

TRANSPORTES E OBRAS DE TERRA

Movimento de Terra e Pavimentação

NOTAS DE AULA -PAVIMENTAÇÃO I

Prof. Edson de Moura

Aula 01 - História da Pavimentação

HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO NO MUNDO

O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de melhorar as condições de rolamento (conforto e segurança).

No Brasil, Bittencourt (1958) apresenta um apanhado desta história desde os primeiros povos organizados até o início do século XX. Destaca-se também o esforço de Prego (2001) de concluir a ação iniciada em 1994 pela ABPv, por meio de sua *Comissão para Elaborar a Memória da Pavimentação*, que nomeou inicialmente o Engenheiro Murillo Lopes de Souza para escrever sobre o tema.

Percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento.

Como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, freqüentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas.

- EGITO

- Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a pesados trenós destinados ao transporte de cargas elevadas. Para construção das pirâmides (2600-2400 AC), vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Atrito era amenizado com umedecimento constante (água, azeite, musgo molhado)

- ÁSIA

- ✓ Estrada de Semíramis (600a.C.) - entre as cidades da Babilônia (região da Mesopotâmia - em grego, região entre rios - que abrangia na antiguidade aproximadamente o que é hoje o território do Iraque) e Ecbatana (reino da Média, no planalto Iraniano); cruzava o Rio Tigre; transformou-se hoje em estrada asfaltada
- ✓ Estrada Real (500a.C.) - na Ásia Menor ligando Iônia (Éfeso) do Império Grego ao centro do Império Persa, Susa; vias com até 2000 km de extensão

- ✓ À época de Alexandre, o Grande (anos 300a.C.), havia a estrada de Susa até Persépolis (aproximadamente a 600km ao sul do que é hoje Teerã, capital do Irã), passando por um posto de pedágio, as Portas Persas, possibilitando o tráfego de veículos com rodas desde o nível do mar até 1.800m de altitude

- Velhos caminhos da China (200a.C.) e Índia
- Destaque: Estrada da Seda, uma das rotas de comércio mais antigas e historicamente importantes devido a sua grande influência nas culturas da China, Índia, Ásia e também do Ocidente.
- Localizada na região que separa a China da Europa e da Ásia, nas proximidades de um dos mais hostis ambientes do planeta, o Deserto de Taklimakan, cercado ao N pelo Deserto de Gobi e nos outros 3 extremos pelas maiores cadeias de montanha do mundo, Himalaya, Karakorum e Kunlun.
- A Estrada da Seda não existia apenas com o propósito do comércio da seda, mas de diversos outros bens como ouro, marfim, animais e plantas exóticas. O bem mais significativo carregado nesta rota não era a seda, mas a religião, o budismo.

- Apogeu da estrada foi na dinastia Tang (anos 600d.C.) e, após um período de declínio, voltou a se tornar importante com o surgimento do Império Mongol sob a liderança de Gêngis Khan (anos 1200d.C.), por ser o caminho de comunicação entre as diversas partes do Império.
- Um dos visitantes mais conhecidos e melhor documentado na história da estrada foi Marco Pólo, negociante veneziano, que iniciou suas viagens com apenas 17 anos em 1271 (Bohong, 1989).
- O declínio da estrada se deu ainda no século XIII com o crescimento do transporte marítimo na região. O interesse na rota ressurgiu no final do século XIX após expedições arqueológicas européias.
- Embora seja reconhecida a existência remota de sistemas de estradas em diversas partes do globo, construídas para fins religiosos (peregrinações) e comerciais, ficou atribuída aos romanos a arte maior do planejamento e construção viária.
- Visando, entre outros, objetivos militares de manutenção da ordem no vasto território do Império, que se inicia com Otaviano Augusto no ano 27a.C., deslocando tropas de centros estratégicos para as localidades mais longínquas, os romanos foram capazes de implantar um sistema robusto construído com elevado nível de critério técnico.

- O sistema viário romano já existia anteriormente à instalação do Império, embora o mesmo tenha experimentado grande desenvolvimento a partir de então.
- Portanto, há mais de 2000 anos os romanos já possuíam uma boa malha viária, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção. A mais extensa das estradas contínuas corria da Muralha de Antonino, na Escócia, à Jerusalém, cobrindo aproximadamente 5.000km (Hagen, 1955).
- A partir da queda do Império Romano (476d.C.), e durante os séculos seguintes, as novas nações européias fundadas perderam de vista a construção e a conservação das estradas.
- A França foi a primeira, desde os romanos, a reconhecer o efeito do transporte no comércio, dando importância à velocidade de viagem. Carlos Magno, no final dos anos 700 e início dos anos 800, modernizou a França, semelhantemente aos romanos, em diversas frentes: educacional, cultural e também no que diz respeito ao progresso do comércio por meio de boas estradas.
- Séculos X a XII de pouco cuidado com os Caminhos Reais da França; este descuido é uma das causas da decadência da Europa civilizada. Mudança significativa no reinado de Felipe Augusto (1180-1223), a partir do qual a França passa a ter novamente a preocupação de construir novas estradas e conservá-las.
- Os ingleses, observando a forma como eram calçados os caminhos da França, conseguiram construir as vias mais cômodas, duráveis e velozes da Europa, o que foi importante para o progresso da indústria e comércio do país.
- A partir da experiência na Inglaterra, Escócia e França, e de sua própria experiência nas províncias de Portugal, Mascarenhas Neto (1790) apresenta um *Tratado para Construção de Estradas*, numa preciosa referência para o meio rodoviário.
- Já à época havia uma grande preocupação com diversos aspectos hoje sabidamente importantes de considerar para uma boa pavimentação: drenagem e abaulamento; erosão; distância de transporte; compactação; sobrecarga; marcação.
- O autor discorre ainda sobre fundos específicos para construção e administração das estradas, reconhecendo a importância do pedágio em alguns casos.

- AMÉRICA
 - ✓ Império Inca (1400's), Peru (Equador, Argentina, Bolívia, Chile)

- O alemão Alexander Von Humboldt, combinação de cientista e viajante que durante os anos de 1799 e 1804 realizou expedições científicas por várias partes da América do Sul, qualifica as estradas dos incas como "*os mais úteis e estupendos trabalhos realizados pelo homem*"
- Sistema viário avançado (pedestres e animais de carga); 30 a 40.000km; definiram a rede peruana de estradas.
- A estrada do sol: Trechos de 1m até 16m de largura, presença de armazéns e refúgios espaçados ao longo da estrada, pontes, túneis, contenções, drenos, etc.

✓ Império Maia (300's AC), México - ligando centros, povoados e portos do mar; *sacbeob* - estradas brancas

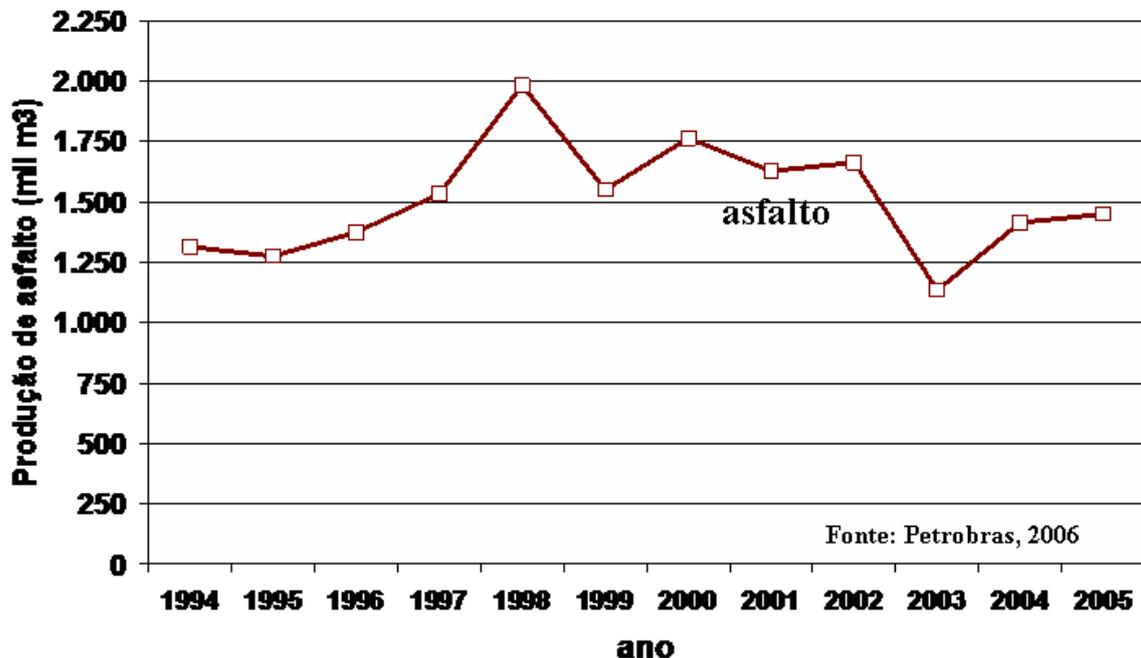
- 1560 - Caminho do Mar - ligação São Vicente - Piratininga ⇒ recuperada em 1661 como Estrada do Mar ⇒ em 1790 vira Calçada de Lorena
- 1792 - Estrada Santos - São Paulo: lajes de pedra
- 1726 - Caminho do Ouro - Minas ao Rio - Resquícios em Parati e várias outras cidades. Também chamada Estrada Real (Estrada Velha de Parati e Nova que vai para o Rio de Janeiro)
- 1854 - Primeira ferrovia no Brasil - Mauá a Raiz da Serra (RJ)
- 1865 - Estrada de rodagem *União e Indústria* (144km) ligando Petrópolis a Juiz de Fora (foto) - primeira estrada a usar macadame como base/revestimento no Brasil

⇒ Até aqui era usual o calçamento de ruas com pedras importadas de Portugal

- 1906 - Calçamento asfáltico em grande escala na cidade do Rio de Janeiro - CAN (Trinidad)- Prefeito Rodrigues Alves
- 1913 - Rodovia Santos - São Paulo
- 1922 - Estrada Rio - Petrópolis - Pavimento de concreto
- *Malha ferroviária brasileira: 3.000km*
- 1937 - Criação do DNER
- 1942 - Contato com engenheiros norte-americanos que construíram pistas de aeroportos e estradas de acesso durante a 2ª Guerra Mundial (Belém, Fortaleza, Natal, Recife, Maceió e Salvador) - CBR.
- 1942 - 1.300km de rodovias pavimentadas, uma das menores extensões da América Latina. 1945 - Rodovia Rio - Bahia
- 1950 - Pavimentação da Rio - São Paulo (Dutra):

- ✓ Sem estudo geotécnico, com espessuras constantes de 35cm (20cm de base de macadame hidráulico e 15cm de um revestimento de macadame betuminoso por penetração dosado pela regra "a quantidade de ligante é a que o agregado pede".
 - Melhoria das estradas vicinais.
 - 1959 - Criações da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv)
 - 1960 - Fim do Governo de Juscelino Kubischek- criação de Brasília - Estradas radiais e Plano Nacional de Viação
Malha ferroviária totalizava 38.000km
 - 1964 - Alguns projetos de pavimentação do Governo militar:
 - ✓ Transamazônica
 - ✓ Ponte Rio - Niterói.
 - 1986 - 95.000km de rodovias pavimentadas: 45.000km federais e 50.000km estaduais e municipais
 - 1988 - 140.000km de rodovias pavimentadas (maior extensão da América Latina)
Malha ferroviária: 30.000km
 - 1996 - Inícios do programa de concessões
 - 2002 - 165.000km de rodovias pavimentadas 55.000km federais
 - 1.600.000km de rodovias não pavimentadas (federais, estaduais e municipais)
Malha ferroviária: 29.000km
 - 2007
- 196.000km de rodovias pavimentadas
55.000km federais
- 1.700.000km de rodovias não pavimentadas
(federais, estaduais e municipais)
- Malha ferroviária: 25.000km*
- Produção de Asfalto: 1.800.000t/ano
- Condição precária em grande parte da malha federal, muitos acidentes geotécnicos, quedas de pontes, taludes, etc.

Alguns estados têm ampliado sua malha e introduzido novas técnicas de pavimentação



DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Pavimento conforme definição do DNIT (1994) é: *"Estrutura construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais tornando mais durável a superfície e rolamento"*.

CLASSIFICAÇÕES DE PAVIMENTOS

Os pavimentos podem ser classificados em três grupos distintos: pavimento flexível, pavimento rígido e pavimento semi-rígido.

A definição de pavimento flexível segundo o DNIT é: *"Pavimento que consiste em uma camada de rolamento asfáltica e de base, constituída de uma ou mais camadas, que se apóia sobre o leito da estrada sendo que a camada de rolamento pode-se adaptar-se à deformação da base quando solicitada."*

Para pavimento rígido o mesmo órgão define como: *"Pavimento cujo revestimento é constituído de concreto de cimento."*

Temo ainda o pavimento semi-rígido cuja definição dada pelo DNIT é: "Pavimento que tem uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível constituído de uma base semiflexível (solo-cal, solo-cimento, solo alcatroado, etc.) e de camada superficial flexível (concreto asfáltico, tratamento superficial betuminoso)."

Estão apresentadas na figura 01 as características estruturais, a forma como as tensões atuam e os respectivos deslocamentos nos pavimentos rígido e flexíveis.

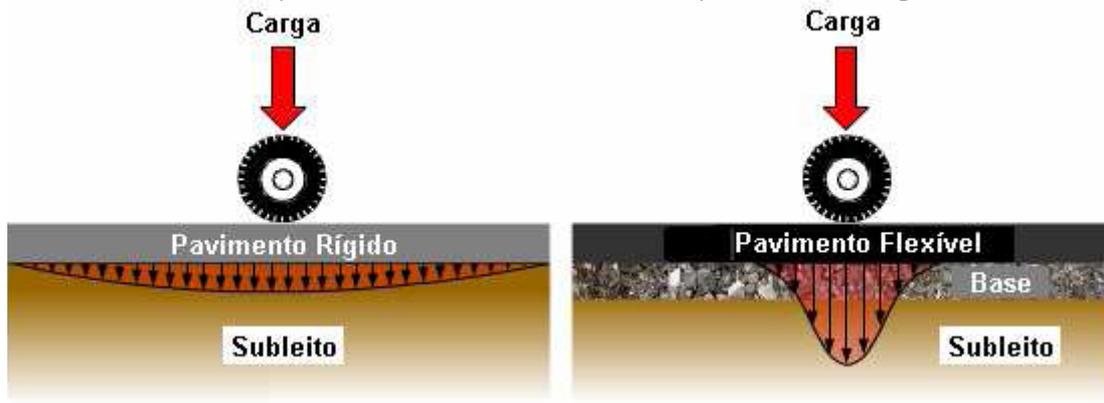


Figura 01 - Distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível.

Enquanto uma dada carga atuante sobre um pavimento flexível impõe nessa estrutura um campo de tensões muito concentrado, nas proximidades do ponto de aplicação dessa carga, em um pavimento rígido, verifica-se um campo de tensões bem mais disperso, com os efeitos da carga distribuídos de maneira semelhante em toda a dimensão da placa. Figura 01.

Alguns autores não fazem uso do termo semi-rígido para classificar pavimentos com presença de base cimentada, apresentam unicamente duas classes: rígidos e flexíveis.

Observe-se que os conceitos acima expostos para os tipos de pavimentos estão associados aos tipos de materiais empregados. Yoder & Witczak (1975) não fazem uso das terminologias de pavimento rígido e/ou pavimento flexível e, sim da forma com a qual distribui os esforços sobre si aplicados no solo da fundação (subleito).

Sem grandes intenções uma das importâncias de uma correta classificação de pavimentos nos auxilia na correta identificação dos possíveis defeitos futuros de quando o pavimento estiver em vida de serviço. Por exemplo, um pavimento denominado de semi-rígido, quando apresenta problemas de trincas por fadiga na camada de rolamento nos induz a associar o problema a base cimentada, pois os deslocamentos esperados para esse tipo de pavimento são de pequenas amplitudes,

uma vez a base trincada ela apresenta-se em blocos, conforme a solicitação através da carga dos veículos esses blocos se movem e transferem à camada de rolamento deslocamentos que acabam propiciando o aparecimento de trincas. Ocorre que se a mistura asfáltica apresentar-se com problemas de usinagem, como massa queimada o mesmo baixo teor de ligante asfáltico, certamente trincas aparecerão e o problema não está associado a problemas com a base.

Um outro tipo de não conformidade que pode ocorrer em classificar os pavimentos conforme o material empregado é, por exemplo: um pavimento com camada de rolamento, base e sub-base de material asfáltico conhecido como "*full depth asphalt pavement*" foi um tipo de pavimento bastante empregado nos EUA e também no Brasil nas décadas de 70 e 80. Com base na classificação do DNIT trata-se de um pavimento flexível, entretanto, devido às características visco-elásticas do material empregado, ligante asfáltico, juntamente com a baixa temperatura de serviço, a viscosidade do ligante asfáltico cresce enormemente, fazendo com que o módulo de resiliência desse material aumente em até dez vezes. Nessas condições esse tipo de pavimento apresenta comportamento de características mais próximas de um pavimento rígido que propriamente dito como pavimento flexível.