METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE DURABILIDADE DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL DE RODOVIAS DE TRÁFEGO MUITO PESADO

Deise Dias N. Machado, Kamilla Vasconcelos, Liedi Bariani Bernucci, Edson de Moura, Jean Michell Santiago, Guilherme Rodrigues, José Mário Chaves
[1]Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
[2]Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Arteris

Resumo: O desempenho da sinalização horizontal na rodovia está associado a diversos fatores como qualidade dos materiais empregados, geometria da via, ação do tráfego e intempéries e etc. Esta deve apresentar uma boa visibidade diurna – contraste, e noturna – retrorrefletividade, visto que ambas estão associadas a segurança do condutor na via. Neste experimento busca-se observar o desgaste da sinalização horizontal com a perda da retrorrefletividade de diferentes combinações de materiais: tintas à base de água, diferentes tipos e taxas de aplicação de microesferas. A análise destas combinações está sendo executada com retrorrefletômetro portátil com dupla geometria (quinze e trinta metros) que expressa a distância do farol do veículo sob a sinalização horizontal. Para esta avaliação foi executado um trecho experimental seguindo as diretrizes da norma ASTM D713/2012. Resultados iniciais mostram a influência significativa da tinta e das microesferas. Ensaios de laboratório com utilização de placas de misturas asfálticas e pintura de sinalização horizontal também serão analisadas com a utilização de um simulador de tráfego modelo LPC. Objetiva-se ainda, neste experimento a concepção de uma metodologia para a avaliação da durabilidade da retrorrefletividade e a hierarquização de diferentes combinações de materiais sob a ação do tráfego.

Palavras-chave: retrorrefletividade, tinta a base de água, microesferas de vidro, sinalização horizontal

1. Introdução e Fundamentação Teórica

No Brasil, o número de acidentes ocorridos no trânsito ano após ano é preocupante e dentre os diversos motivos que podem estar associados a tais acidentes têm-se as condições da sinalização viária, que podem contribuir para o aumento de tais estatísticas. Segundo o Datasus, somente em 2014 em âmbito nacional foram mais de 43.000 acidentes de trânsito, e estima-se que este número seja ainda maior. Esses valores indicam a necessidade de medidas de intervenção para uma mobilidade mais segura.

A sinalização viária horizontal deve garantir a visibilidade necessária para que o condutor possa trafegar com segurança na via. Para que a finalidade dessa sinalização seja cumprida, é necessário que ela seja vista com clareza pelo motorista com antecedência mínima para a correta tomada de decisão.

Existem diversos critérios para avaliar a visibilidade da marcação viária. Schwab (1999) diz que esses critérios "Podem ser não quantificáveis (conspicuidade e legibilidade) e quantificáveis (contraste e coeficiente de luminância retrorrefletida)". Dentre os critérios quantificáveis, o contraste define a visibilidade diurna, ou em locais iluminados, e o coeficiente de luminância retrorrefletida (retrorrefletividade) define a visibilidade em locais sem iluminação. Na sinalização viária horizontal, o que garante a retrorreflexão são as microesferas de vidro que são adicionadas durante a execução da pintura. Nepal e Lahtinen (2011) comentam que durante a noite a retrorreflexão pode ser fornecida de diferentes formas, mas principalmente através da iluminação do farol sobre a marcação (ou pintura) horizontal com microesferas, sendo esta considerada como o melhor custo benefício. As microesferas devolvem aos olhos dos motoristas a luz emitida pelos faróis dos veículos. A ASTM -

E1710/2011 define o coeficiente de luminância retrorrefletida como a razão entre a luminância de uma superfície retrorrefletiva na direção de observação e a luminância recebida sobre um plano perpendicular na direção da luz incidente. Esse resultado varia de acordo com a distância entre veículo e ponto da sinalização observado. Quanto maior à distância, menor esse valor de luminância. Os órgãos brasileiros, dentre eles DNIT e ANTT, estabelecem 15 metros como a distância ideal para se avaliar os valores do coeficiente de luminância retrorrefletida. Robertson et al. (2012) comentam que diversos estudos foram realizados a fim de identificar a retrorrefletividade residual mínima para sinalização horizontal. Estes valores indicam o momento de intervenção e os comumente utilizados em diversos órgãos estão entre 80 a 100 mcd/lux/m para geometrias de 30 metros. No Brasil, o DNER ME 373:2000 adota 100 mcd/lux/m² como o valor residual mínimo para geometrias de 15 metros.

A interação da pintura de sinalização e as microesferas de vidro são determinantes para um melhor desempenho da retrorrefletividade. Moreira e Menegon (2003) explicam que são os pigmentos ativos presentes na pintura que asseguram a reflexão do feixe de luz das microesferas que estão ancoradas (parcialmente mergulhadas) na tinta. Comentam ainda que a máxima retrorrefletividade ocorre quando a microesfera está com cerca de 60% do seu diâmetro ancorada. Um estudo realizado pelo Departamento de Transportes da Virginia (VDOT, 2012) comenta que valores de ancoragem inferiores a 50% do diâmetro das microesferas podem afetar a longevidade do microesfera na pintura, já que podem ser facilmente arrancados através da ação do tráfego. A ancoragem ideal situa-se entre 50% e 60%, pois permite uma maior longevidade da esfera na tinta, além de permitir uma boa retrorreflexão. A ancoragem da microesfera também está associada à espessura do filme da tinta (Figura 01). Películas muito finas podem ser insuficientes para envolver porcentagem ideal do diâmetro da microesfera. Este estudo do VDOT (2012) cita ainda alguns cuidados que devem ser tomados durante a execução da pintura quanto à aplicação das microesferas, pois o filme de tinta pode "secar" rapidamente dificultando o ancoramento. Este efeito pode ser notado na Figura 02, logo é possível associar que dentre diversos fatores que afetam a retrorrefletividade estão à qualidade do pigmento da tinta, o ancoramento da microesfera, a espessura do filme de tinta, os cuidados durante a execução da pintura, entre outros.

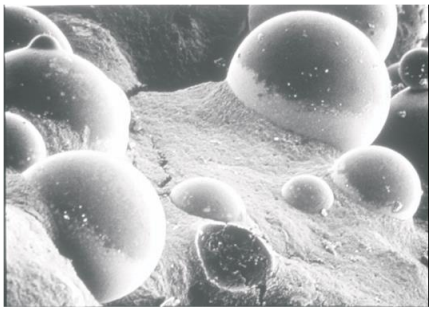


Figura 01 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente devido a espessura do filme de tinta.VDOT (2012)

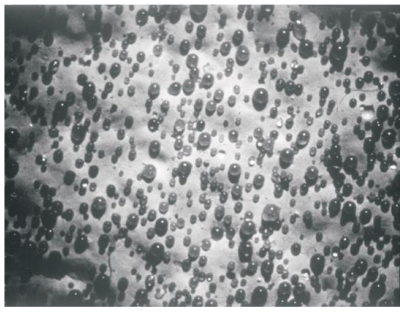


Figura 02 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente VDOT (2012)

A tinta à base de água vem sendo comumente empregada em pinturas de sinalização viária. Gates (2003) comenta que além de ser uma opção ecologicamente correta, não apresenta variações de comportamento em diferentes superfícies como concreto e asfalto. Babic (2014) relata que um estudo foi realizado na Croácia comparando tintas a base de água e tintas à base de solventes, com as mesmas proporções de microesferas. Três meses após a execução das pinturas em campo, a tinta à base de água apresentou valores de retrorrefletividade superiores quando comparadas a tintas à base de solvente. Babic (2014) cita ainda outras vantagens quanto ao seu uso como: secagem rápida, qualidade das resinas, e aspectos positivos para a

saúde humana durante a aplicação devido à ausência dos produtos químicos – solvente e emissões.

2. O Trecho Experimental

Para esta pesquisa, foi executado um trecho experimental para estudos de diferentes materiais de sinalização viária horizontal, a fim de avaliar diferentes combinações dos mesmos e seu desgaste em função da solicitação do tráfego. A escolha do trecho levou em consideração a geometria do local (sem curvas ou conversões), com plena exposição ao sol e com boa drenagem, além da possiblidade da contagem de veículos, a fim de correlacionar a perda de retrorrefletividade com o tráfego.

O trecho escolhido encontra-se na Rodovia Fernão Dias – BR 381, próximo à praça de pedágio da Autopista Fernão Dias na cidade de Vargem. A execução das pinturas foi realizada de acordo com as diretrizes da ASTM D 713/2012 que prevê este tipo de experimento.

A pintura do trecho experimental deu-se no sentido transversal ao tráfego em 6 pistas de rolamento, sendo 3 faixas no sentido norte da rodovia e outras 3 no sentido sul (Figura 03). Neste experimento, foram executadas duas linhas (ou faixas) para cada condição, a fim de melhorar a confiabilidade dos resultados. Junto com a execução do trecho, foram realizados ensaios de controle, para garantir a qualidade da execução de acordo com a NBR 15405/2014, NBR 15438/2013, e ASTM 2697/2003. Cuidados com a limpeza do local antes da pintura e com a temperatura também foram observados.



Figura 03 – Local de execução do trecho experimental

Objetiva-se avaliar nesse trecho diversos fatores que influenciam para a vida útil da retrorrefletividade da sinalização viária horizontal, como:

- Comparação do desempenho de diferentes tintas na ancoragem de microesferas;
- Análise do desgaste associado ao tráfego. Aqui vale ressaltar que parâmetros como tempo (t) e as mudanças climáticas não serão variáveis, pois, todas as combinações de materiais serão submetidas às mesmas variações climáticas;
- Avaliação de diferentes taxas de microesferas e seu comportamento em função do tempo e tráfego;
- Comparação do comportamento da pintura em condições de frenagem e aceleração;
- Avaliação da retrorrefletividade com geometrias de 15 e 30 metros.

2.1. Materiais e Construção

Neste estudo é proposta a utilização de duas tintas de fornecedores diferentes, aqui denominadas de Tinta 01 e Tinta 02; três fornecedores de microesferas, denominados de A, B e C; e duas taxas de aplicações (50% II-A, 50% - II-A) e (30% II-C, 70% - II-A), resultando um total de doze combinações, conforme demonstrado na Figura 04.

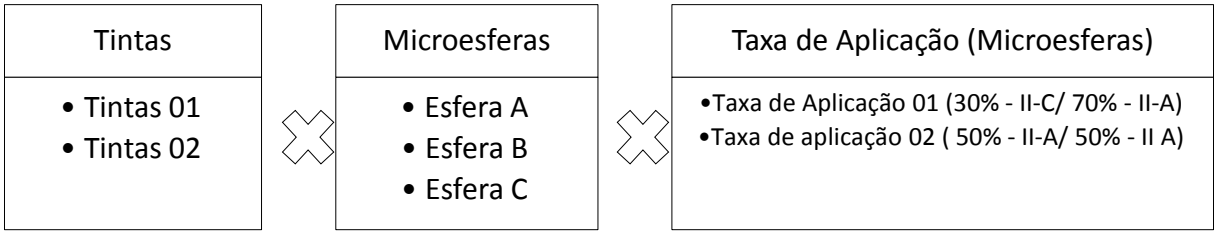


Figura 04 – Combinações de materiais utilizados no trecho experimental

As tintas utilizadas são acrílicas, ambas a base d'água, na cor branca, de secagem rápida, com microesferas do Tipo I-B -"Premix" - que são adicionadas a tinta durante o preparo, antes da aplicação na proporção de 200g/l. As três marcas diferentes de microesferas do Tipo II-A, e II-C "Drop-on" foram utilizadas na proporção de 400g/m². Todas de acordo com DNIT 373/2000 e NBR 16184/2013. Quanto à taxa de aplicação das microesferas que foram aspergidas utilizou-se:

- 01 (30% II-C, 70% - II-A) dupla aspersão.
- 02 (50% II-A, 50% II-A), dupla aspersão.

Para a avaliação da evolução da retrorrefletividade está sendo utilizado um equipamento manual portátil de dupla geometria (15 e 30 metros), simulando a distância de visibilidade noturna.

2.2. Medidas de Retrorrefletividade

Após a execução do trecho foram realizadas medidas de retrorrefletividade inicial para as diferentes combinações e materiais empregados. Na Figura 05 as tintas são colocadas em evidência. Nota-se uma melhor performance em todas as condições da Tinta 02, tanto na Geometria de 15 como na geometria de 30 m. A qualidade da tinta contribui significativamente para a ancoragem das microesferas e consequentemente para o aumento da retrorrefletância. Através de leituras seguintes será possível avaliar o desempenho das tintas em função da ação abrasiva do tráfego na retenção das microesferas e, consequentemente, na manutenção da retrorrefletividade.

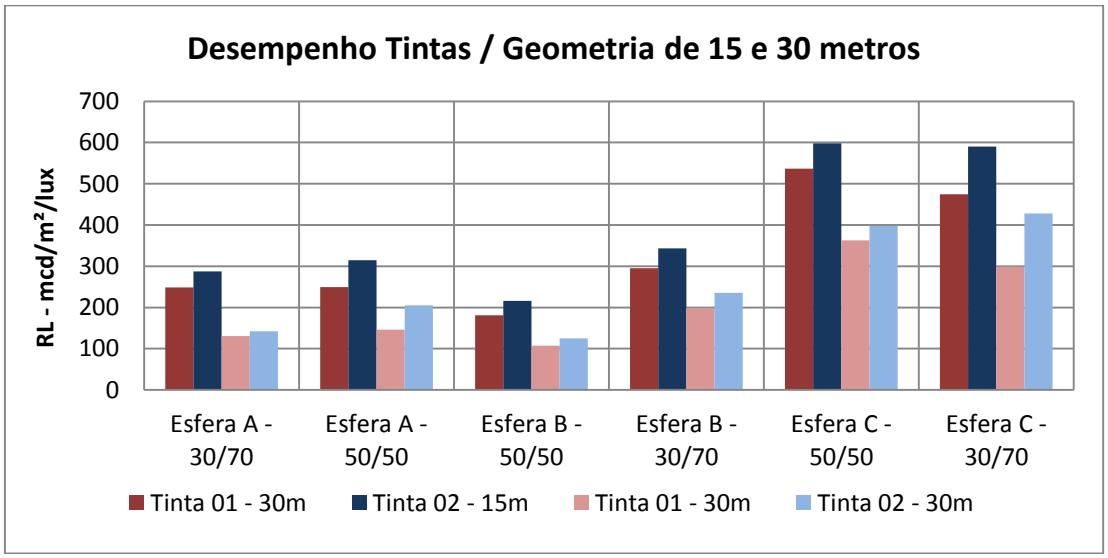


Figura 05 – Desempenho das Tintas01e Tinta 02 – Geometria de 15 e 30m

A Figura 06 coloca em evidência o desempenho das diferentes marcas de microesferas. Para todas as situações nota-se sensivelmente um melhor resultado para a Microesfera C, com

valores de RL (retrorrefletância) superiores a 500mcd/m²/lux para a geometria de 15m e, na geometria de 30 metros, valores próximos de 300 mcd/m²/lux. As Microesferas A e B apresentam valores próximos nessa leitura inicial com uma faixa de variação de RL entre 200 e 300 mcd/m²/lux. Como já visto anteriormente, diversos fatores contribuem para o aumento da retrorrefletividade atribuídas a qualidade das esferas de vidro como: a granulometria, a esfericidade e o tratamento superficial das mesmas.

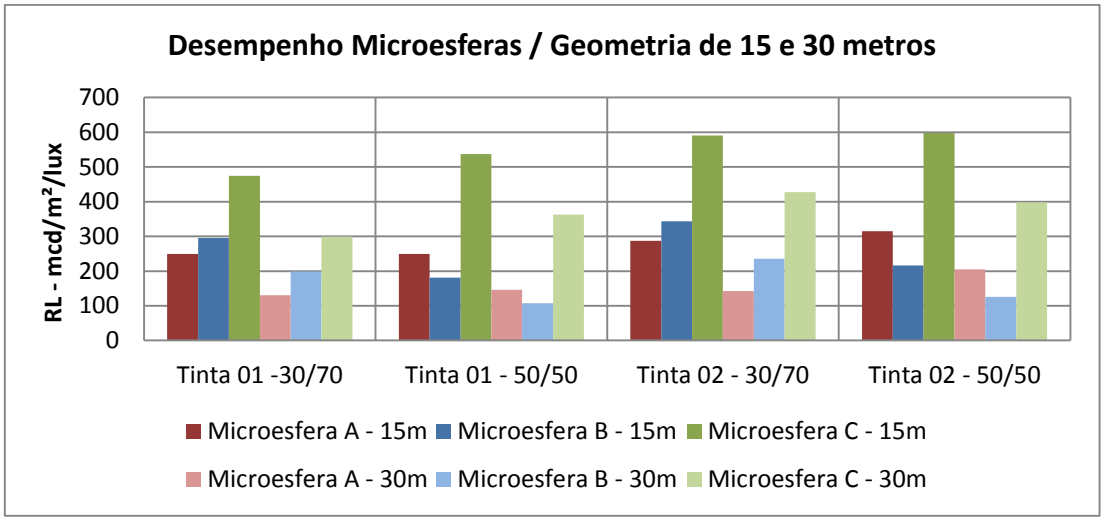


Figura 06 – Desempenho das Microesferas A, B e C – Geometria de 15 e 30m

A Figura 07 coloca em evidência as duas proporções de microesferas adotadas neste estudo – (50% II-A e 50%II-A) e (30%II-C e 70% II-A). Nesta fase inicial ainda não foi possível evidenciar qual proporção obteve maior RL, uma vez que para algumas combinações a proporção 50% II-A / 50% II-A apresentou resultados maiores, em outras foi à proporção 30% II-C / 70% II-A, e algumas não houve diferença entre essas duas proporções.

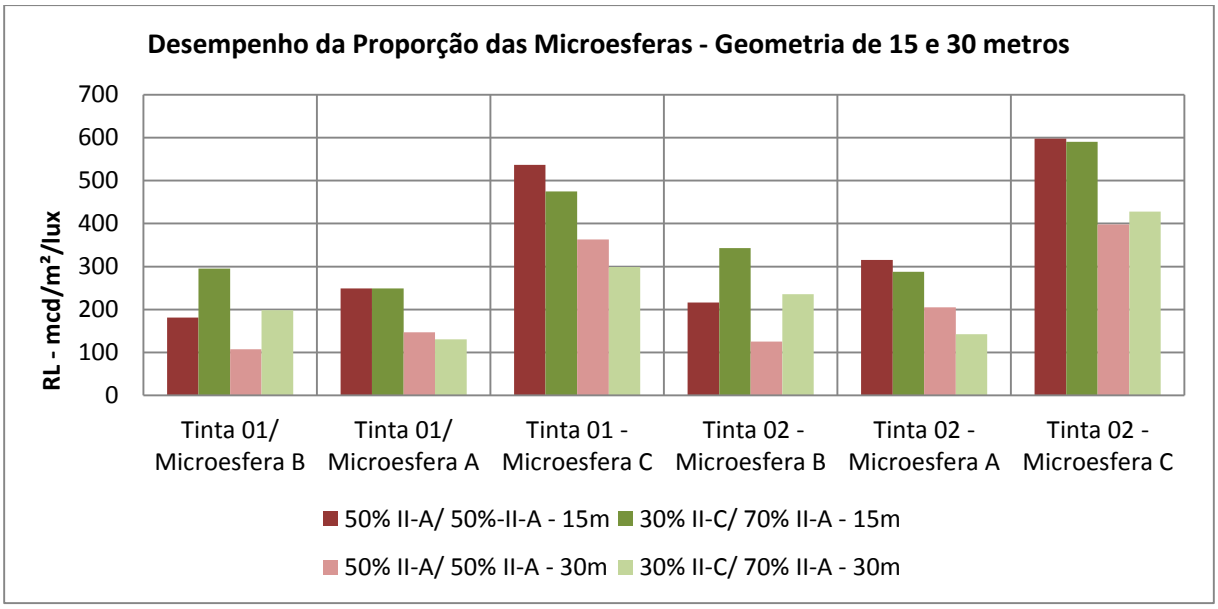


Figura 07 – Desempenho das Proporções das Microesferas – Geometria de 15 e 30m

3. Ensaios Laboratoriais

Parte desta pesquisa vem sendo feita através de ensaios de laboratórios, com a utilização de um simulador de tráfego modelo LPC e placas de misturas asfálticas e pinturas de sinalização horizontal extraídas de campo (Figura 08). Este equipamento é composto por um eixo de pneu sob pressão e cargas reguláveis. O pneu rola sobre a placa compactada em ciclos na frequência de 1 hz, sendo que cada ciclo corresponde a uma ida e uma volta sobre a placa. Aqui serão consideradas passagens de pneu sobre a placa para análise da ação abrasiva sobre a pintura de sinalização. Não será considerada a ação de intempéries.



Figura 08 – Placa de Sinalização Viária no simulador de Tráfego tipo LPC

3.1. Materiais e Métodos

Para os ensaios de laboratório foram extraídas placas de campo da Rodovia Fernão Dias, pista Sul, Faixa 1, km 817+100 e km 817+150 (onde a mistura asfáltica da capa era composta de microrrevestimento). Antes da extração foram realizadas novas pinturas de sinalização horizontal, a fim de possibilitar a quantificação da condição inicial das mesmas antes do início das simulações em laboratório. A Figura 09 mostra detalhes da extração das placas em campo. A pintura de campo foi executada utilizando tinta acrílica à base de água na cor branca, e secagem rápida, atendendo à NBR 13699, com microesferas do tipo I-B incorporadas à tinta (200 a 250 g/l). Também foram empregadas microesfera do tipo II-C e II-A em uma taxa de aplicação de 300 g/m², por dupla aspersão (Figura 10).



Figura 09 – Extração das placas de campo para simulação de desgaste em laboratório



Figura 10 – Execução da pintura antes da extração das placas.

Para o início da simulação, as placas extraídas de campo foram cortadas para encaixe dentro do molde do simulador de tráfego. Para que não houvesse movimentação da placa dentro do molde, esta foi confinada com uma argamassa de gesso, conforme ilustrado nas Figuras 11 e 12. Duas placas de campo foram submetidas ao ensaio de desgaste da pintura de sinalização viária, que aqui serão denominadas como PL 02 km 817+150, e PL 02 km 817+100; onde o km corresponde ao local da retirada da placa na Fernão Dias. Vale ressaltar que esta última placa apresenta maior rugosidade o que foi confirmado pelos maiores valores de macro e microtextura. Detalhes das placas podem ser observados nas Figuras 11 e 12.

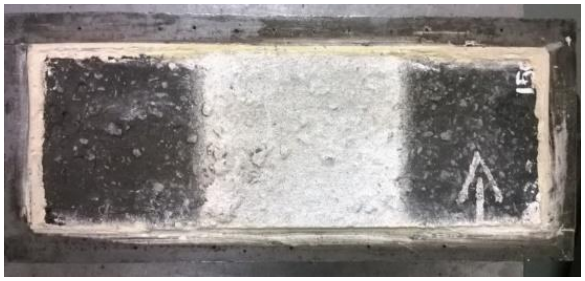


Figura 11 – Placa Pl 02- km 817+150
Detalhes do encaixe no molde e condição inicial da placa



Figura 12 – Placa Pl 02- km 817+100
Detalhes do encaixe no molde e condição inicial da placa

3.2. Medidas de Retorrefletividade

Durante o ensaio com o simulador de tráfego, foram realizadas as leituras de retrorreflexão com geometria de 15metros. As leituras foram realizadas em dois sentidos diferentes: (i) sentido do Tráfego de Campo antes da retirada da placa (Figura 13), e (ii) no sentido do simulador (Figura 14), este último é contrário ao sentido de campo, devido à geometria da placa.



Figura 13 – Sentido do Tráfego de Campo



Figura 14 – Sentido do Tráfego do Simulador

Foram realizadas leituras nas placas de campo, contando em passadas de pneu do simulador. As Figuras 15 e 16 mostram os valores das solicitações de 60.000 passadas de pneus para as duas placas ensaiadas. O ensaio ainda está em andamento e as placas serão simuladas até que valores abaixo de 100 mcd/m²/lux sejam atingidos, indicando a retrorrefletividade limite para uma intervenção (nova pintura) de acordo com a especificação do DNIT.

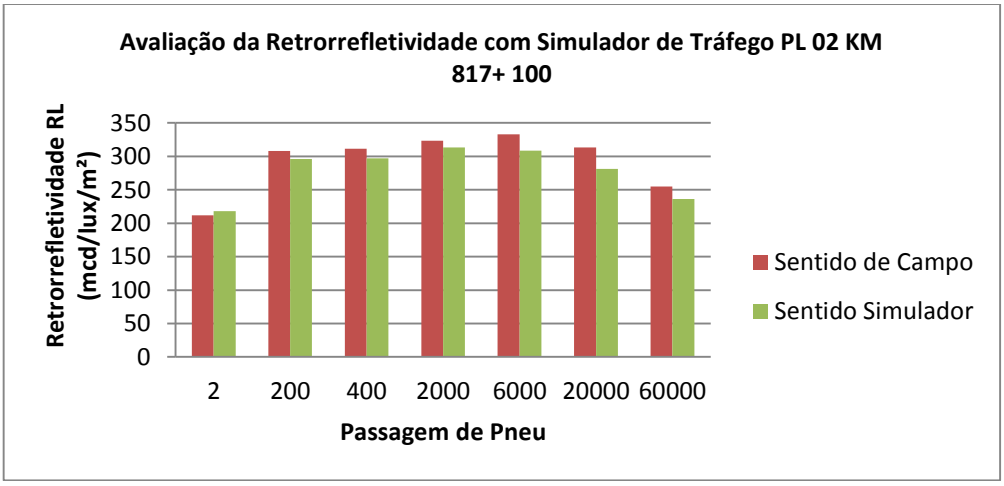


Figura 15–Desgaste com simulador de Tráfego – PL 02 – km 817+100

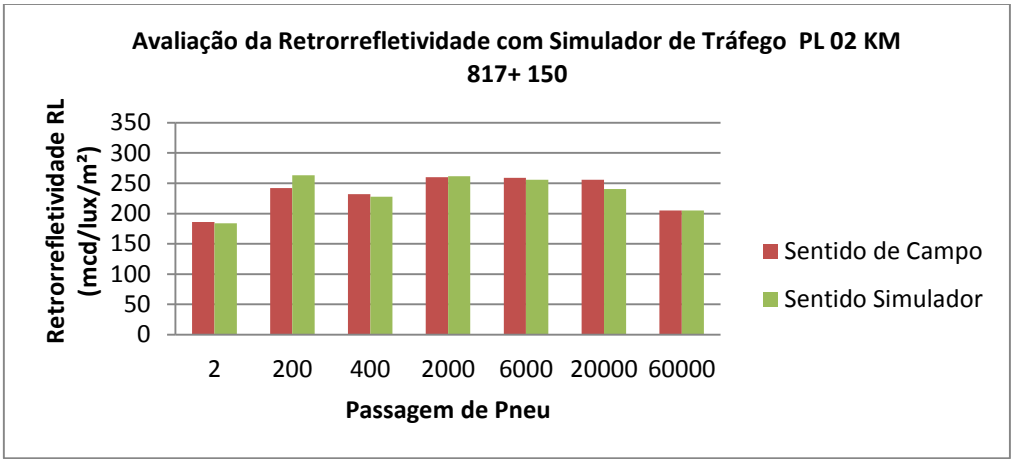


Figura 16–Desgaste com simulador de Tráfego – PL 02 – km 817+150

A Figura 15 apresenta os resultados para a Placa 02– km 817+100 e a Figura 16 apresenta os resultados para a Placa 02 – km 817+150, onde percebe-se que os valores iniciais ainda são considerados homogêneos, porém na leitura de 60.000 passadas de pneu (em ambas as placas), observa-se uma tendência de decréscimo da retrorrefletividade. Como este experimento encontra-se ainda em andamento, essa tendência poderá ser confirmada nas próximas medições. A Placa 02 – km 817+100 apresenta valores de retrorrefletância superiores quando comparados com a Placa 02 – km 817+150, que pode ser associado à rugosidade da placa.

4. Considerações Finais

Com os resultados obtidos até o momento de preparação deste documento é possível observar alguns pontos relevantes com relação aos materiais investigados, conforme a seguir.

- A microesfera C apresenta resultado de retrorrefletividade inicial superior para todas as condições investigadas no experimento de campo;
- A Tinta 02 já evidenciou um melhor desempenho em todas as condições apresentadas neste experimento, com valores de retrorrefletividade superiores quando comparados com a Tinta 01.
- As diferentes proporções de taxas de microesferas ainda não apresentaram variação nos resultados de retrorrefletividade. Espera-se que isto possa ser quantificado com a ação do tráfego.
- A combinação da Tinta 02 com a Microesfera C apresentou melhor resultado inicial.

O prosseguimento dessa investigação possibilitará a construção das curvas de desgaste para as diferentes combinações de materiais investigados, juntamente com a concepção de uma metodologia de avaliação da perda progressiva da retrorrefletividade. Em laboratório, observa-se que a textura superficial da placa é um fator importante a ser considerado na avaliação das curvas de desgaste.

Agradecimentos

Os autores agradecem à ANTT pelo financiamento da pesquisa e à Autopista Fernão Dias e ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Arteris pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho. Os autores agradecem ainda ao CNPq pelas bolsas de pesquisa dos autores.

ReferênciasBibliográficas

ABNT – NBR 15405 – *Sinalização horizontal viária — Tintas — Procedimentos para execução da demarcação e avaliação*; 2016;

ASTM E1710 –"*Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN - Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer"* 2011- - American Society for Testing and Materials;

ASTM D 713. "*Standard Practice for Conducting Road Service Tests on Fluid Traffic Marking Materials. 2012 - American Society for Testing and Materials"*.

ASTM D2697. "*Standard Test Method for Volume Non volatile Matter in Clear or Pigmented Coatings*" – 2014 -American Society for Testing and Materials.

BABIC, DARKO - "*Application And Characteristics Of Waterborne Road Marking Paint* " International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2014

DATASUS – "*Estatísticas Nacionais de Acidentes de Acidentes de Transito*" (Disponivel em: http://www.vias seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais, acesso em 5 de abril 2016).

DNER – EM 373/2000 – "*Microesferas De Vidro Retrorrefletivas Para Sinalização Horizontal Viária* - Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2000.

GATES, TIMOTHY ET ALL, - "Effective Pavement Marking Practices For Seal Coat And Hot-Mix Asphalt Pavements" 2003Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System, College Station, Texas.

MOREIRA, H; MENEGON, R. (2003) "*Sinalização horizontal*." 82 p.

ROBERTSON, JOSEPH; ET AL (2012) " A Methodology for Estimating and Comparing the Life Cycles of High-Build and Conventional Waterborne Pavement Markings on Primary and Secondary Roads in South Carolina" - Public Works Management &Policy.

SCHWAB, M. S. F. (1999) "*Estudo do Desempenho dos Materiais de demarcação Viária de Demarcação Viária Retrorrefletivos*." Dissertação de Mestrado, UFOP.

VDTO - Virginia Department of Transportation – Reflective glass bead – Guide - 2012