

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

INGRID MACHADO TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA, FÍSICA E QUÍMICA DE MICROESFERAS
COMERCIAIS DOS TIPOS IB E IIA PARA APLICAÇÃO EM DEMARCAÇÃO
HORIZONTAL**

Alegrete

2023

INGRID MACHADO TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA, FÍSICA E QUÍMICA DE MICROESFERAS
COMERCIAIS DOS TIPOS IB E IIA PARA APLICAÇÃO EM DEMARCAÇÃO
HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jacson Weber de Menezes.

Alegrete

2023

INGRID MACHADO TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA, FÍSICA E QUÍMICA DE MICROESFERAS
COMERCIAIS DOS TIPOS IB E IIA PARA APLICAÇÃO EM DEMARCAÇÃO
HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. JACSON WEBER DE MENEZES - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. MAURICIO SILVEIRA DOS SANTOS - UNIPAMPA

Profa. Dra. CHIARA VALSECCHI - UNIPAMPA

Assinado eletronicamente por **JACSON WEBER DE MENEZES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2023, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAURICIO SILVEIRA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2023, às 19:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CHIARA VALSECCHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/07/2023, às 18:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1184501** e o código CRC **4338D9E1**.

Dedico este trabalho a minha filha Hananda Victória, que foi o meu maior incentivo para concluir essa jornada. Obrigada por ser tão compreensível e entender o motivo de ficarmos distantes!

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a minha mãe Sônia Marlí e meu pai Cleomar, por terem cuidado da minha filha para que fosse possível eu realizar meu sonho de ser Engenheira Civil. Agradeço a todo apoio que recebi, a todo cuidado que me deram nas inúmeras vezes que precisei.

A minha Filha Hananda Victória, que mesmo pequena, sempre entendeu os motivos de eu ter que ficar longe e não poder ser presente na criação.

Ao meu irmão Willian e aos meus irmãos de graduação da famosa “Gangue do Chimarrão”, João Manoel, Juliano, Leticia e Rubens, com vocês tudo se tornou mais leve. A minha dupla, Ronald, agradeço imensamente pelo companheirismo nos perrengues acadêmicos.

As minhas amigas Bárbara, Camila e Hyngrid, que mesmo distantes me deram apoio e me escutaram quando precisei. Vocês moram no meu coração.

A Ingrid Fantinel, que esteve comigo desde a primeira vez que vim para Alegrete, me deu abrigo e apoio.

As pessoas que entraram na minha vida no decorrer da graduação, mas que foram de grande importância, Sara Castro e Vitória Monteiro.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jacson Weber de Menezes pela oportunidade de orientação, por sempre estar disposto a ajudar nas atividades de pesquisa e no desenvolvimento deste trabalho. Estendo esse agradecimento também ao Prof. Me. Mauricio Silveira dos Santos que deu um caminho para decisão da área de escrita desse trabalho e a Prof. Dr. Chiara Valsecchi que foi minha primeira orientadora me deu oportunidade de ingressar na iniciação científica, no Grupo GOMNDI e abrindo mão da orientação, para que eu pudesse produzir um trabalho na área que eu tenho mais afinidade.

Ao Juliano Pase meu agradecimento especial, por ter me ajudado inúmeras vezes no laboratório.

Por fim, agradeço às demais pessoas, aqui não citadas, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

“Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

Steve Jobs

RESUMO

A sinalização horizontal é de grande importância para a segurança das rodovias, pois permite ter melhor visualização da via em condições adversas no trânsito. Para que seja possível uma melhor visibilidade das sinalizações das vias, é primordial que os materiais utilizados para demarcação sejam retrorrefletivos. A retrorrefletividade ocorre quando microesferas de vidro são associadas à tinta na sinalização viária horizontal. Dentro dos tipos de microesferas, estão as microesferas do Tipo IB, que são aplicadas à tinta antes da aplicação na via e as do Tipo IIA, que são aplicadas por aspersão após aplicação da tinta na via. A NBR 16184:2021 propõe alguns parâmetros para padronizar a produção de microesferas, dentro deles pode-se destacar: faixa granulométrica, densidade de massa, resistência ao ataque ácido, presença de revestimento para aderência em resina acrílica, e a composição dessas microesferas. Já a NBR 14723:2020, trata de parâmetros de retrorrefletividade das microesferas para geometria de 15 metros. Nesse trabalho foram replicadas algumas análises propostas pelas NBR 16184:2021 e NBR 14723:2020, a fim de verificar se esses padrões estão sendo aplicados em duas marcas que produzem microesferas de vidro. Os resultados mostram que a maioria dos parâmetros analisados atenderam as especificações das normas, porém alguns não foram atendidos pelas empresas.

Palavras-Chave: sinalização viária horizontal; microesferas; tipo IB; tipo IIA.

ABSTRACT

Horizontal signage is very important for road safety once it allows a better view of the road in adverse traffic conditions. In order to have a better visibility of road signs, it is essential that the materials used for demarcation are retroreflective. Retroreflectivity occurs when glass microspheres are associated with paint in horizontal road signs. Within the types of microspheres, there are Type IB microspheres, which are applied to the paint before application on the road, and Type IIA, which are applied by spraying after application of the paint on the road. NBR 16184:2021 standard shows some parameters to standardize the production of microspheres, among them we can highlight: granulometric range, mass density, resistance to acid attack, presence of coating for adherence in acrylic resin, and the composition of the microspheres. On the other hand, NBR 14723: 2020 deals with retroreflectivity parameters of microspheres for 15-meter geometry. In this work, some analyzes proposed by NBR 16184:2021 and NBR 14723:2020 were replicated, in order to verify if these standards are being applied in two brands that produce glass microspheres. The results show that most of the parameters analyzed met the specifications of the standards, but some of them were not met by the companies.

Keywords: Horizontal signage; microspheres; Type IB; Type IIA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplificação da reflexão de acordo com a esfericidade.	16
Figura 2 - Ancoragem de microesferas na pintura.....	17
Figura 3 - Geometria de 15 metros.	18
Figura 4 - Geometria de 30 metros.	18
Figura 5- Estufa e Dessecador	20
Figura 6- Conjunto de peneiras	21
Figura 7- Ensaio de Densidade	22
Figura 8- Ensaio de Resistência ao Ácido Clorídrico	23
Figura 9- Filtragem e secagem das microesferas submetidas ao ataque ácido	24
Figura 10- Microscópio Óptico	25
Figura 11- Ensaio de Verificação de Presença de Revestimento para Aderência em Resina Acrílica.....	26
Figura 12- Lâmpada de luz branca	27
Figura 13- Aparelho de Fluorescência de Raios X.....	28
Figura 14 - Retrorrefletômetro Horizontal Clássico	29
Figura 15- Superfície para medidas de retrorrefletividade.....	29
Figura 17- Granulometria das microesferas tipo I-B	31
Figura 18- Granulometria das Microesferas do tipo IB “Y”	32
Figura 19- Granulometria das microesferas tipos IB e II-A.....	33
Figura 20- Granulometria das microesferas tipo II-A.....	33
Figura 21- Microesferas do tipo IB “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes	35
Figura 22- Microesferas do tipo IB “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes	35
Figura 23- Microesferas do tipo IB “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes	36
Figura 24- Microesferas do tipo IB “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes	36
Figura 25- Microesferas do tipo IIA “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes	37
Figura 26- Microesferas do tipo IIA “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes	37

Figura 27- Microesferas do tipo IIA “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes	38
Figura 28- Microesferas do tipo IIA “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes	38
Figura 29- Microesferas do tipo IB “X”	39
Figura 30- Microesferas do tipo IB “Y”	39
Figura 31- Microesferas do tipo IIA “X”	40
Figura 32- Microesferas do tipo IIA “Y”	40
Figura 33- Retrorrefletividade das microesferas do tipo IB para geometria de 15 metros	45
Figura 34- Retrorrefletividade das microesferas do tipo IB para geometria de 30 metros	45
Figura 35- Retrorrefletividade das microesferas do tipo IIA para geometria de 15 metros	46
Figura 36- Retrorrefletividade das microesferas do tipo IIA para geometria de 30 metros	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria das microesferas tipo I-B.....	15
Tabela 2- Granulometria das microesferas do tipo II-A	15
Tabela 3- Valores medidos para microesferas do Tipo IB.....	34
Tabela 4- Valores medidos para microesferas do Tipo IIA.	34
Tabela 5- Microesferas tipo IB: Vidro Sódico-Cálcico	41
Tabela 6- Microesferas tipo IIA: Vidro Sódico-Cálcico.....	41
Tabela 7- Microesferas tipo IB: Elementos Tóxicos	42
Tabela 8- Microesferas tipo IIA: Elementos Tóxicos.....	42
Tabela 9- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IB “X”	43
Tabela 10- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IB “Y”	43
Tabela 11- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IIA “X”	43
Tabela 12- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IIA “Y”	44

LISTA DE ABREVIATURAS

°C – graus celsius

cm – centímetro

g – grama

KPa – kilopascal

KW – kilowatt

L – litro

MHz – mega-hertz

mL– mililitro

nm – nanômetro

n° – número

p. – página

s – segundo

LISTA DE SIGLAS

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

EN – European Standard

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos	9
1.1.3 Estrutura do trabalho	10
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Sinalização Viária	11
2.2 Microesferas de vidro	13
3 METODOLOGIA	20
3.1 Análises químicas, físicas e retrorrefletividade das microesferas	20
3.1.1 Granulometria	20
3.1.2 Densidade	22
3.1.3 Resistência ao ácido clorídrico	23
3.1.4 Verificação da presença de revestimento para aderência em resina acrílica	25
3.1.5 Natureza do vidro, teor de sílica e presença de elementos tóxicos	27
3.1.6 Retrorrefletividade	28
4 RESULTADOS	31
4.1 Análise das características físicas das microesferas	31
4.1.1 Granulometria	31
4.1.2 Densidade	34

4.2 Análises químicas das microesferas.....	34
4.2.1 Resistência ao ácido clorídrico.....	34
4.2.2 Verificação da presença de revestimento para aderência em resina acrílica	39
4.2.3 Natureza do vidro, teor de sílica e presença de elementos tóxicos.....	41
4.3 Retrorrefletividade.....	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

1 INTRODUÇÃO

Segundo o DNIT (2010, p. 219), a sinalização viária horizontal pode ser definida “como o conjunto de marcas, símbolos e legendas aplicados sobre o revestimento de uma rodovia, de acordo com um projeto desenvolvido, para propiciar condições adequadas de segurança e conforto aos usuários”. Assim, pode-se interpretar que a sinalização viária horizontal tem como finalidade, basicamente, transmitir a mensagem aos usuários por meio de marcas e sinais aplicados sobre a própria pista de rolamento. Sendo assim, as principais informações que o condutor recebe durante o trânsito são de natureza visual. No mesmo sentido, as marcações no pavimento podem ser consideradas dispositivos essenciais no controle de tráfego, atuando como delimitador das pistas, canalizando o fluxo de sentidos opostos e identificando pontos onde a ultrapassagem é permitida. Por outro lado, para que seja possível proporcionar uma boa visibilidade aos motoristas, é fundamental que exista um bom contraste entre, a sinalização e o pavimento; quem proporciona este aumento de contraste são as microesferas vítreas aplicadas à tinta, as quais proporcionam uma amplificação da sinalização, consequência da retrorrefletividade gerada pelas microesferas. Conforme Mazzoni *et. al.* (2019), durante a noite, a sinalização viária horizontal deve ser potencializada, visto que a orientação do condutor se baseará, basicamente, pela iluminação, advinda dos faróis do carro, sobre a pista de rolamento. Assim, ainda segundo a autora, para proporcionar a visibilidade noturna da demarcação horizontal, faz-se necessário que a luz emitida pelos faróis do veículo incida na sinalização e retorne a fonte emissora.

Como dito anteriormente, tal característica pode ser amplificada se a sinalização proporcionar uma boa retrorrefletividade. A norma brasileira que especifica e regula os parâmetros técnicos de qualidade das esferas e microesferas de vidro utilizadas para sinalização horizontal viária é a NBR 16184:2021. Assim, de acordo com a definição da norma, as microesferas de vidro são definidas como as esferas vítreas com diâmetro igual ou inferior a 1000 μm , sendo que tanto as esferas, quanto as microesferas, podem ser classificadas quanto ao seu uso e aplicação. Mais especificamente, as microesferas destinadas à sinalização viária são classificadas de acordo com o diâmetro, a forma de aplicação, bem como as condições do local onde será empregada. Como exemplo, as do tipo I-B, também denominadas de “premix”, são as microesferas que devem ser misturadas à tinta antes da realização da pintura de demarcação, fazendo com que as microesferas permaneçam inertes no interior da sinalização até que ocorra o desgaste da superfície e tornem-se expostas e, microesferas do tipo IIA, chamadas de “drop-on”, que são microesferas aplicadas por aspersão, após a realização da

pintura de demarcação, proporcionando retrorrefletividade instantânea (DNER-373, 2000). Com a exposição destas microesferas, a incidência da luz dos faróis sobre elas permite a amplificação da demarcação devido a retrorrefletividade. Por outro lado, dentre outras coisas, a norma NBR 16184:2021 prevê alguns requisitos e métodos de ensaio para que as microesferas possam ser comercializadas. Já as normas NBR 14723:2020 e NBR 16307: 2020 fornecem critérios com relação à retrorrefletividade para geometrias de 15 metros e 30 metros, respectivamente. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar as características de microesferas comerciais, vendidas como sendo do tipo IB e tipo IIA, do ponto de vista de critérios definidos pelas duas normas supracitadas. Mais especificamente, os critérios avaliados são os de natureza física, química e óptica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar e comparar com a norma ABNT NBR 16184:2021 as características físicas e químicas e, com regulamentações brasileiras, as características ópticas do ponto de vista de retrorrefletividade das microesferas comerciais classificadas como sendo do Tipo IB e Tipo IIA.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar as microesferas com relação às características físicas de granulometria e densidade;
- Analisar as microesferas com relação às características químicas de natureza do vidro, resistência ao ácido clorídrico, teor de sílica e presença de elementos tóxicos (As, Pb e Sb);
- Analisar as microesferas com relação às características ópticas de retrorrefletividade para geometrias de 15 metros e 30 metros.

1.1.3 Estrutura do trabalho

O estudo desenvolvido está segmentado em quatro capítulos na seguinte ordem:

- Capítulo 1 – Introdução e Objetivos: Neste capítulo é feita a apresentação do tema que o trabalho abordará, o assunto estudado e seus objetivos;
- Capítulo 2 – Conceitos Gerais e Revisão da Literatura: Neste capítulo é apresentado uma revisão bibliográfica da literatura existente em termos dos conceitos relativos ao tema do trabalho;
- Capítulo 3 – Materiais e Métodos: Neste capítulo é feita a apresentação dos procedimentos, processos, materiais e equipamentos utilizados nas análises propostas no trabalho;
- Capítulo 4 – Resultados: Neste capítulo é feita a apresentação dos resultados experimentais referentes aos procedimentos descritas no capítulo 3;
- Capítulo 5 – Considerações Finais: Neste capítulo é feita a apresentação das análises e considerações finais do trabalho.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sinalização Viária

O método de sinalização mais antigo, utilizado durante o império romano era constituído por marcos miliários, que indicavam distâncias (MORAES, 2002). Esses marcos eram expostos em colunas de pedra, ao longo das estradas, indicando a distância até a próxima cidade.

Segundo Vasconcellos (1985), no século XIX, após a criação dos automóveis e com o crescimento das cidades, o trânsito tornou-se um problema urbano com acidentes e congestionamentos, sendo assim necessário a implementação de uma legislação de trânsito. O primeiro semáforo, nas cores vermelha e verde, foi instalado em 1868 em Londres. Em 1903, na Inglaterra, foi criado o “Motorcar Act”, que descrevia as regras de sinalização viária.

No Brasil, foi instaurado pela lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), o qual determina infrações e competência das autoridades de trânsito das vias do território nacional. De acordo com o Anexo I do CTB (1997), sinalização é definida, como “conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam”.

A sinalização viária é de extrema importância para a segurança nas vias. Os sinais de trânsito precisam ser executados em lugares estratégicos para transmitir as informações com clareza ao usuário da via. A sinalização permanente é composta por sinais em placas e painéis, por marcas viárias e dispositivos auxiliares, sendo eles dispositivos fixos de controle de tráfego que orientam e advertem os usuários da via (DNIT, 2010).

Segundo o artigo 87 do Código de Trânsito Brasileiro (1997), os sinais de trânsito são classificados em seis categorias, sendo elas:

- I. Verticais;
- II. Horizontais;
- III. Dispositivos de sinalização auxiliar;
- IV. Luminoso;
- V. Sonora;
- VI. Gestos do agente de trânsito e condutor.

O CONTRAN (2007, p.4), diz que a visibilidade e legibilidade da sinalização viária precisa “ser vista com a distância necessária para que possa ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão”. Para isso, é necessário empregar o uso de materiais que propiciem uma boa visibilidade tanto diurna quanto noturna.

Segundo o CONTRAN (2007, p.3), a sinalização horizontal, que é o foco deste trabalho, é definida como: “um subsistema da sinalização viária composta de marcas, símbolos e legendas, apostos sobre o pavimento da pista de rolamento”. A sinalização, deve possibilitar o adequado tempo de reação do usuário, com o uso adequado dos lugares, dimensões dos sinais e marcas e também da composição do ambiente rodoviário (DNIT, 2010).

Segundo o DNIT (2010), a durabilidade da sinalização horizontal é comprometida pelas condições climáticas e pelo desgaste causado pelo tráfego de veículos, desse modo, é de extrema importância a frequente manutenção, para que a via se mantenha em um bom estado de conservação. Ferraz (2012) cita alguns aspectos ligados à deficiência de sinalização: a falta de visibilidade das linhas fronteiriças, a separação das faixas de rodagem e a obrigatoriedade de paragem (mais frequente à noite e em condições climáticas adversas), a ausência de placas verticais reflexivas para delimitar limites de pequenas ilhas, projetos de construção e outras obras e, a falta de aviso prévio de alterações nas características da via em decorrência da presença de obstruções na via, semáforos e cruzamentos com vias preferenciais.

Robertson (2011) cita que as marcas utilizadas para delinear os limites de faixa de rodagem e de bordas do pavimento, auxiliam os motoristas na percepção e facilidade de distinguirem por onde eles devem trafegar. Certas características das demarcações, como a cor e o formato, ajudam os usuários da via a determinar direções de tráfego.

Conforme o CONTRAN (2007), existem padrões de marcas viárias, os quais são constituídos por combinações de traçado e cores:

- a) **Formas:** Contínua, tracejada ou seccionada e, setas, símbolos e legendas.
- b) **Cores:** Amarela, branca, vermelha, azul e preta.

De acordo com Lee e Donnell (2007) na maioria das vezes, durante o período noturno, o único meio de visibilidade do condutor são os faróis do veículo e as marcas horizontais. Devido ao período noturno haver baixa visibilidade, isso faz com que o motorista modifique a sua conduta e a sinalização horizontal torna-se ainda mais importante. Em tal circunstância, o condutor depende fundamentalmente da região iluminada pelos faróis dos veículos. Portanto, é essencial que o conjunto de sinalização viárias horizontal seja constituído de materiais capazes de guiar o veículo com segurança na via, sobretudo à noite.

O DNIT (2010, p.221) esclarece que: “os materiais comumente utilizados na sinalização horizontal são: tintas, massas termoplásticas e películas pré-fabricadas”. Para a adequada escolha de cada material deve-se considerar aspectos como o estado de conservação do pavimento, o volume e composição do tráfego, vida útil do pavimento, entre outros. Independente do material escolhido, este sempre deve ser retrorrefletivo, isto é, deve proporcionar ao motorista a informação visual da sinalização de forma amplificada, inclusive em condições adversas de tempo e iluminação. Na sinalização viária, a retrorrefletividade nada mais é do que a incidência de luz, provinda dos faróis dos veículos, que retorna aos olhos dos condutores após incidirem nas demarcações do pavimento.

Para possibilitar melhor visibilidade da via, conforme Schwab (1999, p.18) pode-se “[...] agregar aos materiais de demarcação viária, microesferas de vidro que atuam como lentes que coletam e concentram a luz emitida pelos faróis dos veículos e devolvem-na aos olhos do motorista [...]”. Desse modo, para que a via tenha uma sinalização horizontal adequada, é necessária a incorporação de microesferas de vidro a tinta.

2.2 Microesferas de vidro

Na sinalização horizontal viária, o que proporciona a retrorrefletividade são as microesferas de vidro aplicadas à tinta, no processo de pintura do pavimento. A NBR 16184 (2021) define microesferas como esferas vítreas com diâmetro igual ou inferior a 1000 μm , que podem ser maciças ou ocas. De forma geral, as microesferas maciças podem ser feitas de vidro, cerâmica, carbono, grafite, zinco ou poliméricas (acrílicos, PVC, poliestireno), já as microesferas ocas podem ser feitas de vidro, cerâmica, carbono, resina fenólica, poli (cloreto de vinilideno- utilizado na fabricação de tubos plásticos) ou poliestireno (BARBOZA, 2002).

Smadi *et. al.* (2014), aborda que a eficiência de uma demarcação viária com microesferas em refletir a luz depende de vários fatores, os quais não são função apenas das propriedades do vidro, mas também do conjunto de materiais utilizados na sinalização horizontal viária como um todo, após a sua aplicação na via. Deste modo, o mesmo autor aborda que a retrorrefletividade dependerá não só do tamanho das microesferas, mas também do seu índice de refração, da sua esfericidade, claridade, revestimento, material aglutinante, condições da superfície do pavimento, quantidade e incorporação na marcação viária. No mesmo contexto, de acordo com a NBR 16184 (2021), as microesferas devem atender padrões quanto à composição do vidro (como teor de sílica), aparência e defeitos, índice de refração, densidade de massa, entre outras propriedades físico-químicas.

Segundo ARTERIS (2017), as microesferas podem ser classificadas quanto ao seu uso e aplicação de acordo com a NBR 16184:2021, conforme descritas abaixo:

- Tipo I-A, V e VI: Estas são adicionadas às massas termoplásticas durante sua fabricação, mantendo-se imersas nas pinturas até que ocorra o desgaste da película de tinta aplicada na via, permitindo a retrorefletividade após a exposição. As microesferas do tipo I-A variam seu diâmetro entre 300 e 600 μm . Os tipos V e VI são específicos para trechos sujeitos a condições adversas (chuva e neblina), constituídos de esferas com diâmetro superior a 1000 μm .
- Tipo I-B: Assim como tipo I-A, as microesferas desse grupo são adicionadas às massas termoplásticas durante sua fabricação, mantendo-se imersas nas pinturas até que ocorra o desgaste da película de tinta aplicada na via, permitindo a retrorefletividade após a exposição. Entretanto, essas microesferas são apropriadas para utilização com tintas ou plástico a frio. O diâmetro das microesferas deste grupo varia entre 63 e 300 μm .
- Tipos II-A, II-B, II-C, II-D, II-E, III e IV: Estas esferas e microesferas são aplicadas por aspersão ou extrusão, logo após a aplicação da tinta ou termoplástico na via, permanecendo na superfície da película aplicada, gerando a retrorefletividade imediata. Os tipos II-A, II-B, II-C, II-D e II-E são microesferas com diâmetro inferior a 1000 μm . As microesferas do tipo III variam seu diâmetro entre 1700 e 710 μm e as tipo IV entre 2000 e 850 μm .
- Tipo VII: Essas são aplicadas também por aspersão ou extrusão, sendo convencionalmente, para pistas de aeroportos ou locais onde a visibilidade da sinalização deva ser potencializada. O diâmetro desse grupo varia entre 300 e 1180 μm .

É importante ressaltar que esse trabalho será limitado às microesferas do tipo I-B que são aquelas misturadas na tinta antes da aplicação no pavimento, e as do tipo II-A, que são aplicadas por aspersão. Desta forma, o DNER – 373/2000, classifica as microesferas do tipo I-B como sendo denominadas “Premix” tendo as mesmas especificidades apresentadas na NBR 16184:2021. São microesferas adicionadas à tinta durante a fabricação, permanecendo imersas à película de tinta aplicada, sendo exposta após o desgaste da superfície (DNER-373, 2000). Para as microesferas do tipo II-A, o DNER – 373/2000, denomina-as como “Drop-on”, e as classifica como tipo F.

De acordo com a NBR 16184:2021, as microesferas do tipo I-B devem dispor de diâmetros menores que 300 μm . A sua faixa granulométrica varia de 212 a 63 μm como é possível observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Granulometria das microesferas tipo I-B

Peneira	Abertura (μm)	% Passando
50	300	100
70	212	85-100
80	180	-
100	150	15-55
140	106	-
200	75	-
230	63	0-10

Fonte: Adaptado de NBR 16184:2021

Tanto para a NBR 16184:2021 quanto para o DNER – 373/2000, as microesferas do tipo II-A, devem dispor de diâmetros maiores que 180 μm . A sua faixa granulométrica, em seu maior percentual, deve estar contida no intervalo entre 180 e 600 μm como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2- Granulometria das microesferas do tipo II-A

Peneira	Abertura (μm)	% Passando
18	1000	100
20	850	98-100
25	710	-
30	600	75-95
40	425	-
50	300	9-35
70	212	-
80	180	0-5

Fonte: Adaptado de NBR 16184:2021

A NBR 16184:2021 apresenta requisitos para que as microesferas do tipo I-B e do tipo II-A tenham adequada retrorreflexão:

- Resistência ao ataque de cloreto de cálcio, ácido clorídrico, água e sulfeto de sódio: O objetivo é verificar se a superfície das microesferas apresenta ou não superfície

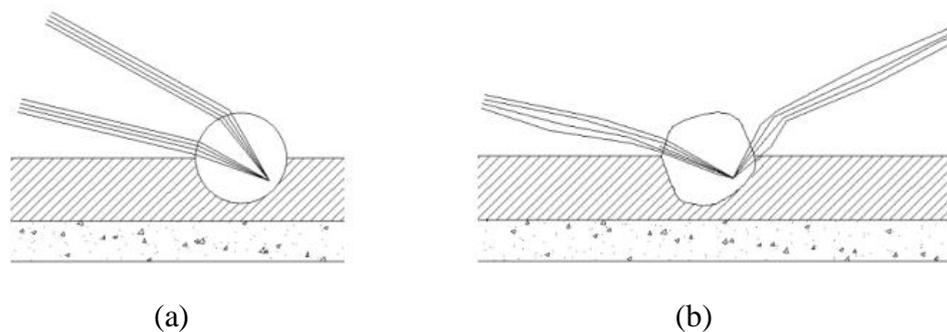
embaçada. Deseja-se que a superfície não seja embaçada, de forma a evitar perda na intensidade de luz retrorrefletida. Se as microesferas não apresentam resistência a esses ataques, haverá uma degradação da superfície quando em contato com sais e chuvas ácidas.

- Teor de sílica de no mínimo 65%;
- Serem limpas, claras, redondas, incolores e sem matérias estranhas;
- Ter um granulometria conforme descrito nas Tabela 1 e Tabela 2;
- Ter um índice de refração de no mínimo 1,5;
- Ter densidade entre 2,4 e 2,6 g/cm³;
- Ter no máximo 200 mg/kg dos seguintes elementos tóxicos: As, Pb e Sb.

No mesmo contexto, Schwab (1999) diz que é fundamental, para um desempenho satisfatório, que as microesferas sejam perfeitamente esféricas, transparentes, sem defeitos e sem falhas.

Nesse mesmo sentido, Machado (2019) aborda que a retrorrefletância é influenciada pelo grau de esfericidade. As partículas perfeitamente esféricas facilitam a ocorrência da retrorreflexão enquanto que as partículas angulares promovem a dispersão da luz, minimizando a quantidade de luz que volta para o motorista. É exemplificado na Figura 1 os fenômenos supracitados.

Figura 1 - Exemplificação da reflexão de acordo com a esfericidade.



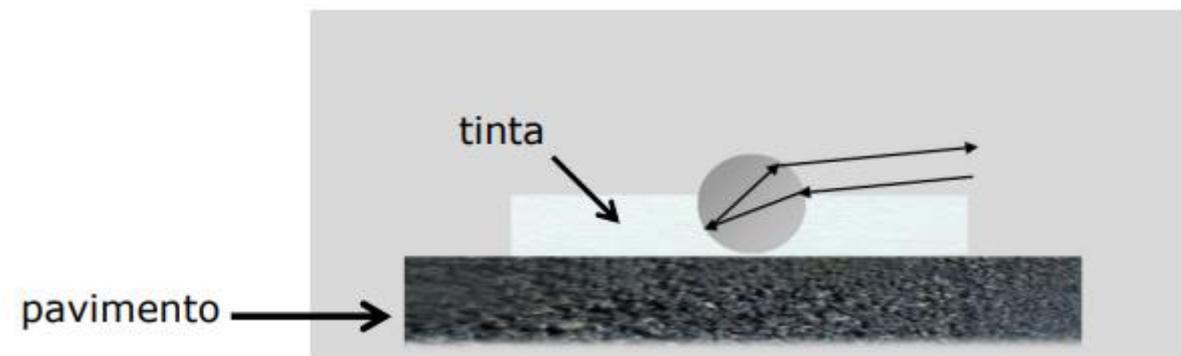
Fonte: Adaptado Machado (2019, p. 46).

De acordo com a especificação técnica de sinalização estatigráfica horizontal, para microesferas do tipo I-B aplicadas na tinta à base de resina acrílica, devem ser aplicadas na proporção de 200 a 250 g de microesferas para cada litro de tinta de demarcação viária

(BHTRANS, 2014). Sob outra perspectiva, a Norma DNIT 100/2018 indica que a espessura de tinta deve variar entre 0,4 e 0,8 mm dependendo do tipo de tinta utilizada.

Outro aspecto contribuinte para a retrorefletividade da sinalização horizontal viária, é a ancoragem das microesferas na superfície pintada. Moreira e Menegon (2003) relatam que são os pigmentos ativos presentes na tinta que asseguram a reflexão do feixe de luz das microesferas ancoradas. A ancoragem ideal se situa entre 50% e 60% do diâmetro das microesferas, permitindo durabilidade maior delas na tinta, além de permitir melhor retrorreflexão. Na Figura 2 é possível observar o esquema de ancoragem ideal.

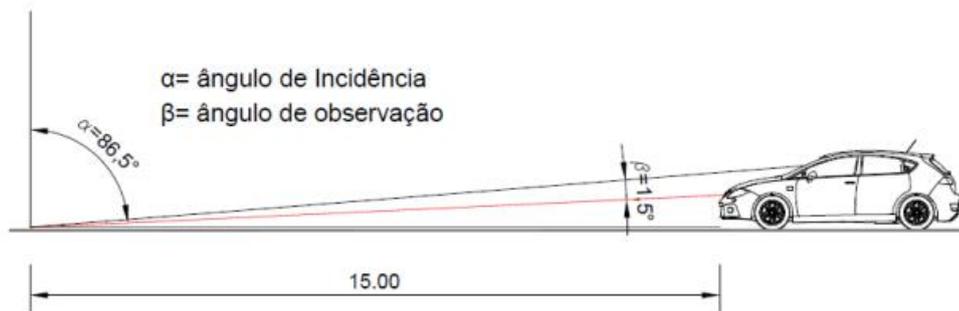
Figura 2 - Ancoragem de microesferas na pintura.



Fonte: Moreira e Menegon (2003, p. 45).

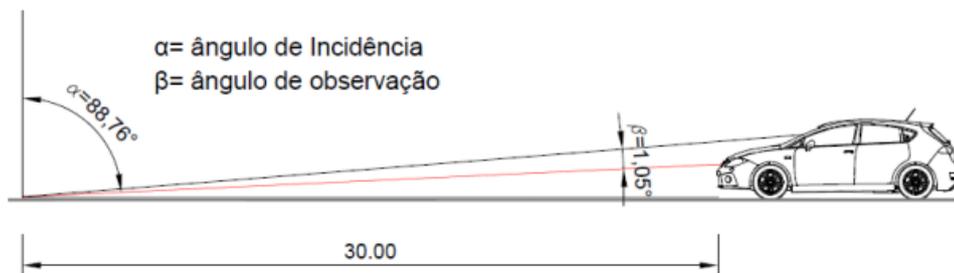
As normas brasileiras que tratam da avaliação da retrorrefletividade, respectivamente para as geometrias de 15m e 30m, são: a NBR 14723/2013 e a NBR 16307/2014. A geometria de 15 m representa um ângulo de observação (β) de $1,50^\circ$ e ângulo de incidência (α) de $86,50^\circ$ (ABNT, 2013). Já para a geometria de 30 m, o ângulo de observação corresponde a $1,05^\circ$ e ângulo de incidência de $88,76^\circ$ (ABNT, 2014). Nas Figuras 3 e Figura 4 são mostrados os ângulos de incidência e observação para ambas as geometrias. Para realização correta das medições, a superfície deve estar isenta de umidade e livre de pedras ou de resíduos capazes de comprometer a estabilidade do equipamento e a vedação adequada do compartimento óptico, de modo a não ocorrer entrada de luz externa ou solar no compartimento de medição (NBR 14723, 2013).

Figura 3 - Geometria de 15 metros.



Fonte: Relatório Arteris (2017)

Figura 4 - Geometria de 30 metros.



Fonte: Relatório Arteris (2017)

Por outro lado, as normas brasileiras não determinam valores de retrorrefletância para a sinalização horizontal de rodovias. Esses valores mínimos de retrorrefletância normalmente são definidos pelos órgãos da administração pública, que regulamentam e fiscalizam trechos rodoviários (Parcianello, 2016). Como exemplo, o DAER (2013) estipula os índices mínimos de retrorrefletividade para as rodovias do RS como sendo de 170 e 220 mcd/m²/lux para as cores amarela e branca, respectivamente. Estes valores valem para a retrorrefletividade inicial (até 48h após a aplicação). Para a sinalização residual (após as 48h iniciais), o valor estipulado é de, pelo menos, 130 mcd/m²/lux para ambas as cores. Já o DNIT, Norma 100/2018, determina que, para a geometria de 15 metros, a retrorrefletividade mínima das demarcações deve ser de 150 mcd/m²/lux para cor branca e 100 mcd/m²/lux para cor amarela, considerando aqui a sinalização provisória (de curta duração). Para sinalização definitiva, os valores são: 250 mcd/m²/lux para cor branca e 150 mcd/m²/lux para cor amarela. Segundo esta norma, a retrorrefletividade residual (que nesta norma é definida como sendo após 15 dias), sob quaisquer circunstâncias de condições físicas ou operacionais da rodovia, independentemente do material especificado no projeto, deve ser de 100 mcd/m²/lux para a cor branca e de 80 mcd/m²/lux para a cor amarela.

Daltrozo (2020) diz que a norma Europeia EN 1436/2015, contrária as normas brasileiras, estabelece uma geometria de 30 metros para parâmetros de retrorrefletividade. Além disso, de forma mais detalhada, são especificados os requisitos mínimos de visibilidade para áreas secas, quentes e chuvosas. Assim, para a geometria de 30 metros, os valores mínimos de retrorrefletividade variam de 25 mcd/lux/m² a 300 mcd/lux/m², dependendo do ambiente.

3 METODOLOGIA

3.1 Análises químicas, físicas e retrorrefletividade das microesferas

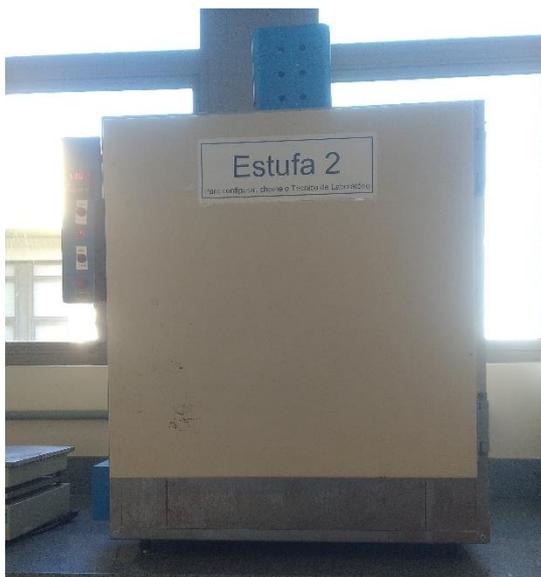
As análises químicas e físicas foram realizadas seguindo as especificações da NBR 16184:21- Sinalização horizontal viária - Esferas e microesferas de vidro - Requisitos e métodos de ensaio. Contudo, as análises de natureza do vidro e presença de elementos tóxicos, foram feitas de forma alternativa utilizando o equipamento de Fluorescência de Raios X.

Já para as medidas de retrorrefletividade, a comparação dos resultados foi feita com requisitos definidos pelos órgãos da administração pública (DAER e DNIT). Para as análises, serão utilizadas microesferas comerciais de dois fabricantes distintos, chamadas aqui de “microesferas X” e “microesferas Y”.

3.1.1 Granulometria

A análise granulométrica foi feita utilizando 500 g de microesferas de vidro. As amostras ficaram em estufa a 110 °C durante 1 hora, para retirada da umidade, depois foi resfriada em dessecador à temperatura ambiente. Na figura 5 são apresentados a estufa (a) e o dessecador (b), equipamentos utilizados para realização desse ensaio.

Figura 5- Estufa e Dessecador



(a)



(b)

Fonte: Elaboração Própria.

Da amostra inicial, foram pesadas 70 g de microesferas e colocadas sobre a peneira de maior abertura. Utilizou-se um conjunto de peneiras, com diâmetro aproximado de 205 mm e aberturas nominais de: 75 mm, 150 mm e 300 mm (para as microesferas do tipo IB) e 850 mm, 300 mm, 600 mm e 150 mm (para as microesferas do tipo IIA). Foram dados 150 golpes por minuto de encontro à palma da mão, girando cerca de 1/6 da revolução o conjunto de peneiras, a cada 25 golpes. Esse processo foi repetido até não exceder 0,05 g de microesferas passantes através de cada peneira no período de 1 minuto. Na Figura 6, está apresentado o conjunto de peneiras utilizadas para a realização do ensaio para microesferas do tipo IB (a) e microesferas do tipo IIA (b).

Figura 6- Conjunto de peneiras



Fonte: Elaboração Própria.

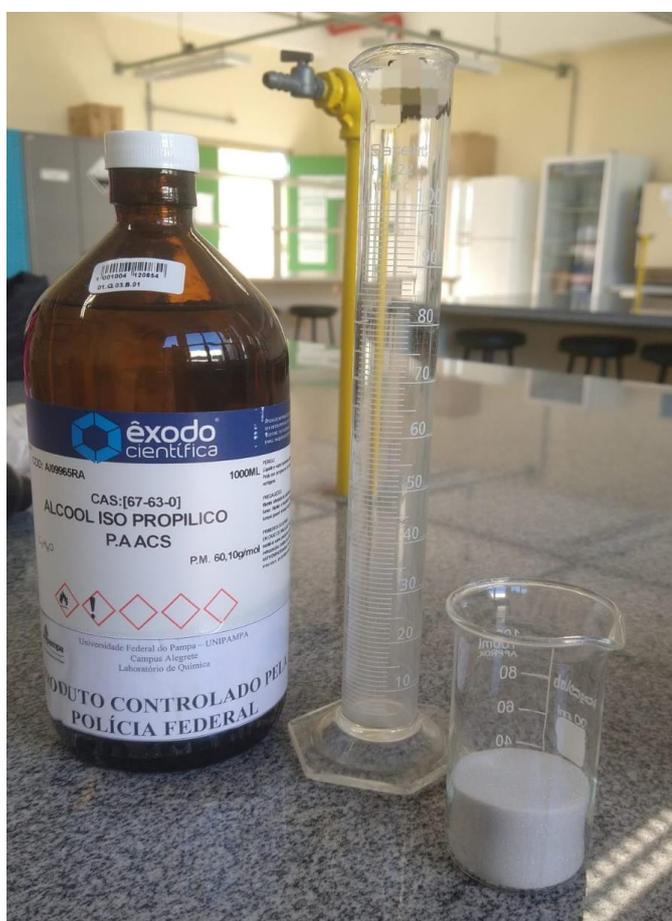
Por último foi pesado o material retido nas peneiras, inclusive os que estavam presos nas malhas. O cálculo da granulometria da amostra deve ser representado em função da porcentagem da massa total, considerando as massas parciais de material passante, para cada peneira.

3.1.2 Densidade

A determinação da densidade de massa foi feita utilizando 100 g de microesferas de vidro. As amostras ficaram em estufa a 110 °C durante 2 horas, a fim de retirar toda umidade, depois foram resfriadas em dessecador à temperatura ambiente durante 2 horas.

Da amostra inicial, foram pesadas 60 g de microesferas e colocadas em uma proveta de 100 mL contendo 50 ml de álcool isopropílico. A proveta foi agitada vagarosamente, para retirada do ar preso entre as microesferas. Na Figura 7 está apresentado os materiais utilizados para a realização desse ensaio.

Figura 7- Ensaio de Densidade



Fonte: Elaboração Própria.

O volume do líquido deslocado pela imersão das microesferas corresponde ao volume do material que compõe as microesferas (volume da amostra).

Para o cálculo da densidade foi utilizada a Equação 4:

$$D = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Onde:

D: Densidade da amostra (g/mL)

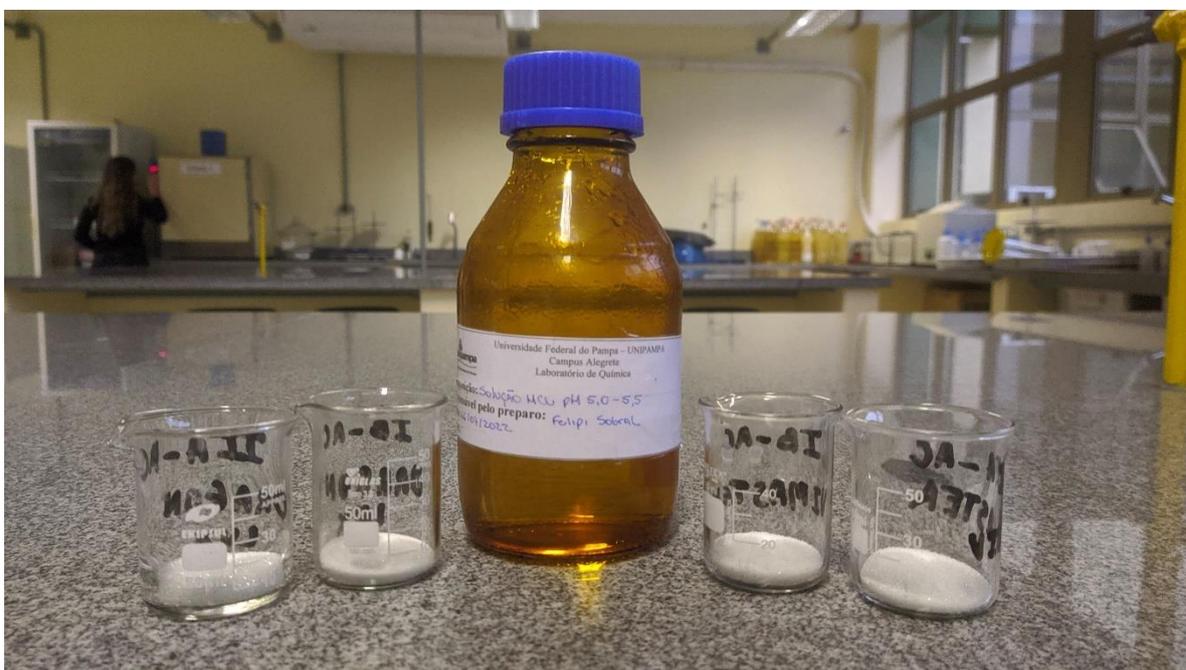
m: Massa da amostra (g)

V: volume da amostra (L)

3.1.3 Resistência ao ácido clorídrico

Para verificar a resistência ao ataque de ácido clorídrico (HCl), foram utilizados 10 g de microesferas de vidro. As microesferas foram colocadas em um béquer de 50 mL e após foi adicionado ácido clorídrico até submergir totalmente as microesferas. O conjunto ficou em repouso por 90 horas. Na Figura 8 está apresentado os materiais utilizados para realização desse ensaio.

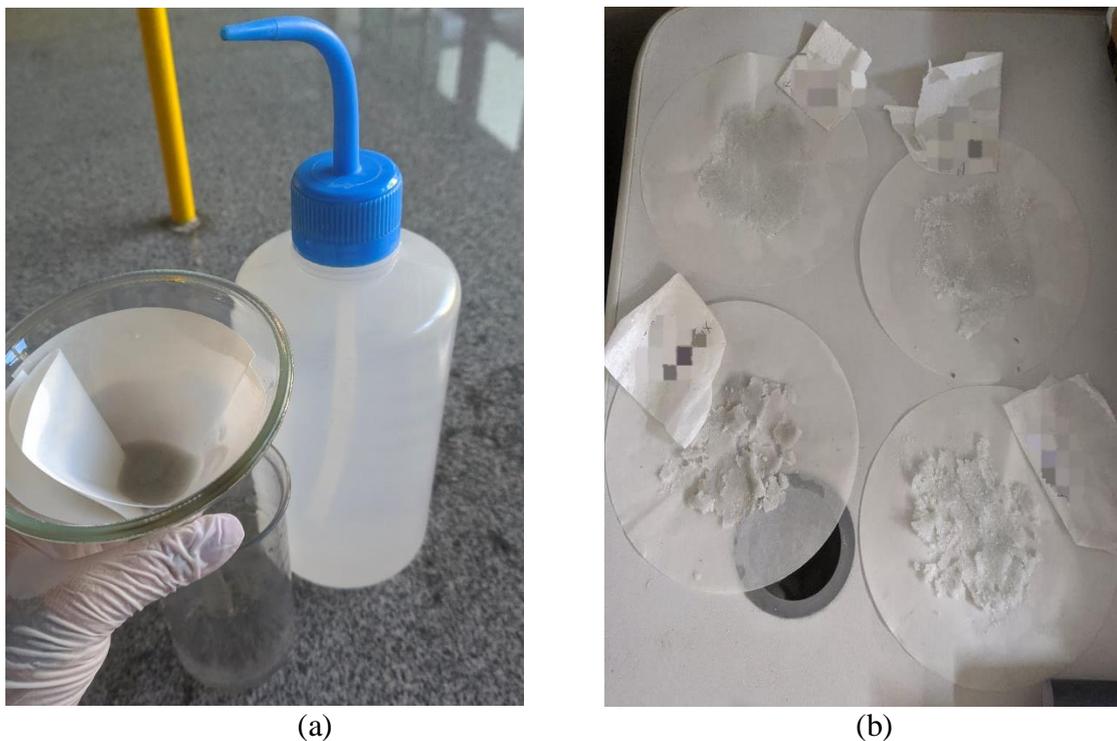
Figura 8- Ensaio de Resistência ao Ácido Clorídrico



Fonte: Elaboração Própria.

Após o tempo de repouso, o conjunto foi filtrado em papel-filtro. Em seguida, foi lavado por três vezes com água destilada e após, o conjunto foi secado ao ar. A Figura 9 ilustra esse processo de filtragem (a) e secagem (b) das microesferas.

Figura 9- Filtragem e secagem das microesferas submetidas ao ataque ácido



Fonte: Elaboração Própria.

A análise das microesferas foi feita por meio do microscópio óptico apresentado na Figura 10, com aumento de 100 e 200x, comparando as microesferas ensaiadas com as não ensaiadas. A avaliação foi verificada levando em conta se as amostras estavam embaçadas ou não.

Figura 10- Microscópio Óptico



Fonte: Elaboração Própria.

3.1.4 Verificação da presença de revestimento para aderência em resina acrílica

Para verificar a presença de revestimento para aderência em resina acrílica foram utilizados 70 g de microesferas de vidro. As microesferas foram colocadas em um béquer de 100 mL e, com auxílio de uma pipeta, foi adicionado 20 mL de solução de Permanganato de Potássio. Esse conjunto foi misturado com auxílio de um agitador e logo após, foi colocado na estufa para secar. Na Figura 11 está apresentado as etapas de mistura (a) e secagem (b) do conjunto.

Figura 11- Ensaio de Verificação de Presença de Revestimento para Aderência em Resina Acrílica



(a)



(b)

Fonte: Elaboração Própria.

Após retirar da estufa, foi observado durante 30 minutos (tempo máximo de reação), se a coloração havia mudado sob incidência de uma lâmpada de luz branca com potência de 20 W da marca EMPALUX, mostrado na Figura 12. A avaliação foi baseada se a coloração das microesferas mudou de cor, para castanho ou verde.

Figura 12- Lâmpada de luz branca



Fonte: Elaboração Própria.

3.1.5 Natureza do vidro, teor de sílica e presença de elementos tóxicos

A norma NBR 16184 (2021) prevê alguns ensaios específicos para determinação da natureza do vidro, seguindo os parâmetros da ASTM C 169 e, ensaios específicos para determinação do teor de sílica e determinação da presença de elementos tóxicos. No presente trabalho todos estes critérios foram avaliados de uma forma alternativa, considerando a técnica de caracterização de materiais, não destrutiva, chamada de Fluorescência de Raios X. Esse equipamento permite identificar a composição do vidro, permitindo a detecção de teores de sílica e também presença de elementos/óxidos (Arsênio- As, Antimônio- Sb e Chumbo- Pb) presentes nas microesferas de vidro, de forma semi-quantitativa. Na Figura 13 é apresentado o equipamento utilizado.

Figura 13- Aparelho de Fluorescência de Raios X



Fonte: Elaboração Própria.

3.1.6 Retrorrefletividade

Para medição da retrorrefletividade das microesferas dos tipos I-B e IIA, em 15 e 30 metros, foi utilizado o aparelho retrorrefletômetro da Easylux Horizontal Clássico. Esse equipamento possibilitou medidas de retrorreflexão noturna e visibilidade diurna. Na Figura 14 pode ser observado o retrorrefletômetro que foi utilizado.

Figura 14 - Retrorefletômetro Horizontal Clássico



Fonte: EasyLux (2023).

Para realização das medidas, foi utilizada uma superfície constituída por uma placa de fibras de média densidade (MDF), com dimensões de 60 cm x 15,3 cm, que foi revestida por uma superfície de acetato-vinila de etileno (EVA), com dimensões de 34 cm x 10 cm, (região equivalente a área de leitura do equipamento) onde foi pintado com tinta de demarcação viária base de resina acrílica da marca “ICD Vias” na cor branca. Na Figura 15 é possível visualizar essa superfície.

Figura 15- Superfície para medidas de retrorefletividade



Fonte: Elaboração Própria.

Inicialmente a tinta foi misturada até sua homogeneização e, em seguida, com o auxílio de um rolo de pintura, a tinta foi aplicada sobre o plano de EVA até atingir uma camada uniforme de aproximadamente 0,6 mm, conforme trata a NBR 14723:2020 (para geometria de 15 metros) e a NBR 16307:2020 (geometria de 30 metros).

A superfície preenchida pelas microesferas foi colocada dentro de um recipiente de plástico, para prevenir a perda de microesferas. Assim, as microesferas que não aderirem a tinta foram recolhidas e colocadas novamente, garantindo a densidade de microesferas desejadas.

Em seguida foi feita a deposição das microesferas sobre o plano de EVA, de forma manual, por aspersão. Para isso, foram utilizadas diferentes densidades de microesferas: 50 g/m² (referente a 1,7 g), 100 g/m² (referente a 3,4 g), 150g/m² (referente a 5,1 g) e 200 g/m² (referente a 6,8 g).

Foram feitas uma plaquinha para cada densidade de microesferas, e para realizar as medidas de retrorrefletividade, as plaquinhas foram giradas 180° em relação a posição inicial, pois dessa forma foi possível coletar valores diferentes de retrorrefletividade.

4 RESULTADOS

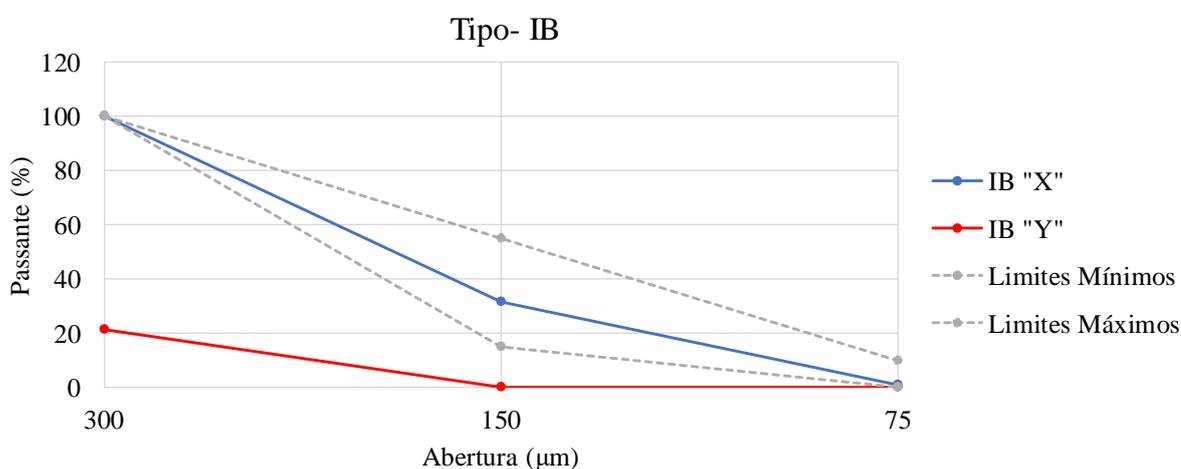
Os resultados deste trabalho são apresentados neste capítulo. Estes resultados estão divididos em três seções: primeiro, os resultados relativos à análise física, na sequência as análises químicas e por último, os resultados da retrorrefletividade dessas microesferas.

4.1 Análise das características físicas das microesferas

4.1.1 Granulometria

A partir do procedimento de granulometria previsto pela NBR 16184:21, descrito no capítulo anterior, foram obtidos os dados relativos à granulometria das microesferas. Porém neste trabalho não foi possível utilizar todas as peneiras com aberturas nominais, pois nosso laboratório tinha somente algumas. Os resultados serão analisados a partir das peneiras que estavam disponíveis. Na Figura 16 é possível visualizar os dados obtidos para as microesferas do tipo IB.

Figura 16- Granulometria das microesferas tipo I-B



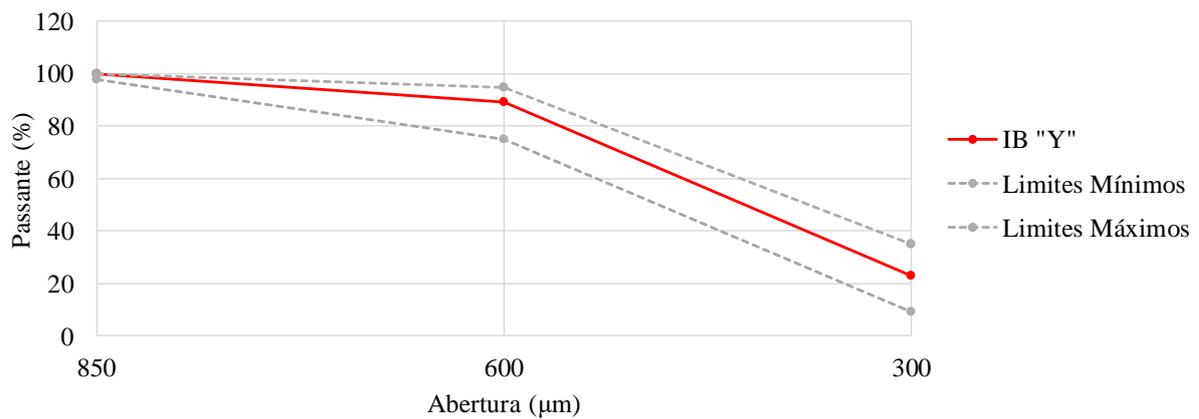
Fonte: Elaboração própria

Com os dados da figura acima é possível verificar que as microesferas do tipo IB “X” atendeu os parâmetros da norma, tendo sua faixa granulométrica distribuída dentro dos limites estabelecidos.

Já as microesferas do tipo IB “Y” não atenderam aos parâmetros da norma. Pode-se verificar que sua faixa granulométrica é maior do que a desejada, ou seja, seu diâmetro é maior

do que os estabelecidos em norma (diâmetros menores que 300 μm). A partir disso, foi feito uma análise separada para essas microesferas, a fim de verificar a qual tipo de microesferas, essa amostra deveria ser classificada. Na Figura 17 é apresentada a granulometria dentro dos limites que ela está compreendida.

Figura 17- Granulometria das Microesferas do tipo IB “Y”

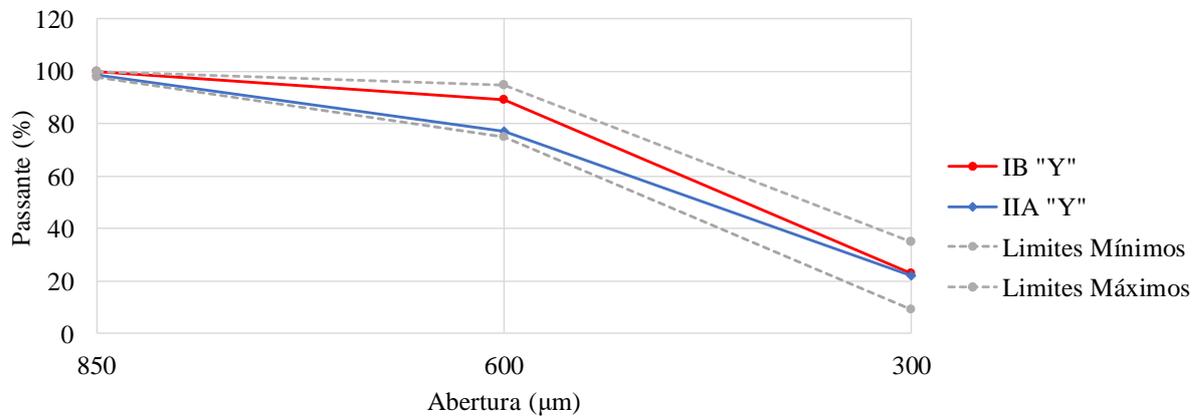


Fonte: Elaboração própria

A partir dessa nova análise, foi possível verificar que os diâmetros das microesferas do tipo IB “Y” estão compreendidos dentro dos limites das microesferas do tipo IIA, ou seja, as microesferas que estavam sendo comercializadas como sendo do tipo IB na verdade se encaixam nas do tipo IIA.

A fim de verificar se a empresa “Y” não embalou o lote de microesferas do tipo IB na embalagem das microesferas do tipo IIA, foi feita análise entre as duas amostras. Na Figura 18 é apresentada a granulometria das amostras dentro dos limites das microesferas do tipo IIA.

Figura 18- Granulometria das microesferas tipos IB e II-A

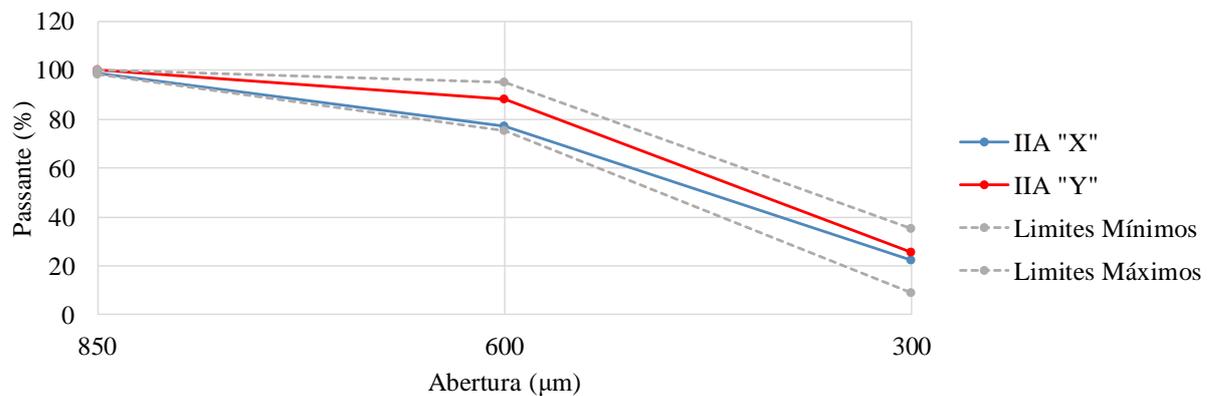


Fonte: Elaboração própria

Como é possível observar, há discrepância na granulometria das duas amostras. Com isso é possível verificar que houve erro na produção das microesferas do tipo IB “Y”.

Na Figura 19 é mostrado os dados obtidos para as microesferas do tipo IIA.

Figura 19- Granulometria das microesferas tipo II-A



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado ambas microesferas comercializadas X e Y, atenderam os parâmetros da norma, tendo sua faixa granulométrica distribuída dentro dos limites estabelecidos.

4.1.2 Densidade

A NBR 16184:2021 estipula que a densidade de massa das microesferas dos tipos IB e IIA fique compreendida entre 2,4 g/m³ e 2,6 g/m³. Utilizando os métodos descritos no capítulo anterior, os valores obtidos após as análises estão apresentados nas Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente para as microesferas do tipo IB e IIA.

Tabela 3- Valores medidos para microesferas do Tipo IB.

Amostra	Massa de Microesferas (g)	Volume de Álcool Isopropílico (mL)	Volume do Conjunto (mL)	Volume Deslocado (mL)	Densidade (g/mL)
IB "X"	60,00	50,00	74,00	24,00	2,50
IB "Y"	60,00	50,00	73,80	23,80	2,52

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4- Valores medidos para microesferas do Tipo IIA.

Amostra	Massa de Microesferas (g)	Volume de Álcool Isopropílico (mL)	Volume do Conjunto (mL)	Volume Deslocado (mL)	Densidade (g/mL)
IIA "X"	60,00	50,00	74,00	24,00	2,50
IIA "Y"	60,00	50,00	74,00	24,00	2,50

Fonte: Elaboração própria.

De posse dos valores encontrados, foi possível verificar que os valores calculados atendem aos limites definidos pela norma (2,4 e 2,6 g/cm³). Lembrando aqui que 1 mL = 1 cm³.

4.2 Análises químicas das microesferas

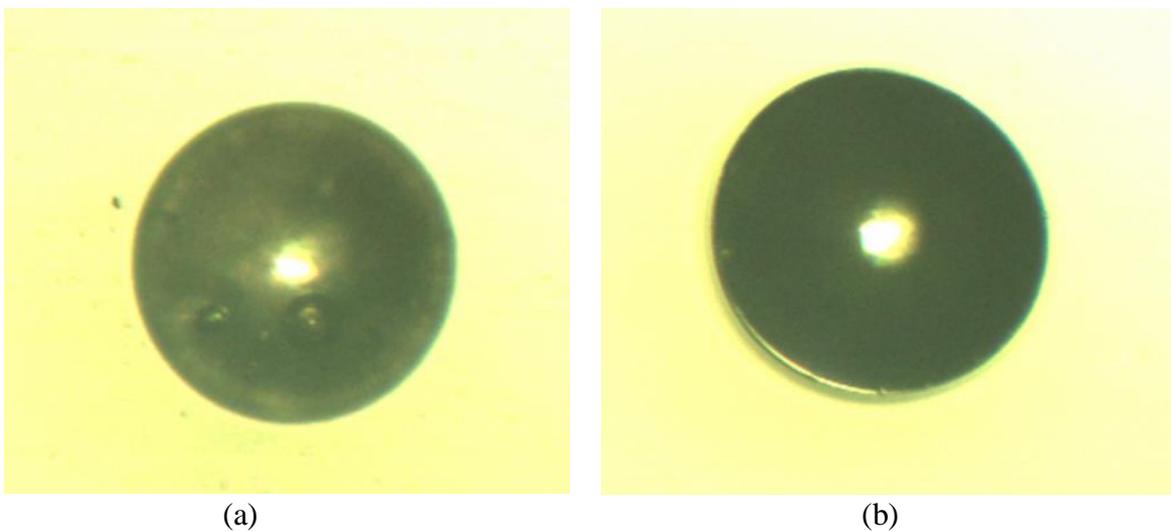
4.2.1 Resistência ao ácido clorídrico

A partir da realização dos procedimentos descritos para verificar a resistência das microesferas de vidro ao ataque de Ácido Clorídrico (HCl), que estão previstos na NBR

16184:21 e descritos no capítulo anterior, foram obtidas imagens por microscopia óptica com auxílio do software ISCapture, considerando aumentos de 100 vezes e 200 vezes.

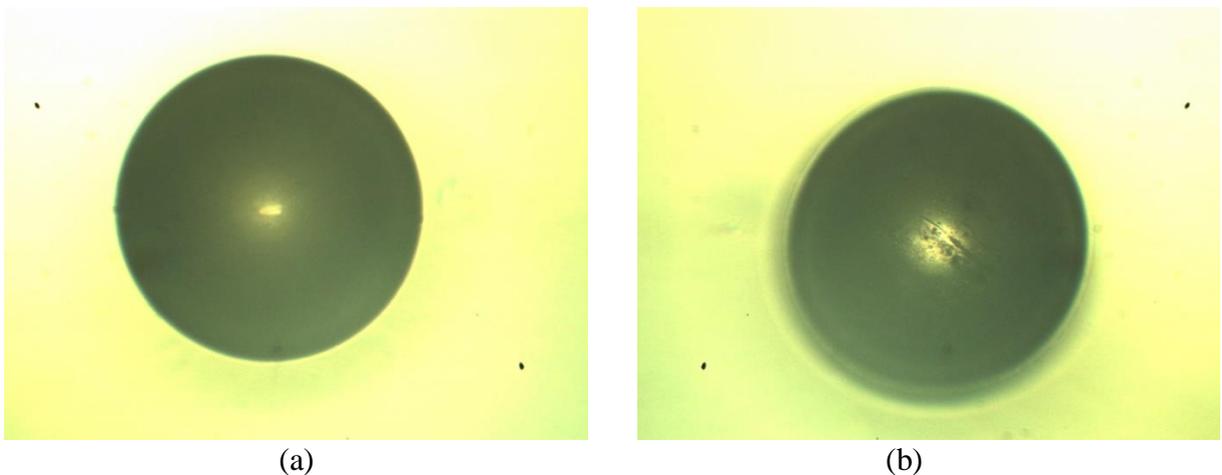
É apresentado nas Figuras 20, 21, 22 e 23, apresentam as imagens obtidas das microesferas do tipo IB antes e após o ataque ácido. É válido ressaltar que as imagens foram adaptadas para que ficassem com tamanhos maiores para melhor visualização, todavia quando as imagens foram obtidas, elas estavam em escala menor.

Figura 20- Microesferas do tipo IB “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes



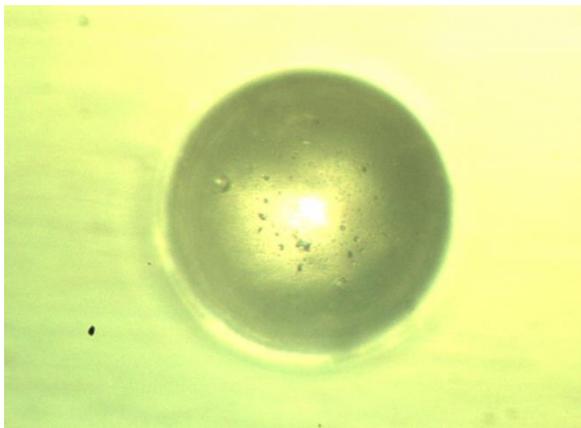
Fonte: Elaboração própria.

Figura 21- Microesferas do tipo IB “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes

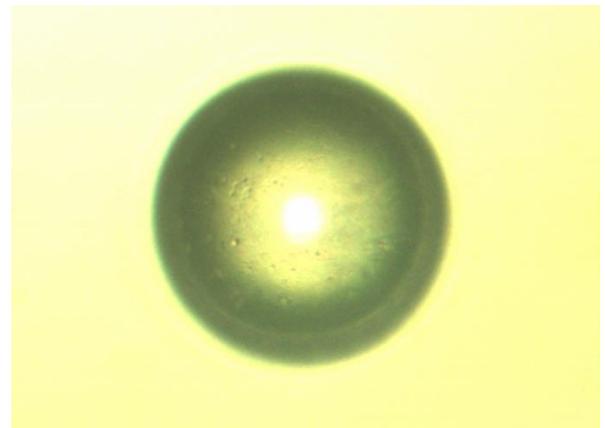


Fonte: Elaboração própria.

Figura 22- Microesferas do tipo IB “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes



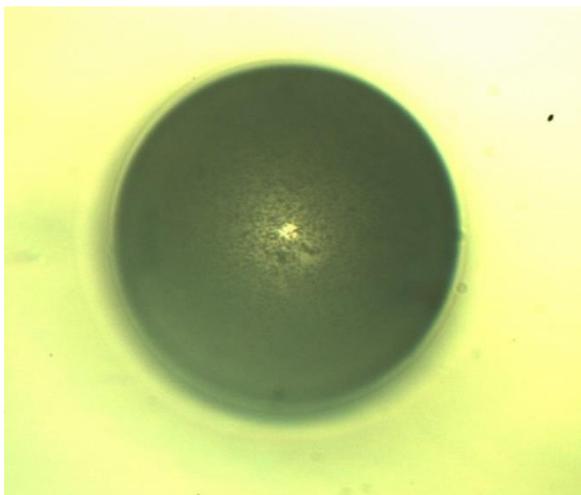
(a)



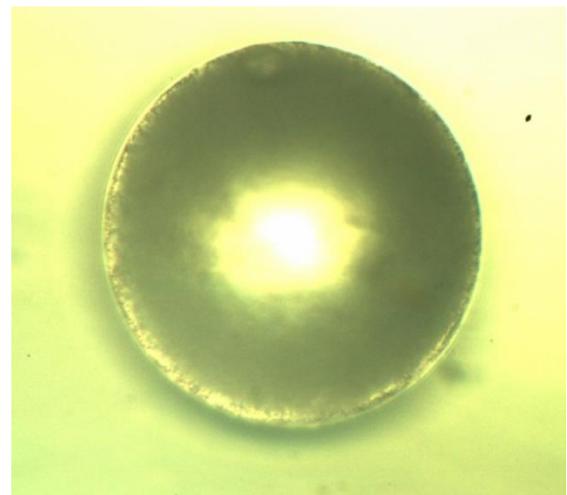
(b)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 23- Microesferas do tipo IB “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes



(a)



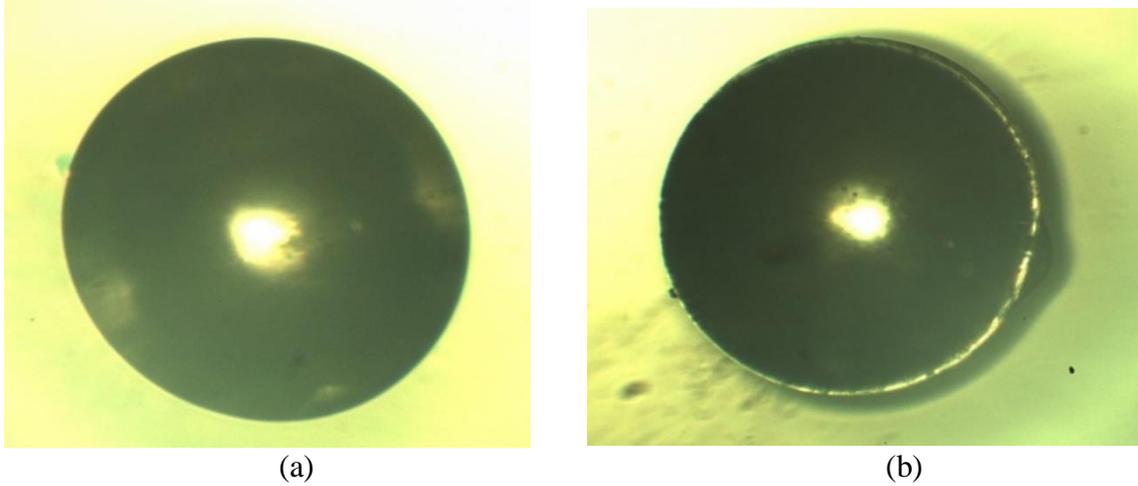
(b)

Fonte: Elaboração própria.

Embora as imagens não demonstrem com clareza, é possível verificar que as microesferas dos tipos IB “X” e IB “Y” analisadas, não apresentam superfície embaçada após serem submetidas ao ataque ácido, logo, atendem as especificações da norma. Embora não tenha sido avaliado neste trabalho, é possível verificar a presença de microbolhas de ar dentro das microesferas. Estas microbolhas causam espalhamento da luz, diminuindo a eficiência da luz retrorrefletiva.

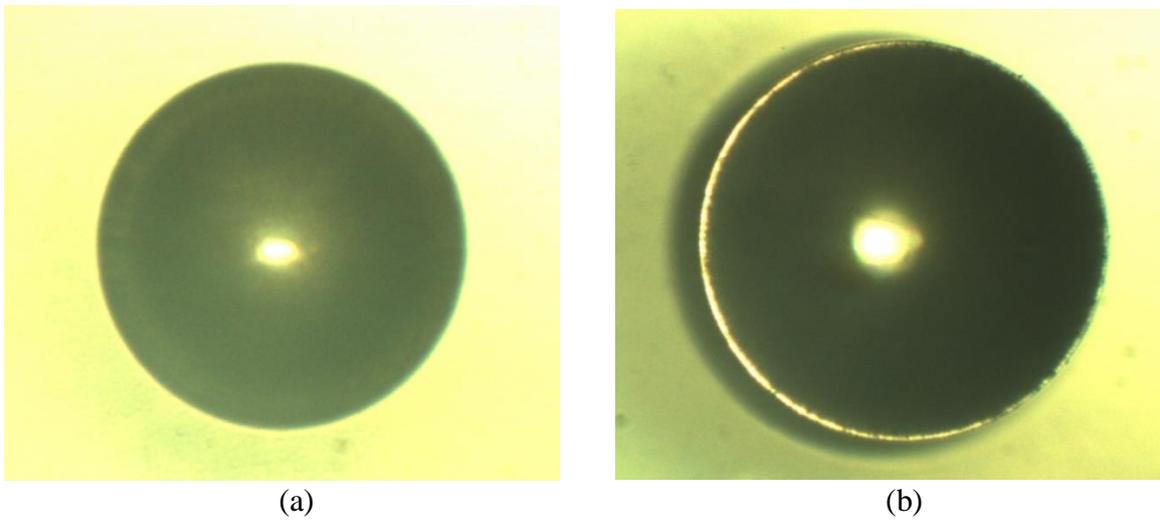
Já as Figuras 24 a 27, apresentam as imagens obtidas das microesferas do tipo IIA antes e após o ataque ácido.

Figura 24- Microesferas do tipo IIA “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes



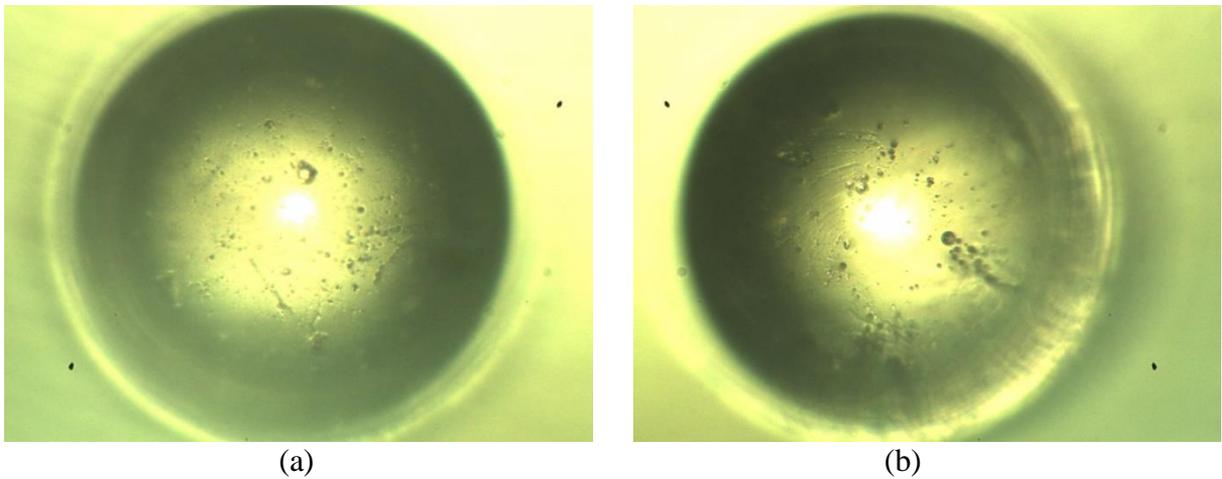
Fonte: Elaboração própria.

Figura 25- Microesferas do tipo IIA “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 100 vezes



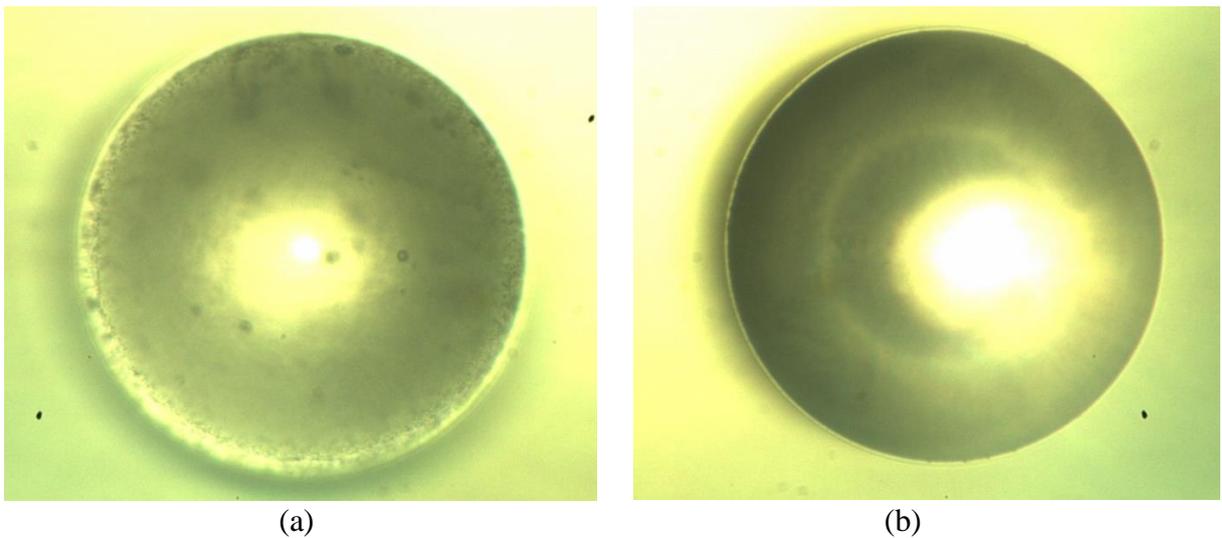
Fonte: Elaboração própria.

Figura 26- Microesferas do tipo IIA “X” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes



Fonte: Elaboração própria.

Figura 27- Microesferas do tipo IIA “Y” antes (a) e após (b) o ataque ácido, com aumento de 200 vezes



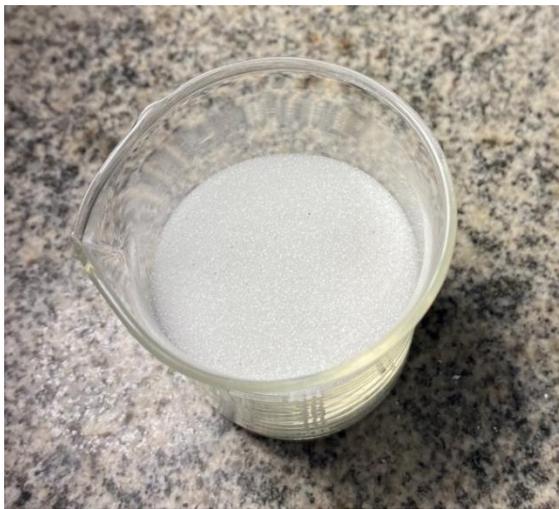
Fonte: Elaboração própria.

Novamente, embora as imagens não demonstrem com clareza, é possível dizer que as microsferas dos tipos IIA “X” e IIA “Y” analisadas, não apresentam superfície embaçada após serem submetidas ao ataque ácido. Logo, atendem as especificações da norma.

4.2.2 Verificação da presença de revestimento para aderência em resina acrílica

Após a realização dos procedimentos para verificar a presença de revestimento para aderência em resina acrílica, previstos pela NBR 16184:21 e que estão descritos no capítulo anterior, foram capturadas imagens que mostram o resultado dessa análise. Nas Figura 28 a 31 é possível observar as microesferas antes de serem ensaiadas (a) e 30 minutos após saírem da estufa (b), tempo máximo para ocorrer a reação com as microesferas.

Figura 28- Microesferas do tipo IB “X”



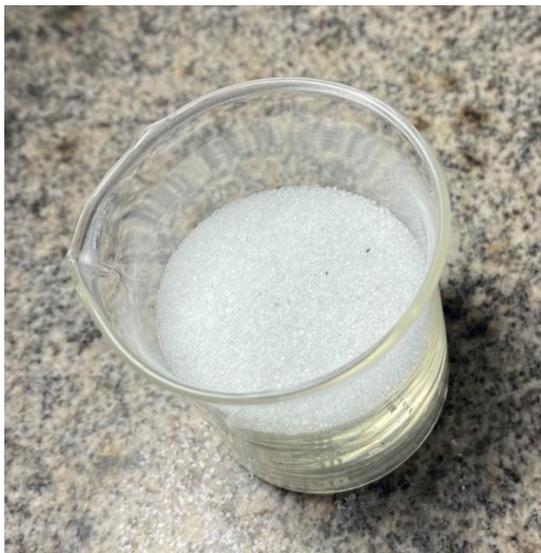
(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 29- Microesferas do tipo IB “Y”



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 30- Microesferas do tipo IIA “X”



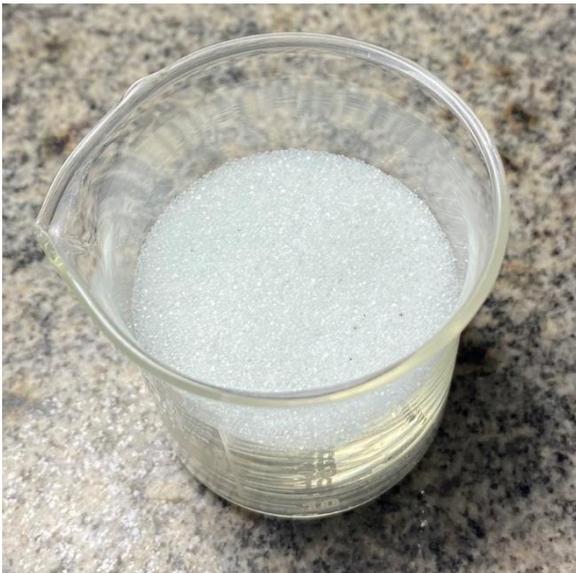
(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 31- Microesferas do tipo IIA “Y”



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria.

Com a comparação feita em relação à coloração das microesferas antes de serem ensaiadas, é possível notar que houve mudança na coloração das microesferas para a cor castanho. As microesferas do tipo IB “X”, tiveram mudança de cor com menor intensidade. Já as microesferas do tipo IIA “X”, da mesma marca, houve mudança de coloração com maior intensidade (mais fácil a visualização). Com a verificação da mudança de cor, pode-se concluir que existe a presença de revestimento para aderência em resina acrílica, atendendo as especificações da norma.

4.2.3 Natureza do vidro, teor de sílica e presença de elementos tóxicos

Como a maioria das microesferas comerciais são do tipo soda-cal (sódico-cálcicos), para as análises feitas através do uso do aparelho de Fluorescência de Raio X, foi considerado a não presença de óxido de Boro, já que o aparelho não detecta a presença desse elemento (Boro). Nas Tabela 5 e Tabela 6, estão dispostos os valores obtidos de Sílica (SiO_2) e Cálcio (CaO), principais óxidos presentes nas microesferas analisadas.

Tabela 5- Microesferas tipo IB: Vidro Sódico-Cálcico

Amostra	SiO_2 (%)	CaO (%)
IB "X"	76,998	21,295
IB "Y"	75,041	21,799

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6- Microesferas tipo IIA: Vidro Sódico-Cálcico

Amostra	SiO_2 (%)	CaO (%)
IIA "X"	76,232	21,644
IIA "Y"	82,238	16,046

Fonte: Elaboração própria.

Conforme a norma, para que as microesferas de vidro possam ser comercializadas, do ponto de vista de composição, é necessário a presença de no mínimo 70,65 % de Sílica. Com os resultados apresentados nas tabelas acima é possível verificar que ambas as marcas produzem microesferas do tipo soda-cal. Vale ressaltar, que há presença de outros elementos na composição destas microesferas, porém não foram colocados uma vez que a norma não estipula valores mínimos e máximos para outros óxidos. Após análise dos dados, foi possível verificar que as microesferas atendem às especificações da Norma, tanto ao teor de sílica quanto ao tipo de material.

Com a utilização do mesmo equipamento, foi possível analisar a presença de elementos estranhos tais como: Arsênio (As), Antimônio (Sb) e Chumbo (Pb). Os valores obtidos estão dispostos nas Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7- Microesferas tipo IB: Elementos Tóxicos

Amostra	As (%)	Sb (%)	Pb (%)
IB “X”	-	-	0,005
IB “Y”	-	-	0,014

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8- Microesferas tipo IIA: Elementos Tóxicos

Amostra	As (%)	Sb (%)	Pb (%)
IIA “X”	-	-	0,002
IIA “Y”	-	-	0,008

Fonte: Elaboração própria.

A norma NBR 16184:2021 limita em 700 mg/kg a presença de elementos tóxicos nas amostras de microesferas, o que equivale a um percentual de 0,02%. Como é possível observar nas Tabelas 7 e 8, nenhum elemento tóxico foi detectado em percentuais consideráveis. Com isso, ambas as marcas atendem aos padrões definidos pela norma no que se refere aos elementos tóxicos.

4.3 Retrorrefletividade

Como pode-se verificar na análise de granulometria, no item 4.1.1, a faixa granulométrica das microesferas do tipo IB “Y” se enquadram no tipo IIA. Para que fosse possível fazer a comparação de retrorrefletividade entre microesferas do mesmo tipo, as microesferas do tipo IB “Y” foram peneiradas, a fim de se enquadrarem na faixa granulométrica do tipo IB.

Para verificar a retrorrefletividade das amostras dos tipos IB e IIA, foram realizadas medidas para as diferentes densidades de microesferas e, calculado a média e o desvio padrão desses valores, para as geometrias de 15 metros e 30 metros. O desvio padrão é dado por conta da distribuição não homogênea das microesferas na área pintada, afetando os valores na hora da medição. Esses dados estão presentes nas Tabelas 9, 10, 11 e 12.

Tabela 9- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IB “X”

Densidade (g/m²)	15 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão	30 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão
50	240,00	0,03	117,50	0,34
100	196,50	0,06	61,50	0,36
150	192,50	0,50	105,50	1,92
200	135,67	0,37	59,25	0,05

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IB “Y”

Densidade (g/m²)	15 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão	30 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão
50	88,50	0,16	50,00	0,00
100	78,00	0,13	44,63	0,05
150	75,00	0,21	45,63	0,02
200	89,50	0,25	53,00	0,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IIA “X”

Densidade (g/m²)	15 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão	30 metros (mcd/m²/lux)	Desvio Padrão
50	215,75	0,32	146,50	0,20
100	273,50	0,17	138,50	0,30
150	330,50	0,56	170,75	0,04
200	398,50	0,33	167,25	0,51

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12- Retrorrefletividade das microesferas do Tipo IIA “Y”

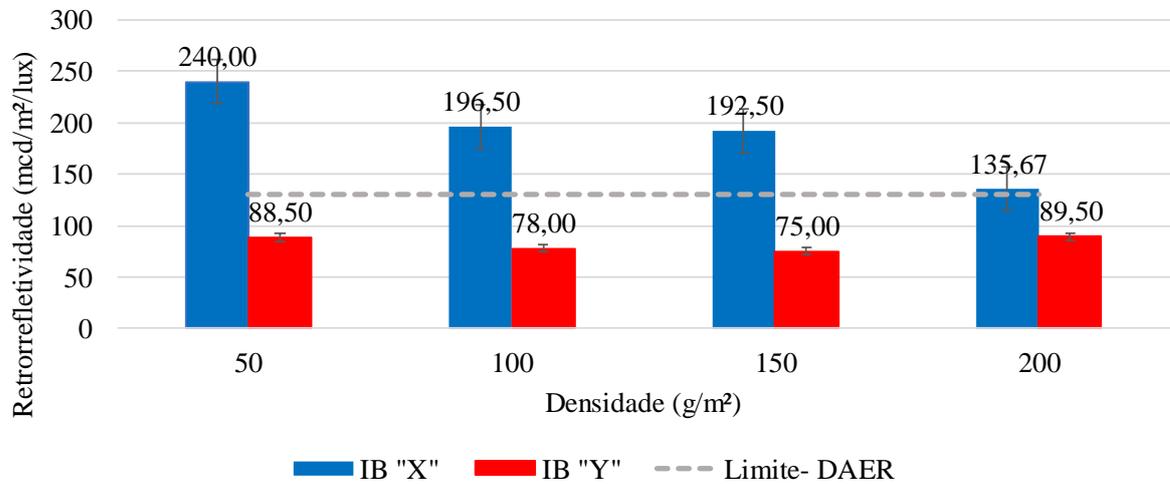
Densidade (g/m ²)	15 metros (mcd/m ² /lux)	Desvio Padrão	30 metros (mcd/m ² /lux)	Desvio Padrão
50	98,75	0,21	71,50	0,03
100	172,00	0,09	61,50	0,55
150	153,00	0,05	76,00	0,39
200	147,25	0,07	69,75	0,22

Fonte: Elaboração própria.

Segundo os requisitos do DAER, os valores de retrorrefletividade para a geometria de 15 metros devem ser superiores a 130 mcd/m²/lux. A partir da análise das Tabelas 9, 10, 11 e 12, é possível verificar que as microesferas dos tipos IB “X” e IIA “X” atendem a faixa de retrorrefletividade para todas as densidades. Já para as microesferas do fabricante Y, observa-se que as do tipo IB não satisfazem os requisitos para nenhuma das densidades utilizadas. Já para o tipo IIA “Y”, apenas a densidade de 50 g/m² ficou abaixo do limite estimado. Porém, cabe ressaltar que os valores de retrorrefletividade encontrados para a fornecedora Y estão muito próximos do mínimo estabelecido pelo DAER, o que sugere que com pouco tempo de pintura e aplicação das microesferas, uma nova pintura e aplicação de microesferas deve ser feita. Por outro lado, fora do Brasil, as agências regulatórias normalmente determinam valores mínimos de retrorrefletividade para a geometria de 30 metros. Como exemplo, a agência americana FHWA coloca como valor mínimo de retrorrefletividade 150 mcd/m²/lux. Porém, uma pintura nova com deposição de microesferas deveria começar com níveis de retrorrefletividade muito maiores que este valor, para permitir uma grande durabilidade até que o nível de retrorrefletividade chegue a este valor mínimo. Comparando este valor mínimo com os medidos no presente trabalho, é possível verificar que somente para as microesferas do Tipo IIA com as densidades maiores (150 e 200 g/m²), da fornecedora X, satisfazem os critérios mínimos exigidos pela agência.

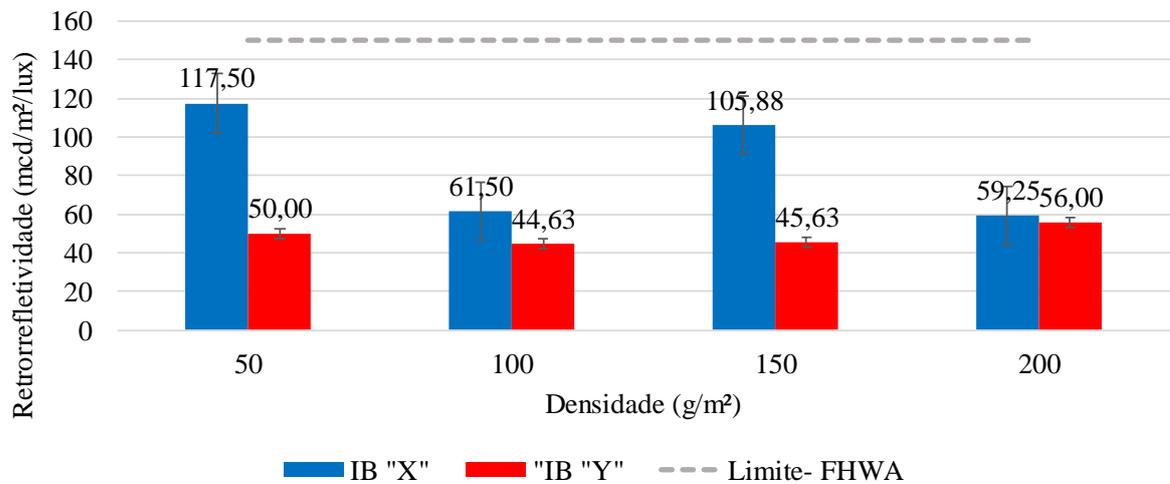
Nas Figuras 32, 33, 34 e 35 são apresentados os comparativos de retrorrefletividade das amostras do mesmo tipo de microesferas.

Figura 32- Retrorefletividade das microesferas do tipo IB para geometria de 15 metros



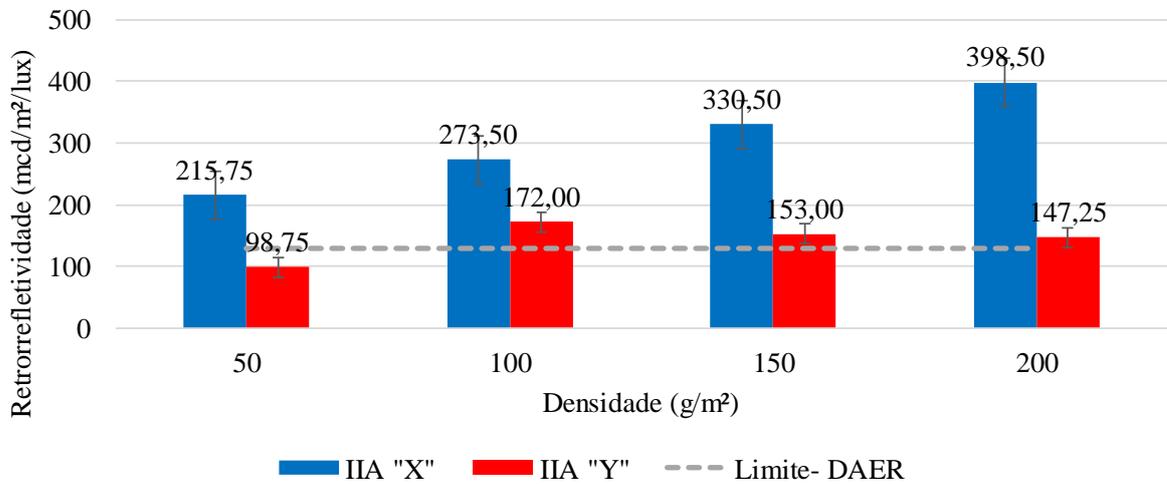
Fonte: Elaboração própria.

Figura 33- Retrorefletividade das microesferas do tipo IB para geometria de 30 metros



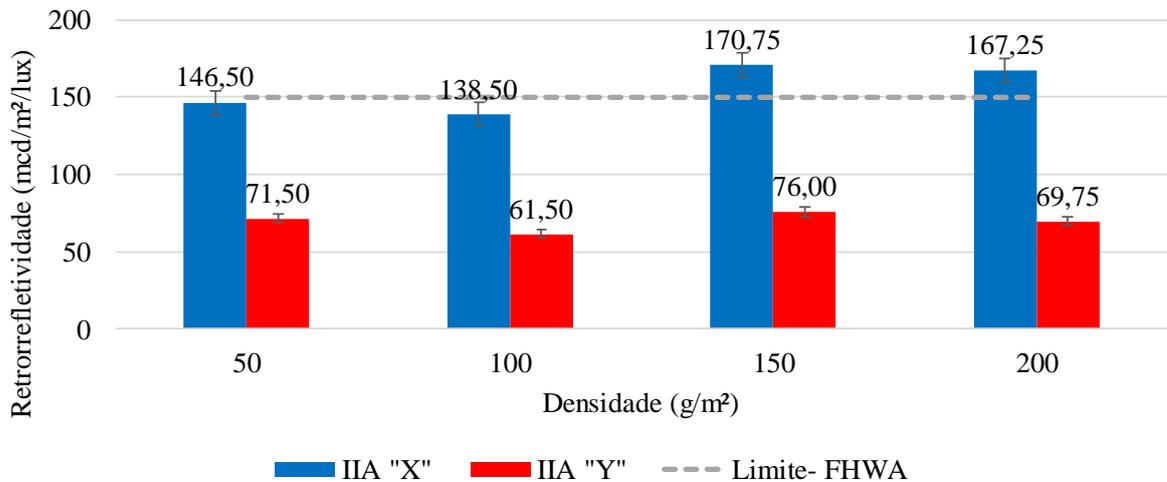
Fonte: Elaboração própria.

Figura 34- Retrorefletividade das microesferas do tipo IIA para geometria de 15 metros



Fonte: Elaboração própria.

Figura 35- Retrorefletividade das microesferas do tipo IIA para geometria de 30 metros



Fonte: Elaboração própria.

Analisando os dados, é possível observar que as microesferas da marca X tiveram melhor desempenho de retrorefletividade para todas as densidades e geometrias analisadas, quando comparado com as microesferas da marca Y.

Cabe ressaltar que as microesferas da marca "Y", foram pegas de um local onde elas estavam armazenadas há muito tempo. Isso pode ter causado interferência nos resultados de retrorefletividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tinha como objetivos principais, analisar as características físicas, químicas e ópticas das microesferas dos tipos IB e IIA de diferentes fabricantes. Como conclusão, após os procedimentos experimentais e análise dos resultados, pode-se dizer que:

- No que se refere a granulometria das microesferas analisadas, foi possível verificar que nem todas as amostras estão enquadradas nos tipos definidos pelos parâmetros da NBR 16184:2021. As microesferas do tipo IB “Y” apresentam granulometria referente à microesferas do tipo IIA, o que inviabilizaria a sua comercialização como sendo do tipo IB;
- Em relação à densidade, ambas amostras de microesferas atendem aos limites de densidade estabelecidos pela NBR 16184:2021;
- Em relação a resistência das microesferas ao ácido clorídrico, todas as microesferas analisadas atenderam os parâmetros dispostos na NBR 16184:2021, não apresentando superfície embaçada após o ataque ácido;
- Para a verificação de presença de revestimento para aderência em resina acrílica, todas as amostras analisadas atenderam a NBR 16184:2021, mudando sua coloração para a cor castanho;
- Levando em conta as composições das amostras de microesferas analisadas, foi possível concluir que o vidro utilizado é do tipo soda-cal, já que em sua composição contém mais de 70% de Sílica e valores consideráveis de Cálcio e, atende aos limites de presença de elementos tóxicos, como indica a NBR 16184:2021;
- Para a geometria de 15 metros, as medidas de retrorrefletividade das microesferas da marca X, para ambos os tipos IB e IIA, atenderam aos valores mínimos de retrorrefletividade estabelecidos pelo DAER. Já para as microesferas da marca Y, nenhuma densidade atendeu ao limite mínimo para as microesferas do Tipo IB e, para o Tipo IIA, somente densidades a partir de 100 g/m² satisfazem os critérios mínimos de retrorrefletividade;
- Para a geometria de 30 metros, considerando como referência a agência americana FHWA e as densidades propostas neste trabalho, somente para as microesferas do Tipo IIA da fornecedora X, com as densidades maiores (150 e 200 g/m²) satisfazem os critérios mínimos exigidos pela agência.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14723**: Sinalização horizontal viária — Medição de retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m: Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: ABNT. 2020. 12 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16184**: Sinalização horizontal viária — Esferas e microesferas de vidro: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: ABNT. 2021. 32 p.

ARTERIS. **Metodologia para avaliação técnica e de durabilidade de sinalização horizontal de rodovias de tráfego muito pesado**. 2017.

BARBOZA, Ana CR; DE PAOLI, Marco A. **Polipropileno carregado com microesferas ocas de vidro (glass bubbles™)**: obtenção de espuma sintática. *Polímeros*, v. 12, p. 130-137, 2002.

BARROS FILHO, E. C.; SENE, F. F.; MARTINELLI, J. R. Study of the spheronization process of glass particles for internal selective radiotherapy application. In: *Materials Science Forum*. 2012, Florianópolis. **Trans Tech Publications Ltd**, 2012. p. 1205-1210. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/4158/18687.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

BESSMERTNYI, V. S. et al. **Production of glass microspheres using the plasma-spraying method**. *Glass and ceramics*, v. 58, n. 7-8, p. 268-269, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1012882522621>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

BHTRANS - Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A. **Especificações Técnicas: Sinalização estatigráfica horizontal**. Belo Horizonte/MG: Secretaria Municipal de Serviços Urbanos - SMSU. 2014. 69 p.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO – CTB – LEI N° 9.503, DE 23 DE SETEMBRO 1997. Conselho Nacional De Trânsito. 2021.

CONTRAN - **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Sinalização Horizontal – Volume IV – 2007**.

DALTROZO, Bernardo Augusto Schiavo. **Análise da retrorrefletividade da sinalização horizontal em trechos da ERS-342 e ERS-155 no noroeste do Rio Grande do Sul**. 2022.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER/RS). **Instrução de Serviço para Estudos e Projetos CREMA IS-112/13**. Rio Grande do Sul, 2013.

DETRAN/PR - DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ. **Sinalização Horizontal: Fornecimento de tinta para demarcação viária a base de resina acrílica**. s.d. Disponível em: <https://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/coordenadoria/coad/cp22/Sinalizacao_H.pdf>. Acesso em: 02 de janeiro de 2023.

DNER – EM 373/2000 – **Microesferas de vidro retrorrefletivas para sinalização horizontal viária** - Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2000.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Obras complementares – Segurança no tráfego rodoviário – Sinalização horizontal:** Especificação de serviço. Rio de Janeiro/RJ: Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. 2018. 15 p.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Manual de sinalização rodoviária:** 3ª Edição. Rio de Janeiro/RJ: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2010. 412 p.

FERRAZ Antonio Clóvis Pinto “Coca” [et al.]. **Segurança Viária.** São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FHWA: Federal Highway Administration, **Office of Safety. Preliminary economics impacts of implementing minimum levels of pavement marking retroreflectivity.** Washington, DC: U.S. Department of Transportation, FHWA; 2008.

FONTANA, Adriane Monteiro. **Proposta de alterações em alguns sinais de trânsito para melhorar o impacto visual:** Avaliação utilizando o método psicofísico. 2001 105p. Dissertação (Mestrado)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-01022002-160417/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

FONTEYNE, Alexis. J.S. Pisos e Revestimentos para Salas Limpas. Disponível em: <http://www.sbcc.com.br>. Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

LEE, D.; DONNELL, E. T. (2007). **Analysis of pavement marking effects in nighttime driver behaviour using fuzzy inference system.** Journal of Computing in Civil Engineering, v. 21, n. 3, p. 200 – 210.

MACHADO, D. D. D. N. **Estudo da durabilidade da sinalização horizontal em pavimentos asfálticos rodoviários.** Orientador: Dra. Liedí Legi Bariani Bernucci. 2019. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Ciências, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2019.

MAZZONI, L. N. et al. **Comparação entre medidas de retrorrefletividade na geometria de 15 e 30 metros e seu efeito na segurança viária.** In: Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transporte Da ANPET, 33., 2019, Balneário Camboriú/SC. Artigo [...]. Balneário Camboriú/SC: ANPET, 2019.

MORAES, R. D. **Estudo do impacto visual de alguns sinais horizontais de trânsito:** Avaliação utilizando o método da psicofísica. Orientador: Dr. Antônio Clóvis Pinto 83 Ferraz. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia de Transporte, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2002.

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

NEPAL, K. P.; LAHTINEN, L. **Measurement and Analysis of Pavement Marking Retroreflectivity.** Transport engineering in Australia, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2011.

PARCIANELLO, F. P. **Avaliação da influência textura do pavimento no desempenho da retrorrefletividade em demarcações viárias: estudo de caso em um trecho monitorado em santa maria/RS.** Orientador: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira. 2016. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Engenharia Civil, Santa Maria/RS, 2016.

PONCIANO, P. P. **Estudo do desempenho de rejunte fabricado com agregado de microesferas de vidro.** Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado)- Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2011.

ROBERTSON, Joseph et al. **A methodology for estimating and comparing the lifecycles of high-build and conventional waterborne pavement markings on primary and secondary roads in South Carolina.** *Public Works Management & Policy*, v. 18, n. 4, p. 360-378, 2013.

SCHWAB, M. S. F. **Estudo do desempenho dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos.** Orientador: Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso. 1999. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia dos Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais (UFOP-UEMG-CETEC), Belo Horizonte/MG, 1999.

SMADI, O. et al. **Recommended Laboratory Test for Predicting the Initial Retroreflectivity of Pavement Markings from Glass Bead Quality.** Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, Washington, ed. 2440, ano 2012.

SOUZA, Juliana Pereira de. **Estudo da sinterização de vidros aluminossilicatos por calorimetria exploratória diferencial.** Orientador: Eliana Navarro dos Santos Muccilo. 2015. 74 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2015, São Paulo.

TONG, Jufang et al. **Fabrication of glass microspheres using the powders floating method.** In: 2009 Symposium on Photonics and Optoelectronics. 2009, Wuhan. IEEE, 2009. p. 1-3.

VASCONCELOS, Eduardo A. **O que é trânsito.** Brasiliense, 2017. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=ptR&lr=&id=ImkvDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=cria%C3%A7%C3%A3o+de+automoveis+e+sinais+de+transito&ots=4cQsS_2PFC&sig=8F-8cqeZJx6iYz5BWYwQbAotIgu#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.