ESTUDO DA APLICAÇÃO DE CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) PARA A DRENAGEM DE PAVIMENTO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Resumo: Esse trabalho verificou o potencial que a utilização de uma camada porosa de atrito teórica poderia exercer sobre a redução do filme de água que se forma sobre o revestimento de uma rodovia localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Para tanto, utilizou-se um procedimento metodológico para se estimar a intensidade da precipitação, em condição convencional e em condição mais rigorosa, que cairia sobre a via, bem como as capacidades de escoamento e armazenamento de água de um revestimento asfáltico padrão e uma mistura asfáltica porosa. Verificou-se, que a camada porosa de atrito teve um desempenho superior quanto a redução do volume de água que se acumula sobre a pista por meio da combinação dos volumes de água escoados e armazenados. Conclui-se que para as chuvas previstas a camada porosa de atrito apresentaram desempenho superior ao tipo de revestimento habitual, sendo capaz de drenar o valor total precipitado.

Palavras-chave: Pavimentação. Camada Porosa de Atrito. Drenagem.

Abstract: This work verified the potential of a theoretical open graded friction course could exert on the reduction of the water film that forms over the coating of a highway located in the city of Rio de Janeiro - RJ. For that, a procedure was used to estimate the intensity of precipitation, under conventional and more rigorous conditions, that would fall on the pavement, as well as the runoff and water storage capacities of a standard asphalt coating and an open graded friction course. It was found that the open graded friction course performed better in reducing the volume of water that accumulates on the road by combining the volumes of water runoff and water storage. It is concluded that for the predicted rainfall the open graded friction course outperformed the usual type of coating in being able to drain the total amount of precipitation.

***Keywords*:** Pavement. Open-Graded Friction Course. Drainage.

1. INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura que possui múltiplas camadas de espessuras limitadas, construída acima da superfície final da terraplenagem, designada, de maneira técnica e econômica, a resistir aos esforços proveniente do tráfego, do clima, e a proporcionar aos usuários melhoria nas condições de rodagem, com conforto, segurança e economia. O acúmulo de água na superfície do pavimento é um risco aos motoristas, pois podem promover diversos problemas como a aquaplanagem, a redução de visibilidade (BERNUCCI *et al*., 2008).

Desse modo, entre os diversos tipos de mistura asfálticas aplicadas a pavimentos drenantes, a mistura asfáltica do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), surge como alternativa absorção da água proveniente da pluviometria. As propriedades desse pavimento ajudam a melhorar o tráfego relacionado à segurança em tempo chuvoso, facilitam a visualização da sinalização de nível viário à noite, proporcionam conforto no trânsito e ajudam a reduzir os acidentes (Dresch, 2016). Segundo Daibert *et al*. (2019), em condições de chuva, a probabilidade de ocorrência de acidentes aumenta. Estimativas da Polícia Rodoviária Federal (PRF) indicam que há um aumento de 40% no risco de acidentes em caso de chuva.

Sendo assim, como explicitado, a elevação do índice de acidentes nas condições chuvosas, faz necessário a busca por métodos que favoreçam a segurança sob tal condição. Logo, observa-se que a CPA é um tipo de revestimento que consiste em uma mistura, podendo

ser asfálticas ou de concreto, com elevado volume de vazios, que torna permeável à ação das águas de chuva e, consequentemente, reduz a espessura da lâmina d'água sobre a superfície da camada de rolamento. Por fim, de acordo com Dresch (2016), observa-se que nos últimos anos, a experiência com a CPA cresceu significativamente em todo o mundo.

O objetivo desse estudo foi analisar da utilização da camada porosa de atrito (CPA) em pavimentos rodoviários, a fim de melhorar a drenagem do pavimento, diminuindo a lâmina d'água presente na superfície e gerando mais segurança aos usuários de rodovias no município do Rio de Janeiro. Desse modo, decidiu-se aplicar a CPA em um trecho para estimar o comportamento da mesma e fazer uma análise comparativa com o atual cenário, que é o pavimento com a utilização do asfalto convencional. O artigo é estruturado em seis seções: o primeiro tópico ressalta a importância do tema. O tópico 2 traz uma breve revisão sobre pavimento, interação pavimento e água, precipitação, drenagem do pavimento e CPA. A etapa 3 apresenta os materiais e métodos utilizados no estudo. No item 4, é apresentado o estudo de caso. No item 5 expõem-se os resultados e discussões. Por fim, na última seção, apresenta-se as considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimento

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, constituída sobre a superfície da terraplenagem. Tem como funções econômica e tecnicamente são: resistir a esforços verticais provenientes do tráfego de veículos e redistribuí-los ao subleito; proporcionar aos usuários melhores condições de rolamento, com economia, conforto e segurança (DNIT, 2006c; BERNUCCI *et al*., 2008).

2.2 Presença de água na superfície do pavimento

A água interfere na segurança dos usuários da via, pois pode interferir na aderência pneu-pavimento. Segundo Bernucci (2008), esta é um dos aspectos funcionais de um pavimento que influenciam a segurança em pistas molhadas que é mais afetado, embora não haja muita tradição em realizar sua avaliação ou medida em rodovias, sendo mais comum em aeroportos.

Um dos fenômenos mais comuns diante do acúmulo de água na superfície do revestimento é a hidroplanagem ou aquaplanagem, que acontece quando os pneus perdem o contato com pavimento por conta de uma fina camada de água não rompida pela textura da pista ou pelas ranhuras dos pneus. Caso esse contato seja apenas reduzido, pode-se perder o controle da direção do veículo ou prejudicar a capacidade de frenagem do mesmo, por exemplo aumentando as distâncias de frenagem. A interação entre o pneu e o pavimento é complexa, que leva em consideração fatores como adesão entre a borracha e o pavimento, que dependem de fatores microscópico e macroscópicos da superfície do revestimento (BERNUCCI *et al*., 2008).

2.3 Drenagem do Pavimento

A presença de água na estrutura do pavimento é prejudicial tanto para o desempenho estrutural como para a segurança dos usuários da rodovia. Desse modo, utiliza-se a drenagem, técnica que tem como principal função a eliminação da água que, independentemente da forma,

atinge o pavimento, captando esta e a conduzindo para locais em que afete de maneira mais branda a durabilidade e a segurança da via (DNITa, 2006).

2.4 Camada Porosa de Atrito (CPA)

As misturas asfálticas aberta do tipo CPA são materiais capazes de manter elevados percentuais de vazios interconectados preenchidos com ar provenientes de reduzidas concentrações de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Por essas razões pode ser usada como um revestimento drenante ou permeável (BALBO, 2007; BERNUCCI *et al*., 2022). Os índices de vazios observados nesse tipo de mistura variam entre 18% e 25%, enquanto que nas misturas habituais, flutuam entre 3% e 5% (DNER-ES 386, 1999; DNIT-ES 031, 2006b).

Esse tipo de revestimento tem a capacidade de coletar a água da chuva para o seu interior e possibilitar rápida percolação da mesma devido à sua elevada permeabilidade, por sua vez, possibilitando que a água alcance os dispositivos de drenagem. Como consequência, a CPA tem o potencial para aumentar a segurança das rodovias, uma vez que é capaz de reduzir: (1) a espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e, consequentemente, as distâncias de frenagem; (2) o spray proveniente do borrifo de água pelos pneus dos veículos, aumentando assim a distância de visibilidade; (3) a reflexão da luz dos faróis noturnos. (BERNUCCI *et al*., 2022). A Figura 1 mostra a diferença visual notada entre uma superfície revestida com o concreto asfáltico comumente utilizado e um revestimento que possui a CPA.

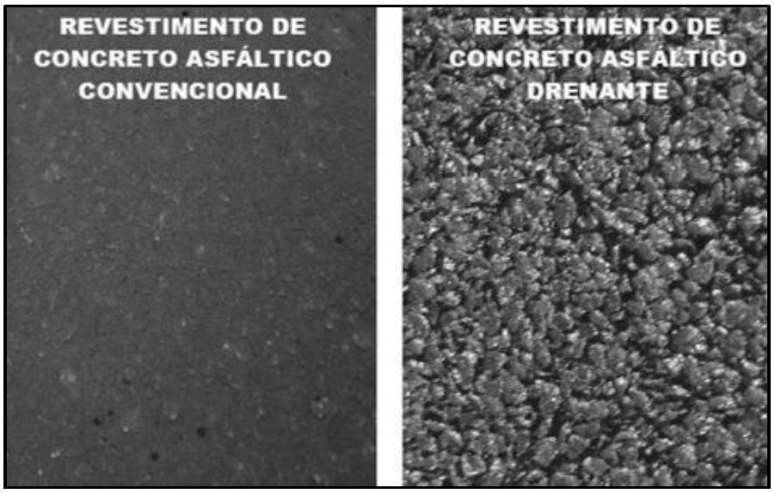

Figura 1 – Comparação entre a superfície de concreto asfáltico convencional e revestimento de concreto asfáltico drenante.
Fonte: (DUMKE, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Algumas etapas precisam ser seguidas para se verificar a capacidade que um dado revestimento asfáltico pode ter na redução da formação de lâminas de água sobre a superfície de rolamento de uma rodovia segundo seu potencial de armazenamento. Deve-se: (1) o volume de vazios interligados da mistura asfáltica; (2) o percentual de escoamento da água que cai sobre o revestimento; (3) a espessura da camada de revestimento; (4) determinar os parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica na qual a rodovia será implantada; (5) determinar o tempo de retorno da chuva a ser considerada; (6) calcula-se a os volume de precipitação que espera-se

que caia sobre o revestimento; (7) calcula-se os volumes escoados e armazenados pelo revestimento; (8) compara-se os volumes.

Para o cálculo dos volumes foi adotado o procedimento proposto por Leão e Dias (2014) e Manual de drenagem de rodovias (DNIT, 2006a). As equações necessárias à sua aplicação são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Equações utilizadas para determinação dos volumes escoados e armazenados pelo revestimento asfáltico.

Cálculo da intensidade pluviométrica (mm/s)	$i = \frac{k \times Tr^a}{(t_c + b)^c}$	(1)
Volume de chuva precipitado (l)	$V_i = \mathrm{i} \times t_c \times A$	(2)
Cálculo da vazão de chuva pelo Método Racional ($10^{-05} m^3/s$)	$Q = C \times i \times A$	(3)
Volume de chuva escoada (l)	$V_e = Q \times t_c$	(4)
Capacidade de armazenamento de água na camada (l)	$V_a = P_v \times H \times A$	(5)

Fonte: adaptado de (DNIT, 2006a) e Leão e Dias (2014).

Em que:

i: intensidade pluviométrica;
k, a, b, c: parâmetros estatísticos, coeficientes de ajustamentos específicos para cada localidade;
Tr: tempo de retorno da chuva considerada, em anos;
t_c: tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos;
Q: vazão;
V_i: volume de chuva precipitado sobre a área drenada;
C: coeficiente de escoamento superficial ou deflúvio;
A: área drenada, m²;
H: altura do revestimento, em metros;
$\mathrm{P_v}$: percentual de vazios interconectados;
$\mathrm{V_e}$: volume de chuva escoada;
V_a: volume de chuva armazenada.

4. ESTUDO DE CASO

Escolheu-se a Avenida Ayrton Senna, no bairro da Barra da Tijuca, para a elaboração desse estudo. Essa infraestrutura se encontra na cidade do Rio de Janeiro - RJ, que possui cerca de 6,7 milhão de habitantes (IBGE, 2022). Em toda sua extensão, pode-se verificar a existência de shopping centers, 3 hospitais, diversos pontos comerciais, um aeroporto nas imediações (Aeroporto de Jacarepaguá) e, também, a Estação Alvorada do BRT. Os volumes médios diários anuais dos dias úteis dessa rodovia estão entre 100 mil e 170 mil. Essa avenida é composta por 2 pistas para os veículos, 1 central e 1 lateral (em cada sentido), compostas de 3 faixas (ambas), com velocidade de 80km/h para as pistas centrais e 60km/h para as laterais, e uma pista exclusiva para o BRT (SINFRERJ, 2022; GOOGLE EARTH, 2022). Quanto a pluviometria, a cidade do Rio de Janeiro tiveram um valor acumulado total anual médio de 1.534,5 mm de chuva, enquanto a estação de medição mais próxima a rodovia em questão teve um acumulado superior à média da cidade, atingindo 1.658,6 mm no ano de 2019 (FIGM, 2019).

Figura 2 – Localização da Avenida Ayrton Senna.

Fonte: (GOOGLE EARTH, 2022)

No caso do revestimento convencional de concreto betuminoso considerou-se: o índice de vazios de 5%, seguindo recomendação da DNIT-ES 031 (2006b); espessura do revestimento também de 5 cm e coeficiente de escoamento superficial de 0,85, conforme DNIT (2006a). Para a CPA, foram consideradas premissas propostas por Alessi, Kokot e Gomes (2006): volume de vazios interligados de 25%; espessura da camada de 5 cm; coeficiente de escoamento superficial de 0,59.

Quanto aos parâmetros referentes a intensidade pluviométrica do local, foi utilizado o software Plúvio 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) – DEA, da Universidade Federal de Viçosa (UFV) - Relatório do programa Plúvio 2.1; fornecendo os coeficientes k = 4.404,475; a = 0,226; b = 50,107; c = 0,998; para a latitude 22°59’23’’ e longitude 43°21’57’’. Para o tempo de concentração foi considerada a duração de 10 minutos. Com relação ao tempo de retorno considerou-se 10 anos e 25 anos, ambos seguindo as orientações de Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana, (RA, 2010), elaborado pela Rio-Águas (Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro). Além disso, considerou-se uma área de drenagem de 1 m².

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os valores acima considerados obteve-se uma intensidade pluviométrica de 0,0345 mm/s e um volume de chuva precipitado sobre a área drenada de 20,72 litros para o tempo de retorno de 10 anos. A intensidade pluviométrica e o volume de chuva precipitado sobre a área drenada foram de 0,0424 mm/s e 25,49 litros, respectivamente.

A seguir, estão dispostos no Quadro 2, os volumes escoados e volumes armazenados para as opções de revestimento avaliadas.

Quadro 2: resumo de resultados obtidos para os revestimentos avaliados.

Revestimento	Volume precipitado (l)	Volume escoado (l)	Volume armazenado na camada (l)	Volume passível de formação de filme de água (l)
Convencional (Tr=10)	20,72	17,61	2,50	0,61
CPA (tr=10)	20,72	12,22	12,50	0
Convencional (Tr=25)	25,49	21,66	2,5	1,33
CPA (tr=25)	25,49	15,04	12,50	0

Considerando-se um tempo de concentração de 10 minutos e com um tempo de retorno de 10 anos para a região de implantação da rodovia na Avenida Ayrton Senna, na cidade do Rio de Janeiro, verifica-se que o volume que a solução convencional conseguiria escoar, de 85% do volume que precipita sobre a pista, já formaria uma película de água que pode diminuir a segurança pela possível formação de spray. Enquanto que a CPA escoaria 59% desse mesmo volume, mas teria capacidade de acumular 140% da quantidade não escoada, o que deixaria uma folga para uma intensidade chuvosa maior do que a prevista no local.

Por outro lado, para o mesmo tempo de concentração e para um tempo de retorno de 25 anos, a pior condição prevista em (RA, 2010) para elementos de drenagem, observa-se que o volume acumulado na superfície do revestimento cresce, possibilitando a criação de um filme de 1,3 milímetros, considerando uma área de 1 m² e uma superfície sem nenhum defeito como afundamento de trilha de roda.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse estudo foi analisar da utilização da CPA em pavimentos rodoviários, a fim de melhorar a drenagem do pavimento, diminuindo a lâmina d'água presente na superfície e gerando mais segurança aos usuários de rodovias no município do Rio de Janeiro. Considerando o procedimento metodológico proposto e posto em prática conclui-se que os revestimentos do tipo CPA têm potencial para serem aplicados em rodovias cariocas em condições pluviométricas mais severas do que as encontradas na maior parte da cidade e contribuir para a melhoria da segurança viária.

Como proposta para trabalhos futuros propõem-se a verificação de diferentes regiões da cidade e diferentes vias para tentar se mapear um potencial malha viária na qual a implantação de CPA ocorresse de forma economicamente eficiente e proporcionasse mais segurança.

REFERÊNCIAS

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 139-156, 2006. Disponível em: https://xdocs.com.br/doc/310-comparacao-do-escoamento-superficial-1-qnjjxlj6wwn6. Acesso em: 09 set. 2022.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: Materiais, projetos e restauração. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 p. Disponível em: http://www.abeda.org.br/livros/. Acesso em: 09 set. 2022.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022.

DAIBERT, Raphael Ferreira *et al*. **Estudo da aplicação de camada porosa de atrito (CPA) para redução de acidentes em dias chuvosos em trecho experimental.** São Paulo, 2019.

DNIT. **Manual de drenagem de Rodovias.** 2.ed. Rio de Janeiro: DNIT:IPR, 333 p. 2006a.

DNIT. Norma DNIT 31/2006 - ES – **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006b.

DNIT. **Manual de pavimentação. 3º edição - Publicação IPR – 719**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006c.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito**. Rio de Janeiro: DNER:IPR, 1999. 15p.

DRESCH, Fernanda. **Comportamento de misturas asfálticas tipo camada porosa de atrito (CPA)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia. Universidade de Santa Maria (UFSM). Santa Maria – RS, 2016.

DUMKE, Marilan Pedro. **Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto-borracha**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIGM (Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro). **Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2019**. Rio de Janeiro: Geo-Rio/Dpr/Cgmo/Gmo, 2020. (N.º 002/2020). Disponível em: http://www.sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_ANUAL_CHUVA_2019.pdf. Acesso em: 09 set. 2022.

GOOGLE EARTH, 2022. Disponível em: https://earth.google.com/web/@-22.99430156,-43.36569255,4.06439829a,500d,35y,358.74167432h,0t,0r . Acesso em 10/10/2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e estados**. 2022. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/rio-de-janeiro.html>. Aceso em: 10/11/2022.

LEÃO, Jardel Egg Carvalho; DIAS, Thalita Cardoso. **Estudo de concreto asfáltico drenante: Camada Porosa de Atrito (CPA)**. 2014. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Civil) Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Ouro Branco - MG, 2014.

RA (Rio-Águas). **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. Rio de Janeiro: O/Sub – Rio-Águas, 2010. 60 p.

SINFRERJ, Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiro por Fretamento do Estado do Rio de Janeiro, **Estatísticas de volume de tráfego**. 2022. Disponível em: https://www.sinfrerj.org.br/site/index.php/textos/pagina/152/Estatisticas-de-volume-de-trafego. Acesso em: 10/11/2022.