

Revista Artefactum - ISSN

All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Fonte: <https://artefactumjournal.com/index.php/artefactum/acessoaberto>.

REFERÊNCIA

MENDONÇA JÚNIOR, Ivo et al. Avaliação da resistência à derrapagem em ciclovias e ciclofaixas do Distrito Federal. **Artefactum – Revista de Estudos Interdisciplinares**, v. 25, n. 2, 2026. DOI: <https://doi.org/10.23900/artefactum.v25i2.2928>. Disponível em: <https://artefactumjournal.com/index.php/artefactum/article/view/2928/1668>. Acesso em: 05 jul. 2026.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM EM CICLOVIAS E CICLOFAIXAS DO DISTRITO FEDERAL

Evaluation of skid resistance on bicycle paths and bike lanes in the Federal District

Evaluación de la resistencia al deslizamiento en ciclovías y carriles bici del Distrito Federal

DOI: 10.23900/artefactum.v25i2.2928

Submitted on: 5.8. 2026

Accepted on: 6.2. 2026

Published on: 6.10.2026

Ivo Mendonça Júnior

Graduando em Engenharia Civil

E-mail: ivo.junior@aluno.unb.br

Camila Lucas Oliveira Lucena

Graduada em Geografia

E-mail: camilalucena@unb.br

Luis Eduardo Blamires Komka

Mestrando em Transportes

E-mail: komka.luis@gmail.com

Paulo Cesar Marques da Silva

Doutor em Transport Studies

E-mail: pcmsilva@unb.br

Fábio Zanchetta

Doutor em Engenharia Civil

E-mail: fabio.zanchetta@unb.br

RESUMO

O uso da bicicleta como meio de transporte tem crescido devido aos seus benefícios ambientais, urbanos e sociais, contribuindo para a redução de emissões de poluentes, congestionamentos e impactos negativos à saúde. No entanto, a segurança dos ciclistas depende diretamente das condições da infraestrutura cicloviária, especialmente da aderência dos pavimentos. Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar a resistência à derrapagem (microtextura) de pavimentos cicloviários no Distrito Federal. A metodologia consistiu na medição do coeficiente de atrito por meio do ensaio do pêndulo britânico, conforme a norma ASTM E303-93 (2022), em três tipos de revestimentos: concreto asfáltico usinado a quente, microrrevestimento asfáltico e concreto de cimento Portland. Foram realizadas medições em diferentes pontos das vias, e os dados foram analisados estatisticamente por meio do teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes. Os resultados indicaram redução significativa da resistência à derrapagem nas áreas de sinalização horizontal em comparação aos revestimentos, com valores inferiores aos limites de segurança estabelecidos em norma. Conclui-se que as condições da sinalização horizontal podem comprometer a segurança dos ciclistas,

evidenciando a necessidade de maior controle na execução e manutenção desses elementos.

Palavras-chave: pêndulo britânico, microtextura, segurança viária, engenharia de tráfego.

ABSTRACT

The use of bicycles as a mode of transportation has increased due to their environmental, urban, and social benefits, contributing to the reduction of pollutant emissions, traffic congestion, and negative health impacts. However, cyclist safety depends directly on the conditions of cycling infrastructure, particularly pavement skid resistance. In this context, this study aims analyzing the skid resistance (microtexture) of cycling pavements in the Federal District. The methodology consisted of measuring the friction coefficient using the British Pendulum Test, in accordance with ASTM E303-93 (2022), on three types of surface layers: hot mix asphalt, microsurfacing, and Portland cement concrete. Measurements were taken at different points along the facilities, and the data were statistically analyzed using the non-parametric Wilcoxon–Mann–Whitney test for independent samples. The results indicated a significant reduction in skid resistance in horizontal road markings compared to the pavement surfaces, with values below the safety limits established by standards. It is concluded that the condition of horizontal markings may compromise cyclist safety, highlighting the need for stricter control in the execution and maintenance of these elements.

Keywords: british pendulum tester, microtexture, road safety, traffic engineering.

RESUMEN

El uso de la bicicleta como medio de transporte ha aumentado debido a sus beneficios ambientales, urbanos y sociales, contribuyendo a la reducción de las emisiones contaminantes, de la congestión vehicular y de los impactos negativos sobre la salud. Sin embargo, la seguridad de los ciclistas depende directamente de las condiciones de la infraestructura ciclista, especialmente de la adherencia de los pavimentos. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la resistencia al deslizamiento (microtextura) de los pavimentos ciclovialarios del Distrito Federal. La metodología consistió en la medición del coeficiente de fricción mediante el ensayo del Péndulo Británico, de acuerdo con la norma ASTM E303-93 (2022), en tres tipos de revestimientos: concreto asfáltico en caliente, microrrevestimiento asfáltico y concreto de cemento Portland. Las mediciones se realizaron en diferentes puntos de las vías y los datos fueron analizados estadísticamente mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon-Mann-Whitney para muestras independientes. Los resultados indicaron una reducción significativa de la resistencia al deslizamiento en las áreas con señalización horizontal en comparación con los revestimientos, presentando valores inferiores a los límites de seguridad establecidos por la normativa. Se concluye que las condiciones de la señalización horizontal pueden comprometer la seguridad de los ciclistas, evidenciando la necesidad de un mayor control en la ejecución y el mantenimiento de estos elementos.

Palabras clave: péndulo británico, microtextura, seguridad vial, ingeniería de tránsito, infraestructura ciclista.

1 INTRODUÇÃO

O transporte por bicicleta tem se destacado como uma alternativa atrativa de mobilidade, por ser saudável, flexível e, em áreas urbanas, potencialmente mais eficiente que outros modos (Rekilä; Klein-Paste, 2016). Nesse contexto, seu incentivo está diretamente associado à promoção de benefícios ambientais, sociais e urbanos.

Para que esse modo se consolide, é fundamental investir na qualidade da infraestrutura cicloviária, garantindo condições adequadas de segurança e conforto. Além de aspectos geométricos e operacionais, a interação entre pneu e pavimento desempenha papel determinante na segurança dos ciclistas, especialmente no que se refere à aderência superficial (DNIT, 2010).

Devido à maior vulnerabilidade dos ciclistas no sistema viário (Aashto, 2010), a resistência à derrapagem se destaca como uma das propriedades mais relevantes dos pavimentos, estando diretamente associada à segurança e à funcionalidade das vias (Dan; He; Xu, 2017). Em baixas velocidades, típicas do tráfego cicloviário, a microtextura superficial é o principal fator responsável pela geração de atrito, influenciando diretamente a frenagem e a estabilidade, sobretudo em condições de pista molhada (Mattos, 2009).

Adicionalmente, a sinalização horizontal pode interferir na aderência, especialmente quando aplicada sem materiais antiderrapantes adequados, reduzindo o coeficiente de atrito e aumentando o risco de escorregamento (Pereira *et al.*, 2012). Nesse cenário, a avaliação das condições de atrito torna-se essencial para a segurança das vias cicloviárias.

No Distrito Federal, a expansão da malha cicloviária, associada à elevada frequência de uso da bicicleta, reforça a necessidade de monitoramento das condições funcionais dos pavimentos. Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a resistência à derrapagem em ciclovias e ciclofaixas do Distrito Federal, avaliando a influência do tipo de revestimento e da sinalização horizontal nas condições de aderência do pavimento.

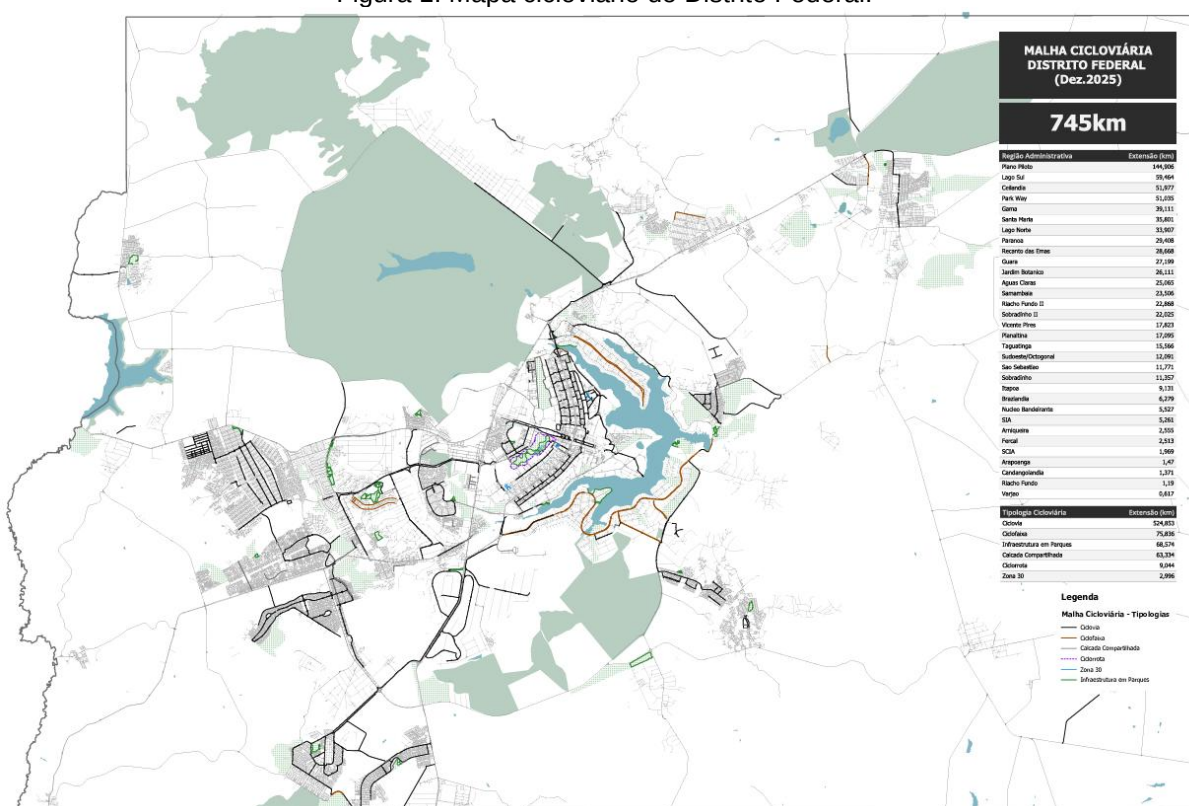
Especificamente, busca-se: (i) caracterizar os tipos de revestimentos e de sinalização horizontal; (ii) mensurar a microtextura superficial por meio do ensaio do Pêndulo Britânico (ASTM E303-93, 2022); (iii) comparar o desempenho entre revestimentos e áreas com sinalização horizontal; e (iv) verificar a conformidade dos resultados em relação às normativas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A mobilidade no Distrito Federal (DF) é orientada pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), que prioriza o transporte não motorizado e coletivo (Distrito Federal, 2009), e pelo Plano Diretor de Transporte Urbano (PDTU), que operacionaliza essas diretrizes ao integrar a bicicleta aos sistemas de transporte público (Distrito Federal, 2011).

O Distrito Federal tem ampliado sua infraestrutura cicloviária para incentivar a mobilidade ativa e integrar as regiões administrativas. Segundo Distrito Federal (2026), a rede cicloviária do DF possui aproximadamente 745 km de extensão, composta por ciclovias, ciclofaixas, infraestrutura em parques, calçadas compartilhadas, ciclorrotas e vias Zona 30, consolidando-se como uma das maiores do país. A configuração dessa rede pode ser observada na Figura 1.

Figura 1. Mapa cicloviário do Distrito Federal.



Fonte: Distrito Federal, 2026.

Dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) indicam que 36,9% dos domicílios possuem bicicleta (IPEDF, 2024), evidenciando a relevância do modal e a necessidade de avaliação contínua das condições da infraestrutura.

Nesse contexto, os pavimentos desempenham papel fundamental na segurança e no conforto dos usuários, sendo compostos por camadas estruturais como revestimento, base e subleito. O revestimento, por estar em contato direto com o tráfego, é responsável pelas condições de aderência e atrito. Os pavimentos podem ser classificados em flexíveis, rígidos e semirrígidos, conforme suas propriedades mecânicas (Senço, 2008; Bernucci *et al.*, 2008). A estrutura típica dessas camadas é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Estruturas de pavimentos.



Fonte: Borges e Peixoto, 2024.

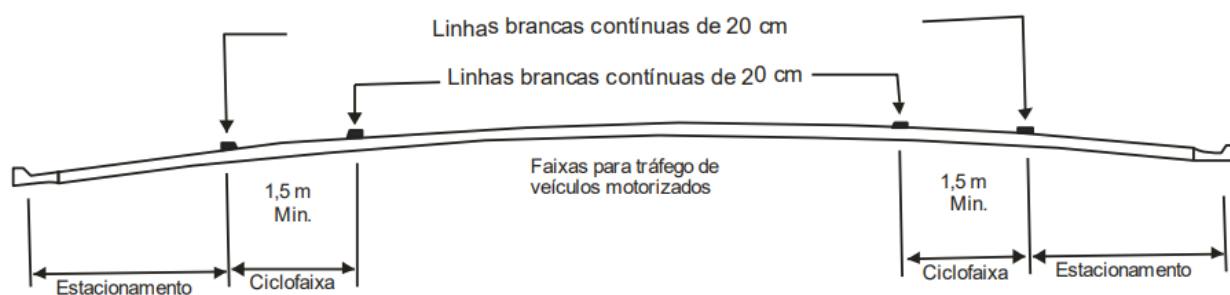
Entre os principais tipos de revestimentos destacam-se o asfáltico, amplamente utilizado por sua flexibilidade e aderência; o concreto, que apresenta maior durabilidade; os blocos intertravados, comuns em áreas urbanas; e o microrrevestimento asfáltico, aplicado a frio como técnica de manutenção para recuperação das características superficiais (Nascimento *et al.*, 2023). A escolha do revestimento influencia diretamente o desempenho funcional da via, especialmente no que se refere à textura superficial e ao coeficiente de atrito.

A textura superficial está diretamente relacionada às condições de aderência dos pavimentos, sendo um dos principais fatores que influenciam a segurança dos usuários. Nesse sentido, Aboaljus *et al.* (2021) evidenciaram que, em pavimentos rígidos, a rugosidade superficial é o principal fator para o aumento do atrito, superando variáveis como a espessura da laje e a taxa de movimentação.

Considerando a DNIT 031/2024-ES (2024) e as condições mínimas de aderência no contato pneu-pavimento, a análise da aderência torna-se particularmente relevante nas infraestruturas destinadas ao tráfego ciclovitário, que apresentam diferentes tipologias e condições operacionais. A infraestrutura ciclovitária pode assumir diferentes configurações, sendo as principais a ciclovia e a ciclofaixa. A ciclovia caracteriza-se pela segregação física em relação ao tráfego motorizado, enquanto a ciclofaixa consiste em uma faixa delimitada por sinalização horizontal na própria via. A segregação tende a proporcionar mais segurança, especialmente em vias com volume e velocidade de tráfego elevados (Pucher; Buehler, 2008), enquanto ciclofaixas são mais comuns em áreas com restrições de espaço (Nacto, 2012). Apesar da expansão da malha no DF, problemas de manutenção ainda comprometem a qualidade da infraestrutura.

A segurança das vias ciclovitárias depende de parâmetros geométricos e operacionais. Diretrizes internacionais, como as estabelecidas pela CROW (2007), recomendam larguras mínimas de 2,5 m para ciclovias e 1,5 m para ciclofaixas, valores semelhantes aos adotados pelo DNIT (2010). As Figuras 3 e 4 apresentam uma seção transversal típica de vias com ciclofaixa e uma seção transversal de uma ciclovia de dois sentidos, respectivamente.

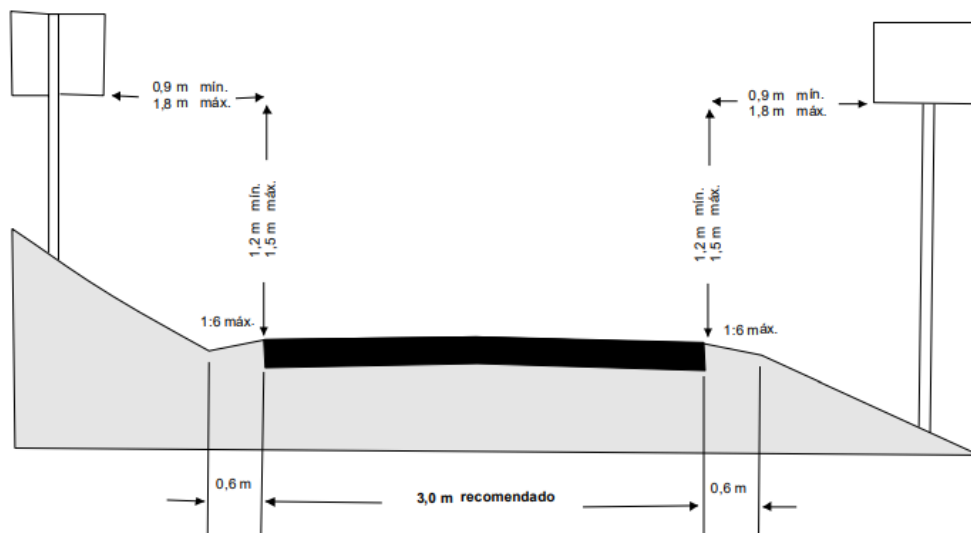
Figura 3. Seção transversal típica de vias com ciclofaixas.



(A) Estacionamento permitido com vagas demarcadas

Fonte: DNIT, 2010.

Figura 4. Seção transversal de uma ciclovia de dois sentidos.



Fonte: DNIT, 2010.

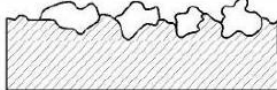
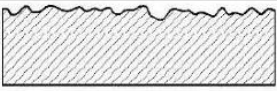
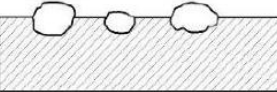
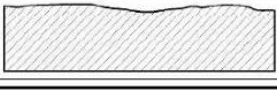
Além do espaço físico, a velocidade de projeto é um critério de dimensionamento crucial, variando conforme a tipologia da bicicleta, localização e gradiente da via. No Brasil, o valor mínimo adotado é de 30 km/h para vias pavimentadas, podendo ser reduzido para 25 km/h em trechos não pavimentados (DNIT, 2010). Em contraste, a Aashto sugere velocidades entre 13 e 24 km/h para trechos nivelados, podendo atingir 50 km/h em declives acentuados, influenciando diretamente o raio de curvatura e a distância de visibilidade.

Outro elemento essencial à segurança é a sinalização horizontal, cuja eficácia depende das propriedades dos materiais utilizados. As tintas viárias classificam-se em três tipos principais: à base de solvente, à base de água e termoplásticas, destacando-se estas últimas pela maior durabilidade e ampla aplicação em infraestruturas de alto desempenho. A aderência da superfície sinalizada está diretamente relacionada à sua textura e espessura, podendo ser influenciada pelo uso de aditivos como microesferas, que aumentam a retrorrefletividade e contribuem para a rugosidade superficial. No entanto, a aplicação inadequada desses materiais pode reduzir o atrito e comprometer a segurança.

Dessa forma, a avaliação da aderência nas superfícies cicloviárias está diretamente associada ao coeficiente de atrito, um dos principais parâmetros para avaliação da segurança viária, pois representa a interação entre o pneu e o pavimento. Essa interação depende da textura superficial, dividida em microtextura, relacionada à aspereza dos agregados, e macrotextura, associada às irregularidades da superfície, conforme ilustrado

na Figura 5 (APS, 2006).

Figura 5. Tipos de superfícies possíveis em função da microtextura e da macrotextura.

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido ou Lisa	Aberta		Polido e Aberto
	Fechada		Polido e Fechado

Fonte: APS, 2006.

A microtextura é especialmente relevante para ciclovias, devido às baixas velocidades de operação. Estudos indicam que superfícies com maior rugosidade apresentam melhor desempenho de atrito (Henry, 2000), enquanto a presença de água pode reduzir significativamente a aderência, podendo levar à aquaplanagem (Comfort; Boccanfuso; Morra, 2001).

No Brasil, a avaliação do atrito é realizada por meio do Valor de Resistência à Derrapagem (VRD), com limite tradicional de $VRD \geq 55$ (DNIT, 2006, atualizado para $VDR \geq 47$ em DNIT, 2024). Na ausência de critérios específicos para ciclovias, esses parâmetros são adotados como referência neste estudo, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de superfícies conforme o VRD.

Classes	VRD - Valor de resistência à derrapagem	Limite sugerido
1. Perigosa	< 25	VRD ≥ 55 Conforme Norma IPR 720/2006
2. Muito lisa	25 - 31	
3. Lisa	32 - 39	
4. Insuficientemente rugosa	40 - 44	
5. Medianamente rugosa	45 - 54	
6. Rugosa	55 - 75	
7. Muito rugosa	> 75	

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Para a medição do coeficiente de atrito, destacam-se o ensaio do Pêndulo Britânico (ASTM E303-93, 2022), voltado à avaliação da microtextura, e o método da Mancha de Areia (ASTM E965-2001, 2001), utilizado para análise da macrotextura.

No contexto ciclovitário, o uso do Pêndulo Britânico é mais indicado, devido à sua maior sensibilidade às irregularidades superficiais que influenciam diretamente a estabilidade e a segurança dos ciclistas.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa tem caráter experimental e quantitativo, com foco na avaliação da microtextura superficial de pavimentos ciclovitários por meio da determinação do coeficiente de atrito. Para isso, utilizou-se o ensaio com Pêndulo Britânico, conforme a norma ASTM E 303-93 (2022).

O estudo foi realizado em três vias cicláveis no Distrito Federal, selecionados em função da diversidade de revestimentos e do tempo de exposição ao tráfego. A coleta contou com apoio do Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER-DF) e contemplou: (i) ciclofaixa do Lago Norte, em microrrevestimento asfáltico com aproximadamente 10 anos; (ii) ciclovia do Lago Oeste, com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), com cerca de 2 anos; e (iii) ciclovia da Vila Basevi, em concreto de cimento Portland, com aproximadamente 1 ano de execução (Figura 6).

Figura 6. Localização dos trechos estudados no Distrito Federal.

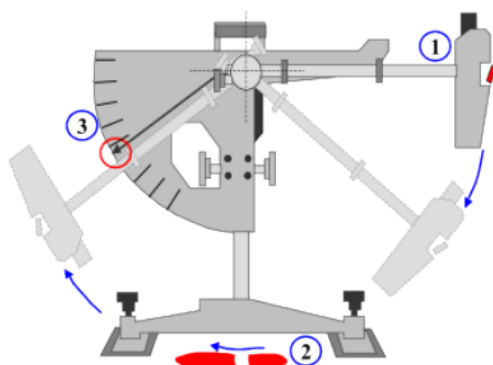


Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A determinação do coeficiente de atrito foi realizada *in loco* por meio do Pêndulo Britânico, equipamento que mede a perda de energia de uma sapata de borracha ao

deslizar sobre a superfície do pavimento úmido, fornecendo como resultado o Valor de Resistência à Derrapagem (VRD). O procedimento experimental incluiu limpeza da superfície, calibração do equipamento, umedecimento da área de ensaio e medição da temperatura superficial com termômetro a laser (Figuras 7 e 8).

Figura 7. Etapas de funcionamento do ensaio do Pêndulo Britânico.



Fonte: Valdo; Castro, 2016.

Figura 8. Medidor de temperatura utilizado no ensaio.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

As medições foram realizadas a cada 300 metros nos trechos do Lago Norte (24 pontos) e Lago Oeste (38 pontos), e a cada 250 metros na Vila Basevi (6 pontos). Em cada ponto, foram efetuadas cinco repetições, sendo utilizado o valor médio para análise. Aproximadamente 20% dos ensaios foram realizados sobre a sinalização horizontal, com o objetivo de comparar seu desempenho em relação ao revestimento.

A análise dos dados foi conduzida por meio de estatística descritiva e inferencial. Para comparação entre superfícies (pavimento e sinalização), aplicou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, adequado para amostras independentes e de

tamanhos distintos. Adicionalmente, os resultados foram organizados em planilhas e comparados com os limites de VRD estabelecidos pelo DNIT, permitindo a avaliação da conformidade técnica dos trechos analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados baseia-se na caracterização dos trechos avaliados e na comparação entre o desempenho do pavimento e da sinalização horizontal quanto ao coeficiente de atrito (Figuras 9, 10, 11 e 12).

Figura 9. Ciclovia na Vila Basevi em Pavimento Rígido.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Figura 10. Ciclovia do Lago Oeste em Concreto Asfáltico (CAUQ).



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Figura 11. Cruzamento das ciclovias da Vila Basevi e Lago Oeste.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Figura 12. Ciclofaixa do Lago Norte em Microrrevestimento a Frio.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

As coletas foram realizadas sob condições climáticas homogêneas, com tempo nublado e temperaturas superficiais entre 27°C e 41°C. A síntese das características dos trechos encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Categorização das vias e condições do ensaio.

Localização da Ciclovia	Lago Norte	Lago Oeste	Vila Basevi
Data da Avaliação	17/01/2019 e 28/01/2019	18/01/2019, 21/01/2019 e 22/01/2019	21/01/2019
Período da Avaliação	Matutino	Matutino	Matutino
Condição Climática	Nublado e Nublado	Nublado, Nublado e Nublado	Nublado
Temperatura da Superfície do Pavimento	Entre 27°C e 37°C	Entre 29°C e 41°C	Entre 36°C e 40°C
Extensão Avaliada	7,10 km	12,40 km	1,50 km
Tipo de Revestimento	Microrrevestimento Asfáltico	Concreto Asfáltico Usinado à Quente - CAUQ	Concreto com Cimento Portland
Idade da Ciclovia	10 anos	2 anos	1 ano

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Os dados indicaram, de forma consistente, que a sinalização horizontal apresenta coeficientes de atrito inferiores aos do pavimento em todos os trechos. Esse comportamento está associado à formação de uma película superficial pela tinta, que reduz a rugosidade e encobre a microtextura dos agregados.

Para a comparação entre os grupos Pavimento (n_1) e Pintura (n_2), foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, adequado para amostras independentes e sem distribuição normal. O cálculo da estatística U para cada grupo seguiu as equações (1) e (2):

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (1)$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \quad (2)$$

Onde:

n_1 e n_2 = número das amostras dos grupos 1 e 2;

R_1 e R_2 = Somatório dos rankings atribuídos aos grupos 1 e 2.

Para os trechos com maior número de amostras (Lago Norte e Lago Oeste), utilizou-se a aproximação pela distribuição normal para determinar a significância estatística (p -valor). O escore Z padronizado foi obtido através das equações (3), (4) e (5):

$$\mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (3)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (4)$$

$$Z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (5)$$

Onde:

Z = Escore Z ;

μ_U = Média esperada de U;

σ_U = Erro padrão.

Para a comparação entre os grupos, adotou-se nível de significância de 5%, considerando-se como hipótese nula a igualdade entre as distribuições dos coeficientes de atrito e, como hipótese alternativa, a existência de valores inferiores na sinalização horizontal em relação ao pavimento.

Os resultados (Tabela 3) apresentaram p -valor $< 0,05$ para os trechos do Lago Norte e Lago Oeste, indicando diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados e permitindo a rejeição da hipótese nula, ao nível de significância de 5%. Dessa forma, confirma-se que os valores de atrito na sinalização horizontal são significativamente inferiores aos observados no pavimento.

Para a ciclovia da Vila Basevi, embora se observe a mesma tendência de redução do atrito na pintura, o número reduzido de amostras ($n=6$) resultou em p -valor superior a 0,05, não sendo possível rejeitar a hipótese nula ao mesmo nível de confiança. Assim, não se pode afirmar estatisticamente que exista diferença entre os grupos, apesar da evidência empírica indicar comportamento semelhante aos demais trechos.

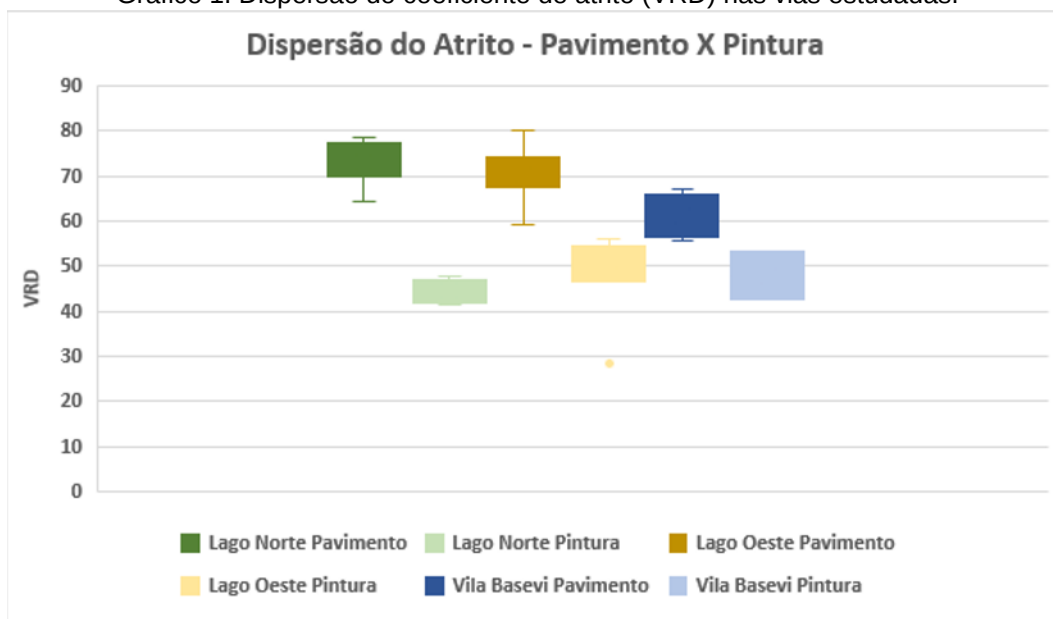
Tabela 3. Resultados do teste estatístico (Z e p-valor).

Localização	μ_U	σ_U	Z	p-valor
Lago Norte	47,5	14,06829	3,38	0,00073
Lago Oeste	108,5	26,55654	4,09	0,00004
Vila Basevi	4	2,160247	1,85	0,06408

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A análise conjunta dos dados por meio do gráfico de dispersão (Gráfico 1) evidencia a variabilidade e o desempenho relativo das superfícies.

Gráfico 1. Dispersão do coeficiente de atrito (VRD) nas vias estudadas.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Observa-se que os pavimentos flexíveis (Lago Norte e Lago Oeste) apresentam medianas superiores a 70, caracterizando superfícies rugosas e com bom desempenho. Destaca-se o microrrevestimento do Lago Norte, que apresentou maior homogeneidade mesmo após longo período de uso. O pavimento rígido da Vila Basevi apresentou valores médios inferiores e maior dispersão, sugerindo variabilidade no acabamento superficial.

Em todos os trechos, a sinalização horizontal apresentou menores valores de atrito. No Lago Norte, a baixa dispersão indica superfície uniformemente lisa, enquanto no Lago Oeste a maior variabilidade sugere inconsistência na aplicação ou desgaste da pintura.

Do ponto de vista da segurança, a transição entre superfícies com diferentes níveis de atrito configura um fator crítico. A presença de trechos com menor aderência inseridos em superfícies mais rugosas gera descontinuidades que podem comprometer a estabilidade do ciclista, especialmente em frenagens ou em condições de pista molhada.

Adicionalmente, a redução do limite mínimo de VRD proposta pelo DNIT (de 55 para 47) pode ampliar a aceitação de superfícies com desempenho inferior. Embora atendam aos critérios normativos, tais condições podem não ser adequadas para o contexto cicloviário, no qual a segurança depende fortemente da microtextura superficial.

Assim, os resultados reforçam que a avaliação da infraestrutura cicloviária deve considerar não apenas os valores médios de atrito, mas também sua variabilidade e a

influência da sinalização horizontal, elementos que podem comprometer a segurança mesmo em vias classificadas como adequadas.

5 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a malha cicloviária do Distrito Federal sob a ótica da aderência pneu-pavimento, utilizando o Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) como indicador de segurança. Os resultados evidenciaram diferenças relevantes entre tipos de revestimento e, sobretudo, o impacto negativo da sinalização horizontal na aderência.

Os pavimentos asfálticos apresentaram melhor desempenho, com valores predominantemente classificados como rugosos, destacando-se o microrrevestimento do Lago Norte, que manteve níveis elevados de atrito mesmo após longo período de uso. Em contraste, o pavimento rígido da Vila Basevi apresentou valores inferiores e maior variabilidade, indicando que a qualidade do acabamento superficial exerce influência mais significativa que a idade do pavimento.

De forma consistente, a sinalização horizontal apresentou coeficientes de atrito inferiores aos do pavimento, com diferença estatisticamente significativa nos principais trechos analisados. Esse comportamento confirma que a pintura atua como uma camada de baixa rugosidade, reduzindo a microtextura superficial e comprometendo a aderência, especialmente em situações de frenagem e curvas.

Destaque-se que a segurança cicloviária não depende apenas do desempenho médio da via, mas também da sua uniformidade. A presença de superfícies com diferentes níveis de atrito ao longo do percurso cria discontinuidades que podem surpreender o usuário e aumentar o risco de acidentes, mesmo em infraestruturas visualmente adequadas.

Além disso, a flexibilização recente dos critérios normativos do DNIT para VRD pode ampliar a aceitação de superfícies com desempenho inferior, o que se mostra inadequado para o contexto cicloviário, mais sensível às variações de microtextura.

Diante disso, recomenda-se maior rigor no controle executivo, especialmente em pavimentos de concreto, e a adoção de materiais de sinalização que incorporem propriedades antiderrapantes, de modo a reduzir a discrepância entre pintura e pavimento. Como continuidade, sugere-se a ampliação da análise para outras regiões do Distrito

Federal, bem como a realização de ensaios em condições críticas, como superfície molhada, para melhor compreensão dos riscos associados.

Em síntese, embora a infraestrutura cicloviária do Distrito Federal apresente trechos com bom desempenho, a sinalização horizontal configura um ponto crítico de segurança, podendo representar um fator adicional de risco devido à redução localizada da aderência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER-DF) pelo apoio e colaboração na coleta de dados, essenciais para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AASHTO. Guide for the planning, design, and operation of bicycle facilities. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.

ABOALJUS, T. A. *et al.* Effect of different parameters on coefficient of friction between rigid pavement and subbase layer. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1973, n. 1, 012230, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1973/1/012230.

APS, Márcia (2006). Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2006. 179p.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM E965-2001: Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2001.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM E303-93 (2022): Standard test method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum Tester. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022.

BERNUCCI, L. B. *et al.* Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008.

BORGES, W. S. A.; PEIXOTO, M. S. Aspectos técnicos da pavimentação asfáltica: processos, materiais e controle de qualidade. *Revista Foco*, v. 17, n. 12, e7362, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n12-188.

COMFORT, G.; BOCCANFUSO, A.; MORRA, D. Wet runway friction: literature and information review. Ottawa: Transport Canada, 2001.

CROW. Design manual for bicycle traffic. Ede: CROW, 2007.

DAN, H. C.; HE, L. H.; XU, B. Experimental investigation on skid resistance of asphalt pavement under various slippery conditions. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 18, n. 6, p. 485-499, 2017. DOI: 10.1080/10298436.2015.1095901.

DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DNIT. Manual de projeto geométrico de travessias urbanas. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

DNIT. DNIT 031/2024-ES: Pavimentação – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Brasília: DNIT, 2024.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) e dá outras providências. Brasília, DF, 2009.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 4.566, de 4 de maio de 2011. Dispõe sobre o Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília, DF, 2011.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Transporte e Mobilidade. **Mobilidade ativa**. Brasília, DF: SEMOB, [s.d.]. Disponível em: <https://www.semob.df.gov.br/mobilidade-ativa>. Acesso em: 8 jun. 2026.

HENRY, J. J. Evaluation of pavement friction characteristics. Washington, DC: Transportation Research Board, 2000.

MATTOS, J. R. G. Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NACTO. Urban bikeway design guide. New York: National Association of City Transportation Officials, 2012.

NASCIMENTO, M. V. do *et al.* Investigation of the adhesion conditions of the micro-surfacing applied on asphalt concrete. Case Studies in Construction Materials, v. 18, e02155, 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02155.

IPEDF. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) 2024: relatório executivo. Brasília, DF: IPEDF, 2024.

PEREIRA, C. A. *et al.* Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes. Transportes, v. 20, n. 2, p. 65-74, 2012. DOI: 10.4237/transportes.v20i2.525.

PUCHER, J.; BUEHLER, R. Making cycling irresistible: lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. Transport Reviews, v. 28, n. 4, p. 495-528, 2008. DOI: 10.1080/01441640701806612.

REKILÄ, K. P.; KLEIN-PASTE, A. Measuring bicycle braking friction in winter conditions. Cold Regions Science and Technology, v. 125, p. 108-116, 2016. DOI: 10.1016/j.coldregions.2016.02.005.

SENÇO, W. de. Manual de técnicas de pavimentação. 2. ed. São Paulo: PINI, 2008.

VALDO, L.; CASTRO, N. F. Normalização do ensaio de resistência ao escorregamento para rochas ornamentais. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL DO CETEM, 5., Rio de Janeiro, 2016. Anais [...]. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016.