

CONSTRUÇÃO DE AUTO-ESTRADAS EM PORTUGAL – TÉCNICAS CORRENTES, ESPECIFICAÇÕES E CONTROLO

Construction of Freeways in Portugal – Current Practice Specifications and Control

por
ANTÓNIO SERAFIM LUÍS*

RESUMO – Neste trabalho indicam-se, sob uma forma simplificada, a prática corrente adoptada na construção de auto-estradas em Portugal, as prescrições técnicas e a forma de execução do controlo laboratorial. Também se faz ligeira referência a alguns problemas de interesse, relacionados com as técnicas construtivas.

SYNOPSIS – This paper refers to the current practice of construction of freeways in Portugal, technical prescriptions adopted and laboratory control which is being followed. Brief reference is also made to some interesting problems related to construction techniques.

1 – INTRODUÇÃO

O arranque da construção de Auto-Estradas em Portugal, em 1975 (Fig. 1), tem permitido uma razoável soma de conhecimentos úteis nos mais variados domínios a que se encontram ligadas, nomeadamente, no domínio de um dos sectores base, tal como o de terraplenagens e pavimentação. Esta aquisição de conhecimentos tem-se reflectido, por sua vez, numa tentativa de um maior aperfeiçoamento de técnicas construtivas e consequente obtenção de um bom nível de qualidade.

* Engenheiro, BRISA, Auto-Estradas de Portugal, SARL

2 – COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO E ATERROS

O pavimento definido superiormente e adoptado para as Auto-Estradas Portuguesas é de tipo flexível e tem a seguinte composição:

- camada de desgaste em betão betuminoso, com uma espessura de 0,06 m;
- camada de regularização em mistura betuminosa densa, com uma espessura de 0,08 m;
- camada de base em “tout-venant” com uma espessura de 0,30 m;
- camada de sub-base, em solos seleccionados, com uma espessura variando de 0,15 a 0,30 m.

Os aterros são divididos, segundo os cadernos de encargos em vigor, em duas partes fundamentais:

- coroamento, constituindo as camadas superiores do aterro, numa espessura de 0,60 m após compactação;
- núcleo, constituindo a parte restante do aterro.

Nos capítulos seguintes são descritos, sumariamente, os aspectos julgados de mais interesse relacionados com cada uma das fases de construção, as prescrições técnicas e a forma como se processa o controlo laboratorial.

2.1 – Aterros

2.1.1 – Materiais

Os materiais utilizados nos aterros são divididos em dois grupos:

a) *solos adequados*, em que:

- a dimensão máxima de elementos de solos é inferior a 8 cm;
- percentagem, em peso, passada no peneiro de 0,074 mm (n.º 200) ASTM é igual ou inferior a 25%;
- o limite de liquidez w_L é inferior a 35%;
- o peso específico aparente seco máx. é igual ou superior a 1,85 g/cm³ (AASHO Mod.);
- o valor de CBR é igual ou superior a 6% (a 95% de compactação obtida no ensaio AASHO Mod. e a um teor em água representativo das condições reais do campo).

b) *solos toleráveis*, em que:

- o limite de liquidez w_L é inferior a 35%;
- o peso específico aparente seco máx. é igual ou superior a $1,60 \text{ g/cm}^3$ (AASHO Mod.);
- o valor de CBR é igual ou superior a 3% (a 95% de compactação obtida no ensaio AASHO Mod. e a um teor em água representativo das condições reais do campo).

Nas camadas do coroamento, só são utilizados materiais com características de solos adequados. Nas camadas de núcleo, tanto são utilizados solos adequados como solos toleráveis.

2.1.2 – Execução

Apesar de a execução dos trabalhos ser sempre precedida de estudos geológico-geotécnicos, ao longo do traçado, e, por conseguinte, haver informação prévia sobre a natureza dos terrenos de fundação, a construção dos aterros só é iniciada depois de a Fiscalização ter inspeccionado as áreas interessadas, quer por observação visual quer ainda por passagem de equipamento pesado (“proof rolling”) para a detecção de eventuais zonas fracas e/ou instáveis.

Os aterros são executados, normalmente, em camadas cuja espessura máxima, antes da compactação, é de 0,30m. O equipamento de compactação é utilizado em função da natureza dos solos de fundação, podendo dizer-se que é frequente o recurso a cilindros vibradores. Os graus de compactação relativa a atingir são iguais ou superiores a 95% (AASHO Mod.) nas camadas de coroamento e iguais ou superiores a 90% (AASHO Mod.) nas camadas do núcleo. As zonas em escavação e as zonas de transição de escavação para aterro são objecto de especial controlo e vigilância.

Os aterros sobre baixas aluvionares só são iniciados após tratamento prévio dos terrenos de fundação quando julgado necessário. Neste sentido destacam-se o tratamento por *compactação dinâmica* efectuado em 1975, ao longo do sub-lanço Vila Franca de Xira/Carregado e nas baixas de Ota e Alenquer (sub-lanço Carregado/Aveiras de Cima), em 1976, a execução de *drenos de areia* na baixa da Ribeira do Barrão, no início do sub-lanço Carregado/Aveiras de Cima e ainda a execução de *trincheiras-drenantes* na Baixa da Gorda neste último sub-lanço.

À parte um trecho de pequena extensão, junto à Vala do Carregado, em que os terrenos compressíveis, com elevado grau de saturação, atingiram a sua espessura máxima (≈ 23 m) e o aterro, a sua altura máxima do traçado ($h \approx 7$ m), todas as demais zonas submetidas a este tratamento encontram-se praticamente com velocidades de assentamento muito reduzidas. Na baixa da Ribeira do Barrão, a espessura dos estratos compressíveis é de cerca de 11 m e a altura do aterro é da ordem de 6 m. Este aterro encontra-se, presentemente, em vias de conclusão.

2.1.3 – *Controlo*

Durante a execução dos aterros são feitos ensaios de compactação das características dos materiais utilizados e dos graus de compactação relativa especificados. Os graus de compactação são obtidos a partir da determinação da baridade seca *in situ* pelos métodos do volume de água deslocado e/ou da garrafa de areia (especificações LNEC E 205 e E 204, respectivamente).

A frequência de ensaios é de cerca de 1 ensaio por 500 m^3 de material compactado. Esta frequência é aumentada quando os materiais utilizados são heterogêneos. Por outro lado, durante a construção da camada de coroamento é feita uma amostragem, por cada 2400 m^2 , para confirmação final das características dos materiais utilizados.

Todos os ensaios quer os de campo, quer os de caracterização são feitos de acordo com as especificações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de orientação muito parecida com as da AASHO. No caso específico de CBR, tem-se seguido a especificação T 193-73, da AASHO.

2.2 – *Sub-base*

A sub-base foi considerada no cálculo de dimensionamento do pavimento e a sua espessura tem variado entre 0,15 e 0,30 m. Estas espessuras são aumentadas nos troços em escavação em que as características dos terrenos de fundação do pavimento não correspondem às dos solos adequados.

2.2.1 – *Materiais*

São indicadas a seguir as prescrições em vigor para os materiais da sub-base:

- limite de liquidez w_L (%) – ≤ 25
- índice de plasticidade (%) – ≤ 6

- equivalente de areia (%) EA - ≥ 25
- CBR (%) - ≥ 20 (a 95% de compactação do ensaio AASHO Mod.)

A granulometria deverá enquadrar-se num dos fusos granulométricos discriminados a seguir:

PENEIROS ASTM	Limites granulométricos (percentagens passadas)					
	TIPO I				TIPO II	
	A	B	C	D	E	F
50,0 mm	100	100	-	-	-	-
25,5 mm	-	75-90	100	100	100	100
9,5 mm	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
4,75 mm	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
2,00 mm (n.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
0,425 mm (n.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
0,075 mm (n.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15	6-15	8-15

O material com dimensões superiores a 2mm deve ser constituído por partículas duras e não friáveis. A perda por desgaste, na máquina de Los Angeles, determinado na fracção superior a 10mm deverá ser inferior a 35%. Estas prescrições estão, na sua generalidade, de acordo com a especificação do LNEC E 244-1971 – Solos e Agregados e ASTM D 1241 – 55T.

Na prática, tem-se recorrido a material de empréstimos naturais obedecendo às prescrições acima referidas.

2.2.2 – Execução

A colocação de materiais para a camada de sub-base só é iniciada quando as áreas interessadas tenham sido inspeccionadas e aprovadas pela Fiscalização.

A aprovação depende do seguinte:

- resultados dos ensaios de determinação do grau de compactação relativa na camada superior do coroamento;
- detecção de eventuais zonas fracas e/ou instáveis por passagem de equipamento pesado, a critério da Fiscalização, na camada superior de coroamento;

- verificação dos perfis longitudinais e transversais e do grau de irregularidade da camada superior do coroamento;
- execução dos trabalhos de drenagem que estejam previstos ou julgados indispensáveis.

Dentre alguns cuidados especiais que são tomados durante a construção podem citar-se:

- o espalhamento de materiais é feito de modo a que a superfície fique com a inclinação transversal a fim de facilitar a saída rápida, eventual, da água das chuvas;
- em princípio, é proibido todo o tipo de tráfego sobre a camada de sub-base enquanto não estiver compactada. Excepcionalmente, o tráfego pode operar, mas neste caso em toda a largura da camada e não pelos mesmos trilhos;
- o teor em água a utilizar oscila em $(W_o - 1\%)$ e $(W_o + 1\%)$ em que W_o é o teor ótimo do material;
- os graus de compactação relativa a atingir são iguais ou superiores a 95% (AASHO Mod.).

O acabamento final é realizado de modo a obter-se uma superfície lisa, fechada e uniforme, isenta de fendas, depressões e planos superficiais de compactação. A superfície poderá apresentar desvios de ± 3 cm em relação aos perfis teóricos transversal e longitudinal.

2.2.3 – *Controlo*

São executados pelo empreiteiro ensaios de determinação de baridade *in situ* com a frequência de 1 ensaio para cerca de 400 m², e bem assim ensaios de verificação das características dos materiais utilizados de 300 em 300 m em cada faixa (2 vias de 3,75 m cada), já referidas em 2.2.1.

2.3 – *Base*

As camadas de base adoptadas nas Auto-Estradas são constituídas de material britado “tout-venant”. A espessura das camadas é de 0,30 m após compactação.

2.3.1 – *Materiais*

São seguintes as prescrições:

- dimensão máxima do agregado 40 mm

- equivalente de areia (%) ≥ 30
- limite de liquidez W_L (%) ≤ 25
- índice de plasticidade IP (%) ≤ 6
- coeficiente de desgaste no ensaio de Los Angeles (%) ≤ 35

A banda limite de granulometria pode obedecer a qualquer dos fusos normalmente aceites por departamentos de estradas. No caso corrente recorreu-se aos fusos granulométricos recomendados pelo Setra (França).

PENEIROS ASTM	Limites granulométricos (percentagens passadas)	
	BANDA I	BANDA II
40,0- mm	100	100
31,5 -mm	75-100	75-100
20,0- mm	55-85	55-85
10,0- mm	35-60	40-70
6,3 -mm	25-50	33-60
4,0 -mm	19-43	27-53
2,0 -mm	14-34	22-45
0,5 -mm	5-20	11-28
0,2 -mm	3-14	7-19
0,08 mm	2-10	2-10

A verificação das condições acima expressas é feita previamente na central de britagem, em seguida nos depósitos junto à obra e, finalmente, após colocação na obra. É no material posto em obra que reside a maior incidência do controlo.

O controlo é feito, na sua maior parte, pelo empreiteiro, e acompanhado de perto pela Fiscalização, a qual estabelece no projecto as directrizes do controlo previamente aceites pelo empreiteiro. Dependendo da gravidade dos desvios em relação às prescrições, é chamada ou não a atenção do empreiteiro para introduzir as melhorias necessárias.

2.3.2 - Execução

A colocação de materiais para a camada de base em "tout-venant" só é iniciada quando as áreas interessadas tenham sido vistoriadas e aprovadas

pela Fiscalização. A aprovação depende da vistoria efectuada para o efeito na qual se verifica se estão satisfeitos os condicionamentos referidos em 2.2.2.

Quando tenha decorrido muito tempo entre a execução da sub-base e o início dos trabalhos da base ou, então, a sub-base tenha ficado submetida à acção de tráfego e/ou de chuvas, é normal executarem-se novos ensaios e verificações antes do início dos trabalhos, mesmo que os resultados anteriores tenham sido satisfatórios.

Relativamente à execução em si, a base é executada em duas camadas de igual espessura, compactadas de modo a garantir-se em cada uma a espessura de 0,15m e um índice de vazios máximo de 15%. A espessura total é de 0,30m, após a compactação.

Durante o espalhamento do material, os problemas de segregação são objecto de especial atenção e vigilância. Eles têm sido atenuados, procedendo-se à humedificação prévia de inertes nos depósitos junto à central de britagem e evitando que estes não fiquem empilhados para além de 2m de altura. Tem-se verificado também problemas de segregação quando os próprios veículos e o equipamento da obra circulam por cima do material já espalhado. Esta prática foi banida logo de início.

Outro problema que nos parece importante, refere-se à utilização de inertes de forma lamelar o que não tem deixado de ocorrer, mas muito raramente. Tomaram-se de imediato cuidados para a não utilização destes materiais. As especificações correntes não se referem, geralmente, a este pormenor, parecendo-nos, por isso, que o mesmo deve ser devidamente encarado.

O desempenho da superfície é verificado através da régua de 3m que, colocada, tanto longitudinalmente como transversalmente, não deve acusar desvios superiores a 8mm. A espessura teórica é respeitada dentro da tolerância de 1cm, para mais ou para menos, e os perfis teóricos com uma tolerância de 2cm, também para mais ou para menos.

2.3.3 – *Controlo*

O grau de compactação das camadas é verificado por determinação do índice de vazios, utilizando-se para o efeito os valores de baridade *in situ* obtidos no ensaio de garrafa de areia (cone de 6") e relacionando os mesmos com a baridade máxima teórica. Estes ensaios são realizados com uma frequência de 1 ensaio por 400m², em cada camada. Esta frequência é

aumentada quando a execução das camadas não esteja a decorrer de forma mais satisfatória.

Finalmente, a verificação das condições expressas em 2.3.1 é feita sistematicamente de 300 em 300 m por faixa, ou seja, aproximadamente, com um ensaio por 2500 m², em cada camada.

2.4 – Misturas betuminosas cilindradas a quente

2.4.1 – Materiais

Indicam-se no quadro seguinte as prescrições:

PRESCRIÇÕES	MISTURA BETUMINOSA DENSA	BETÃO BETUMINOSO
Dim. máx. dos inertes (mm)	25	20
- Coeficiente de desgaste do ensaio de Los Angeles (%)	≤ 32	≤ 20
- Índice de lamelação (%) *	≤ 20	≤ 15
- Equivalente de areia (%) **	≥ 40	≥ 40
- Tipo de betume	Pen. 60-70	Pen. 70-70
* Determinado na fracção retida no peneiro de 10 mm ** Determinado na mistura de agregado sem "filler"		

Tratando-se de agregados para betão betuminoso, o índice de lamelação, para a determinação do qual é seguido o "Mode Operatoire G II – Mesure du Coefficient d'Aplatissement des Granulats, 1971, do LCPC", é também examinado nas fracções granulométricas 10/12 mm e 12/19 mm. Nestes casos, o valor não deve exceder 22%.

2.4.2 – Execução

2.4.2.1 – Fabrico e características

O início dos trabalhos de fabrico e espalhamento de misturas betuminosas só se processa depois de aprovado pela Fiscalização o necessário estudo laboratorial e vistoriada a camada de base. Por norma, é aplicada na superfície da base uma rega de impregnação em emulsão aniónica de rotura lenta (tipo ASTM SS-1) à taxa de 1,750 kg/m², diluída a 50% em água. Dada a textura

muito fechada da superfície que se obtém com o “tout-venant”, os resultados da impregnação não têm sido os mais satisfatórios.

Tratando-se da camada de desgaste em betão betuminoso, os trabalhos só têm início depois de vistoriada e aprovada a execução da camada de mistura betuminosa densa que leva uma rega de aderência em emulsão catiónica de rotura rápida (tipo ASTM CRS-1) à taxa de 700 g/m².

As fórmulas de trabalho especificam concretamente:

- a curva granulométrica da mistura dos inertes;
- o teor em ligante betuminoso;
- a natureza dos inertes e do ligante;
- a baridade máxima teórica;
- a baridade obtida no ensaio Marshall.

Os inertes utilizados no fabrico de betão betuminoso foram de natureza basáltica e a sua granulometria enquadrou-se no fuso granulométrico adoptado do tipo IV b do Asphalt Institute. Por outro lado, os inertes utilizados no fabrico da mistura betuminosa densa foram de natureza calcárea e a sua granulometria enquadrou-se no fuso granulométrico adoptado do tipo IV c do Asphalt Institute.

Com base no controlo efectuado pode dizer-se que foram satisfeitas as especificações exigidas para as misturas betuminosas que se discriminam no quadro seguinte:

CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO MARSHALL	MISTURA BETUMINOSA Densa	BETÃO BETUMINOSO
Estabilidade (75 pancadas) kg	≥ 800	800-1200
Deformação (mm)	3-5	3-5
Módulo de rigidez Marshall (kg/mm)	≥ 250	≥ 300
Índice de vazios (%)	3-5	4-6
Grau de saturação em betume (%)	75-85	70-80

Nos dois lanços em construção, o do Fogueteiro a Setúbal e o de Vila Franca de Xira a Aveiras de Cima, as misturas betuminosas foram fabricadas em centrais de tipo descontínuo, com capacidade de produção de 150 a 160 ton/hora.

2.4.2.2 – *Espalhamento*

O espalhamento de misturas betuminosas foi efectuado através de espalhadoras de grande largura (8 a 9 m). No que respeita ao controlo de nivelamento, recorreu-se, numa fase inicial, ao fio de nivelamento tanto para a execução da camada de regularização em mistura betuminosa densa como para a execução da camada de desgaste em betão betuminoso.

A análise do grau de irregularidade da superfície, em perfil longitudinal, revelou que a mesma apresentava uma ondulação cíclica de pequeno comprimento de onda (1 a 2 m) e de pequena amplitude (1 a 2 mm), aquém dos valores limites estipulados no Caderno de Encargos.

Embora as ondulações acima referidas não provocassem desconforto palpável, julgou-se conveniente debruçar-se sobre o problema. Assim, chegou-se à conclusão de que a causa principal, a que se juntariam outras secundárias tais como paragens frequentes da espalhadora, utilização de fio de nivelamento com tensão menos indicada, etc., fosse, na realidade, o emprego de espalhadoras de grande largura. As medidas tomadas para diminuir os efeitos da ondulação e que vieram a melhorar bastante o grau de irregularidade, foram as seguintes:

- eliminação da vibração da lâmina alisadora da espalhadora;
- diminuição das paragens da espalhadora, assegurando-se um abastecimento contínuo da mistura betuminosa;
- não adopção do fio de nivelamento para o controlo da camada de desgaste para o que se passou a recorrer ao processo de “vis calées”;
- manutenção do fio de nivelamento para o controlo da camada de regularização em mistura betuminosa densa, tendo-se aumentado a tensão no fio e diminuído o espaçamento dos suportes de fio.

Está previsto para obras futuras o emprego de duas espalhadoras trabalhando em paralelo em vez de uma de grande largura. No que respeita às prescrições, introduziram-se alterações no Caderno de Encargos definindo-se não só a altura das irregularidades (uma elevação ou uma depressão) acusada através da régua móvel de 3 m, de registo automático, como também a frequência das irregularidades.

2.4.2.3 – *Compactação*

Quando à compactação, pôde verificar-se que um conjunto de cilindros, com um ou dois pneumáticos à frente, um de três rolos atrás e, a seguir um

de pneumáticos ou de rasto liso, assegura uma compactação eficiente. Os graus de compactação de campo, em amostras colhidas por carotagem, foram da ordem de 95% dos valores de baridade máxima teórica.

2.4.2.4 – *Prescrições relativas a espessuras e graus de irregularidade*

O exame do grau de irregularidade em pergil longitudinal e transversal era feito através de uma régua de 3 m. Presentemente recorre-se a uma régua móvel de 3 m, de registo automático.

As prescrições adoptadas em relação às espessuras das camadas betuminosas e bem assim em relação ao grau de irregularidade são as seguintes:

a) Para o caso da camada de mistura betuminosa densa

Uma tolerância de 12 mm em relação aos perfis teóricos, devendo a média das medidas de nivelamento respeitar os perfis teóricos com a tolerância, para mais ou para menos, de 10 mm. A espessura do tapete, após a compactação não deverá apresentar desvios de 10 mm em relação à espessura do projecto e, por outro lado, a média das medidas de espessura não deverá ser inferior à espessura definida no projecto.

A superfície não deve apresentar mais do que 4 irregularidades de 5 mm nem mais de 40 irregularidades de 3 mm, numa extensão de 300 m, por via. Para este efeito, uma irregularidade é considerada como uma depressão ou uma elevação da superfície.

b) Para o caso da camada de desgaste em betão betuminoso

Uma tolerância de 8 mm em relação aos perfis teóricos, devendo a média das medidas de nivelamento respeitar os perfis teóricos com uma tolerância, para mais ou para menos, de 10 mm.

A espessura do tapete, após a compactação não deverá apresentar desvios, para mais ou para menos, de 10 mm em relação à espessura definida no projecto. Por outro lado, a média das medidas de espessura não deverá ser inferior à espessura definida no projecto.

A superfície do tapete não deve apresentar mais de 20 irregularidades de 3 mm nem mais de 2 irregularidades de 5 mm, numa extensão de 300 m, por via. As prescrições antigas só definiam a flecha máxima debaixo da régua.

Na camada de desgaste é controlada também a rugosidade geométrica através do ensaio de “altura de areia” e foram obtidos valores da ordem de 0,8 mm.

2.4.3 – *Controlo*

Em cada dia de trabalho são realizados os seguintes ensaios e verificações pelo empreiteiro:

- 2 granulometrias de inertes na central asfáltica;
- 2 ensaios Marshall, com mistura betuminosa colhida à saída da central;
- 1 ensaio de determinação da baridade de campo, em provetes obtidos por carotagem;
- 1 ensaio de determinação do teor em aglutinante.

Com maior frequência e quase ao longo de todo o dia de trabalho, são também efectuadas pela Fiscalização as seguintes verificações:

- registo de temperatura das misturas betuminosas, à saída da central, à chegada dos camiões ao local do espalhamento e no inícios da compactação;
- registo de espessuras;
- verificação do grau de irregularidade em perfil pela régua e da rugosidade.

No domínio do controlo, pode dizer-se assim que existem três campos de actuação:

- controlo de materiais (2.4.1);
- controlo de qualidade das misturas betuminosas e do grau de compactação de campo (2.4.2);
- controlo de espessuras, do grau de irregularidade e da rugosidade (2.4.2).

Qualquer alteração das características dos materiais e/ou das misturas betuminosas, logo que detectada, é levada ao conhecimento do empreiteiro para introduzir as necessárias modificações. Pode dizer-se que neste campo, houve, na generalidade, a melhor colaboração dos empreiteiros. No entanto, julga-se útil registar que houve dois casos que motivaram um desentendimento temporário devido ao facto de as prescrições não estarem suficientemente pormenorizadas (coeficiente de forma de inertes e limitação de irregularidades da superfície do pavimento). Daí que, com base na experiência adquirida, se esforça no sentido de melhorar tanto quanto possível o clausulado do Caderno de Encargos.