduz o critério de dimensionamento.

Para o coeficiente de Poisson do solo é habitual tomar valores de 0,33 a 0,40.

Para o módulo de elasticidade é habitual adoptar a relação empírica aproximada.

$$E \text{ (MPa)} = 10 \text{ CBR}$$

apoiada em experimentação credenciada (fig.3).

A lei de deformação adoptada, que relaciona a extensão vertical no solo com o número N de vezes que ela pode ser instalada para que não haja excessiva deformação, é do tipo

$$\epsilon_z = k N^n$$

em que k e n são parâmetros.

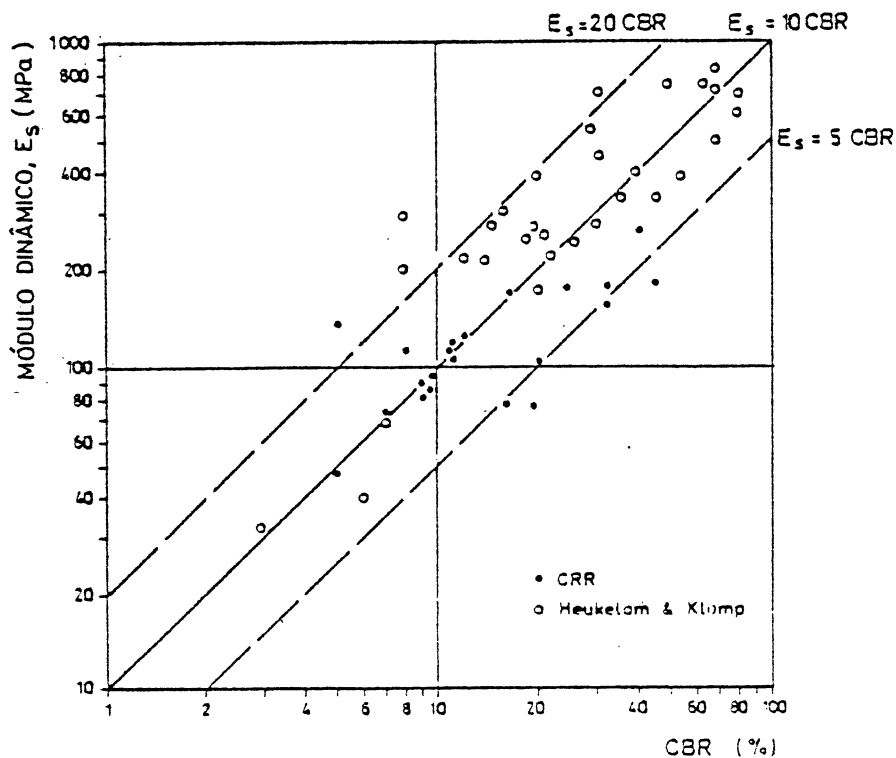


Fig. 3 - CORRELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DINÂMICO E O CBR DOS SOLOS.
(Fonte: Ref. [3])

Os valores de k propostos pelos autores ou organizações mais conhecidos situam-se do seguinte modo:

$$k \text{ entre } 0,009 \text{ e } 0,028$$

$$n \text{ entre } -0,19 \text{ e } -0,28$$

2.3.3 - A determinação do valor do CBR envolve algumas dificuldades por vezes não tidas na devida conta.

Por um lado, o ensaio é bastante disperso e perde sentido para os materiais granulares mais grosseiros e para os materiais incoerentes (areias), que aliás se encontram com muita frequência. Por outro lado o seu valor pode variar significativamente com o grau de compactação e com o teor em água do solo.

Por estas razões considera-se que, para os solos atrás referidos, é preferível usar valores típicos do CBR indicados na bibliografia e que se baseiam na observação do real comportamento dos solos nas obras ou na correlação com módulos de deformabilidade determinados de modo mais fiável.

Para os solos finos os ensaios devem ser realizados com provetes compactados com vários graus de compactação e com vários teores em água que envolvam não só o ótimo mas também o previsível na obra na altura dos trabalhos, se se prevê que venha a ser este o usado na compactação. Convém também dar especial atenção ao teor em água do solo após embebição para verificar se ele se afasta muito do previsível teor em água de equilíbrio sob o pavimento.

Este é habitualmente considerado como próximo do índice de plasticidade do solo, e estão em curso no LNEC estudos para a determinação de valores correspondentes às condições portuguesas. Pode também acontecer que no caso de solos finos e más condições de drenagem a embebição de 4 dias não seja suficiente para os provetes atingirem o teor em água de equilíbrio na obra; nestes casos deve prolongar-se a embebição. Pelo contrário esta deve ser encurtada se a natureza do solo e as condições de drenagem o recomendarem.

Como elemento cautelar convirá sempre cotejar os valores determinados com valores típicos para os diferentes solos, disponíveis na bibliografia, e que têm frequentemente o aval do comportamento das obras, ou com valores baseados na experiência do projectista.

2.3.4 - No que respeita à determinação do módulo de reacção, ela envolve também bastas dificuldades porque tem que se realizar in situ ou em plataformas experimentais com o adequado grau compactação, e, de qualquer modo, com o solo ao teor em água de equilíbrio. O ensaio, por outro lado, é lento.

Em Portugal tem sido praticado quase que exclusivamente para os aeródromos, que são obras limitadas geograficamente e portanto, em princípio, com pequena variação dos solos de fundação. Com a generalização do uso de pavimentos rígidos em estradas pode evidenciar-se a reduzida praticabilidade deste ensaio, e a conveniência da sua substituição por outro, por exemplo, o de CBR, tanto mais que já há, como se disse, correlações aceitáveis entre ambos.

2.3.5 - No que respeita à determinação dos parâmetros e leis que estão na base dos métodos de dimensionamento baseados na análise estrutural, tem vindo o LNEC há algum tempo a conduzir diversos estudos, com especial incidência na determinação dos módulos de deformabilidade das camadas de pavimentos existentes, através do uso do seu equipamento de auscultação (deflectómetro LNEC e deflectómetro de impacto). Os resultados obtidos têm estado a ser interpretados e dão já algumas indicações sobre as características dos nossos materiais.

2.4 - Consideração do leito do pavimento no dimensionamento

2.4.1 - Embora se tenha referido que o leito do pavimento não visa promover uma redução da espessura do pavimento, mas apenas a melhoria da sua construção e funcionamento, a verdade é que o recurso a materiais de qualidade elevada obrigou a pôr a questão da legitimidade da sua consideração no dimensionamento dos pavimentos.

Habitualmente essa consideração não tem lugar nos casos das espessuras mais reduzidas (15 a 20 cm) e ainda pelas seguintes razões:

a) no caso de se usarem materiais não tratados, o funcionamento do estaleiro pode conduzir a irregularidades notáveis na espessura da camada, assim como a uma significativa deterioração e contaminação desta;

b) no caso do uso de materiais tratados, a camada corre o risco de se encontrar fissurada em numerosos locais.

2.4.2 - Todavia, se o material for de boa qualidade e o estado da camada na altura da construção do pavimento for satisfatório, o Service Technique des Bases Aériennes (STBA) francês, sugere, para os pavimentos flexíveis de aeródromos, o procedimento que se refere a seguir.

Sendo

CBR_1 - o CBR de projecto do solo natural

CBR_2 - o CBR de projecto do material do leito do pavimento

e_1 - a espessura equivalente calculada para CBR_1
 e_2 - a espessura equivalente calculada para CBR_2
 e_f - a espessura real do leito do pavimento

a espessura de pavimento a adoptar sobre o leito será dada por

$$e = e_1 - e_f \frac{CBR_2 - CBR_1}{CBR_2 + CBR_1} \quad \text{desde que } e \geq e_2 .$$

Se o e calculado for menor que e_2 tomar-se-á este valor.

Por outro lado, se o valor da fracção $f\hat{o}r$ superior a 0,4 deve tomar-se este valor para coeficiente de e_f .

No caso dos pavimentos flexíveis rodoviários, o método de dimensionamento francês contido no "Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves" prevê também a consideração da "couche de forme" para, conjuntamente com a classe do solo de fundação, determinar a "classe da plataforma", a qual, juntamente com o tráfego, determina o tipo de estrutura a adoptar.

Também o método belga de dimensionamento de pavimentos flexíveis admite uma certa redução na espessura da sub-base se a "couche de forme" for de materiais granulares, e uma certa valorização do módulo de deformabilidade do solo de fundação no caso de haver uma "couche de forme" de solo tratado com aglutinantes hidráulicos.

2.4.3 - No que respeita aos pavimentos rígidos é também especialmente a prática francesa que admite a consideração do leito do pavimento no dimensionamento. Para os pavimentos rodoviários o processo é o atrás referido já que os pavimentos rígidos e flexíveis constam do mesmo catálogo. No que respeita aos pavimentos aeroportuários o STBA admite que a espessura equivalente da "couche de forme" seja adicionada à espessura equivalente da sub-base para entrada no ábaco (fig.4) que, em fun

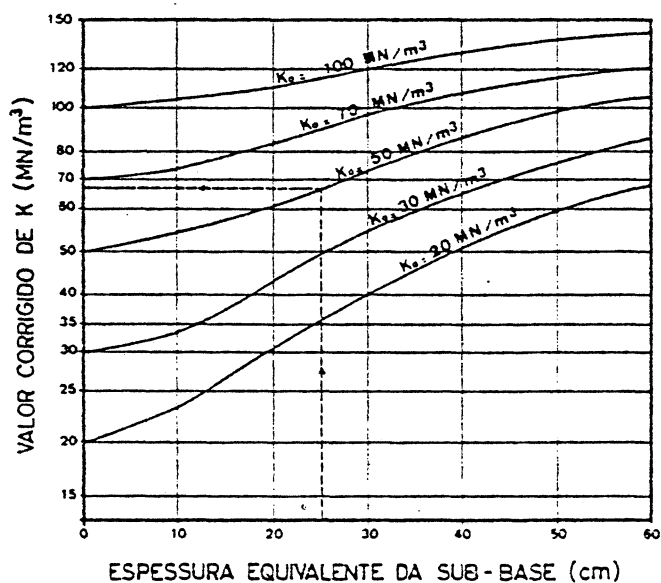


Fig. 4 - PAVIMENTOS RÍGIDOS. CORRECÇÃO DO MÓDULO DE REACÇÃO DEVIDO À SUB-BASE. (Fonte: Ref. [14])

ção daquela espessura e do módulo de reacção do solo de fundação dá o valor do módulo corrigido a tomar em conta no dimensionamento.

Na maior parte dos métodos de dimensionamento dos pavimentos rígidos, porém, a existência do leito do pavimento não é considerada já que a sua influência no módulo de reacção do solo é relativamente pequena e a influência deste módulo na espessura da laje também não é muito grande, quando comparada com a do critério baseado nas tensões na laje.

2.5 - Construção, controle e recepção da fundação

2.5.1 - Nota prévia

No que se segue admitir-se-á que as terraplenagens terminam superiormente com a camada de solos seleccionados - leito do pavimento -. Se tal não acontecer, isto é, se os materiais usados nos aterros e os encontrados nas escavações tiverem qualidade e homogeneidade que permitam a sua aplicação até à cota da plataforma de apoio do pavimento, o que se diz é válido para a execução da última camada das terraplenagens.

2.5.2 - Forma final da terraplenagem

A pente transversal das camadas do pavimento é da ordem dos 2% enquanto que a das camadas da terraplenagem se situam por 4 a 5%.

A passagem de uma inclinação para a outra pode ser feita ou na primeira camada do pavimento ou no leito do pavimento. A fim de poupar no material do pavimento, em geral mais caro, e para possibilitar uma melhor execução derivada da constância da espessura da camada, há uma tendência para fazer a transição das pendentes transversais no leito do pavimento.

Neste caso, e em especial se a construção do pavimento não segue imediatamente a conclusão das terraplenagens, convém proteger a plataforma assegurando a evacuação rápida da água das chuvas mesmo à custa de algumas obras provisórias, impermeabilizando a superfície com uma regra de impregnação se os materiais forem permeáveis, e evitando a circulação do equipamento na plataforma.

A tolerância na forma final é em geral de + 3 cm em relação ao perfil teórico. Se fôr muito importante o estrito respeito da espessura da camada subjacente (sub-bases em materiais tratados no pavimentos rígidos, ou bases granulares sem sub-base nos flexíveis) é recomendável tomar para a plataforma um perfil teórico fictício 1 cm abaixo do do projecto e adoptar em relação àquele uma tolerância de + 2 cm.

2.5.3 - Controle de construção

2.5.3.1 - Camada subjacente

A recepção da camada subjacente ao leito do pavimento deve ser ainda mais cuidadosa do que a das restantes camadas das terraplenagens, para detectar e eliminar zonas especialmente fracas constituindo heterogeneidades que a última camada poderá não conseguir atenuar suficientemente.

2.5.3.2 - Materiais da camada

O controle implica a realização de ensaios de caracterização dos materiais aplicados, com uma frequência que, entre nós, anda pelos seguintes valores, em termos médios, por camada:

a) auto-estradas

1 série de ensaios por 1000 m³ ou seja por 300 m de faixa com duas vias de 3,75 m mais bermas

b) estradas

1 série de ensaios, por 5000 m³ ou seja por 1400 m de plataforma de um perfil 2,5 - 7 - 2,5.

2.5.3.3 - Espessura da camada

Embora esta seja verificada à posteriori por nivelamento, é conveniente medi-la no decurso de espalhamento e compactação a fim de evitar desvios que seriam depois difíceis de corrigir. Acresce que este controle mais frequente é útil também para o controle da compactação feito pela relação Q/S.

2.5.3.4 - Compactação

As especificações de compactação exigem em geral 95% do γ_{dmax} (AASHTO mod.) e 100% para os materiais não coesivos.

A verificação tem sido feita através da determinação pontual da baridade e teor em água "in situ" com frequência que, em média, anda pelos valores seguintes:

a) nas auto-estradas

1 verificação por 120 m³ ou seja por 56 m de faixa

b) nas estradas

1 verificação por 500 m³ ou seja por 140 m de plataforma.

A necessidade de obter resultados em muito curto prazo tem conduzido à generalização progressiva do recurso a métodos nucleares, tendo sido também já usada a relação Q/S.

Chama-se a atenção para o facto de, perante a variabilidade dos solos, haver necessidade de controlar com certa frequência aqueles processos com os processos tradicionais de referência (garrafa de areia e estufa).

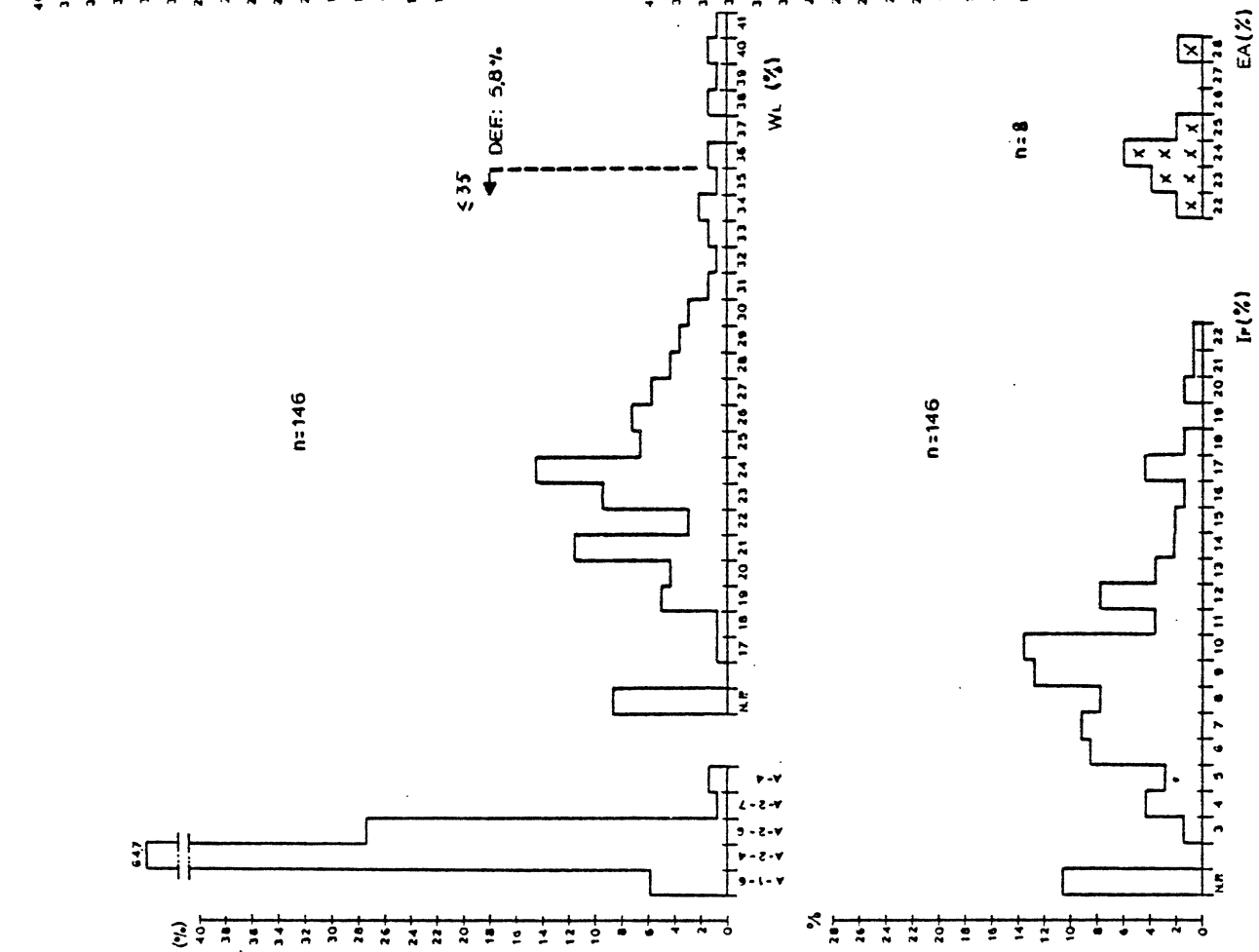
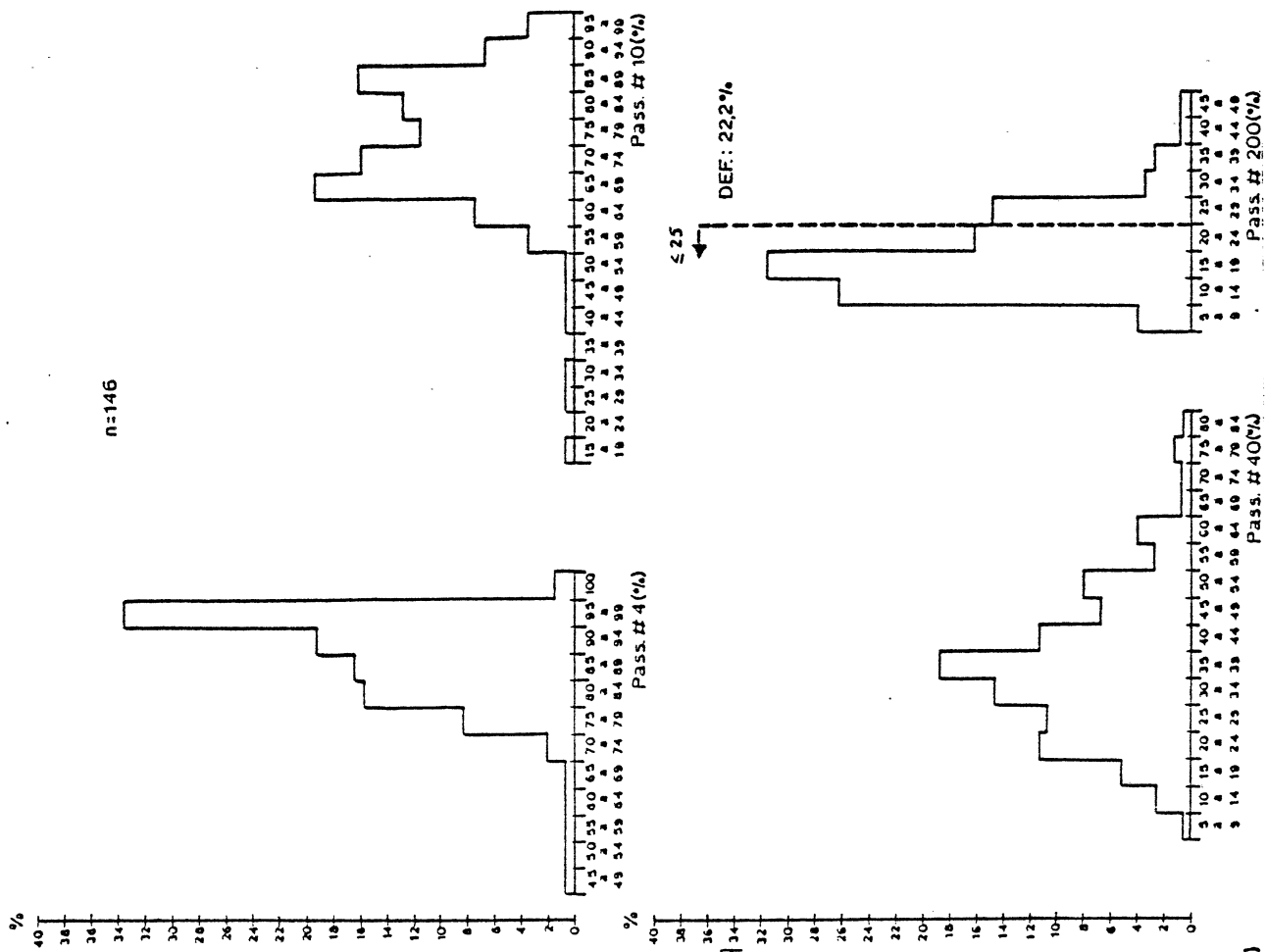
2.5.3.5 - Capacidade de suporte

Não tem sido usual entre nós incluir nas operações de recepção a verificação da deformabilidade da plataforma, característica que, no entanto, é a mais directamente relacionada com o seu comportamento estrutural e, talvez por isso, integra a recepção feita em vários outros países.

Se é certo que os ensaios estáticos com placa não se prestam pela sua morosidade àquela finalidade, o uso de ensaios de carga com pneu ou com o deflectómetro de impacto, de realização bastante expedita, estaria naturalmente aconselhado.

O seu uso permitiria uma densificação dos locais de observação o que é importante para se ter uma ideia de repercussão, no produto final, da variação de características que o controle clássico ainda permite.

Apresentam-se como exemplo desta dispersão alguns resultados gentilmente fornecidos pela BRISA relativos ao controle do leito do pavimento do lanço Condeixa-Coimbra-Mealhada, em cujo projecto a COBA colaborou, realizando o do sub-lanço mais a norte.



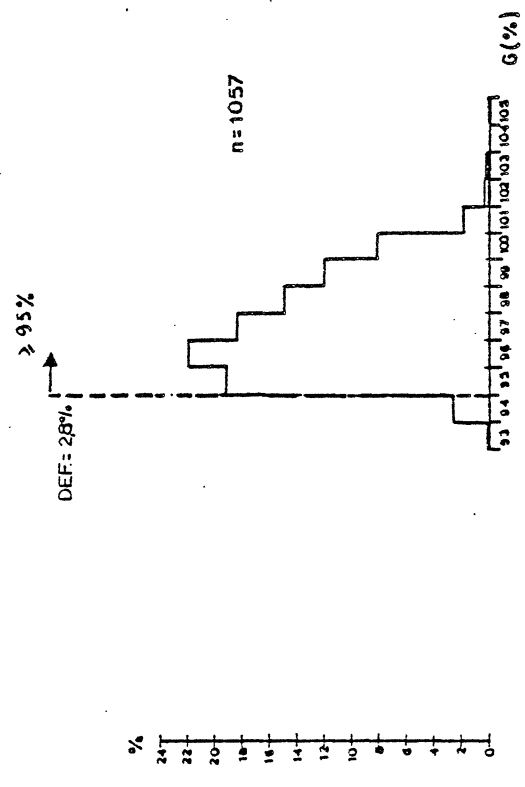
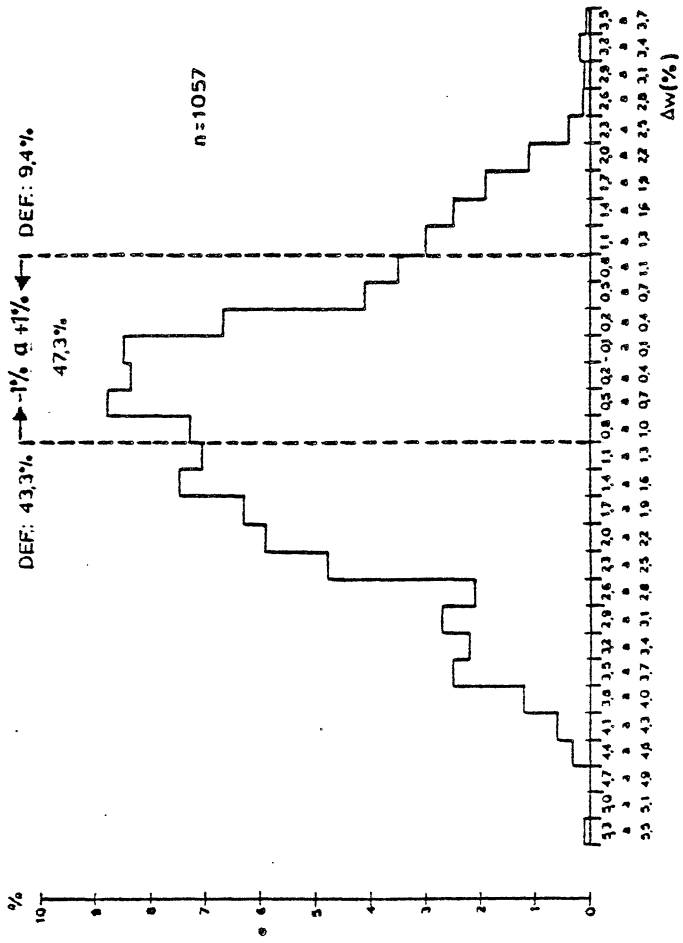


Fig. 8 - SUBLANÇOS CONDEIXA / COIMBRA / MEALHADA
Parâmetros de compactação relativos do leito do pavimento.

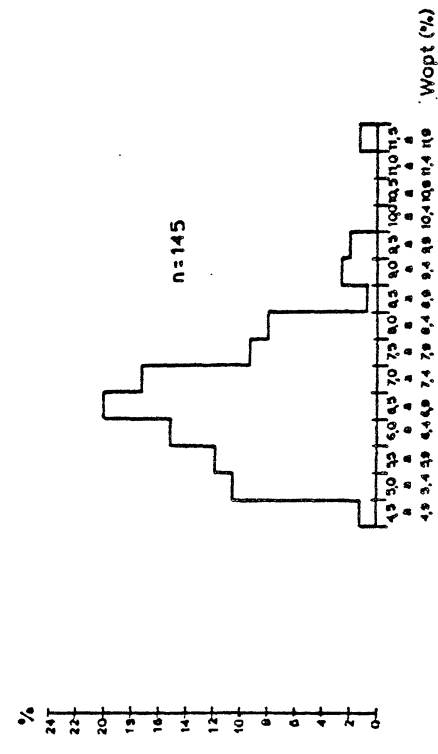
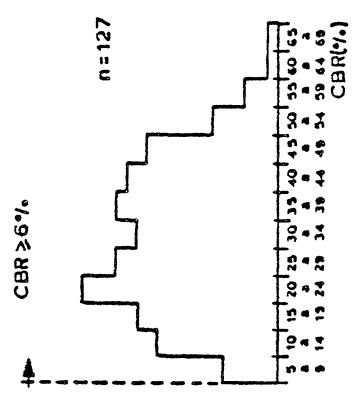
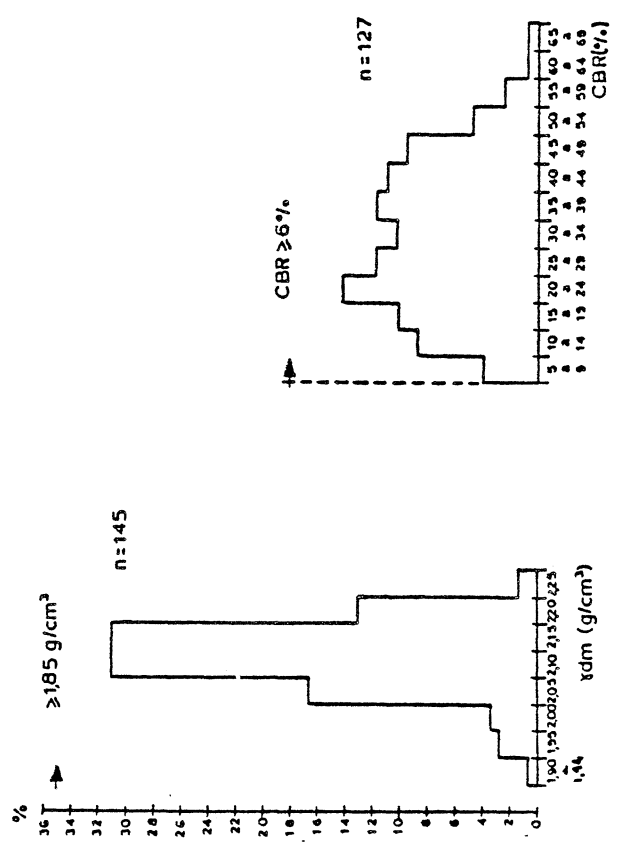


Fig. 7 - SUBLANÇOS CONDEIXA / COIMBRA / MEALHADA
Distribuição dos parâmetros de compactação e resistência do leito do pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972 (Chapter III Revised 1981), AASHTO, Washington, 1981.
- 2 - Mémento des Spécifications Françaises. Chaussées, Révue Générale des Routes et Aérodrômes, nº 608, Paris, Maio 1984.
- 3 - Code de Bonne Pratique pour le Dimensionnement des Chaussées à Revêtement Hydrocarboné, Recom. CRR - R49/83, Centre de Recherches Routières, Bruxelles, 1983.
- 4 - Normas de Projecto. Terraplenagens e Pavimentação, J.A.E., Lisboa 1978.
- 5 - Thickness Design for Concrete Road Pavements, Tech.Note 46, Cement & Concrete Association of Australia, Sydney, 1982.
- 6 - Normas de Projecto. Pavimentos Rígidos, JAE, Lisboa, 1985.
- 7 - Subgrades and Sub-bases for Concrete Road Pavements, Tech. Note 45, Cement & Concrete Association of Australia, Sydney, 1982.
- 8 - Thickness Design for Concrete Pavements, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1966.
- 9 - Stand.Specif. Materials for Embankments and Subgrades, AASHTO M57-80, AASHTO, Washington, 1982.
- 10 - Solos. Terraplenagens, Especific. LNEC E 241, LNEC, Lisboa 1971.
- 11 - Execução de Terraplenagens de Estradas, Especific. LNEC E 242, LNEC, Lisboa, 1971.
- 12 - A Guide to the Structural Design of Pavement for New Roads, Road Note 29, R.R.L., H.M.S.O., Londres, 1970.
- 13 - Aerodrome Design Manual, Part 3 - Pavements, I.C.A.O., Montreal, 2a.edição, 1983.
- 14 - Dimensionamento des Chaussées, Vol.I e II, Service Technique des Bases Aériennes, Paris, 1983.
- 15 - STENGER, C., Les Couches de Forme, Guide Pratique de Construction Routière, Révue Générale des Routes et Aérodrômes, Supl. nº 561, Paris, 1980.
- 16 - Dictionnaire Technique Routier, 5e.edit, A.I.P.C.R., Paris, 1982.
- 17 - LUIS, A.S., Construção de Auto-estradas em Portugal e Técnicas Correntes, Especificações e Controlo, Geotecnia, nº 25, Lisboa, 1979.
- 18 - Caracterização de Bases Granulares e Análise Estrutural da Capacidade de Carga de um Pavimento em Construção no IPl, Relat. Pº 92/1/8189 e 92/11/7477. LNEC, Lisboa, Junho 1983.

- 19 - QUARESMA, L.M., Características Mecânicas de Camadas de Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários Constituídos por Camadas Granulares, Dissertação, F.C.T. da U.N.L., Lisboa, 1985.
- 20 - Caracterização da Deformabilidade de Camadas de Pavimentos Rodoviários Ligadas com Cimento, Relat. Pº 92/11/7477, LNEC, Lisboa, 1985.