



CÂMARA MUNICIPAL AVEIRO

REFORMULAÇÃO DO NÓ DA AVENIDA DA UNIVERSIDADE (ISCAA)

AVENIDA DA UNIVERSIDADE - AVEIRO

REDE RODOVIÁRIA

PROJETO DE EXECUÇÃO

ÍNDICE

PEÇAS ESCRITAS

1	INTRODUÇÃO	4
2	OBJETIVO	4
3	DESCRIÇÃO GERAL.....	4
4	Pavimentação.....	5
5	Verificação Estrutural do Pavimento.....	6
6	Terraplenagem	11
7	DÚVIDAS OU OMISSÕES.....	12

PEÇAS ESCRITAS

I REDE RODOVIÁRIA I

| MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA |

1 INTRODUÇÃO

O projeto de **Rede Rodoviária** é referente ao Projeto de Execução da obra de **Reformulação do Nó da Avenida da Universidade (ISCAA)**, a localizar no entroncamento da **Avenida da Universidade** com a **Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários**, em **Aveiro**, requerido pela **Câmara Municipal de Aveiro**, foi executado cumprindo todas as disposições legais e regulamentares aplicáveis.

2 OBJETIVO

O presente projeto respeita ao Projeto de Execução da obra de construção de uma rotunda na interseção das duas vias identificadas acima.

Com a construção da rotunda pretende-se aumentar a capacidade desta interseção em termos de escoamento de tráfego, eliminando a atual situação de entroncamento com sinalização luminosa.

Encontra-se ainda previsto executar um novo acesso ao Campus da Universidade, com faixa de rodagem para veículos e trajetos cicláveis.

Uma vez que está rotunda integra o início de um outro projeto em curso, “Trajeto Ciclável entre a Universidade de Aveiro e a Estação da CP”, serão também previstos trajetos cicláveis na periferia da rotunda e na concordância com a Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários.

3 DESCRIÇÃO GERAL

3.1 TRAÇADO

A rotunda fará a absorção de 5 ramos, terá uma faixa de rodagem com 2 vias, um ilhéu central com 20 m de diâmetro e um DCI 41,8 m.

- Concordância com o Acesso ao Campus da universidade

O novo acesso foi projeto de modo a ser coincidente o mais possível com o atual acesso ao parque de estacionamento da Universidade de Aveiro.

Em planta, é constituído por 2 alinhamentos retos e por duas contracurvas, ambas com raio de 100 metros.

Em perfil longitudinal, é constituída por 2 trainéis com inclinações de -0,38%, 0,314%, concordados por uma curva verticais concavas de raio 1000 metros conforme indicado no perfil longitudinal.

- Concordância com a Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários

Em planta, é constituído por 1 alinhamento reto e por uma curva com raio de 410 metros.

Em perfil longitudinal, é constituída por 1 trainel com inclinação de 0,443% conforme indicado no perfil longitudinal.

Nos perfis longitudinais foram estabelecidos trainéis com a inclinação adequada para se adaptar às condições de modelação dos arruamentos existentes, garantindo boas condições de circulação.

Na definição da rasante procurou-se que esta satisfaça o melhor possível as condicionantes de projeto, nomeadamente, escoamento eficaz das águas pluviais e ligação aos arruamentos existentes.

O perfil transversal-tipo da via de Acesso ao Campus da Universidade, terá uma faixa de rodagem com 7 m de largura com trajetos cicláveis pavimentados de 1,5 m (em ambos os sentidos), formando no geral dois planos com inclinação transversal de 2,5% para o exterior. Os passeios terão no mínimo 3 metros de largura e serão pavimentados em micro cubo de calcário.

O perfil transversal-tipo da Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários, terá uma faixa de rodagem com 6 m de largura com trajetos cicláveis pavimentados de 1,5 m (em ambos os sentidos), formando no geral dois planos com inclinação transversal de 2,5% para o exterior. Os passeios terão no mínimo 3 metros de largura e serão pavimentados em pedra chão hexagonal de cor cinza.

Na presente obra, serão ainda redefinidos os acessos ao arruamento secundário, paralelo à Avenida da universidade, conforme representado nas peças desenhadas.

4 PAVIMENTAÇÃO

Para o presente estudo foram calculados valores do Tráfego **Médio Diário Pesado Anual (TMDP)** de **234**, para um valor de Eixo-Padrão de 130KN.

De acordo com tráfego esperado e carga por eixo preconizou-se uma estrutura do pavimento que no presente projeto é constituída por:

4.1.1 Faixa de Rodagem e bolsas de estacionamento

- Camada de desgaste em ASPHALT CONCRET AC 14 SURF 50/70 (BB), com betume de penetração 50/70, com 0.06m de espessura, após rega de colagem com emulsão de betume catiónica de rotura rápida (ECR-1) à taxa média de 0.5Kg/m²;
- Camada de regularização em ASPHALT CONCRET AC 20 REG 50/70 (MB), com 0.07m de espessura, após rega de colagem com emulsão catiónica de rotura rápida (ECR-1), à taxa médias de 0.5Kg/m².
- Camada de base em ASPHALT CONCRET AC 20 BASE 50/70 (MB) com betume de penetração nominal 50/70, com 0.07m de espessura, incluindo impregnação preliminar

com emulsão catiónica do tipo ECI à taxa média de 1.0 Kg/m² e rega de colagem com emulsão catiónica de rotura rápida, à taxa média de 0.5Kg/m².

- Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0.15m de espessura.
- Camada de sub-base em material britado de Granulometria extensa, com 0.15m de espessura.
- Leito de pavimento em material britado de granulometria extensa, com 0.15m de espessura.

4.1.2 Passeios

- Camada de desgaste em ASPHALT CONCRET AC 14 SURF 50/70 (BB), com betume de penetração 50/70, com 0.05m de espessura pintada à cor amarelo torrado, incluindo impregnação preliminar com emulsão catiónica do tipo ECI à taxa média de 1.0 Kg/m²;
- Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0.15m de espessura.

4.1.3 Ciclovia

- Camada de desgaste em ASPHALT CONCRET AC 14 SURF 50/70 (BB), com betume de penetração 50/70, com 0.05m de espessura pintada à cor vermelho, incluindo impregnação preliminar com emulsão catiónica do tipo ECI à taxa média de 1.0 Kg/m²;
- Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0.15m de espessura.

5 VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

A verificação da estrutura de pavimento projetada foi desenvolvida para um período de vida útil de 20 anos e segundo o designado método racional. Para efeitos da verificação estrutural, recorreu-se ao programa de cálculo **BISAR3.0**, concebido pela **SHELL**, cuja utilização permitiu proceder à determinação de tensões e deformações nos pavimentos induzidas pelas solicitações impostas pelo tráfego nos mesmos.

Tendo em vista o dimensionamento de adequada estrutura de pavimento, e segundo a metodologia preconizada pelo “*Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*” da EP (MCP), procedeu-se de seguida à determinação dos valores de tráfego acumulado, expressos em eixos padrão de 130 kN, que poderão vir a solicitar os pavimentos ao longo do período de vida útil adotado (20 anos).

Para este efeito, consideraram-se os fatores de agressividade estabelecidos no Manual em função de cada classe de tráfego definida, os quais permitem a conversão dos números acumulados de passagens de veículos pesados em eixos padrão de 130 kN.

5.1.1 Condição de fundação

Para efeitos da caracterização mecânica da fundação das estruturas de pavimento e, por conseguinte, da verificação da capacidade de carga das mesmas admitiu-se, face às características geológicas e geotécnicas da zona bem como as soluções de leito do pavimento

preconizado, um valor de 70 MPa para o módulo de deformabilidade. Segundo o “Manual de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional” da EP, a um módulo de deformabilidade de 70 MPa corresponde uma classe de Fundação F2.

Considerou-se ainda de acordo com o estudo geotécnico, no cálculo estrutural realizado, que a fundação dos pavimentos pode ser caracterizada por um Coeficiente de *Poisson* de 0,40.

5.1.2 Características dos materiais a utilizar

O dimensionamento de uma estrutura de pavimento implica, para além do conhecimento das características geológico-geotécnicas dos materiais que irão constituir a fundação da mesma e das solicitações de tráfego a que estará sujeita ao longo do seu período de vida útil, a definição das características mecânicas das camadas que a constituem, nomeadamente, dos seus módulos de deformabilidade e Coeficientes de *Poisson*.

5.1.3 Camadas granulares

De acordo com a metodologia proposta pela *SHELL*, o módulo de deformabilidade de uma camada de sub-base constituída por material britado de granulometria extensa (E_{sb}) pode ser obtido a partir da espessura, em mm, da mesma (h_{sb}) e do módulo de deformabilidade da fundação (E_f), através de: $E_{sb} = 0,2 \times h_{sb}^{0,45} \times E_f$.

De acordo com o “Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional” do IEP, os módulos de deformabilidade das camadas de base em material granular britado, podem ser obtidos, através de uma relação linear, a partir dos módulos das camadas granulares subjacentes ($E_b \approx 2 \times E_{sb}$).

Deste modo obteve-se módulos de deformabilidade de 280 MPa e 140 MPa para camada de base e sub-base e leito de pavimento em ABGE, respetivamente. No entanto, para efeitos de modelação estrutural considerou-se apenas uma camada em ABGE, com uma espessura total de 45 cm e um módulo de deformabilidade de 200 MPa, e um Coeficiente de *Poisson* de 0,40.

5.1.4 Misturas betuminosas

Para efeitos de dimensionamento da estrutura de pavimento preconizada, e no que se refere à contribuição da camada de desgaste executada, considerou-se que a mesma pode ser caracterizada por um módulo de deformabilidade de **4300 MPa**.

Preconiza-se a aplicação de **macadame betuminoso** subjacente à camada de desgaste com características de regularização e base.

Na execução das camadas constituídas por betão betuminoso e macadame betuminoso, prevê-se a utilização de betumes com uma penetração, a 25°C, entre 40 e 70.

Para as camadas constituídas por este tipo de misturas, considerou-se um Coeficiente de *Poisson* de 0,35 e módulos de deformabilidade determinados através da metodologia que se apresenta de seguida.

Esta metodologia tem por base, nomeadamente, a informação disponível acerca do regime das temperaturas do ar na região, as condições de circulação dos veículos pesados e as características das misturas betuminosas, quer no que toca ao tipo de betume, quer à composição das misturas em termos de percentagens volumétricas.

Condições climáticas

As condições climáticas locais são tidas em consideração através da determinação dos valores das temperaturas de projeto em função da localização da obra.

Estas temperaturas, chamadas de “cálculo”, foram consideradas 23,0°C para a camada de desgaste e 24,0°C para a camada de regularização e base.

Características das misturas betuminosas

Para o caso de betume puro de penetração 60/70, tem-se $pen(25^{\circ}C) = 65,0 \times 10^{-1}$ mm (valor médio) e 40/50 tem-se $pen(25^{\circ}C) = 45,0 \times 10^{-1}$ mm (valor médio).

No entanto, devido ao endurecimento durante o processo de fabrico e colocação da mistura em obra, o que se traduz numa alteração das características do betume, admite-se em geral que, após entrada em serviço, a penetração do betume é de cerca de 65% do valor inicial:

$$pen_{serviço} = 0.65 \times pen_{inicial} = 42,25 \times 10^{-1} \text{ mm (camada de desgaste)}$$

$$pen_{serviço} = 0.65 \times pen_{inicial} = 29,25 \times 10^{-1} \text{ mm (camada de regularização e base)}$$

Quanto à composição das misturas, considerou-se, para efeitos de dimensionamento, para o betão betuminoso uma percentagem volumétrica de betume igual a 12% e uma percentagem de vazios de 4%. Para o macadame betuminoso considerou-se uma percentagem volumétrica de betume igual a 10% e uma percentagem de vazios de 6%.

Cálculo dos módulos de deformabilidade

A determinação dos módulos de deformabilidade das misturas betuminosas implica a determinação do módulo de rigidez do betume.

A rigidez do betume depende da temperatura de amolecimento anel e bola (T_{ab}) recuperada do betume (após colocação em obra), e daquela em que provavelmente se encontrará a mistura (T), bem como, do tempo de aplicação da carga (t), que é função da velocidade de projecto (v), tendo sido considerada, no cálculo do módulo de rigidez do betume, a expressão de Ullidtz e Peattie, que traduz o ábaco de Van de Pöel: $E_{betume} = 1.157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times e^{-IP} \times (T_{ab} - T)^5$.

O tempo de aplicação da carga foi determinado a partir da velocidade de circulação, v .

O índice de penetração do betume (em serviço), IP , que traduz a sensibilidade da penetração do betume à temperatura, pode ser determinado da seguinte forma:

$$IP = \frac{1951 - 500 \times \log(pen_{25}) - 20 \times T_{ab}}{50 \times \log(pen_{25}) - T_{ab} - 120.1}$$

O valor da temperatura de amolecimento do betume, obtido em ensaio de anel e bola, pode ser estimado a partir de: $T_{ab} = 98.4 - 26.4 \times \log(\text{pen}_{25})$.

Por fim, segundo a metodologia proposta pela SHELL, o módulo de deformabilidade da mistura pode ser obtido, a partir da rigidez do betume e da composição da mistura (teor volumétrico de agregado, V_a , de betume, V_b , e de vazios, V_v), da seguinte forma:

$$E_{\text{mistura}} = E_{\text{betume}} \times \left(1 + \frac{2.5 \times C_v}{n \times (1 - C_v)} \right)^n,$$

em que: $n = 0.83 \times \log\left(\frac{4 \times 10^4}{E_{\text{betume}}}\right)$, $C_v = \frac{V_a}{(V_a + V_b) \times (0.97 + V_v)}$.

No quadro que se apresenta de seguida incluíram-se os resultados obtidos na aplicação da metodologia de cálculo adotada.

Tendo em conta a influência das condições climáticas durante a fase de construção, e adotando a metodologia anteriormente descrita, para efeitos de dimensionamento da solução de pavimentação proposta, obtiveram-se os seguintes módulos de deformabilidade:

Velocidade Base	Arruamentos da Zona Industrial	
	Betão Betuminoso	Macadame Betuminoso
60 km/h	4300 MPa	5500 MPa

Metodologia

O cálculo efetuado teve por base o método racional, o qual recorre ao cálculo dos estados de tensão e de deformação induzidos numa estrutura de pavimento, e respetiva fundação, quando esta é solicitada pelos eixos dos veículos pesados.

Os estados de tensão e de deformação são determinados admitindo um modelo de comportamento em que o pavimento é assimilado a um conjunto de camadas sobrepostas, indefinidas no plano horizontal, assentes sobre a respetiva fundação, sendo esta considerada como uma camada infinita em profundidade.

Admite-se que os materiais constituintes das camadas têm um comportamento elástico linear e isotrópico, sendo as respetivas características mecânicas estabelecidas em função do tipo de materiais e tendo em conta diversos parâmetros.

A ação dos eixos dos veículos pesados, durante o período de vida de projeto, é expressa em termos de um número equivalente de passagens de um eixo simples padrão, tendo sido considerado para este, no presente estudo, o valor de 130 kN. Admite-se, para este eixo, um rodado duplo, com 37,5 cm de afastamento, sendo a área de impressão dos pneus circular (raio = 12,5 cm).

Critérios de dimensionamento

Com vista à avaliação do comportamento de uma dada estrutura de pavimento, torna-se necessário estabelecer critérios que traduzam os estados limites de ruína do pavimento, tendo-

se adotado, no presente estudo, os prescritos pela EP, os quais são definidos em função de um número acumulado de eixos padrão.

Como estados limites de ruína do pavimento, consideraram-se os seguintes:

- Fendilhamento acentuado à superfície do pavimento, em resultado da rotura por fadiga em tração das camadas betuminosas;
- Formação excessiva de cavados de rodeira, em consequência de deformações permanentes da fundação.

Tendo sido adotada uma metodologia baseada no cálculo dos estados de tensão e de deformação induzidos nas camadas do pavimento, e na respetiva fundação, pela passagem de eixos padrão, foram considerados os seguintes critérios para os estados limites:

- Limitação da extensão máxima de tração na zona inferior das camadas betuminosas, o que visa impedir a rotura por fadiga em tração daquelas camadas durante o período de dimensionamento, através da expressão que traduz a lei de fadiga proposta pela *SHELL*:

$$\varepsilon_{adm}^t = (0,856 \times V_b + 1,08) \times E^{-0,36} \times N^{-0,20},$$

sendo, N o número acumulado de passagens do eixo padrão durante a vida útil do pavimento, e V_b e E, respetivamente, a percentagem volumétrica de betume da mistura e o módulo de deformabilidade da camada betuminosa inferior.

- Limitação, com base no critério proposto pela *SHELL*, da extensão vertical de compressão no topo da fundação do pavimento, com vista a reduzir a sua contribuição para a ocorrência de deformações permanentes e a consequente formação de cavados de rodeira, da seguinte forma:

$$\varepsilon_{adm}^c = 1,8 \times 10^{-2} \times N^{-0,25},$$

em que, N é o número acumulado de passagens do eixo padrão durante o período de vida útil do projecto. O critério considerado admite uma probabilidade de ruína, antes do final do período de vida útil, por deformação permanente da fundação de 5%.

Verificação Estrutural

Tendo em conta as propriedades mecânicas dos materiais cuja utilização se preconiza na execução das camadas constituintes das estruturas de pavimento projetadas, determinaram-se, recorrendo ao programa de cálculo **BISAR 3.0**, os valores que ocorrem quando a mesma é solicitada pela ação de um eixo padrão de 130 kN, designadamente as extensões máximas de tração na base das camadas betuminosas ($\varepsilon_{t,máx}$) e as extensões máximas de compressão no topo da fundação ($\varepsilon_{c,máx}$).

A partir dos valores das extensões máximas que ocorrem nas estruturas de pavimento, quando solicitadas por um eixo padrão de 130 kN, e com base nos critérios de dimensionamento atrás enunciados, foi possível determinar, para efeitos de verificação da capacidade de carga, os números acumulados de eixos padrão admissíveis, ou seja, que as estruturas permitem suportar antes de

ocorrer a rotura por fadiga das camadas betuminosas ($NAEP_{adm,bet}$) ou por deformação permanente da fundação ($NAEP_{adm,fund}$).

Desta forma, é possível efetuar uma análise comparativa entre o volume acumulado de tráfego previsto para o período de vida útil de projeto ($NAEP_{dim}$), e os valores admissíveis determinados pelos critérios de ruína, recorrendo à expressão:

$$N_{130}^{adm} = 365 \times (TMDA)_p \times c \times \alpha \times p$$

em que:

N^{adm} é o número acumulado de passagens do eixo padrão

t é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado

α é o fator de agressividade do tráfego

p período de dimensionamento

C é o fator de crescimento do tráfego, que tem em conta o período de dimensionamento (p) e a taxa média de crescimento anual (t), sendo dado por:

$$C = \frac{(1+t)^p - 1}{p \times t}$$

No quadro seguinte indicam-se os resultados obtidos para as estruturas que foram dimensionadas com base nesta metodologia:

DEFORMAÇÕES / ACÇÕES ADMISSÍVEIS				"Capacidade"						
$e_t \times 10^{-6}$	$NAEP_{t,130 \text{ kN}}$	$e_c \times 10^{-6}$	$NAEP_{c,130 \text{ kN}}$	$NAEP_{adm,130 \text{ kN}}$	$(TMDA)_p$	Condicionante	p	t	a	c
140,2	6,90E+06	303,3	2,30E+07	6,90E+06	234	Fadiga	20 anos	3%	3	1,34

Quadro 2 – Resultados obtidos no cálculo do volume de $(TMDA)_p$

6 TERRAPLENAGEM

Os trabalhos de terraplenagem para execução dos arruamentos envolverão maioritariamente a realização de escavações na abertura de caixa e nas zonas de corte, os aterros serão mais expressivos junto à rotunda.

Com base nas condições geológicas e geotécnicas específicas na zona de implantação do traçado, sintetizam-se, as principais medidas construtivas adotadas no projeto de terraplenagem.

Nos trabalhos de terraplenagem deverão ser adotadas como medidas principais as seguintes:

- Remoção com ripagem dos pavimentos existentes e transporte a vazadouro autorizado dos produtos sobrantes de acordo com o Plano de Gestão de resíduos;
- Execução de abertura de caixa com 0,65 m de espessura média (o material removido deverá ser conduzido a depósito para posterior possibilidade de reutilização);
- Execução das escavações com equipamentos mecânicos de terraplenagem, com recurso a lâmina ou ripper instalados em tratores de rastos, com potências equivalentes a uma máquina do tipo Cat D8L, ou a máquinas giratórias com potências equivalentes a uma máquina do tipo Cat 225C, em escavações em valas que não permitam a utilização de tratores de rastos.
- Execução dos aterros com os saibros graníticos provenientes de empréstimos ou de material proveniente dos trabalhos de escavação. Os materiais deverão, assim, corresponder a solos com características mínimas que os permitam incluir na classe SMD da Classificação Unificada e nos grupos A-1-b e A-1-a da Classificação Rodoviária, e na classe S4 do Catálogo de Pavimentos da JAE;
- Execução de aterros nas zonas adjacentes aos muros de vedação sendo executados manualmente com camadas sucessivas de dez (10) cm, devidamente regadas e compactadas com um maço mecânico. Estas camadas serão compactadas até se atingir a compactação definida nas condições técnicas especiais;
- Adoção de uma inclinação de 1/1 (H/V) para os taludes de escavação e de 3/2 para os taludes de aterro;
- A requalificação do arruamento, exigirá, ainda, a execução de trabalhos prévios de demolição de árvores, remoção da vegetação e de materiais soltos, remoção de terra vegetal (o material removido deverá ser conduzido a depósito para posterior de reutilização).

As áreas de escavação de aterro dos perfis e o cálculo do volume de terras foram efetuados por cálculo automático e constam das peças desenhadas dos perfis transversais e das peças escritas.

6.1.1 Leito de Pavimento

Para o leito de pavimento poderá ser necessário saneamento de solos impróprios para fundação da estrutura de pavimento no arruamento, caso se encontrem solos com classificação dos solos segundo o sistema AASHTO que sejam do tipo A-2-7, A4, A-5, A-6, A-7.

7 DÚVIDAS OU OMISSÕES

Todas as omissões desta memória descritiva e justificativa serão remetidas aos Regulamentos em vigor, às indicações da Fiscalização da Obra e Serviços Municipalizados.

PEÇAS DESENHADAS

P1- Rede Rodoviária

PROJ.	ESP.	Nº	DESIGNAÇÃO	ESCALA
1049.1	TRR	01	Esboço Corográfico	1/25000
1049.1	TRR	02	Levantamento Topográfico do Terreno Existente	1/200
1049.1	TRR	03	Amarelos e Vermelhos	1/200
1049.1	TRR	04	Planta de Implantação	1/200
1049.1	TRR	05	Planta de Implantação	1/200
1049.1	TRR	06	Perfis Transversais Tipo	1/200
1049.1	TRR	07	Pormenores	1/20 1/50
1049.1	TRR	08	Pormenores de Pavimentação - Passadeiras	1/50
1049.1	TRR	09	Pormenores	1/50
1049.1	TRR	10	Perfis Longitudinais	1/500
1049.1	TRR	11	Perfis Transversais	1/200
1049.1	TRR	12	Plano de Plantações	1/200