

Estudo sobre a ocorrência de hidroplanagem em um trecho específico da rodovia BR-459, em Itajubá-MG.

Case study on the occurrence of hydroplaning in a specific section of the Br-459 road, in Itajubá - MG.

⁽¹⁾ Janaína Martins Vítor, jmvengenharia.contato@gmail.com

⁽²⁾ Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior, leopoldo.junior@gmail.com

⁽³⁾ Erwin Rolf Mádisson Júnior, madisson@fepi.br

⁽¹⁾ Engenheira Civil na JMV Engenharia, Rua Paraíba, nº 191, Boa Vista, Santa Rita do Sapucaí – Minas Gerais

⁽²⁾ Professor Centro Universitário de Itajubá – FEPI

⁽³⁾ Professor do Centro Universitário de Itajubá – FEPI.

Recebido: 03 de outubro de 2020. Revisado: 07 de dezembro de 2020.

RESUMO

O presente trabalho levantou as principais causas da hidroplanagem e propõe medidas para a redução do fenômeno em um trecho situado entre os km-172 e km-173 da Rodovia BR-459, em Itajubá-MG. O trecho é conhecido pelo acúmulo frequente de água sobre o pavimento, que já ocasionou no desmoronamento de parte da pista e, também, em acidente por hidroplanagem resultando em morte. Foram estimadas as vazões e precipitações decorrentes de uma lâmina d'água de 3 mm sobre o pavimento, considerando-se a área de contato do pneu de um veículo de passeio e uma seção transversal de via típica revestida em asfalto. A partir dos dados coletados através dos softwares Infracad, AutoCAD Civil 3D e Plúvio 2.1, calculou-se, por método empírico, a lâmina d'água formada na seção analisada do trecho em função da sua área de contribuição, precipitação local e largura da via, que resultou em um filme d'água de 16,70 mm. Visto isso, levando em conta a geometria irregular da via analisada, conforme levantado pelo software e em visita ao local, ficou evidente que o trecho é propício ao acúmulo de água e necessita de um sistema de drenagem eficiente que atenda a real situação da via.

Palavras-chave: Hidroplanagem. Rodovia. Lâmina d'água

ABSTRACT

The present work has raised the main causes of hydroplaning and proposes measures to decrease the phenomenon in a stretch between km-172 and km-173 of the BR-459 highway, in Itajubá-MG. The stretch is known for the frequent accumulation of water on the pavement, which has already caused the collapse of part of the runway also in a hydroplane accident resulting in death. The flow and precipitation due to a 3mm water depth on the pavement was estimated considering the area of contact of the tire of a compact car and a cross-section of typical road covered in asphalt. From the data collected through the Infracad, AutoCAD Civil 3D and Pluvio 2.1 software, the water depth formed in the analyzed section of the stretch was calculated by empirical method, according to its contribution area, local precipitation and track width, which resulted in a 16,70 mm water film. Considering this, taking into account the irregular geometry of the way analyzed, as raised by the software and on site visit, it was clear that the stretch is conducive to accumulation of water and needs an efficient drainage system that meets the real situation of the road.

Keywords: Hydroplaning, Highway, Water blade.

INTRODUÇÃO

Os acidentes causados pela perda de controle direcional dos veículos em dias de chuva, devido à perda de aderência da pista com os pneus, são comuns em rodovias e aeroportos. Esse fenômeno recebe o nome de hidroplanagem, ou aquaplanagem, como é popularmente conhecido.

Hidroplanagem, popularmente conhecida como aquaplanagem, é o termo utilizado para se referir ao episódio que ocorre quando um veículo, em alta velocidade, desliza na pista ao passar por um filme de água ou outro fluido (NISHICAVA; SILVA, 2014). Para Prado e Palma (2012) há dois tipos de hidroplanagem: a dinâmica que ocorre em função de uma lâmina d'água e a viscosa que decorre da presença de material contaminante, como óleo e graxa.

ICAO, (2002) tem como referencial a existência de uma lâmina d'água superior a 3 mm (três milímetros), que é a espessura crítica de hidroplanagem.

A geometria da via é importante para que haja um escoamento eficiente da água decorrente de precipitações pluviométricas. Para Znidarsic (2017) “projetos com problemas nos ângulos de acentuação” são razões para o acúmulo de água na pista.

De acordo com Suzuki *et. al.* (2013), a presença de água livre na pista dá-se devido à drenagem subsuperficial ineficiente, com o surgimento de defeitos prematuros na estrutura do pavimento, que comprometem sua integridade e capacidade estrutural; alterações geométricas que causam desconforto ao rolamento, problemas com segurança e, conseqüentemente, redução da vida útil da via. Outros fatores importantes relacionados ao acúmulo d'água na pista são o tipo de pavimento e acostamento utilizados e a ação das cargas do tráfego que induzem a elevadas pressões hidrostáticas no interior da estrutura do pavimento.

Para Silva e Paiva (2012) a aceleração e frenagem do veículo são alterações de velocidade que dependem do atrito entre o pneu do automóvel e a superfície de rolagem. A qualidade da borracha, forma e profundidade dos sulcos da superfície do pneu, bem como a adesão “resultante da atração molecular entre as superfícies de contato, acentuada pela micro textura (cantos vivos, arestas etc.) dos agregados empregados na camada de rolamento”, são fatores que influenciam o coeficiente de atrito.

Além das características climáticas do local e estrutura da via, o veículo e o condutor também são fatores relevantes na ocorrência da hidroplanagem. O condutor estará sob o controle do veículo, que por sua vez atenderá às manobras definidas pelo condutor ao se deparar com a presença de água na pista. Para isso, vê-se a importância da manutenção preventiva do veículo, bem como noção de direção defensiva por parte do condutor. (DENATRAN, 1984).

Deste modo, dentre os principais fatores a serem observados que influenciam na aquaplanagem tem-se:

Geometria das vias e tipos de pavimentos, drenagem das rodovias, pneumáticos, direção Defensiva

Conforme pode ser verificado, o desempenho do pavimento é fundamental para minimizar os efeitos da hidroplanagem, ou seja, um sistema inadequado do pavimento dá-se principalmente em condições de saturação, Figura 1. Para que isso não ocorra, “é necessário retirar rapidamente toda a água que cai e escoar sobre a plataforma viária”, que se infiltra ou que seja proveniente dos lençóis freáticos elevados (SUZUKI *et al.*, 2013).

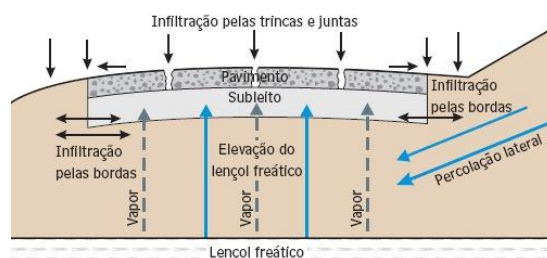


Figura 1 - Origem da água nos pavimentos
Fonte: Rosso (2012).

Deste modo este trabalho visa analisar a existência dos fatores comuns e que contribuem para a formação de lâmina d'água sobre a superfície do pavimento em questão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado em um trecho da rodovia BR-459, também conhecida como Rodovia Juscelino Kubitschek de Oliveira, no município de Itajubá. A BR, possui 401,70 km de extensão, cujo 393,50 km são pavimentados e 21,10 km são de vias duplicadas, conforme demonstrativo anual desenvolvido por DNIT e ANTT (2016) e publicado por Civil (2017).

O acúmulo de água na pista já resultou no desmoronamento de parte da mesma, em Janeiro de 2016, e em um acidente por aquaplanagem envolvendo 3 (três) vítimas, sendo uma fatal, em Março de 2017, conforme Figura 2.



Figura 2 – Ocorrências na BR 459
Fonte: MINAS (2017).

Para verificação da possibilidade de aquaplanagem, primeiramente constitui-se do desenvolvimento do cálculo da vazão e precipitação crítica de hidroplanagem para uma seção típica de via, baseando-se nos parâmetros de dimensionamento hidráulico para drenagem pluvial de Netto et al. (1998), e também, a estimativa da lâmina d'água formada na seção escolhida, após método prático, a partir dos dados obtidos pelo modelo digital e método prático desenvolvido do local.

Para análise da precipitação sobre o pneu, foi determinado a área de contato (A_1) em função da largura do pneu e a lâmina d'água, considerando as informações dos fabricantes de pneus, conforme Figura 3.

VEÍCULO DE PASSAGEIROS	185 / 70 R 14	P 185 / 75 R 14
	- Diâmetro do Aro (polegadas) - Construção Radial - Pressão Abastecida - Pressão Abastecida (psi)	- Diâmetro do Aro (polegadas) - Pressão Abastecida - Pressão Abastecida (psi)
PNEUS DE CAMINHÕES DE PASSAGEIROS	LT 215 / 85 R 16	31 X 10,50 R 15 LT
	- Diâmetro do Aro (polegadas) - Construção Radial - Pressão Abastecida - Pressão Abastecida (psi)	- Pressão de Construção - Diâmetro do Aro (polegadas) - Construção Radial - Pressão Abastecida - Pressão Abastecida (psi)
PNEUS RESERVAS TEMPORÁRIOS	T 115 / 70 D 15	
	- Diâmetro do Aro (polegadas) - Construção Original - Pressão Abastecida - Pressão Abastecida (psi)	

Figura 3- Designação de tamanho de pneu
Fonte: Pirelli (2017).

O dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem pluvial foi realizado de acordo com Netto et al. (1998), considerando os seguintes parâmetros:

Intensidade de chuva (i) do local que é diretamente proporcional à recorrência (Tr) e inversamente proporcional à duração (t_d), como apresentado na Equação 01:

$$i = \frac{k \cdot Tr^a}{(b + t_d)^c} \text{ (Equação 01)}$$

Onde:

i - intensidade média de precipitação sobre a área, com duração igual ao tempo de concentração [mm/h];

k, a, b, c - coeficientes determinados para cada local;

Tr - período em que possa recorrer ou superar uma dada chuva [anos];

t_d - duração de observação de uma chuva [min].

Para a determinação do escoamento superficial, foi determinante o coeficiente de escoamento (C), que é a relação do volume que escoar com o volume precipitado, conforme Netto et al. (1998).

Para as fórmula de desempenho do tempo de concentração, foi utilizado de acordo com Queiroz e Neves (2020).

O passo subsequente foi a determinação da vazão de projeto, sendo que existem vários métodos e processos, destacando-se entre eles o Método Racional, que para Wilken (1979) funciona adequadamente para áreas de até 500 Hectares, porém é mais eficiente em áreas de até 100 Hectares.

De acordo com Tucci (2016), o método racional pode ser aplicado para áreas onde se estabelecem pequenos e médios empreendimentos, considerando essa área de até 200 Hectares.

Como visto, o método racional pode ser aplicado em diversos cenários uma vez que para áreas menores a sua vazão será mais precisa e confiável. Esta vazão é determinada através da Equação 2.

$$Q = \frac{C * i * A}{360} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Q : Vazão de projeto (m^3/s);

C : Coeficiente de escoamento superficial;

i : Intensidade de chuva (mm/h);

A : Área da bacia contribuinte (ha).

Após a estimativa da vazão de projeto, foi determinado o escoamento sobre o sistema em estudo.

A ação dos esforços transmitidos pelo pneu sob o pavimento ocasiona “elevadas pressões hidrostáticas no interior da estrutura, resultando em movimentação das partículas de solo da interface das camadas” (SUZUKI et. al., 2013).

Os esforços apresentados são transmitidos através da área de contato do pneu com a superfície do pavimento. De acordo com Albano (2017), a figura formada pela banda de rodagem sobre o pavimento é a de um retângulo conforme visto na Figura 4.

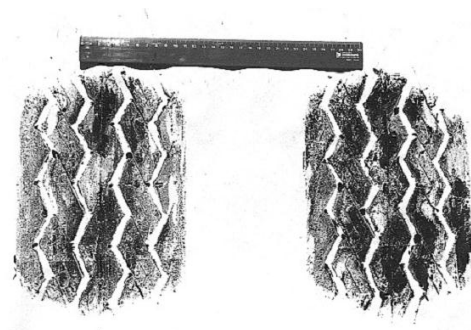


Figura 4 - Impressão da área de contato do pneu com o piso
Fonte: Albano (2017).

Para Eidt (2015), apesar da *Tread Wear Indicator* - *TWI* (Indicador de Desgaste de Rodagem), a profundidade mínima recomendada dos sulcos presentes na banda de rodagem dos pneus seja de 1,6

mm, a segurança do veículo pode ficar comprometida, em caso de pista molhada, devido o comprometimento da capacidade de drenagem dos sulcos em altas velocidades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi calculado a área de contato com o pneu, sendo considerado para o cálculo a largura do pneu (L_1) de 185 mm, conforme estipulado pelo fabricante de pneus, para carros de passeio. E a lâmina d'água crítica de 3 mm.

Logo:

$$A_l = L_1 \times y$$

$$A_l = 0,185 \times 0,003 = 0,00055 \text{ m}^2$$

Para a determinação do tempo de concentração (t_{c1}), fez-se o uso do Método de Kirpich, conforme Queiroz e Neves (2020), cuja declividade foi considerada como 2% da largura do pneu:

$$t_{c1} = 57 \times (L_1^3 / \Delta H_1)^{0,385}$$

$$t_{c1} = 57 \times (0,000185^3 / 0,0037)^{0,385}$$

$$t_{c1} = 0,024 \text{ minutos}$$

Para o cálculo da velocidade de escoamento na seção correspondente à largura do pneu:

$$V_1 = l_1 / t_{c1} = 0,185 / (0,024 \times 60) = 0,128 \text{ m/s}$$

Para o cálculo da vazão crítica de hidroplanagem utilizou-se a área de contato do pneu e a velocidade de escoamento, calculadas anteriormente.

$$Q_1 = A_1 \times V_1$$

$$Q_1 = 0,00055 \times 0,128$$

$$Q_1 = 0,0000704 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para o cálculo da precipitação crítica, utilizou-se o Método Racional, e coeficiente de escoamento de 0,85.

$$I_1 = \frac{3,6 \times Q_1}{C \times A_1}$$

$$I_1 = \frac{3,6 \times 0,0000704}{0,85 \times 0,00000000055}$$

$$I_1 = 542.117,65 \text{ mm/h}$$

Visto o alto valor da intensidade de chuva para a formação da lâmina d'água de 3 mm, dadas as características de uma via de seção típica, entende-se que a incidência de chuva não pode ser considerada responsável pelo acúmulo de água sob o pneu.

Já considerando o escoamento sobre a seção crítica, a intensidade de chuva resultante seria de:

$$I_2 = 1.068.907,563 \text{ mm/h}$$

Visto o alto valor da precipitação crítica necessária para a formação da lâmina d'água de 3 mm, dadas as características de uma via de seção típica,

entende-se que a incidência de chuva não pode ser considerada responsável pelo acúmulo de água sobre a pista.

Contudo em visita ao local, observou-se que não existe sistema de drenagem as margens da BR, de tal modo que todo o escoamento externo ao pavimento converge para a rodovia, conforme Figura 4.



Figura 4 - Traçado da área de contribuição da seção analisada

Após o levantamento do trecho, através dos softwares e *in-loco*, observou-se uma divergência sobre o perfil da seção analisada. Porém, visto que os softwares baseiam-se em dados fornecidos por sensores e estão suscetíveis a não captarem pequenas diferenças das elevações, continuou-se o levantamento e realizou-se o cálculo da lâmina d'água de 16,70 mm

formada sobre a via, ou seja, uma lâmina 5 (cinco) vezes maior que a lâmina já considerada crítica para a ocorrência do fenômeno.

Deste modo, pode-se afirmar que a lamina superior a 3 mm, se deve a ausência do sistema de drenagem na BR.

CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do presente trabalho, pôde-se compreender o fenômeno da hidroplanagem e os fatores responsáveis por sua ocorrência. Constatou-se o quão importante é a geometria da via e o quanto o projeto de drenagem eficiente é necessário.

A partir da estimativa das vazões e precipitações críticas, através do método empírico adotado, percebeu-se que somente a intensidade de chuva não é responsável pela formação do filme d'água, perante a via de geometria regular. Seria necessária uma precipitação exorbitante para que isso ocorresse.

Sobre as circunstâncias da via analisada, cuja geometria irregular impossibilita o escoamento da água e os dispositivos de drenagem levantados não atendem a real situação da mesma, concluiu-se que o trecho analisado é

propício à ocorrência da hidroplanagem e necessita da implantação de um sistema de drenagem eficiente, para evitar que o escoamento seja direcionado para a via, bem como a sinalização alertando aos motoristas sobre a situação da via em situação de chuva.

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. F. **Área e pressão de contato dos pneus com a superfície de pavimento.** Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/48_anpetxiv.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

CIVIL, Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Infraestrutura Rodoviária**, 2017. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/component/content/article/63-bit/5212-bitinfrarodo.html>>. Acesso em: 16 set. 2017.

DENATRAN, Departamento Nacional de Trânsito -. **Manual de Segurança de Trânsito**. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito - Denatran, 1984.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES; ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. BR-459.2016. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/BIT_TESTE/Fichas/Rodovias/Fichas_Rodovias_-_BR-459.pdf>. Acesso em: 16 set. 2017.

EIDT, W. **Análise da influência da profundidade dos sulcos dos pneus na operação de veículos de passeio**, 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Centro de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/157138/TCC> [Wilian Eidt] PRONTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 março 2017.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Airport Service Manual: Pavement Surface Conditions** (DOC 9137). Part 2. 4. Ed. Montreal: ICAO, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/arqs/20150622104720-paivac2012.pdf>>. Acesso em: 06 março 2017.

MINAS, G1 Sul de. **Trecho da BR-459 é interditado após asfalto ceder com chuva no Sul de MG.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2016/01/trecho-da-br-459-e-interditado-apos-asfalto-ceder-com-chuva-no-sul-de-mg.html>>. Acesso em: 16 set. 2017.

NETTO, A et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1998. 669 p.

NISHICAVA, N. H.; SILVA, J. C. A. da. Os dispositivos de drenagem como elucidação aos acidentes ocasionados por Hidroplanagem na BR 050. In: ENTEC - ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA UNIUBE, 8., 2014, Uberaba. **Artigo**. Uberaba: Uniube, 2014. p. 1 - 2. Disponível em: <<http://www.uniube.br/eventos/entec/2014>

/arquivos/resumos/resumoo20.pdf>.
Acesso em: 27 março 2017

PIRELLI. **Tudo sobre pneus.** Disponível em:
<https://www.pirelli.com/asset/index.php?i_delement=24620>. Acesso em: 16 set. 2017.

PRADO, Lucius de Albuquerque;
PALMA, Giovano. Metodologia Analítica para estimativa de lâmina d'água em pavimentos aeroportuários. **Conexão Sipaer**, Brasília, v. 3, n. 2, p.38-65, março 2012.

QUEIROZ, M. S. de; NEVES, A. de S. Aplicação De Diferentes Fórmulas De Tempo De Concentração Para Uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 9, n. 18, p. 219-231, 27 jul. 2020.

ROSSO, S. M.. **Pista Seca.** 2012. Disponível em:
<<http://ltgouveia.blogspot.com.br/2012/01/pista-seca.html>>. Acesso em: 15 abril 2017.

SILVA, C. E. del B. D. da; PAIVA, C. E. L. de. Estudo de Permeabilidade de Misturas Betuminosas de Graduação Aberta. **Revista Pavimentação**, Campinas, p.41-49, set. 2012. Disponível em:
<<http://www.fec.unicamp.br/arqs/20150622104720-paivac2012.pdf>>. Acesso em: 06 março 2017

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. **Drenagem Subsuperficial de pavimentos:** Conceitos e dimensionamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 240 p.

TUCCI, M. E. C. Regulamentação da Drenagem Urbana no Brasil. **REGA**, Porto

Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, jan./jun. 2016. Ponto de visita disponível em :<
<https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/191/9ab609843c59c2457a38937f5da8e1ac32607cf292f137e7d029aac1c7362436.pdf>>. Acesso outubro, 2020.

WILKEN, S. P. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1979.

ZNIDARSIC, J. **Entrevista - Jus Znidarsic, Gerente de projeto da Asfalteks.** Elaborada pela ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. Disponível em:
<<http://www.abcr.org.br/Conteudo/Noticia/1762/jus+znidarsic++gerente+de+projeto+da+asfalteks.aspx>>. Acesso em: 27 março 2017.