

# Os pavimentos e a sua evolução

Nada é tão simples quanto aparenta. Também os pavimentos têm os seus segredos. Um pavimento é um todo constituído por camadas, onde cada uma delas possui características particulares, desempenhando certas funções.

Contrariamente a uma opinião generalizada em muitos sectores da opinião pública, o pavimento não é apenas a camada superficial onde a viatura rola. Com efeito, para que essa camada superficial possa funcionar em condições adequadas é necessário que existam outras que lhe estão subjacentes e que vão permitir a transferência das solicitações transmitidas pelos veículos para os níveis mais baixos, assegurando as convenientes condições de degradação de cargas. O pavimento resulta, assim, numa estrutura multicamada. Nele, cada camada possui funções e características particulares e contribui para o todo que é o pavimento.

A camada de rolamento, a única visível para o automobilista e para o peão, deve apresentar uma regularidade e um desempenho adequados, geralmente com uma pendente mínima para assegurar uma drenagem conveniente para as águas resultantes da precipitação atmosférica e outras que possam afluir, reduzindo a possibilidade de ocorrência de fenómenos de hidroplanagem. Para além de camada de rolamento é também designada de camada de desgaste porque as sucessivas passagens dos veículos, sobretudo dos pesados, constituem solicitações significativas que vão provocar uma abrasão apreciável, levando também à mobilização das características resistentes dos materiais que constituem aquela camada. Por essas razões, é necessário que ela seja constituída por materiais com características de resistência elevadas. Deve permitir a mobilização do atrito, segundo a direcção longitudinal (para evitar que o veículo “derrape” em ocasião de travagem) e segundo a direcção transversal (em curvas, sobretu-



*Nos aglomerados urbanos do Crescente Fértil são já visíveis vestígios de calçadas primitivas.*

do de raio pequeno, para contrariar o efeito prejudicial da força centrífuga). Também a camada de rolamento deve ser impermeável, para evitar a sua degradação precoce quando em presença de tráfego agressivo (sobretudo veículos pesados, do tipo camião, tractores com reboque ou atrelados) e condições climáticas adversas. Paralelamente, os parâmetros ambientais deverão ser assegurados por forma a conseguir uma condução confortável, sem ruído, e o mais económica possível.

Actualmente, existem vários tipos de pavimentos. E, para cada tipo, as espessuras das várias camadas variam em função do tipo de tráfego, das características dos terrenos de fundação e das condições climáticas. A espessura do pavimento e, conseqüentemente, das camadas que o constituem, aumenta quanto pior forem as ca-

racterísticas geotécnicas dos terrenos de fundação ou quanto mais intenso e maior for o tráfego (este tráfego é expresso em eixos padrão, por exemplo de 100 kN, acumulados para o ano horizonte da obra). A constituição de um pavimento obriga ao seu dimensionamento por processos variados. Uns estão mais baseados no empirismo e na valorização da experiência havida com estruturas congêneres através dos tempos; outros assentam em formulações e em programas de cálculo numérico que procuram modelar o comportamento do pavimento, em função da sua constituição, das condições climáticas, das características dos terrenos de fundação e do tipo de tráfego em presença.

## EVOLUÇÃO DOS PAVIMENTOS

### A Pré-história

As primeiras vias de comunicação, que existiram como tal, estão intimamente associadas ao fenómeno de sedentarização. Aos trilhos sazonais dos recoletores e dos caçadores do Paleolítico sucederam-se os caminhos de pé posto, por onde circulavam pessoas e animais de uma forma mais sistemática. Paralelamente, a concentração urbana levou à definição dos primeiros arruamentos ou ruas, o espaço entre as habitações existentes. Nos aglomerados urbanos do Crescente Fértil são já visíveis vestígios de calçadas primitivas. Geralmente eram simples pedras colocadas de forma alinhada para facilitar a circulação, e colocadas sobretudo em zonas alagáveis ou de terrenos mais lamacentos. Em Portugal, no Castro do Zambujal (Torres Vedras), datado do Calcolítico-Eneolítico (Idade do Cobre e do Bronze) encontraram-se zonas com este

tipo de pavimentos. Com o início da Idade dos Metais, os aglomerados urbanos relevantes ganharam forma com uma maior concentração do número de habitantes. No interior dessas “cidades”, a pavimentação com calçadas generaliza-se. Em Portugal, os castros da Idade do Ferro, particularmente identificados no Norte do país, são um bom testemunho deste tipo de estruturas rodoviárias urbanas e periféricas ao aglomerado. Como exemplos mais paradigmáticos podem mencionar-se as Citânias de Briteiros (Guimarães) e de Sanfins (Paços de Ferreira). No interior da “cidade”, as ruas, com cerca de dois a três metros de largura são muitas vezes pavimentadas com lajes de granito, assim como o estão os largos ou praças onde se cruzam algumas dessas ruelas.

### O Império Romano: lajeados, calçadas e pavimento em solo

As ruas das cidades e as estradas interurbanas, que ligavam os aglomerados entre si, tomaram a sua forma mais actual na Época Romana. A paz romana permitiu a consolidação e o crescimento significativo do tecido urbano e da rede de vias de circulação terrestres entre cidades e aglomerados e, sobretudo, assegurou a sua construção em termos duráveis. O planeamento das estradas teve a abrangência do Império e dos seus nódulos mais vitais e não constitui um simples desígnio local ou regional. Muitas vezes, os romanos apenas reutilizavam ou melhoravam os caminhos terrestres anteriormente existentes, embora seja importante referir que as vias de comunicação mais importantes continuavam a ser os rios e o mar (transporte fluvial e marítimo). Para além de facilitar a circulação de pessoas e bens, de animais e mercadorias, com as vantagens inerentes que lhe estão associadas em termos económicos e sociais, a construção de estradas obedecia a critérios estratégicos. Permitia fazer deslocar exércitos rapidamente de um lado para outro, o que contribuía para assegurar o controlo e o domínio ao eliminar núcleos de resistência ou de contestação ao poder estabelecido. O traçado da estrada romana seguia preferencialmente em linha recta, mas evitava zonas tipograficamente difíceis e tre-



Com o início da Idade dos Metais, a pavimentação com calçadas generaliza-se.

chos que poderiam ser alagáveis. Daí que houvesse uma certa tendência em contornar baixas aluvionares e passar por portelas no cimo das serras ou mesmo procurando seguir linhas de cumeeada.

A estrutura da via estava dependente da sua localização (cidades ou fora das cidades), da sua importância e das características dos terrenos atravessados. Muitas vezes eram de construção muito aligeirada, tendo desaparecido. As ruas e estradas que tinham maior relevância ou que foram construídas de forma mais consistente sobreviveram até aos nossos dias e constituem um marco relevante dos testemunhos arqueológicos romanos. Um dos aspectos mais significativos foi a construção de pontes e outras obras de arte ao longo das estradas para atravessar linhas de água relevantes (por exemplo, as pontes ainda hoje existentes sobre a ribeira da Seda, no Alentejo, ou a de Chaves). Mas também relevante foi a marcação das estradas com marcos que permitiam informações de distância; nas vias mais importantes existia um a cada 1000 passos, cerca de 1478,5 ou 1481,75 metros, e daí o nome de marcos miliários.

A construção das estradas romanas está contemplada em vários documentos. Geralmente, eram relativamente largas, entre três a seis metros de largura, embora a largura média da zona de rodagem fosse de cerca de 3,5 a quatro metros com passeios de um a um metro e meio de cada lado. A estrada era de duas águas ou abau-

lada para os lados para favorecer o escoamento das águas e de ambos os lados havia valetas, geralmente associadas a uma série de pedras colocadas ao alto ou de cutelo e que funcionavam, simultaneamente, como lancil para travamento lateral do material e como face de valeta. Existiam vários tipos de estrutura rodoviária ou de pavimento. Geralmente, os agrimensores ou similares marcavam a largura da estrada e dos passeios, caso existissem. De seguida abriam-se duas valas nos extremos laterais e, entre ambas, removiam-se os terrenos com piores características geotécnicas, que eram substituídos por material de melhor qualidade, geralmente, alternância de pedras médias a grandes (enrocamento) e material granular (areias ou brita miúda). O pavimento final era representado por estas camadas de solo granular compactado com pilões. Este tipo de estradas era designado de *terranae*, e eram as mais habituais, e foram as que se degradaram e mais raramente chegaram aos nossos dias.

No entanto, as vias que ficaram para a posteridade são elementos notáveis de engenho e actualidade. Nestes casos, o pavimento tinha uma espessura da ordem de um a um metro e meio e era construído em quatro camadas horizontais, de acordo com o seguinte perfil transversal:

1. *satumen* – em contacto com o terreno de fundação, colocava-se uma camada, com cerca de 30 a 60 centímetros de espessura, de enrocamento ou de pedras grandes a

médias achatadas unidas por argamassa ou solo. Tratava-se de uma camada essencialmente drenante que, paralelamente, permitia uma redistribuição e uniformização das cargas.

2. *rudus* ou *runderatio* – sobre o *statumen* assentava outra camada que era compactada com pilões manuais, com cerca de 25 centímetros de espessura, constituída por pedras achatadas ou seixos arredondados, fragmentos de tijolos. Tratava-se de uma camada de fecho da camada subjacente.

3. *nucleus* – com uma espessura de 30 a 50 centímetros, era constituído por areias e tijolos agregados por um ligante hidráulico do tipo cal, processando-se a sua construção por camadas sucessivas de cerca de 10 a 20 centímetros de espessura. Era uma camada estrutural do pavimento e como constituída por argamassa também tinha características impermeabilizantes.

4. *pavimentum* ou *summa crusta* – a camada mais superficial. Esta camada de rolamento (*summa crusta*) apresentava diferenças consoante o tipo de estrada: se era uma *viae glareae stratae*, poderia ser constituída por cascalho, gravilha e areia, e esta camada superficial tinha tendência a degradar-se ou erodir-se mais facilmente; se era uma *via silice stratae* era constituída com grandes pedras horizontais ou lajes, que forravam a superfície da estrada e, neste caso, tratava-se de uma camada estrutural e de rolamento; em vez de um lajeado podiam utilizar-se pedras de menores dimensões e obtinha-se uma calçada. Em termos gerais, os conceitos inerentes a este tipo de concepção de pavimento perduraram, mantendo-se até ao séc. XX sem grandes modificações: calçada, lajeado, pavimento compactado, e base tratada com ligante.

#### A Idade Média

Com a decadência do Império Romano, as estradas tornaram-se inseguras, deixou de haver manutenção e as ligações entre regiões reduziram-se. Os traçados das vias romanas foram muitas vezes alterados ou rectificados em vários trechos e os pavimentos beneficiados. A designação do antigo construtor romano perdeu-se, tendo ficado apenas alguns topónimos identificadores (calçada, estrada ou ca-

minho real, antigo, velho). O tráfego que por ali circulava era globalmente baixo (peões, animais, manadas, carroças ou outros veículos de tracção animal) e permitia solicitações relativamente reduzidas; terá sido, essencialmente, a deficiente manutenção que levou à destruição da maioria dos trechos destas vias.

#### A Revolução Industrial e o macadame

Antes do aparecimento do caminho-de-ferro que haveria de revolucionar completamente o transporte terrestre, o advento e o desenvolvimento do Renascimento e posteriormente da Revolução Industrial, com as necessidades de transporte de pessoas e mercadorias, obrigou à construção de novas vias e à reparação das já existentes. De 1800 a 1840, os vários países, e sobretudo o Reino Unido, investiram imenso no sector rodoviário. Os ensinamentos romanos de construção em sucessivas camadas foram recuperados e melhorados. Passaram a utilizar-se equipamentos pesados para acelerar a compactação dos terrenos, surgindo os primitivos cilindros que permitiam rendimentos maiores do que a simples compactação manual com pilões. As calçadas foram constituídas com pedra dura, que servia de camada superficial de rolamento, assente sobre uma camada de material granular ou de assentamento.

Paralelamente, o escocês John London Mac Adam (1756-1836), que teve a seu cargo a administração das estradas da Escócia e mais tarde foi o inspector-geral das estradas de todo o Reino Unido, desenvolveu uma tecnologia que permitiu revolucionar as técnicas de construção de pavimentos e que tem o seu nome (macadame), sendo ainda hoje utilizada com pleno sucesso. Quando surgiu, o macadame era um tipo de pavimento constituído por uma única camada, com cerca de 10 a 20 centímetros de espessura e compactada. Constituída por material granular, com um certo fuso granulométrico (geralmente com diâmetros equivalentes entre três e oito centímetros, a que corresponde a dimensão de uma brita média a grosseira). Quando o tráfego era mais intenso ou quando os terrenos de fundação tivessem fracas características geotécni-

cas ou, ainda, quando o material que constituía o macadame fosse de pior qualidade, adoptavam-se espessuras maiores para aquela camada. De facto, o processo de construção passava por colocar a brita e depois por espalhar camadas de um saibro (uma areia com alguns finos ou um silte). A execução sucessiva de regas e de compactação por cilindro, levava ao fecho dos vazios e à construção de uma camada com características mecânicas adequadas para a circulação de então. Outras vezes, a camada era um *tout-venant*, um material que vinha para a obra tal como era desmontado na pedreira, após reduzir os blocos maiores a dimensões compatíveis. Se o material fosse mais pétreo, na camada superficial, havia vazios maiores e urgia a necessidade de fechar a camada superficial com uma areia fina ou um saibro. Como camada de rolamento, o macadame era excelente para o tráfego do séc. XIX – pessoas, animais e carroças. Actualmente, tem o inconveniente de se degradar de modo rápido com a passagem de veículos pesados, sobretudo, durante os períodos pluviosos. Também no tempo seco, levava à produção de grandes nuvens de poeira durante a circulação de veículos.

#### OS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS

A introdução do betão de cimento e do betume nos pavimentos, no princípio do séc. XX, veio dar um contributo notável, estando na origem dos pavimentos actualmente existentes. Os pavimentos flexíveis e os pavimentos rígidos são os mais comuns, mas existem outros, muitas vezes representando uma simples composição destes e tirando partido das particularidades de algumas das camadas que os constituem.

Nos pavimentos flexíveis, a camada superficial é em betuminoso, assim como o é a camada subsuperficial ou as que ainda lhe ficam imediatamente subjacentes. Cada uma destas camadas betuminosas tem, geralmente, uma espessura de quatro a dez centímetros. São constituídas por material betuminoso que envolve agregados pétreos de alta resistência (basaltos, granitos, grano-dioritos, etc), com dimensões






A introdução do betão de cimento e do betume nos pavimentos, no princípio do séc. XX, veio dar um contributo notável, estando na origem dos pavimentos actualmente existentes.

geralmente reduzidas (diâmetro médio equivalente de três a quatro centímetros). A primeira é a camada de rolamento e, para os casos mais correntes, é constituída por um betão betuminoso. Muitas vezes é designada de “alcatrão” de uma forma incorrecta (porque este produto tem uma origem, constituição e características diferentes do betume, embora se lhe assemelhe na cor escura e na sua capacidade de funcionar como ligante de partículas de rocha). Como primeira camada tem-se utilizado, mais recentemente, um betão betuminoso, “com betumes modificados”, em que se recorre a polímeros, o que beneficia as suas características de adesão e de resistência global. A segunda camada, e as outras betuminosas que lhe estão subjacentes, desempenham as funções de camadas de regularização ou de transição (muitas vezes sendo designadas de “binder”). São muito semelhantes à primeira, embora constituídas por materiais mais pobres (quer no betume quer nos agregados pétreos quer, ainda, no teor em betume, etc.) e é habitual serem misturas betuminosas densas. No entanto, a camada mais relevante nos pavimentos flexíveis é a vulgarmente designada de “base”. Trata-se da camada estrutural e é geralmente em material granular. É ela que vai suportar, essencialmente, as solicitações induzidas pelo tráfego, assegurando as degradações compatíveis com a necessidade de evitar a mobilização excessiva das características resistentes dos terrenos de fundação. Essa camada é constituída, geralmente, por um agregado britado de granulometria contínua (ABGC), produ-

zido artificialmente em pedra, e vulgarmente conhecido por *tout-venant*, tendo de respeitar um fuso granulométrico adequado. Para reforço desta camada de base podem ser utilizados ligantes betuminosos (macadames betuminosos fabricados em central ou por penetração de regas betuminosas) ou ligantes hidráulicos (solo-cimento, grave-cimento, com cal, etc.) e dar origem a outros tipos de pavimentos (pavimentos semi-rígidos, semi-flexíveis, etc.).

Nos pavimentos rígidos, a camada estrutural é uma laje de betão de cimento sobre a qual o veículo rola, ou seja, a camada estrutural é a própria camada de desgaste. A espessura das lajes é variável para cada caso. A laje de betão obriga à existência de juntas (longitudinais e transversais), o que provoca uma condução menos agradável. Também são essas juntas que estão na origem da degradação deste tipo de pavimentos, porque embora impermeabilizadas após a construção permitem gradualmente a passagem de água através delas, o que leva à ascensão de finos (bombagem de finos) com a correspondente formação de ocós sobre as lajes. As lajes de betão assentam sobre uma camada de material granular que tem por função, essencialmente, assegurar a uniformização de assentamentos. À semelhança do referido para o caso dos pavimentos flexíveis, esta camada é geralmente constituída por um agregado britado de granulometria contínua (ABGC). No entanto, as suas funções são distintas da base do pavimento flexível porque aqui não é uma camada estrutural mas tão somente uma camada de re-

gularização onde se vai assentar a laje de forma suave. Paralelamente, esta camada evita a possibilidade de ocorrência de irregularidades que poderiam provocar movimentos das lajes e a sua posterior rotura (rotura dos cantos ou rotura de meia-laje). Quando as condições de drenagem são deficientes (trechos em escavação, com o nível freático rebaixado, com forças ascensionais de percolação relevantes), tem sido boa prática utilizar uma camada granular com características de drenagem e de filtro dos terrenos de fundação (deixa passar a água, não deixa passar as partículas finas vulgarmente designados de “finos”, e deverá ter características autocatrizantes). Ela funciona como camada anticontaminante, evitando que a camada de base (pavimento flexível) e a camada granular onde assenta a laje de betão (pavimento rígido) vejam os seus vazios preenchidos com partículas de fracção argila ou silte que afectam desfavoravelmente as características mecânicas do pavimento. Em alternativa poder-se-ia utilizar apenas uma manta de geotêxtil. No entanto, o facto de se recorrer para sub-base a um agregado britado de granulometria contínua (ABGC), produzido artificialmente em pedra e respeitando um fuso granulométrico adequado, leva a que, na prática, seja preferível esta solução porque leva a um aumento da espessura das camadas granulares e, consequentemente, das camadas resistentes do pavimento. 

J. PAULINO PEREIRA,  
Professor, Instituto Superior Técnico.