

## COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE RETRORREFLETIVIDADE NA GEOMETRIA DE 15 E 30 METROS E SEU EFEITO NA SEGURANÇA VIÁRIA

**Laura Nascimento Mazzoni**

**Kamilla Vasconcelos Lima**

**Felipe Issa Kabbach**

**Linda Lee Ho**

**Liedi Bernucci**

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

### RESUMO

As mortes por acidentes de trânsito são uma preocupação mundial. Uma das alternativas para melhorar a segurança viária é o aprimoramento da sinalização horizontal. Atualmente, a avaliação da qualidade sinalização horizontal relaciona-se com a sua visibilidade, e baseia-se na retrorrefletividade, que é medida por meio de um retrorrefletômetro. Esse equipamento simula a visibilidade do condutor a distâncias de 15 e 30 metros a partir de um dado ponto de observação. Esse trabalho discute a correlação entre as leituras nas duas geometrias de observação e seus aspectos na segurança viária. Os dados analisados foram coletados em um trecho experimental e avaliados estatisticamente. São comparados também três tipos de tintas e diferentes taxas de aplicação de microesferas. Os resultados indicam que as geometrias estão linearmente correlacionadas e são dependentes dos materiais utilizados.

### ABSTRACT

Traffic injuries are a worldwide concern. The improvement of pavement markings is an alternative for enhance traffic safety. The evaluation of pavement marking quality is related to its visibility and relies on the retroreflectivity, which is measured by the retroreflectometer. This equipment simulates the driver's visibility from 15 or 30 meters away from an observed point. This paper discusses the correlation of retroreflectivity's measurements by both geometries and its aspects on traffic safety. The data analyzed were collected in a test site and statically evaluated. Three different paints and three glass bead's application rates are also compared. The results indicate that geometries are linearly correlated and depends on materials used.

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015), os acidentes de trânsito são a principal causa de morte entre a população jovem (15-29 anos) no mundo, com mais de 1,2 milhões de vítimas todos os anos. Considerando o cenário nacional, os acidentes de trânsito estão entre os cinco principais responsáveis pela morte de jovens e crianças (5-14 anos) (BRASIL, 2017). Estima-se que, em 2014, o Brasil gastou mais de R\$ 37 bilhões com acidentes de trânsito em todas as rodovias, incluindo os custos de remoção dos veículos e assistência às vítimas feridas ou fatais (IPEA, 2015). Esse valor foi equivalente a 0,67% do PIB nacional desse mesmo ano.

A segurança viária depende das características dos veículos, do comportamento humano, das condições climáticas e das próprias características da rodovia. Os acidentes costumam se concentrar em zonas específicas da malha viária onde há falhas de manutenção e/ou de concepção de projeto. Dentre as características e medidas que contribuem para o aumento da segurança viária, incluem-se aquelas que melhoram a percepção do motorista sobre a via por meio de dispositivos de controle de tráfego como, por exemplo, a sinalização horizontal (OMS, 2004).

A sinalização horizontal é definida como o conjunto de marcações presentes na superfície do pavimento com a função de orientar e promover segurança adequada aos usuários da via (DNIT, 2010). As linhas longitudinais da sinalização horizontal, sejam contínuas ou tracejadas,

atuam como uma referência visual para os motoristas conduzirem seus veículos ao longo da faixa de tráfego, ou para realizarem manobras de mudança de faixa, de ultrapassagem, etc. Para tanto, é imprescindível que elas sejam visíveis durante o período diurno e noturno, assim como em situações de condições climáticas desfavoráveis, como em situações de chuva e neblina.

A visibilidade diurna da sinalização horizontal depende do contraste entre a marcação e o pavimento, enquanto a visibilidade noturna depende da retrorrefletividade. Os valores de retrorrefletividade estão diretamente relacionados à percepção da sinalização pelos motoristas, e, conseqüentemente, à redução do número de acidentes (CARLSON, PARK; KANG, 2003; SMADI et al, 2008; DONNELL; KARWA; STHYANARAYANAN, 2009). Assim, a retrorrefletividade é o principal parâmetro de avaliação da qualidade de sinalizações no mundo (MIZERA, 2009). A avaliação da retrorrefletividade é feita com um equipamento que simula a percepção do motorista em duas condições possíveis: a 15 e a 30 metros de distância do ponto de observação, chamadas de geometria angular.

Esse trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das condições de visibilidade da sinalização horizontal, pela sua importância na segurança viária, considerando os valores de retrorrefletividade obtidos com a utilização de um retrorrefletômetro portátil para medições realizadas para as geometrias de 15 e de 30 metros.

## **2. SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E SEGURANÇA VIÁRIA**

A sinalização horizontal começou a ser usada em rodovias após meados dos anos 1900 (FHWA, 2015) e, atualmente, é um elemento fundamental para a segurança viária. O Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 2017) proíbe a liberação do tráfego em qualquer via pavimentada sem que esta contenha a sinalização adequada, de forma a garantir segurança para os condutores. Carlson, Park e Andersen (2009) conduziram uma extensa revisão bibliográfica e verificaram que a inserção de faixas de bordo nas rodovias foi capaz de reduzir as taxas de acidentes, independentemente do volume de tráfego, da geometria da via, ou das condições de iluminação. Durante o período noturno, a baixa visibilidade faz com que o motorista altere o seu comportamento e a sinalização horizontal é ainda mais importante. Em tal situação, o condutor depende fundamentalmente da região iluminada pelos faróis dos veículos (LEE; DONNELL, 2007). Quando a luz incide na sinalização, ela é refletida em direção à fonte emissora, nesse caso o farol do veículo, e faz com que tais elementos sejam visíveis durante a noite. Essa é uma característica necessária para os elementos de controle de tráfego e é denominada de retrorrefletividade.

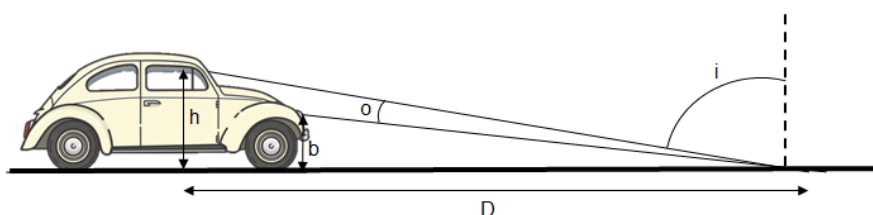
### **2.1. Retrorrefletividade**

A retrorrefletividade (RL) é a habilidade de um corpo receber luz e refletir em direção à fonte emissora. Ela também é chamada de coeficiente de luminância retrorrefletiva, definida como a razão entre a luminância de uma superfície retrorrefletiva, na direção de observação, e a iluminância recebida sobre um plano perpendicular à direção da luz incidente. Ela é expressa em milicandela por metro quadrado por lux ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) (ABNT, 2013). Para a sinalização horizontal, a retrorrefletividade está relacionada à percepção de visibilidade pelos motoristas e associada ao brilho das faixas e sinais.

Tal característica é atribuída a pinturas de sinalização horizontal devido à aplicação de microesferas de vidro sobre a tinta. As microesferas funcionam como pequenos refletores e retornam a luz dos faróis dos veículos em direção à fonte emissora e, assim, possibilitam que a

sinalização seja visível a determinadas distâncias. As características físicas das microesferas, como seu tamanho, distribuição e ancoramento na tinta, índice de refração, transparência e esfericidade, influenciam os valores de retrorrefletividade, podendo comprometer a qualidade da sinalização horizontal (MIGLETZ et al., 1994).

A avaliação da retrorrefletividade é atualmente feita com a utilização de um equipamento específico, denominado retrorrefletômetro. O equipamento emite um feixe de luz com uma determinada intensidade sobre uma área conhecida e suas fotocélulas captam a iluminação retornada da superfície (RIZENBERGS, 1970). É importante que durante a medição, as fotocélulas estejam isoladas de qualquer iluminação externa. Antes dos anos 60, nos Estados Unidos, a retrorrefletividade era avaliada qualitativamente por motoristas a diferentes distâncias de observação sob uma fonte luminosa (DALE, 1967; ATTAWAY, 1989). Uma das grandes preocupações da época eram os ângulos de incidência e a divergência da geometria angular dos equipamentos. Lundkvist e Sørensen (1980) avaliaram a iluminação refletida da sinalização considerando diferentes alturas e distâncias do observador ao ponto de interesse. Eles concluíram que a retrorrefletividade diminui quanto mais alto e distante o observador está do ponto observado. Eles acrescentam que a retrorrefletividade mostra um aumento inicial até distâncias de observação entre 15 e 30 metros. As distâncias simuladas e os ângulos de incidência utilizados nos equipamentos atuais são de 15 e 30 metros de distância. A Figura 1 ilustra a geometria angular simulada pelos retrorrefletômetros.



**Figura 1:** Geometria angular dos retrorrefletômetros (Adaptado de DNIT, 2017)

A geometria angular simula a visibilidade do motorista em um veículo de passeio a uma distância  $D$  do ponto de observação, com a altura ‘ $h$ ’ de seus olhos em relação à superfície da pintura. Assume-se que os faróis estão a uma altura ‘ $b$ ’, incidindo no ponto de observação em um ângulo ‘ $i$ ’ (em relação à vertical em tal ponto), e refletindo para a observação do motorista com um ângulo ‘ $o$ ’. Para a geometria de 15 metros,  $D = 15$  metros,  $i = 86,5^\circ$  e  $o = 1,5^\circ$ . Para a geometria de 30 metros,  $D = 30$  metros,  $i = 88,76^\circ$  e  $o = 1,05^\circ$ . Ambas as geometrias assumem  $b = 0,65$  m e  $h = 1,20$  m (DNIT, 2017). No Brasil, ambas geometrias são aceitas para a leitura de retrorrefletividade e estão descritas nas normas ABNT NBR 14723 (2013) e NBR 16307 (2014). Apesar disso, em alguns países apenas a geometria de 30 metros é aceita. A Tabela 1 apresenta a distância de observação adotada em alguns países.

**Tabela 1:** Geometria angular para leitura de retrorrefletividade

| País                           | 15 metros | 30 metros |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| Brasil – ANTT (ANTT, 2017)     | x         | X         |
| Brasil - DER/SP (DER/SP, 2006) | x         |           |
| Estados Unidos (MUTCD, 2009)   |           | x         |
| União Europeia (CEN, 2010)     |           | x         |
| Colômbia (ICONTEC, 2018)       | x         | x         |
| África do Sul (SABS, 2008)     |           | x         |

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| Chile (Dirección de Vialidad, 2014) | x | x |
| Peru (Peru, 2013)                   |   | x |
| Equador (INEN, 2009)                |   | x |

---

A Tabela 1 mostra que a maioria dos países analisados utilizam exclusivamente a geometria de 30 metros. O Brasil, a Colômbia e o Chile aceitam ambas as geometrias, devido às normas publicadas na última década. Além disso, no Brasil, o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) ainda não aceita a geometria de 30 metros em sua especificação técnica.

## 2.2. Retrorrefletividade e visibilidade da sinalização horizontal

Muitos pesquisadores tentaram correlacionar os valores de retrorrefletividade com a visibilidade e, conseqüentemente, com o número de acidentes. Dravitzki, Wilkie e Lester (2006); Smadi et al. (2008); Donnell, Karwa e Sathyanarayanan (2009) não encontraram correlação estatisticamente significativa entre a retrorrefletividade e o número de acidentes para o banco de dados analisado. Porém, na mesma pesquisa, Smadi et al. (2008) isolaram os dados com valores de retrorrefletividade abaixo de 200 mcd/m<sup>2</sup>/lux e encontraram uma correlação estatisticamente significativa do aumento de acidentes com a redução de retrorrefletividade. Eles verificaram que a redução da retrorrefletividade de 200 mcd/m<sup>2</sup>/lux para 50 mcd/m<sup>2</sup>/lux aumentou em 35% o número de acidentes. Analogamente, Masliah, Bahar e Hauer (2007) concluíram que a manutenção dos valores de retrorrefletividade é mais importante do que altos valores para a redução de acidentes. Bektas, Gkritza e Smadi (2016) acrescentam que a presença da sinalização horizontal, durante os períodos diurno e noturno, contribuem para a redução de acidentes.

A correlação entre os valores de retrorrefletividade e taxas de acidente são controversas, e está relacionada à seção selecionada para análise. Muitas vezes os acidentes podem ser causados por fatores adicionais e serem atribuídos às falhas de sinalização. Há ainda a influência das características do traçado geométrico dos segmentos considerados. Para avaliar a correlação entre a segurança viária e a retrorrefletividade, pesquisadores também avaliaram a visibilidade da sinalização. Nas rodovias, a visibilidade é um dos principais parâmetros de dimensionamento durante a fase de projeto devido às adequadas distâncias de visibilidade para tomada de decisão do condutor, seja para imobilizar o veículo ao perceber uma situação de perigo adiante em sua trajetória, seja para efetuar uma manobra de ultrapassagem sobre um veículo mais lento.

Baseando-se no conceito de que os olhos humanos se ajustam de acordo com a intensidade luminosa recebida, Zwahlen e Schnell (1997) e Schnell, Aktan e Lee (2003) conduziram experimentos com voluntários dirigindo em trechos rodoviários de teste. Eles concluíram que, nos trechos em que a sinalização horizontal possuía baixa retrorrefletividade, a orientação do motorista tornava-se dispersa, pela necessidade de tentar visualizar algum elemento de referência para se guiar. Já em seções com retrorrefletividade alta, o motorista focava e tinha uma visão ampla da rodovia. Schnell, Aktan e Lee (2003) e Aktan e Schnell (2004) compararam a distância necessária para o motorista detectar a sinalização horizontal em condições de pavimento molhado, período chuvoso, ou pavimento seco. Em média, os motoristas detectaram a sinalização a 86,1 m de distância com o pavimento seco, a 43,7 m para o pavimento molhado e a 25,5 m em condições chuvosas. A redução das distâncias foi proporcional ao valor de retrorrefletividade medido. Gibbons et al. (2013) sugere um valor mínimo de RL = 150 mcd/m<sup>2</sup>/lux para condições adversas, isso é, em noites chuvosas.

Além de condições climáticas adversas, a idade dos motoristas também pode afetar a visibilidade da sinalização. Graham, Harrold e King (1996) fizeram um experimento com motoristas idosos, que deveriam classificar as condições de trechos rodoviários com retrorrefletividade (RL) entre 46 e 301 mcd/m<sup>2</sup>/lux para distância de observação de 30 metros e compararam os resultados obtidos com os de um estudo de King e Graham (1991), realizado nas mesmas condições, com motoristas de idade média de 24 anos. Pelos resultados, o estudo de 1991 concluiu que a retrorrefletividade mínima requerida era de 93 mcd/m<sup>2</sup>/lux, sendo que o estudo mais recente obteve o valor de 112 mcd/m<sup>2</sup>/lux, indicando a necessidade de maiores valores de RL para motoristas idosos.

Zwahlen e Schnell (2000), por meio de simulações, discutem o valor mínimo de retrorrefletividade (geometria de 30 metros) para a sinalização horizontal, considerando condutores de 22 e 62 anos, variando a velocidade e assumindo o tempo mínimo de reação de 3,65 s. Eles relatam que, para os motoristas mais jovens, à velocidade de 40 km/h, é necessário RL = 23 mcd/m<sup>2</sup>/lux, sendo que, a 120km/h, esse valor sobe para RL = 283 mcd/m<sup>2</sup>/lux. Para motoristas idosos, a demanda de retrorrefletividade é ainda maior com o aumento de velocidade: de 28 mcd/m<sup>2</sup>/lux para 623 mcd/m<sup>2</sup>/lux, considerando o mesmo cenário. Assim, percebe-se que é fundamental o controle de retrorrefletividade adequado para a população.

### 3. METODOLOGIA

As leituras de retrorrefletividade para as geometrias de 15 e 30 metros foram realizadas por meio da coleta de dados em um trecho experimental ao longo de determinado período de tempo. O trecho experimental foi executado na Rodovia BR-381 – Fernão Dias, sentido norte. O local selecionado foi uma praça de pedágio, pois não poderia haver curvas, interseções ou pontos de acesso (ASTM, 2013a). As faixas foram pintadas transversalmente ao tráfego conforme indicado pela ASTM D713 (2013a), em duas cabines na saída do pedágio, com a largura de 20 cm e espaçadas em 30 cm.

#### 3.1. Materiais

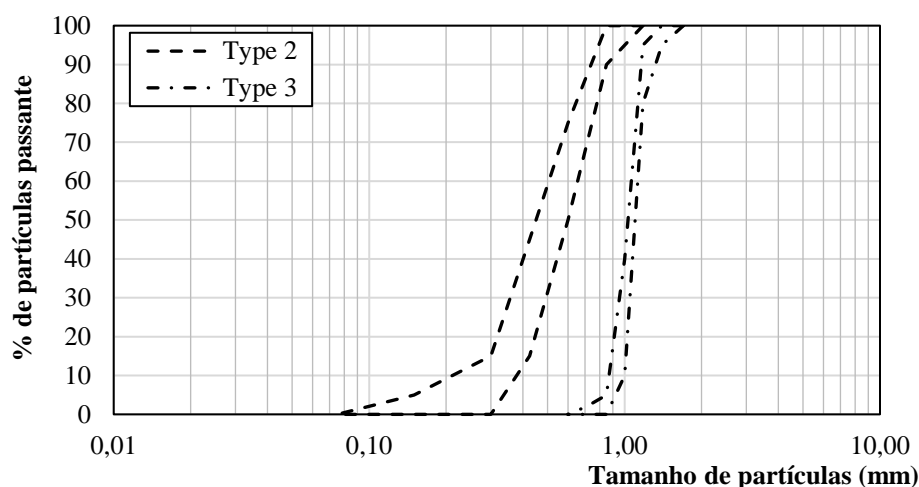
Para a execução do trecho experimental, foram utilizados três tipos de tinta à base de resina acrílica emulsionadas em água (ABNT, 2012) e microesferas de vidro (AASHTO, 2013). As três tintas foram formuladas por um produtor de resina com a intenção de avaliar o comportamento das tintas compostas por diferentes resinas: a tinta A é composta de uma resina para sinalização provisória, e deve ser aplicada com espessura de 0,5 mm; a tinta B é composta por uma resina convencionalmente utilizada em tintas de sinalização horizontal, e deve ser aplicada com espessura de 0,5 mm; por fim, a tinta C é composta por uma resina de alta espessura, com o intuito de promover maior durabilidade à sinalização e é aplicada com espessura de 0,8 mm.

As microesferas de vidro foram fornecidas por um fabricante dos Estados Unidos e, portanto, atendem aos requisitos prescritos na norma AASHTO M247 (2013). Foram utilizadas duas granulometrias: Type 2 e Type 3, conforme a Figura 2. As granulometrias descritas em normas se diferem em função do tipo de aplicação (aeroportos ou rodovias), e também em relação ao tipo de material de adesão que será utilizado e à espessura de aplicação. Os diferentes tamanhos de microesferas permitem que elas atinjam o percentual do diâmetro de ancoramento ideal, isso é, o percentual que leva ao maior valor de retrorrefletividade. A granulometria colabora para isso, pois as microesferas que ficaram com um ancoramento mais profundo atingem o nível



ideal com desgaste da pintura (MIGLETZ et al., 1994). Além disso, microesferas de grandes diâmetros (acima de 0,850 mm) aumentam a retrorefletividade, principalmente em situação de chuva (KALCHBRENNER, 1989).

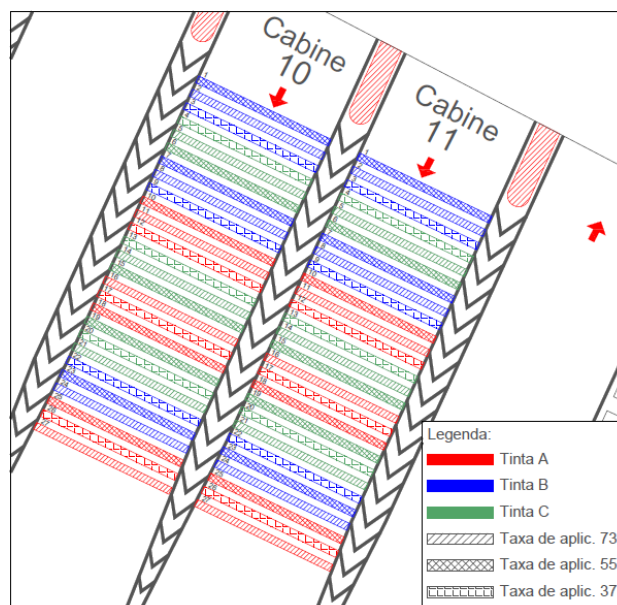
Assim, foi adotado o procedimento de combinar as granulometrias com três diferentes taxas de aplicação: 70% Type 2 + 30% Type 3 (73), 50% Type 2 + 50% Type 3 (55) e 30% Type 2 + 70% Type 3 (37). Todas as taxas de aplicação foram aspergidas sobre as tintas em uma concentração de 600 g de microesfera para cada metro quadrado de tinta (600 g/m<sup>2</sup>). Cada uma das taxas de aplicação de microesferas foi usada em conjunto com cada uma das tintas, resultando em 9 combinações distintas dos materiais: A - 73, B - 73, C - 73, A - 55, B - 55, C - 55, A - 37, B - 37 e C - 37.



**Figura 2:** Faixa granulométrica para as microesferas Type 2 e Type 3, de acordo com a norma AASHTO M247 (2013)

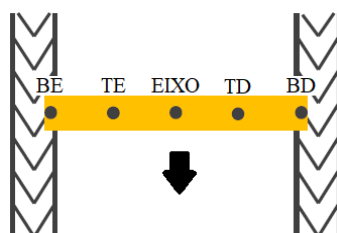
### 3.2. Planejamento de experimento

Neste experimento são considerados dois fatores: a tinta (três níveis) e a microesfera (três níveis). O planejamento de experimento aplicado ao trecho experimental foi do tipo *spli-plot* (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005), em que os níveis de um fator (este fator é denominado de *whole plot*) são aleatorizados em blocos. Um dos níveis deste fator é fixo dentro desse bloco, enquanto os níveis do outro fator são aleatorizados. No bloco seguinte, um outro nível do fator fixado é alterado e, novamente, os níveis do segundo fator são aleatorizados dentro do bloco, e assim sucessivamente. Para o presente trabalho, o fator fixo por bloco foi a tinta, uma vez que esta requer maior tempo de trocar no equipamento de pintura, enquanto as microesferas foram aleatorizadas dentro de um mesmo bloco. O croqui do experimento conforme o planejamento realizado está ilustrado na Figura 3.



**Figura 3:** Planejamento de experimento do tipo *split-plot* para a execução do trecho experimental

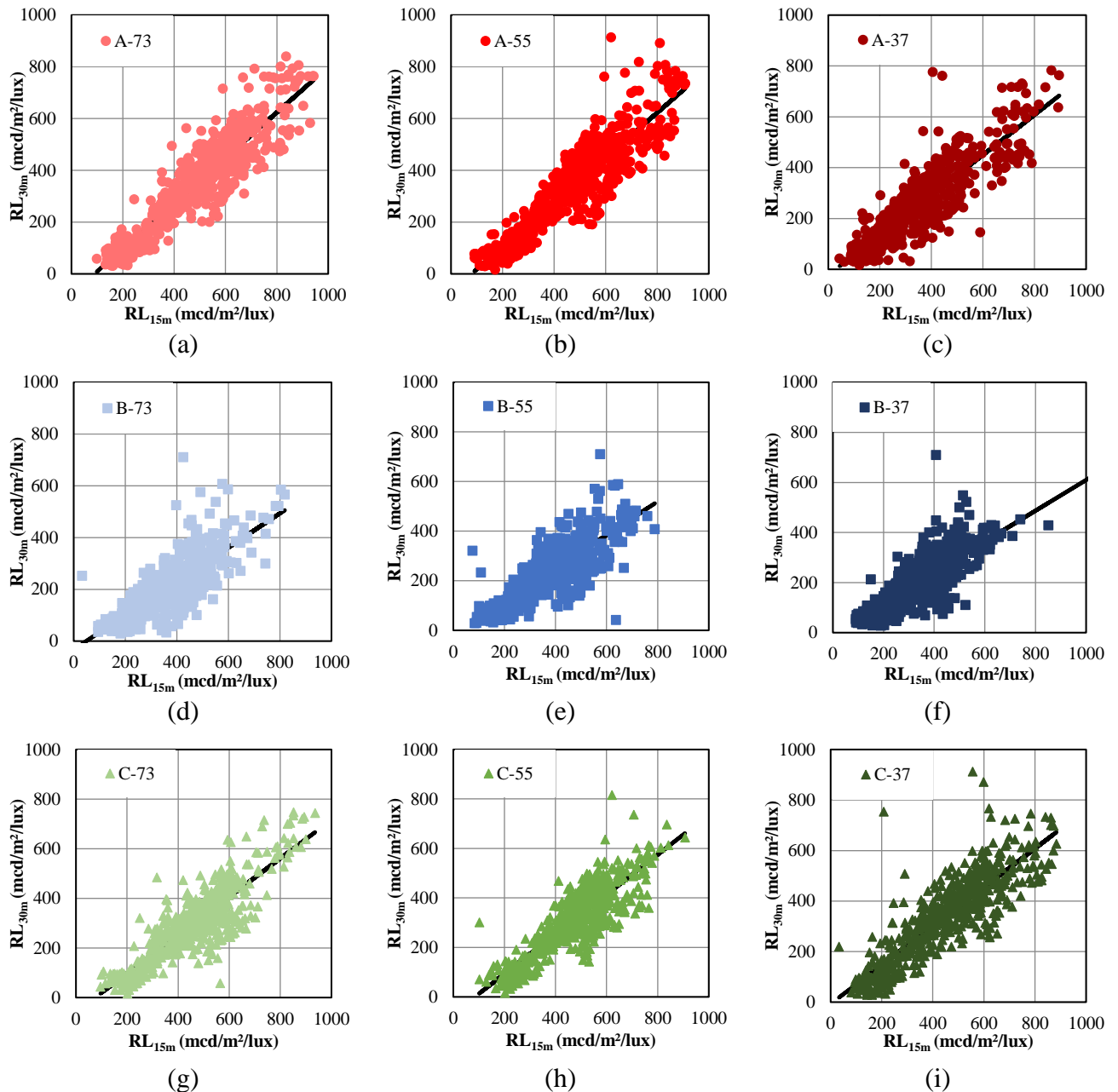
Pode-se verificar que cada bloco se repete três vezes, com as microesferas ordenadas de maneira distinta. Considerando as duas cabines, cada combinação apresenta seis réplicas no trecho experimental. As leituras de retrorrefletividade (RL) foram feitas com um retrorrefletômetro portátil de duas geometrias, isso é, ele é capaz de ler a RL para 15 e 30 metros simultaneamente, fornecendo os dois valores sem a necessidade de reposicionar o equipamento. As leituras foram feitas em cinco posições para cada faixa em cada cabine: bordo direito (BD) e esquerdo (BE), trilha de roda direita (TD) e esquerda (TE) e no eixo do veículo (EIXO), conforme Figura 4. Os valores de retrorrefletividade discutidos nesse trabalho são os valores absolutos em cada leitura, de cada faixa, monitorados ao longo do tempo durante 162 dias, com o intervalo médio entre leituras de 8 dias.



**Figura 4:** Posições de leitura de retrorrefletividade para cada faixa

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento do trecho experimental ao longo de 162 dias resultou em 600 leituras de retrorrefletividade para cada uma das geometrias em um mesmo ponto e para cada combinação, totalizando 10.800 leituras. Os gráficos que caracterizam a dispersão entre a retrorrefletividade para a geometria de 30 metros ( $RL_{30m}$ ) e a retrorrefletividade para a geometria de 15 metros ( $RL_{15m}$ ) estão apresentados na Figura 5.



**Figura 5:** Gráficos de dispersão entre as leituras de retrorrefletividade para as geometrias de 15 metros e 30 metros.

Com base nos gráficos da Figura 5, pode-se verificar que existe uma relação linear entre os dois tipos de leituras e que a inclinação está mais próxima ao eixo x para valor do coeficiente angular menor que 1, ou seja,  $RL_{30m} < RL_{15m}$ . Tal resultado é intuitivo, uma vez que, quanto menor a distância, melhor é a condição de visibilidade. Salles et al. (2015) também avaliaram e compararam os resultados para diferentes geometrias baseando-se no Fator de Correlação entre Geometrias (FCG), dado pela razão entre  $RL_{15m}$  e  $RL_{30m}$ . Eles apresentaram o valor médio de  $FCG = 2,05$ , e desvio padrão de 0,40. No presente trabalho, obteve-se um  $FCG = 1,78$  com desvio padrão de 0,84.

No entanto, estes valores não são comparáveis, uma vez que, para o cálculo do FCG no presente



trabalho, assumiu-se que os materiais não têm influência na correlação entre as geometrias. Assim, faz-se necessária a avaliação estatística dos materiais. A Tabela 2 apresenta as estimativas dos coeficientes angulares e lineares dos modelos de regressão linear da retrorrefletividade a 30 metros em função da retrorrefletividade a 15 metros para cada um dos materiais, O modelo proposto é caracterizado pela Equação 1, bem como pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

$$RL_{30m} = \alpha + \beta \times RL_{15m} \quad (1)$$

**Tabela 2:** Estimativas dos coeficientes lineares, angulares e de correlação para as regressões lineares de cada uma das combinações.

| Combinação | $\alpha$ | $\beta$ | $R^2$ |
|------------|----------|---------|-------|
| A-73       | -78,555  | 0,878   | 0,835 |
| A-55       | -68,323  | 0,864   | 0,828 |
| A-37       | -21,684  | 0,787   | 0,770 |
| B-73       | -32,035  | 0,657   | 0,646 |
| B-55       | -21,469  | 0,676   | 0,667 |
| B-37       | -4,508   | 0,614   | 0,575 |
| C-73       | -58,002  | 0,774   | 0,763 |
| C-55       | -67,622  | 0,804   | 0,739 |
| C-37       | -6,910   | 0,769   | 0,750 |

Pela Tabela 2, pode-se observar que as estimativas dos coeficientes angulares são bastante similares para algumas microsferas em um mesmo tipo de tinta. Por exemplo, para a tinta A, apenas a combinação A-37 apresentou um coeficiente angular ligeiramente diferente das demais. O mesmo é observado para as combinações B-37 na tinta B e C-55 na tinta C. Os coeficientes lineares aparentam ser diferente entre eles. Assim, alguns contrastes (comparações entre pares de combinação) de interesse foram selecionados para testar se os coeficientes angulares e/ou coeficientes lineares são iguais. Caso estas hipóteses sejam aceitas, o efeito do material pode ser desprezado. Os pares de combinação avaliados estão especificados na primeira coluna da Tabela 3. Nas segunda e quarta colunas estão indicadas respectivamente as estatísticas observadas referentes à hipótese de igualdade dos coeficientes lineares e angulares.

**Tabela 3:** Testes de hipóteses de interesse.

| Par de combinação | $Z_\alpha$ | Decisão ( $\alpha$ ) | $Z_\beta$ | Decisão ( $\beta$ ) |
|-------------------|------------|----------------------|-----------|---------------------|
| A-73 x A-55       | 0,852441   | Aceita               | 0,62319   | Aceita              |
| A-73 x A-37       | 5,021112   | Rejeita              | 3,699375  | Rejeita             |
| A-55 x A-37       | 4,133765   | Rejeita              | 3,135281  | Rejeita             |
| B-73 x B-55       | 0,933054   | Aceita               | 0,688184  | Aceita              |
| B-73 x B-37       | 2,392297   | Aceita               | 1,432502  | Rejeita             |
| B-55 x B-37       | 1,450897   | Aceita               | 2,10587   | Rejeita             |
| C-73 x C-55       | 0,751583   | Aceita               | 1,11861   | Aceita              |
| C-73 x C-37       | 4,241977   | Rejeita              | 0,212435  | Aceita              |
| C-55 x C-37       | 4,702551   | Rejeita              | 1,309826  | Aceita              |
| A-55 x B-55       | 5,539655   | Rejeita              | 11,6311   | Rejeita             |
| A-55 x C-55       | 0,054712   | Aceita               | 2,369955  | Rejeita             |
| B-55 x C-55       | 3,660472   | Rejeita              | 4,582948  | Rejeita             |
| A-37 x B-37       | 1,529131   | Aceita               | 5,999064  | Rejeita             |
| A-37 x C-37       | 3,76992    | Rejeita              | 0,627996  | Aceita              |
| B-37 x C-37       | 0,19991    | Aceita               | 5,424666  | Rejeita             |
| B-73 x C-73       | 2,250776   | Rejeita              | 4,359246  | Rejeita             |
| A-73 x B-73       | 4,011024   | Rejeita              | 8,536274  | Rejeita             |
| A-73 x C-73       | 1,714895   | Aceita               | 4,316887  | Rejeita             |

As hipóteses de interesse comparam as mesmas tintas combinadas com diferentes microesferas, e as mesmas microesferas com as diferentes tintas. Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 3, verifica-se que a relação linear entre  $RL_{30m}$  e  $RL_{15m}$  é dependente do material. Observa-se que, independentemente da tinta, as taxas de aplicação 73 e 55 são estatisticamente iguais, porém, diferentes no caso da taxa de aplicação 37. Ao avaliar as tintas, elas se diferem entre si quando a microesfera é fixada. Além disso, nota-se que, para a tinta A,  $RL_{30m}$  é de 14 a 22% menor que  $RL_{15m}$ . Para a tinta B, essa diferença é de 35-39% e para a tinta C é de 20-23%.

Em algumas condições, os coeficientes lineares são estatisticamente iguais, o que indica que, para um mesmo valor de  $RL_{15m}$ , a  $RL_{30m}$  será igual, independentemente do material. Já para os coeficientes lineares, eles são fisicamente incoerentes, e espera-se que, conforme a sinalização for se desgastando, o coeficiente linear iguale-se a zero. A comparação entre os coeficientes angulares é mais relevante nesse contexto. A correlação entre as leituras para ambas as geometrias poderia ser definida por uma constante. Embora alguns coeficientes sejam estatisticamente iguais, o teste de hipóteses indica que a constante é dependente do material.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho avaliou a literatura sobre a retrorrefletividade da sinalização horizontal e seu efeito na segurança viária. A sinalização horizontal é um recurso eficiente para a redução no número de acidentes, porém, sua eficiência depende das condições de conservação da pintura e da retrorrefletividade.

A discussão sobre as geometrias adotadas para a avaliação da retrorrefletividade é relevante. O parâmetro é importante para caracterizar condição de visibilidade da sinalização horizontal. É fundamental que a retrorrefletividade da sinalização horizontal seja satisfatória para os motoristas para que eles possam conduzir os veículos com segurança no período noturno e em diferentes situações climáticas.

A comparação entre as geometrias de observação mostra que, a menores distâncias, a retrorrefletividade é maior, independentemente do material utilizado. As medições na geometria de 15 metros podem superestimar a qualidade da sinalização e trazer riscos aos usuários da via, uma vez que os resultados estão relacionados às condições mais favoráveis em termos de distância de visibilidade e tempo de reação.

Por fim, concluiu-se que o material pode alterar a correlação entre as geometrias para leitura de retrorrefletividade. Ao comparar as diferentes tintas, cada material apresentou uma correlação entre as geometrias. Já a comparação entre os diferentes tipos de microesferas, apresentou correlações entre geometrias muito similares. As taxas 73 e 55 conduziram a correlações estatisticamente iguais, enquanto a 37 foi diferente para qualquer dos tipos de tinta utilizado.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Autopista Fernão Dias e à Agência Nacional de Transportes Terrestres que, por meio do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico, viabilizaram a construção e monitoramento do trecho experimental. Agradecimentos também são feitos à Dow Química e à Swarco pela doação dos materiais utilizados nesse trabalho. Os autores também agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior, ao Conselho Nacional de Pesquisa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro aos autores.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2013) *M247 – Standard Specification for Glass Bead Used in Pavement Markings*. American

- Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. USA.
- ABNT (2012) *NBR 13699 – Sinalização Horizontal Viária – Tinta à Base de Resina Acrílica Emulsionada em Água*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT (2013) *NBR 14723 – Sinalização Horizontal Viária – Avaliação da Retrorefletividade Utilizando Equipamento Manual com Geometria de 15 m*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2014) *NBR 16307 – Sinalização Horizontal Viária – Avaliação da Retrorefletividade Utilizando Equipamento Manual com Geometria de 30 m*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Aktan, F., e T. Schnell, (2004). - Performance evaluation of pavement markings under dry, wet, and rainy conditions in the field. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1877(1), p.38-49.
- ANTT (2017) – *Programa de Exploração da Rodovia, PER, Rodovia BR-381/MG/SP, Trecho: Belo Horizonte – São Paulo*. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Brasília, DF.
- ASTM (2013a) *D713 – Standard Practice for Conducting Road Service Tests on Fluid Traffic Marking Materials*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. USA.
- ASTM (2013b) *E1710 – Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflector*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. USA.
- Attaway, R. W. (1989). In-service Evaluation of Thermoplastic and Tape Pavement Markings Using a Portable Retroreflector. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1230, p. 45-55.
- Bektas, B.A.; K. Gkritza, e O. Smadi. (2016) - Pavement Marking Retroreflectivity and Crash Frequency: Segmentation, Line Type, and Imputation Effects. *Journal of Transportation Engineering*, v. 142, n. 8, p. 04016030.
- Box, G. E., J. S. Hunter, e W. G. Hunter. (2005). - *Statistics for experimenters*. Editora Wiley. Wiley Hoboken, NJ, USA.
- Brasil. (2017) - Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília.
- Carlson, P.J.; E.S. Park e C. K. Andersen. (2009) - Benefits of Pavement Markings: A Renewed Perspective Based on Recent and Ongoing Research. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2107, n. 1, p. 59-68.
- Carlson, P.; E. Park, e D. Kang. (2013) - Investigation of Longitudinal Pavement Marking Retroreflectivity and Safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2337, p. 59-66.
- CEN (2007) – *EN 1436 - Road Marking Materials – Road Marking Performance for Road Users*. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- Dale, J. M. (1967). *Development of Improved Pavement Marking Materials*. National Cooperative Highway Research Program, Report nº 45. San Antonio, Texas, EUA.
- DER/SP (2006) – *ET-DE-L00/019 – Sinalização Horizontal com Resina Vinílica ou Acrílica*. Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. São Paulo, SP.
- Dirección de Vialidad (2014) – *Manual de Carreteras – Volumen Nº 8 – Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensayo y Control*. – Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Chile.
- DNIT (2010) - *Manual de Sinalização Viária*. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Rio de Janeiro, RJ. (Publicação Instituto de Pesquisas Rodoviárias). (Publicação IPR – 743)
- DNIT (2017) - *Norma DNIT 409 - PRO: Medida da retrorefletividade com uso de equipamento dinâmico – Procedimento*. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Rio de Janeiro, 2010.
- Donnell, E.T.; Karwa, V.; Sathyanarayanan, S. A (2009) - Analysis of Effects of Pavement Marking Retroreflectivity on Traffic Crash Frequency on Highways in North Carolina: Application of Artificial Neural Networks and Generalized Estimating Equations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2103, n. 1, p. 50-60, 2009.
- Dravitzki, V. K.; Wilkie, S. M.; Lester, T. J. (2006) - The Safety Benefits of Brighter Roadmarkings. Land Transport New Zealand. Research Report 310. 41p.
- FHWA (2015) - *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street and Highways*. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Graham, J.; Harrold, J.; King, L. (1996) - Pavement Marking Retroreflectivity Requirements for Older Drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1529, p. 65-70, 1996.

- Gibbons, R.B., B. Williams, B. Cottrell. (2013) – Assessment of Durability of Wet Night Visible Pavement Markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2337, p. 67-73.
- Graham, J. R., e L. E. King. (1991). Retroreflectivity Requirements for Pavement Markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1316, p. 18-23.
- ICONTEC (2011) – NTC4744-4 – Aplicación de Materiales para la Demarcación Horizontal de Pavimentos. Parte 4: Control de La Aplicación. – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C. Colômbia.
- INEN (2009) – NTE INEN 1 042 – Pinturas para Señalamiento de Tráfico. Requisitos. – Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Equador.
- IPEA (2015) - Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do IPEA. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada. Brasília, Brasil. 20p.
- Kalchbrenner, J. (1989) - Large Glass Beads for Pavement Markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1230, p. 28-36.
- Lee, D.; Donnell, E.T. (2007) - Analysis of Nighttime Driver Behavior and Pavement Marking Effects Using Fuzzy Inference System. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 21, n. 3, p. 200-210.
- Lundkvist, S. O., e K. Sørensen. (1980). - Reflection properties of road markings in vehicle headlight illumination. Statens Väg-och Trafikinstitut. Rapport nr 189A.
- Maslah, M.; Bahar, G.; Hauer, E. (2007) - Application of Innovative Time Series Methodology to Relationship Between Retroreflectivity of Pavement Markings and Crashes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2019, p. 119-126.
- Migletz, J.; Fish, J.K.; Graham, J.L. (1994) - *Roadway Delineation Practices Handbook*. United States. Federal Highway Administration.
- Mizera, C. M. (2008) - *Improving Pavement Marking Performance Through Contrasting New Methods to Quantify Marking Presence and Increasing Installation Efficiencies Through an Evaluation of Prototype Bead Guns*. 2008. 70p. Thesis (Master) – Iowa State University. Estados Unidos.
- OMS (2004) - *World Report on Road Traffic Injury Prevention*. Organização Mundial da Saúde. Geneva, Switzerland. 217 p.
- OMS (2015). *Global Status Report on Road Safety 2015*. Organização Mundial da Saúde. Geneva, Switzerland. 323 p. Disponível em: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/) acessado em: julho de 2019.
- Peru (2013) – *Especificaciones Técnicas de Materiales para Demarcación* – Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Peru.
- Rizenbergs, R. L. (1970) – *Development of Specifications for Reflex-Reflective Materials* – Kentucky Transportation Center Research Report. Frankfort, Kentucky, EUA.
- SABS (2008) – SANS 6261 – *Paints and Varnishes – Determination of Coefficient of Retro-Reflected Luminance by Means of a Portable Retro-Reflectometer*. South African Bureau of Standards. Pretoria, África do Sul.
- Salles, L.S. et al. (2015) - Avaliação Retrorrefletiva de Pintura de Demarcação Horizontal: Peculiaridades e Considerações Sobre a Norma e os Requisitos Mínimos Nacionais. *TRANSPORTES*, v. 23, n. 3, p. 5-17.
- Schnell, T.; Aktan, F.; Lee, Y.C. (2003) - Nighttime Visibility and Retroreflectance of Pavement Markings in Dry, Wet, and Rainy Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1824, p. 144-155.
- Smadi, O. et al. (2008) - Pavement Marking Retroreflectivity: Analysis of Safety Effectiveness. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2056, p. 17-24.
- Zwahlen, H.; Schnell, T. (1997) - Driver Eye-Scanning Behavior as Function of Pavement Marking Configuration. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1605, p. 62-72.
- Zwahlen, H.; Schnell, T. (2000) - Minimum In-Service Retroreflectivity of Pavement Markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1715, p. 60-70.

---

Laura Nascimento Mazzoni (laura.mazzoni@usp.br)  
Kamilla Lima Vasconcelos (kamilla.vasconcelos@gmail.com)  
Felipe Issa Kabbach (fkabbachjr@gmail.com)  
Liedi Bernucci (liedi@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo  
Av. Professor Almeida Prado, 83. Travessa 2 – Ed. Engenharia Civil, Sala 43. CEP: 05508-070. São Paulo -SP  
Linda Lee Ho (lindaleeho@gmail.com)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo  
Av. Professor Almeida Prado, 83. Travessa 2 – Ed. Eng. de Produção, Sala 204. CEP: 05508-070. São Paulo -SP