

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG

BARTHIRA ALMEIDA NUNES

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARTÍCULAS DE VIDRO E  
MINERAL QUARTZO PARA PRODUÇÃO DE MICROESFERAS  
UTILIZADAS EM SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

CAMPINA GRANDE – PB  
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG

BARTHIRA ALMEIDA NUNES

ESTUDO COMPARATIVO DE PARTÍCULAS DE VIDRO E  
MINERAL QUARTZO PARA PRODUÇÃO DE MICROESFERAS  
UTILIZADAS EM SINALIZAÇÃO VIÁRIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Exploração Petrolífera e Mineral.

Orientador: Elbert Valdiviezo Viera.

CAMPINA GRANDE – PB  
2021

N972e Nunes, Barthira Almeida.  
Estudo comparativo de partículas de vidro e mineral quartzo para produção de microesferas utilizadas em sinalização viária / Barthira Almeida Nunes. – Campina Grande, 2021.  
56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Exploração Petrolífera e Mineral) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof. Dr. Elbert Valdiviezo Viera".  
Referências.

1. Sinalização Viária. 2. Microesferas. 3. Vidro. 4. Quartzo Hialino. I. Viera, Elbert Valdiviezo. II. Título.

CDU 656.05(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EXP. PETROLIFERA E MINERACAO  
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

### FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**Barthira Almeida  
Nunes**

ESTUDO  
COMPARATIVO DE  
PARTÍCULAS DE  
VIDRO E MINERAL  
QUARTZO PARA  
PRODUÇÃO DE  
MICROESFERAS  
UTILIZADAS EM  
SINALIZAÇÃO  
VIÁRIA

Dissertação apresentada  
ao Programa de Pós-  
Graduação em  
Exploração Petrolífera e  
Mineral - PPGPEM -  
UFCG como pré-  
requisito para obtenção  
do título de Mestre em  
Exploração Petrolífera e  
Mineral .

Aprovada em: 19/03/2021

Prof. Dr. Elbert Valdiviezo Viera - Orientador - UAMG/UFCG

Prof. Dr. Dwight Rodrigues Soares - Examinador Externo - IFPB

Prof. Dr. Wandenberg Bismarck Colaco Lima - Examinador Externo - IFPB



Documento assinado eletronicamente por **Dwight Rodrigues Soares, Usuário Externo**, em 19/03/2021, às 20:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ELBERT VALDIVIEZO VIERA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/03/2021, às 09:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WANDENBERG BISMARCK COLACO LIMA, Usuário Externo**, em 20/03/2021, às 12:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1357035** e o código CRC **218A7C65**.

A Deus, incansavelmente nunca desistiu de mim, a sua misericórdia me reestruturou. A minha mãe e meu irmão que me apoia em todas as etapas dos meus estudos e ao meu namorado um dos meus maiores incentivadores.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me conduziu durante toda vida, principalmente nesses anos de academia. Toda honra e glória a ele, que não me deixou abater diante dos obstáculos e que me fortaleceu a cada dificuldade enfrentada, que me levantou e tomou-me pela mão guiando-me pelos caminhos da esperança. Hoje aqui estou para agradecer e dizer que sem ti nada sou e nada teria conseguido.

A minha família, em especial ao meu pai João Batista Nunes (*in memoriam*), minha mãe Elizabete Almeida Silva e meu irmão Marx Henrique Almeida Nunes pelo amor e companheirismo dedicado a mim! Reconheço que a vida nem sempre foi fácil e o quão suado foram os esforços para que eu chegasse até aqui. Obrigada pela educação e pelos valores repassados. Tenho muito orgulho de vocês.

A meu namorado, José Henrique de Araújo Rufino, por ser meu maior incentivador, por mim inspirar e por ser um grande amigo.

A minha amiga, Priscila Thalita de Barros Lima, por sempre me ajudar em absolutamente tudo

Ao Prof. Dr. Elbert Valdiviezo Viera, orientador desse trabalho, por dividir comigo o saber no mestrado.

A antiga secretária do programa de pós-graduação em exploração Petrolífera e Mineral, Liana Bastos, pois nunca mediu esforços para nos auxiliar nos processos acadêmicos.

Ao técnico de laboratório do Instituto Federal da Paraíba, Defsson Douglas de Araújo Ferreira, por ter se disponibilizado em realizar os ensaios em meio a pandemia.

Ao Instituto Federal da Paraíba por ter aberto as portas e permitir o uso de seu laboratório.

A minha amiga, Priscila Thalita de Barros Limas, pelo apoio em vários momentos difíceis durante a produção da pesquisa e principalmente na reta final desse curso.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

*“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente. Quem sobrevive é o mais disposto à mudança.”*

**(Charles Darwin)**

## RESUMO

Os sistemas de sinalização são constituídos por marcas viárias: marcações, símbolos e legendas, em tipos e cores variadas. Esses sistemas são constituídos por conjuntos de sinais de trânsito aplicados nas vias públicas com o objetivo de garantir melhor fluidez do trânsito promovendo a segurança dos veículos e pedestres. Frente a isto, a sinalização horizontal é constituída de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintadas ou apostas sobre o pavimento das vias, utilizando em suas pinturas microesferas de vidro, as quais promovem melhor visibilidade das vias demarcadas. Essa melhor visibilidade ocorre através do fenômeno da retrorreflexão quando o raio de luz incide em uma superfície e é redirecionado de volta para a fonte de luz através da microesfera. O presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade de se utilizar o quartzo hialino para produção de microesferas com melhor desempenho, através de estudo comparativo das características visuais do vidro e quartzo. As amostras coletadas são provenientes da área de Parelhas-RN, nessa localidade há uma grande quantidade de rejeito de lascas de quartzo hialino ocasionada pelo desmonte de rochas; o vidro, foi proveniente de garrafa de bebidas recicláveis. A pesquisa divide-se em cinco etapas: coleta seletiva do material na área, ensaios de beneficiamento, ensaios de caracterização, ensaios de esfericidade e luminosidade e a aplicação em massa asfáltica. Ao longo dos estudos, foram analisados o vidro e quartzo hialino com duas granulometrias diferentes, partículas com 45 e 50 malhas, respectivamente. Tais materiais, quando comparados apresentaram resultados relevantes onde mostra que o quartzo apresenta-se como um material com potencialidade tecnológica para produção de microesferas em sinalização viária, em termos de melhor desempenho da sinalização.

**Palavras-chave:** Sinalização viária, microesferas, vidro, quartzo hialino.

## ABSTRACT

The signaling systems are made up of road marks: markings, symbols and legends, in different types and colors. These systems are made up of sets of traffic signs applied on public roads in order to ensure better traffic flow promoting the safety of vehicles and pedestrians. In view of this, the horizontal signage consists of lines, markings, symbols and legends, painted or placed on the road pavement, using glass microspheres in their paintings, which promote better visibility of the demarcated roads. This better visibility occurs through the phenomenon of retroreflection when the ray of light strikes a surface and is redirected back to the light source through the microsphere. The present work aims to verify the feasibility of using hyaline quartz for the production of microspheres with better performance, through a comparative study of the visual characteristics of glass and quartz. The collected samples come from the area of Parelhas-RN, in that location there is a great amount of waste of flakes of hyaline quartz caused by the dismantling of rocks; the glass came from a beverage bottle. The research is divided into four stages: selective collection of material in the area, beneficiation tests, sphericity and luminosity tests and the application in asphalt mix. Throughout the studies, hyaline glass and quartz with two different particle sizes, particles with 45 and 50 meshes, respectively, were analyzed. Such materials, when compared, presented relevant results showing that quartz presents itself as a material with technological potential for the production of microspheres in road signaling, in terms of better signaling performance.

**Keywords:** Road signs, microspheres, glass, hyaline quartz.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema mostrando a retrorrefletividade e esfericidade de uma esfera de vidro.....	18
Figura 2: Esquema mostrando como ocorre a reflexão difusa.....	19
Figura 3: Esquema mostrando como ocorre a reflexão especular.....	19
Figura 4: Esquema mostrando como ocorre retrorreflexão.....	20
Figura 5: Esquema mostrando a Incidência de luz na microesfera. ....	22
Figura 6: Esfera perfeita – Correta refração.....	23
Figura 7: Esfera imperfeita – Luz dispersa .....	23
Figura 8: Esquema mostrando o efeito do índice de refração no ponto focal das esferas .....	27
Figura 9: Esferas plásticas ancoradas em base de gesso (esquerda para direita), simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90% de seu diâmetro.....	28
Figura 10: Lascas de quartzo natural classificada por inspeção visual como sendo de 1ª, 4ª, e 5ª classe .....	33
Figura 11: Amostra de quartzo preparada para os ensaios .....	35
Figura 12: Britador de mandíbulas de laboratório .....	36
Figura 13: Moinho de bolas de laboratório .....	37
Figura 14: Agitador mecânico de peneira .....	37
Figura 15: Detalhe do layout para realização dos ensaios de esfericidade .....	39
Figura 16: Fragmentos de quartzo hialino resultantes da britagem .....	41
Figura 17: Fragmentos de vidro resultantes da britagem .....	42
Figura 18: Difratoograma do quartzo hialino .....	44
Figura 19: Análise termogravimétrica e diferencial do quartzo hialino .....	46
Figura 20: Resultados de ensaios de luminosidade realizados com partículas de vidro e partículas de quartzo com granulometria 45 malhas.....	47
Figura 21: Resultados de ensaios de luminosidade realizados com partículas de vidro e partículas de quartzo com granulometria 50 malhas .....	48
Figura 22: Microesferas de vidro utilizadas pela STTP.....	48
Figura 23: Aplicação de partículas de quartzo hialino e microesferas de vidro em superfície previamente preparada para receber as partículas.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores que influenciam a retrorreflexão da microesfera.....	22
Tabela 2: Faixas granulométricas de esferas e microesferas de vidro.....	25
Tabela 3: Etapas e ensaios realizados.....	35
Tabela 4: Especificações do protótipo da faixa de pedestres .....	40
Tabela 5: Detalhamento dos ensaios de britagem e moagem .....	41
Tabela 6: Detalhamento do peneiramento .....	43
Tabela 7: Fluorescência de raios X de quartzo hialino, de acordo com literatura.....	45
Tabela 8: Comportamento das partículas de vidro, partículas de quartzo hialino e microesferas de vidro em termo visual e qualitativo para partículas com granulometrias de 45 e 50 malhas.....	50

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1. Objetivo geral.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
4.1. Generalidades.....	16
4.2. Retrorrefletividade .....	17
4.2.1. Importância da Retrorrefletividade .....	17
4.2.2. Fenômenos da Reflexão.....	18
4.2.2.1. Reflexão difusa.....	18
4.2.2.2. Reflexão especular.....	19
4.2.2.3. Retrorreflexão.....	19
4.2.3. Critérios de visibilidade.....	20
4.2.3.1. Não quantificáveis.....	20
4.2.3.2. Quantificáveis.....	21
4.3. Microesferas de vidro.....	21
4.3.1. Forma da microesfera de vidro – Esfericidade.....	22
4.3.2. Granulometria das esferas e microesferas .....	23
4.3.3. Índice de refração.....	26
4.3.4. Ancoragem.....	28
4.4. Materiais utilizados na demarcação viária.....	29
4.4.1. Tintas.....	29
4.4.2. Termoplásticos .....	30
4.4.3. Pré-fabricados .....	30
4.5. Quartzo Hialino .....	31
4.5.1. Propriedades.....	32
4.5.2. Lavra.....	32
4.5.3. Ocorrências Geológicas.....	34
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	34
5.1. Materiais.....	34
5.1.1. Preparação das amostras.....	35

5.2. Ensaio de beneficiamento.....	36
5.2.1. Britagem.....	36
5.2.2. Moagem.....	36
5.2.3. Peneiramento.....	37
5.3. Caracterização mineralógica do quartzo.....	38
5.3.1. Difração de raios X.....	38
5.3.2. Análise termogravimétrica (ATG) e análise térmica diferencial (ATD) .....	38
5.4. Ensaio de Esfericidade .....	38
5.5. Ensaio de Luminosidade .....	39
5.6. Aplicação em asfalto .....	40
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
6.1. Britagem e moagem.....	40
6.2. Peneiramento.....	43
6.3. Caracterização mineralógica do quartzo .....	43
6.3.1. Difração de raios X.....	43
6.3.2. Fluorescência de raios X.....	44
6.3.3. Análise termogravimétrica (ATG) e análise térmica diferencial (ATD).....	45
6.4. Esfericidade.....	46
6.5. Luminosidade.....	47
6.6. Aplicação em asfalto.....	49
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>8. SUGESTÃO PARA NOVOS ESTUDOS.....</b>	<b>52</b>
<b>9. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o CNT - Código Nacional de Trânsito (CNT, 1997), Anexo II, item 2, “Sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária que se utiliza de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento da via. A principal função é organizar o fluxo de veículos e pedestres; controlar e orientar os deslocamentos em situações com problemas de geometria, topografia ou frente à obstáculos; complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação”.

O capítulo VII “Da Sinalização de Trânsito” (CNT, 1997), art. 80, parágrafo 1º, menciona que: “A sinalização será colocada em posição e em condições que a tornem perfeitamente visível e legível durante o dia e à noite, em distância compatível com a segurança do trânsito, conforme normas e especificações do Contran – Conselho Nacional de Trânsito”.

O objetivo básico de uma sinalização viária é proporcionar ao motorista a informação visual necessária para que ele possa guiar um veículo com segurança, em uma variedade de situações, mesmo em condições adversas de tempo.

Uma das formas de conferir a necessária visibilidade é 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 devolve-a aos olhos do motorista, tornando a sinalização visível à noite, ainda que em condições de chuva ou neblina (SCHWAB, 1999).

A sinalização horizontal representa parte significativa dos custos de construção e manutenção em uma rodovia. Os custos de sinalização podem representar de 6% a 10% do metro quadrado de construção de uma rodovia, e sua má aplicação ou inadequada manutenção aumentam os riscos de acidentes de trânsito, que no Brasil, causam prejuízos materiais e sociais (SCHWAB, 1999).

Segundo o DNER – Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER, 1996), o número de mortos no tráfego é elevado e vários fatores são responsáveis pelos alarmantes dados de acidentes de trânsito no Brasil, que vão desde aspectos culturais até a construção e manutenção das rodovias. Os materiais de demarcação

viária são fundamentais à segurança, e sua eficiência depende de sua visibilidade. Por isto, justifica-se produzir uma microesfera com eficiência.

Sabe-se que a habilidade do motorista para operar um veículo com segurança reside na percepção da situação, na agilidade e velocidade de assimilação da informação disponível. Por isso, destaca-se a importância dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos, na transmissão rápida de impulsos visuais aos motoristas, mesmo durante a noite e/ou em condições adversas de tempo (chuva e neblina). A recepção dessas informações se dá através dos sentidos, sendo que a visão no presente caso é a mais importante, e a visão, é um processo que se altera no decorrer do tempo (SCHWAB, 1999).

A expectativa de vida e o poder de compra da população brasileira e mundial vêm aumentando, bem como o uso de veículos automotores. Torna-se necessário a utilização de sistemas de demarcação viária cada vez mais eficientes à percepção visual, principalmente, para atender aos mais idosos. (SCHWAB, 1999).

Tudo isso resulta na necessidade de se ter rodovias mais seguras – melhor projetadas e melhor sinalizadas.

A relevância deste estudo é comparar o desempenho das partículas de vidro e quartzo hialino ao receber uma fonte luminosa. Cujos resultados implicarão na viabilidade de usar o quartzo hialino para produção de microesferas afim de obter uma sinalização mais eficiente e uma redução significativa dos custos de manutenção da sinalização horizontal em vias públicas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

O estudo comparativo das características de partículas de vidro e quartzo mineral para aplicação em sinalização viária.

### **2.2. Objetivos específicos**

Avaliação do desempenho das partículas de quartzo mineral e de vidro através de ensaios laboratoriais de esfericidade e luminosidade e aplicação em massa asfáltica.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O sistema de trânsito possui um papel indispensável tanto social quanto econômico no cotidiano dos municípios. A movimentação com a finalidade de satisfazer suas necessidades e obrigações é congruente do ser humano. A partir de tal premissa e em face do crescimento e desenvolvimento das áreas urbanas, é necessário atentar-se para o fato de que tal dinâmica deve ser cada vez mais organizada a fim de que haja eficácia e segurança nos deslocamentos dos cidadãos. Neste aspecto, a sinalização de trânsito é fundamental, uma vez que sua função é informar e orientar os usuários das vias. (FREIRE, 2008).

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1. Generalidades**

Este capítulo aborda uma breve fundamentação teórica quanto aos fenômenos ópticos associados à reflexão, os materiais utilizados na demarcação viária, as partículas de vidro, e as características do mineral quartzo hialino para que proponha a mesma como matéria prima para fabricação de microesferas. Para isso, buscaram-se conhecer as normas regulamentadoras nacionais e internacionais sobre o assunto, recomendando as melhores práticas e limites mínimos admissíveis.

Para nós que vivemos com o trânsito difícil das cidades contemporâneas, a ideia de que este tipo de problema já afetava as cidades do Império Romano parece absurda. Mas, na realidade, as primeiras restrições ao trânsito conhecidas parecem ser aquelas determinadas por Júlio César, que proibiu o tráfego de veículos com rodas no centro de Roma, durante certas horas do dia. Como se não bastasse, em Roma havia ruas de “mão única” e estacionamentos fora da via, especialmente construídos para as carroças. Muito mais tarde, no ano 1600 da nossa era, já havia uma estrada que saía da cidade do México em direção ao interior e que possuía uma linha divisória central colorida, para separar os fluxos de tráfego (VASCONCELOS, 1992).

A partir daí, deu-se início aos primeiros passos sobre a demarcação viária.

No estudo de Dale (1967) pesquisou os modos de melhorar a demarcação viária sob condições úmidas e secas, aprimorando as técnicas que utilizavam materiais até

então existentes ou desenvolvendo novos materiais. Este também estudou o desempenho das esferas de vidro em laboratório e demonstrou que para se obter a maior retrorrefletância, é necessário também um ancoramento ideal das esferas e microesferas nas tintas de demarcação viária.

Para melhor compreensão do objeto de estudo, descreve-se a seguir o fenômeno da reflexão, as microesferas de vidro, os materiais utilizados na demarcação viária, bem como se contempla o vidro e o mineral quartzo hialino.

A sinalização é refletida através da capacidade do material emitir luz na mesma direção que foi recebida quando o material é esférico. O termo que expressa essa capacidade de reflexão da luz é denominado por retrorrefletividade.

## **4.2. Retrorrefletividade**

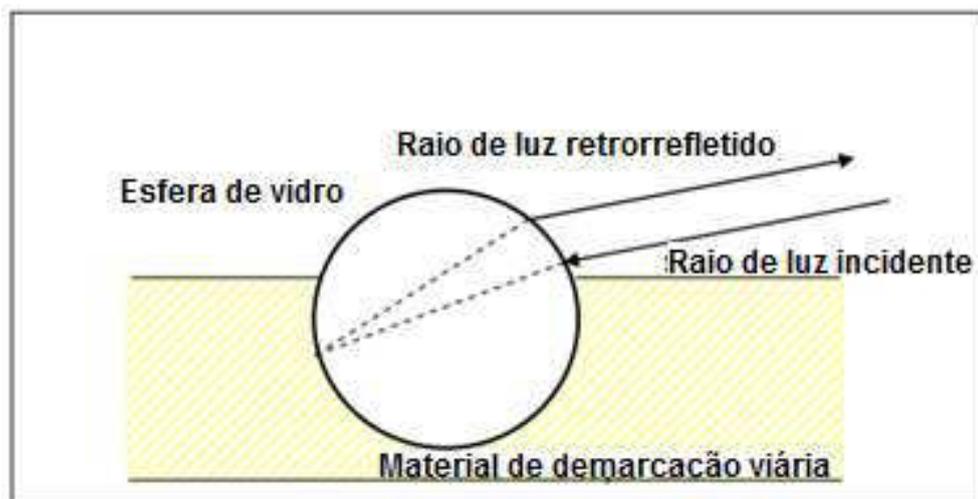
### **4.2.1. Importância da retrorrefletividade**

O Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010) define que a sinalização horizontal é composta por linhas longitudinais, transversais, zebados, setas, símbolos, e legendas com dimensões e posicionamentos de acordo como projeto, sendo aplicados sobre o revestimento da rodovia, para que propicie condições adequadas de segurança e conforto ao usuário. O mesmo manual salienta ainda a importância da função orientadora que a demarcação deve possuir no período noturno. Essa orientação é obtida pela capacidade da sinalização de refletir a luz dos faróis dos veículos, podendo o condutor perceber a informação por meio de luz refletida de sua localização.

Moreira e Menegon (2003) explicam que a visibilidade noturna (retrorrefletividade) se consegue por meio da adição de microesferas de vidro, que são adicionadas à pintura de sinalização, as quais captam a luz emitida pelos faróis dos veículos e devolvem por reflexão na direção do motorista.

Segundo Schwab (1999) para as esferas retrorrefletirem luz, duas propriedades são necessárias: transmitância e esfericidade. A transmitância e a esfericidade podem ser explicadas, quando observa-se o caminho que a luz percorre quando penetra numa esfera de vidro (Figura 1) ancorada no material de demarcação viária.

Figura 1 – Esquema mostrando a retrorrefletividade e esfericidade de uma esfera de vidro.



Fonte: Publication nº FHWA – AS – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994.

A transmitância é necessária para que os raios de luz possam atravessá-la. Esses raios de luz sofrem um desvio em virtude da alteração do índice de refração do meio em que se propagam (ar-vidro). A esfericidade é também necessária, pois as esferas atuam como lentes côncavas concentrando os raios de luz num único ponto focal, localizado na parte posterior da esfera e próximo ao seu plano (Figura 1).

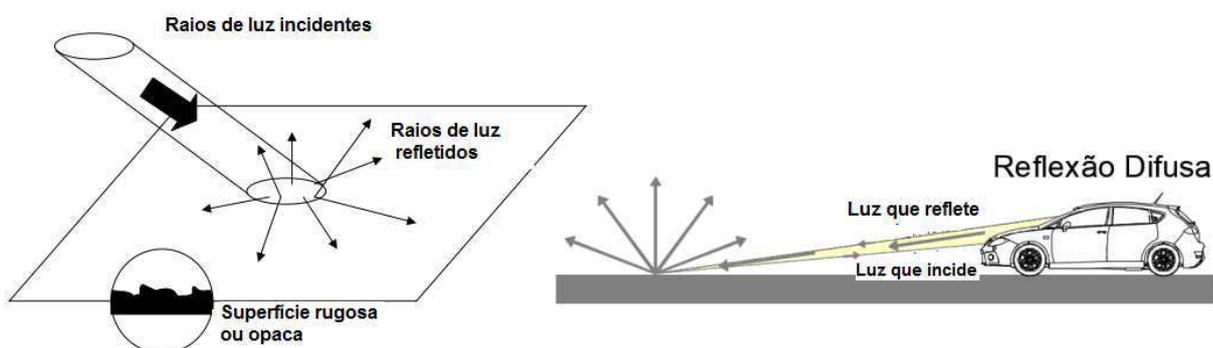
#### 4.2.2. Fenômenos da Reflexão

Segundo Schwab (1999) é um fenômeno natural da luz e acontece quando um corpo ou material reflete parte da luz emitida por uma fonte, ou seja, quando os raios emitidos incidem sobre o corpo (material) e retornam para a fonte geradora. Distinguem-se três tipos básicos de reflexão: reflexão difusa, reflexão especular e retrorreflexão.

##### 4.2.2.1. Reflexão Difusa

A reflexão difusa ocorre quando a luz incide sobre superfícies rugosas ou opacas, sendo dispersa em todas as direções (Figura 2). Uma sinalização sem a adição de microesferas provoca esse fenômeno – reflexão difusa. Nesse tipo de reflexão apenas uma parte da luz retorna à fonte emissora (SCHWAB, 1999).

Figura 2 – Esquema mostrando como ocorre a reflexão difusa.

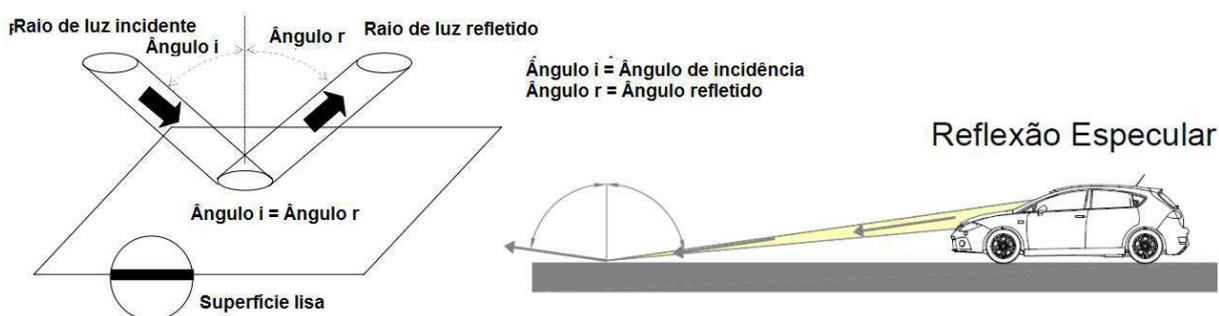


Fonte: Adaptado de MOREIRA E MENEGON (2003) e FHWA (1994).

#### 4.2.2.2. Reflexão Especular

Ocorre quando a luz incide sobre superfícies lisas, sendo refletidas com ângulo igual e em sentido contrário, em relação ao ângulo formado pelo raio de luz emitido e normal à superfície (Figura 3). Esse tipo de fenômeno pode ser facilmente observado quando um filme de água recobre a sinalização viária no pavimento e a luz do farol incide, ocorrendo um efeito espelho (especular) (SCHWAB, 1999).

Figura 3 – Esquema mostrando a reflexão especular.



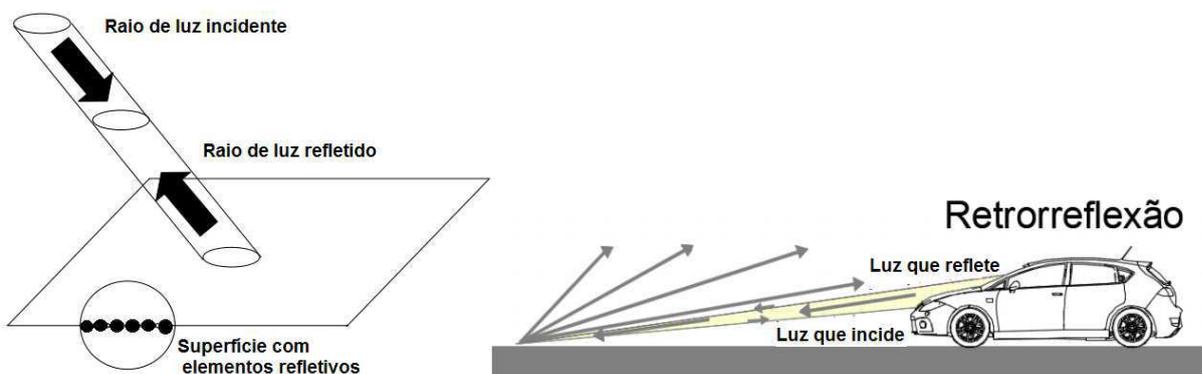
Fonte: Adaptado de MOREIRA E MENEGON (2003) e FHWA (1994).

#### 4.2.2.3. Retrorreflexão

Ocorre quando os raios de luz incidem numa superfície e são redirecionados de volta para a fonte de luz. Por essa razão, os materiais retrorrefletivos se tornam brilhantes quando próximos de uma fonte luminosa (Figura 4). Esse fenômeno acontece quando a luz atinge as microesferas de vidro que estão na película de

tinta, por essa razão os materiais retrorrefletivos se tornam brilhantes quando próximos de uma fonte luminosa (SCHWAB, 1999).

Figura 4 – Esquema mostrando como ocorre a retrorreflexão.



Fonte: Adaptado de MOREIRA E MENEGON (2003) e FHWA (1994).

#### 4.2.3. Critérios de Visibilidade

De acordo com Schwab (1999) vários critérios determinam a visibilidade da demarcação viária. Podem ser não quantificáveis (visibilidade e legibilidade) e quantificáveis (contraste e coeficiente de luminância retrorrefletida), a saber:

##### 4.2.3.1. – Não Quantificáveis

###### a) Visibilidade

A visibilidade se refere à capacidade que um objeto tem de ser notado em um ambiente, a uma determinada distância (SCHWAB, 1999).

Schwab e Mace (1987), pesquisaram o efeito que um ambiente provoca em nível de visibilidade da sinalização e concluíram que quanto mais complexo é o fundo, mais conspícuo deve ser o sinal.

###### b) Legibilidade

A legibilidade refere-se à capacidade de um determinado sinal, em ter sua mensagem lida e entendida pelo usuário da via (SCHWAB, 1999).

#### 4.2.3.2. – Quantificáveis

##### a) Contraste

O contraste é o parâmetro que define a visibilidade diurna das demarcações viárias.

##### b) Coeficiente de Luminância Retrorrefletida

Segundo a norma ASTM E1710 o coeficiente de luminância retrorrefletida ou retrorrefletividade é o parâmetro que define a visibilidade noturna das demarcações viárias (SCHWAB, 1999).

### 4.3. Microesferas de vidro

Essas são normalmente fabricadas com vidro tipo soda-cal-sílica ( $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ ), com teor de sílica superior a 65% (NBR 16184:2013). A sucata de vidro plano é moída e submetida à temperatura de 1.200°C, à velocidade regulada, em fornos verticais com correntes ascendentes de gás aquecido, transformando-a por tensão superficial em esferas e microesferas (SCHWAB, 1999).

As esferas e microesferas devem atender aos requisitos mínimos, como estabelecidos pela NBR 16184:2013 e DNIT em 2010, dos seguintes parâmetros: natureza do vidro, resistência à água, teor de sílica, aparência e defeitos, índice de refração, densidade de massa, granulometria, fluidez, aderência, e elementos tóxicos (MACHADO, 2019).

Segundo Schwab (1999), as propriedades físicas das microesferas mais comumente utilizadas na demarcação viária são as seguintes:

- I- Índice de refração: 1,5 mínimo a 1,90;
- II- Densidade de massa: 2,3 a 2,6 g.cm<sup>-3</sup>;
- III- Esfericidade: 70% mínimo;
- IV- Distribuição granulométrica: 0,15 a 2,36 mm.

A capacidade da microesfera de vidro refletir a luz depende de diversos fatores, sendo alguns controlados durante o processo de fabricação da microesfera, e outros durante o processo de aplicação em campo. A Tabela 1 apresenta esses fatores

(SMADI *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Fatores que influenciam a retrorreflexão da microesfera

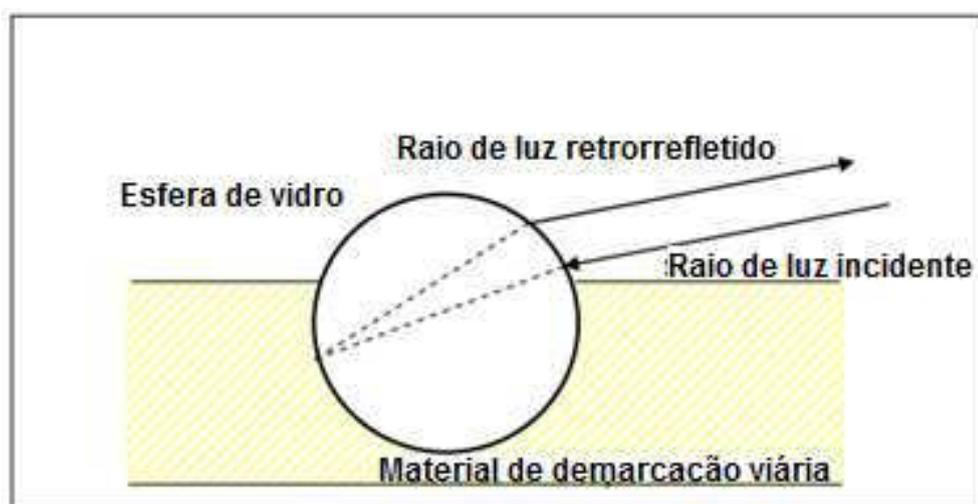
Fatores que influenciam de acordo com o processo de fabricação	Fatores que influenciam de acordo com a aplicação em campo
Esfericidade	Tipo de material aglutinante
Transparência	Características de superfície do pavimento
Índice de refração	Quantidade e distribuição da microesfera
Granulometria	Ancoramento

Fonte: Adaptado de SMADI *et al.*, 2014.

#### 4.3.1. Forma da microesfera de vidro – Esfericidade

A esfericidade atua como lentes côncavas concentrando os raios de luz em um único ponto focal, localizado na parte posterior próximo ao ponto médio da esfera atingindo assim o material de sinalização viária. Se não houvesse o material de sinalização viária na base da esfera (Figura 5), a luz iria continuar sua trajetória (SCHWAB, 1999).

Figura 5 – Esquema mostrando a Incidência de luz na microesfera.

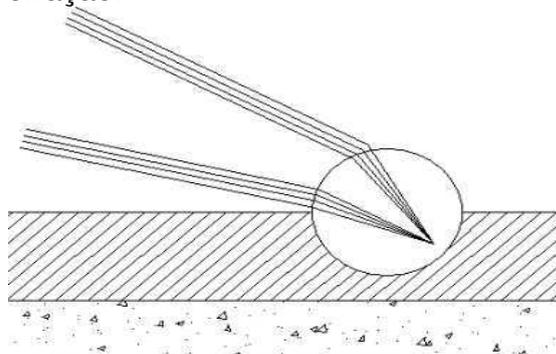


Fonte: Publication nº FHWA – AS – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994.

O grau de esfericidade da microesfera também influencia o fenômeno de retrorrefletância. A quantidade de partículas angulares promove a dispersão da luz na direção oposta de incidência (Figura 6 e Figura 7) (MOREIRA e MENEGON,

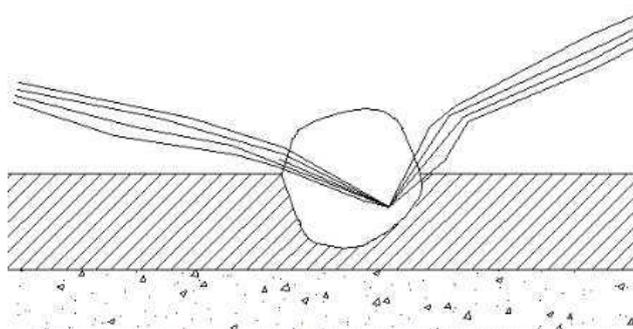
2003). Embora o processo de fabricação produza esferas redondas, ocorre uma pequena porcentagem de material não esférico - ovóides e angulares, ou ainda esferas aderidas durante o processo de fabricação (VDOT, 2012).

Figura 6 – Esfera perfeita – Correta refração.



Fonte: Adaptado de MOREIRA e MENEGON, 2003.

Figura 7 – Esfera imperfeita – Luz dispersa.



Fonte: Adaptado de MOREIRA e MENEGON, 2003.

A norma ABNT 16184:2013 prevê um limite máximo aceitável de 30% de defeitos.

O órgão AASHTO por meio da normativa PP 74:2013 estabelece o procedimento para a determinação da granulometria e parâmetros de forma das microesferas e esferas de vidro (0,15 a 2,36mm de diâmetro).

#### 4.3.2. Granulometria das esferas e microesferas

A granulometria das esferas e microesferas de vidro são uma característica importante a ser observada. Normalmente as faixas granulométricas para microesferas variam entre 0,18 e 0,85 mm. Essa variação de tamanho dentro de uma faixa granulométrica é recomendada com o objetivo de dar retrorrefletividade inicial e mantê-la o maior tempo possível (VDOT, 2012).

No Brasil, é conhecida sua classificação quanto ao uso em (NBR 16184:2013):

##### a) Tipo I – A

Essas esferas são aquelas incorporadas às massas termoplásticas durante sua fabricação, de modo a permanecerem no interior do material, permitindo a retrorrefletorização durante o desgaste superficial da película aplicada. Os diâmetros variam de 0,075 a 0,850 mm.

b) Tipo I - B

Essas esferas são aquelas incorporadas à tinta antes da sua aplicação, de modo a permanecerem internas a películas aplicadas, permitindo a retrorrefletorização durante o desgaste superficial da película aplicada. Os diâmetros variam de 0,063 a 0,300 mm.

c) Tipo II – A e II – B

Esses tipos de esferas são aplicados por projeção pneumática ou gravidade, concomitantemente com a tinta ou termoplástico, de modo a permanecerem na superfície da película aplicada, permitindo à imediata retrorrefletorização da demarcação. As microesferas do tipo II – B, são normalmente utilizadas em aplicações onde a película úmida de tinta é igual a 0,4 mm e as do tipo II – A, onde a película úmida de tinta é superior a 0,4 mm. Os diâmetros das microesferas II – A variam de 0,850 mm a 0,075 e as microesferas II – B variam de 0,600mm a 0,150mm.

d) Tipo III

Essas esferas são aplicadas por projeção pneumática ou gravidade, concomitante com a tinta ou termoplástico, de modo a permanecerem na superfície da película aplicada, permitindo imediata refletorização. Devido ao maior diâmetro das partículas, esse material recebe a denominação por parte dos fabricantes e compradores de esferas e não microesferas.

Salienta-se que conforme referido no histórico, essas esferas, são capazes de romper o filme superficial de água sobre o pavimento permitindo que a condição de reflexão se restabeleça rapidamente após as precipitações pluviométricas. São subdivididas em:

I - **Tipo III – A:** utilizadas em tintas.

II - **Tipo III – B:** usadas em termoplásticos extrudados.

III - **Tipo III – C:** empregadas em termoplástico aspergido.

Os diâmetros das esferas tipo III – A variam de 0,710 a 1,70 mm. Os diâmetros das esferas tipo III – B variam de 0,850 a 2,00 mm, e os diâmetros das esferas III – C variam de 1,00 a 2,36 mm.

Para melhor compreensão verifica-se na Tabela 2, as faixas granulométricas das esferas e microesferas de vidro.

Tabela 2 – Faixas Granulométricas de Esferas e Microesferas de Vidro.

PENEIRAS Conforme ABNT-NBR 5734, (1989)		% PASSANTE						
Malhas Nº	Abertura (mm)	Microesferas de vidro				Esferas de vidro		
		Tipo I		Tipo II		Tipo III		
		A	B	A	B	A	B	C
3	2,36							100
10	2,00						100	95-100
12	1,70					100	95-100	80-95
14	1,40					95-100	80-95	10-40
16	1,18					80-95	10-40	0-5
18	1,0					10-40	0-5	0-2
20	0,850	100		100		0-5	0-2	-
25	0,710	-		-		0-2		-
30	0,600	90-100		80-100	100	-		-
40	0,425	-		-	90-100	-		-
50	0,300	18-35	100	20-50	-	-		-
70	0,212	-	85-100	-	0-10	-		-
80	0,180	-	-	-	-	-		-
100	0,150	0-10	15-55	0-10	0-5	-		-
140	0,106	-	-	-	-	-		-
200	0,075	0-2	-	0-2	-	-		-
230	0,063	-	0-10	-	-	-		-

Fonte: R. T 01.02 “Microesferas de vidro para demarcação viária”, do DER/ MG, (1998).

Para Schwab (1999) o diâmetro da esfera ou microesfera é normalmente referido à abertura da peneira em milímetros (mm), na qual ficam retidos, no máximo, 5,0% do material. Assim, uma peneira de nº 20 permitirá que esferas com diâmetro de 0,850 mm ou menos atravessem a malha. Como mencionado anteriormente, são muito utilizadas no Brasil, as esferas cujos diâmetros variam de 0,180 a 0,850 mm. As esferas de maiores diâmetros são de uso específico para locais que apresentem

grande incidência de chuvas ou neblinas, que não é o caso da região em estudo, que é seca.

Quanto à forma de aplicação, é comum ver aplicações serem realizadas através de simples espalhamento manual. Essa prática não permite a adequada ancoragem das esferas, levando ao desperdício e ao desempenho insatisfatório, porém ainda é o mais utilizado para aplicação.

#### 4.3.3. Índice de refração

A quantidade de refração da luz é uma característica do próprio vidro, e é conhecida como índice de refração (IR). Depende da composição química e física do material do vidro. Os diferentes tipos de vidro provocam diferentes índices de refração (VDOT, 2012), logo, a qualidade e origem do vidro são fundamentais para uma máxima retrorrefletividade. A Norma ABNT 16184:2013 especifica que as microesferas tenham um índice de refração entre 1,5 e 1,9.

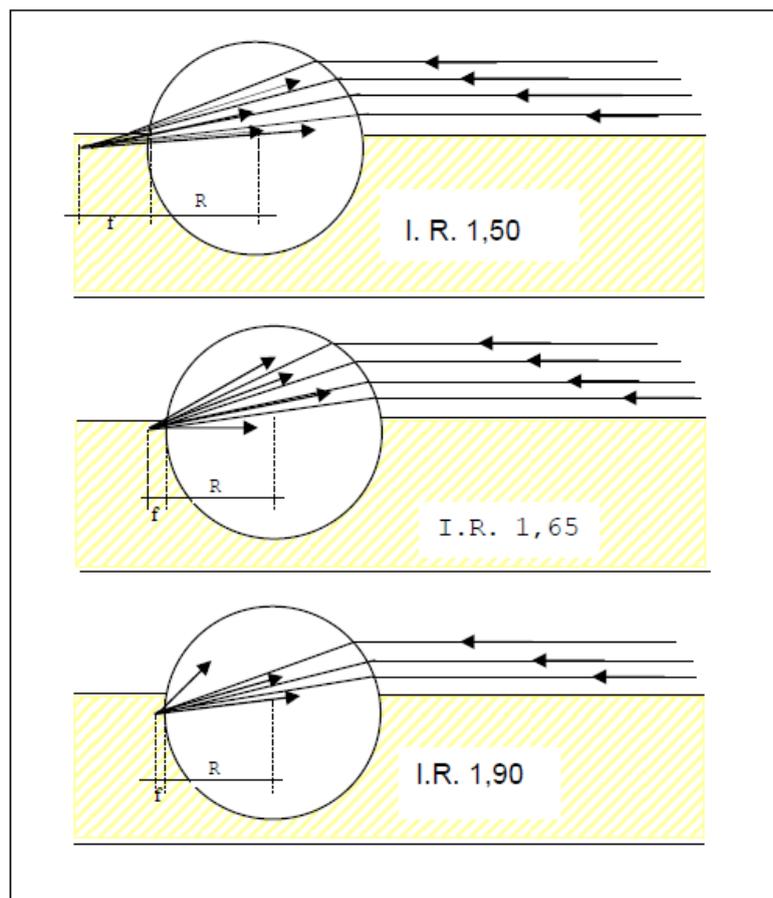
O índice de refração é a relação entre a luz no vácuo e a luz dentro do material (mineral).

$$n = \frac{\text{índice de refração no ar}}{\text{índice de refração da esfera de vidro}}$$

É importante observar a luz que incide em um meio sólido, um mineral, por exemplo, parte é refletida, parte refratada e parte absorvida. E que a intensidade de luz, refletida ou refratada, depende da diferença dos índices de refração dos meios onde ocorre o fenômeno.

De acordo com Fanderlik (1983), quanto maior o índice de refração, mais próximo o ponto focal está a superfície da esfera, mais concentrado é o feixe de luz e por reflexão, mais luz retorna ao ponto de incidência (Figura 8).

Figura 8 – Esquema mostrando o efeito do índice de refração no ponto focal das esferas



Fonte: Publication nº FHWA – SA – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994.

O FHWA (2013) menciona que a refletividade também está relacionada com os materiais utilizados para fabricar o vidro. O principal composto da fabricação do vidro é a sílica, porém outras substâncias são adicionadas para simplificar ou reduzir custos do processo de fabricação, incluindo carbonatos, óxidos, subprodutos industriais e vidro reciclado.

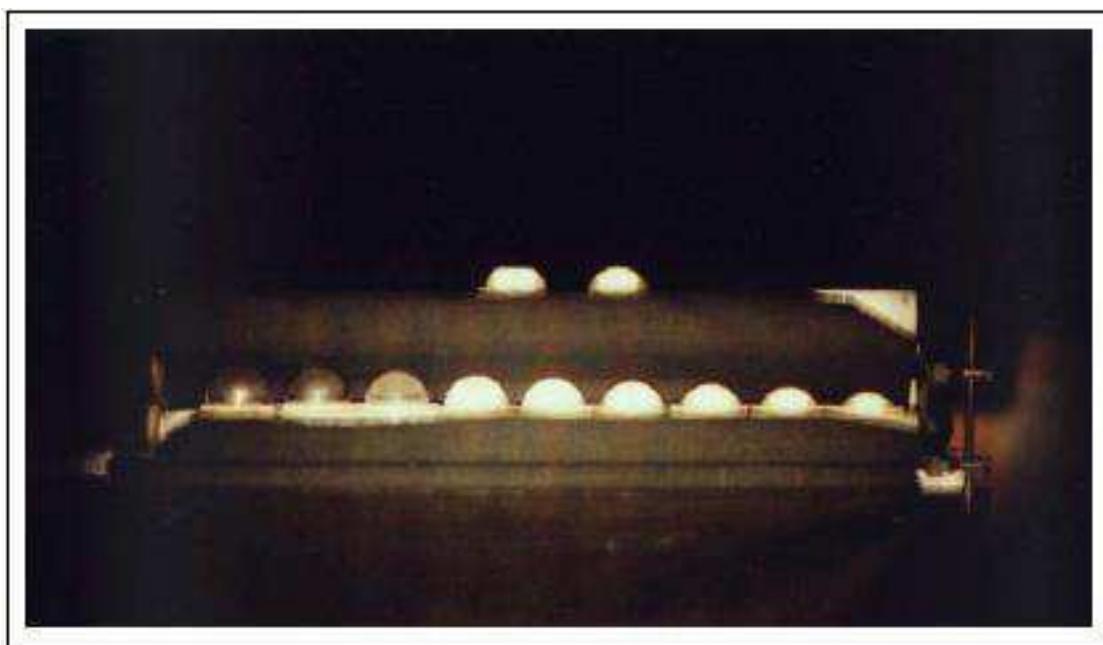
Sabendo-se que a luz é focada em um só ponto atrás da esfera e é refletida de forma difusa no pigmento do material de demarcação, fazendo com que esse funcione como uma fonte de luz, diz-se que, os valores de retrorreflexão dependem não só da qualidade e quantidade das esferas ancoradas, mas também da qualidade e quantidade do pigmento existente no material de demarcação viária (SCHWAB, 1999).

Apesar do incremento na retrorrefletividade pelas microesferas com índice de refração mais alto, as mais usadas continuam sendo aquelas de menor preço, com índice de refração igual a 1,5, por serem fabricadas a partir do material reciclado. As microesferas com maior índice de refração são mais frágeis e quebradiças, resultando em maior frequência de manutenção das vias (SCHWAB, 1999).

#### 4.3.4. Ancoragem

Conforme Dale (1969) a profundidade de encaixe, ou seja, o ancoramento da microesfera na tinta tem impacto nos valores de retrorrefletividade da demarcação, já que a quantidade de luz retrorrefletida depende desse parâmetro. Ainda menciona que a ancoragem ideal está entre 50 e 60% do tamanho da microesfera na tinta. A Figura 9 mostra o efeito da ancoragem das microesferas e sua retrorrefletividade, no qual as microesferas pouco ancoradas (esquerda) e as muito ancoradas (direita) possuem baixa retrorrefletividade.

Figura 9 – Esferas plásticas ancoradas em base de gesso (esquerda para direita), simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90% de seu diâmetro.



Fonte: Potters Research Center, New Jersey, U.S.A., 1996

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 da microesfera na pintura. As mesmas

podem ser facilmente arrancadas 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 retroreflexão.

#### **4.4. Materiais utilizados na demarcação viária**

Segundo o FHWA (2013) o desempenho da sinalização viária e a determinação de sua vida útil dependem de diversos fatores. A única maneira de determinar tal desempenho é o monitoramento ao longo do tempo de diversas variáveis como o volume de tráfego, a porcentagem de veículos pesados, o tipo de textura do pavimento, condições climáticas, geometria da rodovia, condições de aplicação do material em campo, espessura do filme de aplicação, tipo de microesferas utilizadas, entre outras. O entendimento da condição de degradação dos materiais de sinalização viária é de primordial importância para a fase de anteprojeto, onde objetiva-se escolher o material adequado a uma determinada condição de via.

Moreira e Menegon (2003) comentam sobre materiais comumente usados em sinalização viária como tintas, termoplásticos ou películas pré-fabricadas (elastoplásticos). A escolha do material mais adequado depende de fatores como: natureza do projeto (provisório ou permanente), volume do tráfego da via, frequência de manutenção, entre outros.

##### **4.4.1. Tintas**

As tintas são composições líquidas constituídas por ingredientes que podem ser resinas e solventes, partículas sólidas (cargas e pigmentos), e aditivos. Fazenda *et al.* (2009) descrevem a tinta como sendo uma composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em uma película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato. As tintas geralmente são compostas por solvente, resina, pigmentos e aditivos (MOREIRA e MENEGON, 2003).

Nessa pesquisa o tipo de tinta empregada é a tinta emulsionada em água. No Brasil, a norma que rege seu uso para sinalização horizontal é a Norma ABNT NBR 13.699 – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água.

A tinta à base de água vem sendo comumente empregada em pinturas de sinalização viária. O FHWA (2003) menciona que além de ser uma opção ecologicamente correta, não apresenta variações de comportamento em diferentes superfícies como concreto e asfalto.

Para aplicação das tintas é necessário obedecer às seguintes exigências: limpeza do local, deverá execução quando o tempo estiver com condições ideais, sem ventos excessivos, nem poeiras, ou ainda neblina (MOREIRA e MENEGON, 2003). De acordo com a Norma ABNT NBR 15405:2016 para que as tintas apresentem um bom desempenho, devem ser observados alguns cuidados com a temperatura: Temperatura ambiente, desejável que se situe entre 10°C a 40°C; temperatura da superfície deve ser superior a 3°C.

#### 4.4.2. Termoplásticos

Os termoplásticos são misturas constituídas por veículos (resinas) e partículas sólidas – cargas, pigmentos e microesferas de vidro. O material termoplástico pode ser aplicado por diferentes formas:

- I. Extrudado – O material termoplástico é aquecido para aplicação em temperaturas compatíveis ao seu ponto de fusão. A aplicação é realizada com o uso de extrusores manuais ou mecânicos. A norma "NBR 13.132:2013 - Termoplástico aplicado pelo processo de extrusão" regulamenta o seu uso.
- II. Aspersão – Da mesma forma que o anterior, o material também é aquecido em temperatura compatível ao seu ponto de fusão. A sua aplicação/pulverização se dá por projeção pneumática e/ou mecânica. Essa técnica também é conhecida como "*hot spray*" e a norma que especifica o seu uso é a "NBR 13159:2013 – Termoplástico aplicado pelo processo de aspersão".
- III. Pré-fabricados - Refere-se às películas pré-fabricadas, que são aplicadas diretamente sobre o pavimento com adesão por aquecimento. A norma da NBR 16039:2012 – Termoplásticos pré-formado para sinalização especifica seu uso.

#### 4.4.3. Pré-fabricadas (elastoplásticos)

Existem também os laminados elastoplásticos que são filmes, películas ou fitas,

constituídas de resinas e partículas de sólidos (cargas), pigmentos e microesferas de vidro, fornecidos em espessuras pré-determinadas, prontos para aplicação em campo, sendo sua aplicação no pavimento por colagem (NBR 15741:2009).

#### 4.5. Quartzo Hialino

O quartzo é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre, cerca de 12% (FRONDEL, 1962). Esse quartzo  $\beta$  mineral ocorre na composição de rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas, na forma monocristalina (quartzo hialino, ametista, citrino, e outras), também na forma policristalina (quartzito, calcedônia e ágata) e amorfa (opala). Devido à abundância de cristais com alto grau de perfeição cristalina, o quartzo foi o meio pelo qual vários fenômenos físicos foram descobertos, entre esses, a piroeletricidade em 1824 e piezeletricidade em 1880 e 1881. Por volta de 1980 a luminescência óptica foi descoberta usando o quartzo- $\alpha$  (WENK, 1994).

Na natureza pode-se encontrar a sílica nas seguintes formas polimorfas: quartzo, tridimita e cristobalita. Estas formas são obtidas com a variação da temperatura de exposição da sílica. O quartzo- $\alpha$ , transforma-se na variedade beta a 573 °C e em tridimita a 870°C. À temperatura de 1470°C ocorre a transformação para cristobalita, até atingir o ponto de fusão a 1715 °C. A sílica (SiO<sub>2</sub>) na forma de quartzo é o mais comum dos polimorfos (DEER, 2010).

O quartzo- $\alpha$  é também um material muito importante para várias aplicações industriais. A primeira delas consiste no emprego de areias e quartzitos como agregados para a construção civil. Em segundo lugar, o quartzo- $\alpha$ , é usado, em graus de pureza variados, na produção de tintas, esmaltes, porcelanas, louças sanitárias, vidros convencionais e sílica vítrea para a produção de prismas, filtros, lentes e fibras óticas (GUZZO, 2008). Por fim, o quartzo- $\alpha$  é o material mais utilizado para a produção de dispositivos piezelétricos para medidas de grandezas físicas por meio do monitoramento de ressonância no domínio dos ultrassons (BRICE, 1985).

Essa hegemonia deve-se às notáveis propriedades físicas e à disponibilidade de cristais naturais com alto grau de perfeição cristalina. Cabe ressaltar que as ocorrências e depósitos de quartzo natural existente no Brasil se destacam no suprimento desse insumo para diversos segmentos da indústria (GUZZO, 2008).

#### 4.5.1. Propriedades

Além da piezeletricidade, as propriedades físicas mais relevantes do quartzo são as elásticas e ópticas. A hegemonia do ressonador a quartzo decorre da estabilidade e linearidade de suas propriedades elásticas em função da temperatura. Enquanto que sua aplicação na indústria de dispositivos ópticos deve-se à sua transmitância em uma ampla faixa do espectro eletromagnético (GUZZO, 2008).

O quartzo é um mineral cuja dureza na escala Mohs é 7,0, densidade  $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ , não tem plano de clivagem devido à sua estrutura ser uma cadeia tridimensional de tetraedros  $\text{SiO}_4$  interligados (GUZZO, 2008). O aspecto morfológico da superfície fraturada do quartzo é conchoidal ou subconchoidal (FRONDEL, 1962). O quartzo possui também grande resistência química, à temperatura ambiente é solúvel no ácido fluorídrico, não tem uma temperatura de fusão específica, mas amolece a cerca de  $1630^\circ\text{C}$  se comportando como um material plástico, e em média  $1715^\circ$  é que ocorre o ponto de fusão (GUZZO, 2008).

Segundo Guzzo (2008), o quartzo possui dois índices de refração denominados índice de refração ordinário ( $n_0$ ) e índice de refração extraordinário ( $n_e$ ). A dupla refração (ou birrefringência) não ocorre quando a luz atravessa o cristal. Para a luz branca, os valores de  $n_0$  e  $n_e$  para o quartzo são de 1,544 e 1,553, respectivamente (FRONDEL, 1962). O quartzo hialino ou cristal de rocha é incolor e possui grande transparência o que garante a transmitância.

#### 4.5.2. Lavra

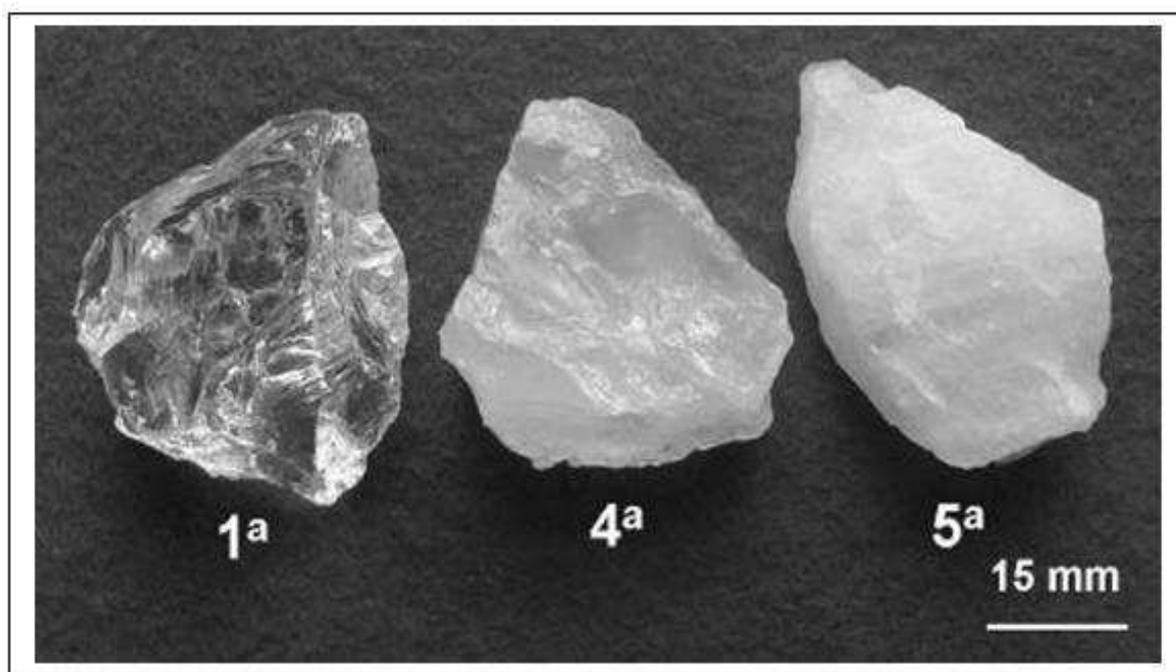
A extração do quartzo natural no Brasil é realizada manualmente, sobretudo em lavras a céu aberto. As lavras subterrâneas, em quantidade muito menor, ocorrem através de poços e/ou galerias. Em torno de um afloramento, são iniciadas escavações utilizando ferramentas simples como pás e picaretas ou, em alguns casos, carregadeiras frontais de pequeno porte. A lavra dos veios hidrotermais ocorre verticalmente. Depois de encontrado, o corpo de quartzo, constituído por regiões denominadas de quartzo leitoso e hialino, é removido pela ação mecânica de marretas, martelos e punções, e em algumas ocasiões, explosivos. Os blocos resultantes são fragmentados manualmente dando origem a blocos menores (lascas) com o objetivo de separar os fragmentos visualmente em função de sua transparência (GUZZO, 2008).

Os quartzos dos corpos pegmatíticos são geralmente subprodutos gerados da extração de gemas como água-marinha, berilo, topázio e turmalinas ou ainda oriundos da lavra de feldspatos ou da extração de rochas ornamentais (GUZZO, 2008).

A lavra da rocha ornamental com uso de explosivos gera uma grande quantidade de resíduos de lascas de quartzo, ocasionado pelo fraturamento do material.

De acordo com a transparência visual, as lascas são classificadas em seis classes: primeira, mista, segunda, terceira, quarta e quinta (Figura 10). Apesar dessa classificação ser meramente subjetiva, ela está associada à proporção de inclusões fluidas (regiões leitosas) e fissuras contidas na peça. Assim, uma lasca de primeira, é aquela que com transparência total, desprovida de inclusões e fissuras internas que possam ser observadas por inspeção visual em ambiente bem iluminado. Para as classes subsequentes, a transparência diminui gradativamente, pois a proporção de inclusões e fissuras tende a aumentar (GUZZO, 2008).

Figura 10: Lascas de quartzo natural classificada por inspeção visual como sendo de 1ª, 4ª, e 5ª classe.



Fonte: (Guzzo, 2008).

#### 4.5.3. Ocorrências geológicas

Os recursos mundiais de grandes cristais de quartzo natural ocorrem quase que exclusivamente no Brasil e, em menor quantidade, em Madagascar. Os cristais menores e lascas também são encontrados em depósitos nos EUA, Namíbia, Angola, África do Sul, Ucrânia e Venezuela. Destacam-se ainda as ocorrências de quartzo nos Alpes da Suíça e França. As ocorrências de quartzo no território brasileiro classificam-se da seguinte forma (Cassedane, 1971):

- a) Veios hidrotermais;
- b) Drusas em basalto;
- c) Pegmatitos;
- d) Depósitos eluviais e aluviais.

Os cristais de alta perfeição cristalina e com grandes dimensões são encontradas nos veios hidrotermais cuja localização e descrição morfológica de vários depósitos espalhados em diversos países foi realizada a partir de 1939. Além do Brasil, cristais hialinos de grandes dimensões foram encontrados apenas em Madagascar (GUZZO, 2008).

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Materiais

O desenvolvimento deste trabalho iniciou-se com a seleção das amostras em estudo. As amostras de boa transparência (quartzo hialino) foram coletadas na zona rural de Parelhas/RN, distante 260 km de Natal-RN. O vidro foi obtido de garrafas recicláveis. As microesferas de vidro foram disponibilizadas pela Superintendência de Trânsito e Transportes Públicos de Campina Grande/PB. Os ensaios de caracterização foram realizados no laboratório Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Os ensaios de beneficiamento realizados no Laboratório de Cominuição do Instituto Federal da Paraíba e o ensaio de esfericidade no Laboratório de análises minerais da UFCG, todos localizados em Campina Grande (Tabela 3).

Tabela 3: Etapas e ensaios realizados

<b>Etapa</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Laboratório</b>
<b>I</b>	Seleção de amostras.	Parelhas - RN
	Preparação de amostras.	Laboratório de análises minerais -UFCG
<b>II</b>	Ensaio de britagem.	Laboratório de cominuição - IFPB
	Ensaio de moagem.	Laboratório de cominuição - IFPB
	Ensaio de peneiramento.	Laboratório de cominuição - IFPB
<b>III</b>	DRX	Caracterização de Materiais - UFCG
	ATG e ATD	Caracterização de Materiais – UFCG
<b>IV</b>	Ensaio de esfericidade	Laboratório de análises minerais -UFCG
	Ensaio de luminosidade	Laboratório de análises minerais -UFCG
<b>V</b>	Aplicação em asfalto.	Laboratório de análises minerais -UFCG

#### 5.1.1. Preparação das amostras

A limpeza de amostras de vidro reciclável e quartzo hialino foram realizadas para remover impurezas e outros materiais contidos na superfície (Figura 11). Utilizou-se detergente e água corrente. Em seguida, a amostra foi colocada em bandejas em ambiente aberto para secagem natural.

Figura 11 – Amostra de quartzo preparada para os ensaios em laboratório.



## 5.2. Ensaio de beneficiamento

Nessa etapa foram realizados os ensaios de britagem, moagem e peneiramento. Inicialmente a amostra de vidro foi fragmentada por impacto para obtenção de lascas. Esse material fragmentado foi empregado nos ensaios de beneficiamento.

### 5.2.1. Britagem

No ensaio foi usado um equipamento de laboratório o britador de mandíbulas da Astecma (Figura 12). Para o vidro foi realizado uma britagem primária, já o quartzo hialino uma britagem secundária foi necessária para atingir tamanhos ideais das partículas para encaminhar para o moinho.

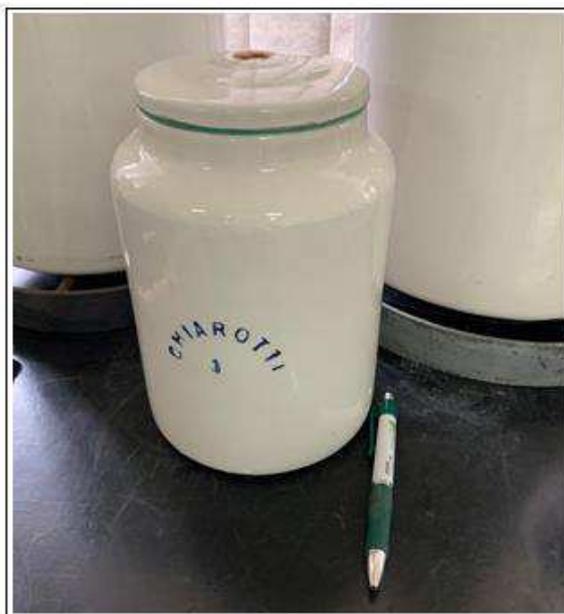
Figura 12 – Britador de mandíbulas de laboratório.



### 5.2.2. Moagem

O objetivo da moagem é reduzir a granulometria das partículas que ainda encontram-se em um tamanho maior que o desejado que não foi possível reduzir no britador. Na moagem, o tamanho das partículas geradas atingem granulometrias bem menores, da ordem dos milímetros. Os ensaios foram realizados no equipamento moinho de bolas de porcelana com capacidade 1,8L e bolas de porcelana (Figura 13).

Figura 13 – Moinho de bolas de laboratório.



### 5.2.3. Peneiramento

Na etapa seguinte (Tabela 3), foi realizado o peneiramento a seco. Para isso, foram selecionadas as peneiras com abertura 35, 45 e 50 malhas. As peneiras foram dispostas uma sobre a outra e posicionadas de maior diâmetro para menor diâmetro (Figura 14). O equipamento um agitador de peneiras dispõe de controle do tempo de ensaio de peneiramento.

Figura 14 – Agitador mecânico de peneiras.



### 5.3. Caracterização mineralógica do quartzo

A amostra de quartzo foi submetida a ensaios de difração de raios X (DRX), análise termogravimétrica (ATG) e análise térmica diferencial (ATD). A amostra de quartzo foi cominuída a uma granulometria passante em malha 200 e submetida aos ensaios no Laboratório de Caracterização de Materiais/UAEMa/CCT/UFCG.

#### 5.3.1. Difração de raios X

Para a realização das análises por difração de raios X, DRX, pelo método do pó, foi utilizado um difratômetro de marca SHIMADZU XRD-6000, com radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , operando com corrente de 30,0 mA e voltagem de 40,0 kV, no intervalo de  $2^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ , com fendas Soller, filtro de níquel, passo de  $0,02\text{seg}^{-1}$  e step de  $2^\circ.\text{min}^{-1}$ .

#### 5.3.2. Análise termogravimétrica (ATG) e Análise térmica diferencial (ATD)

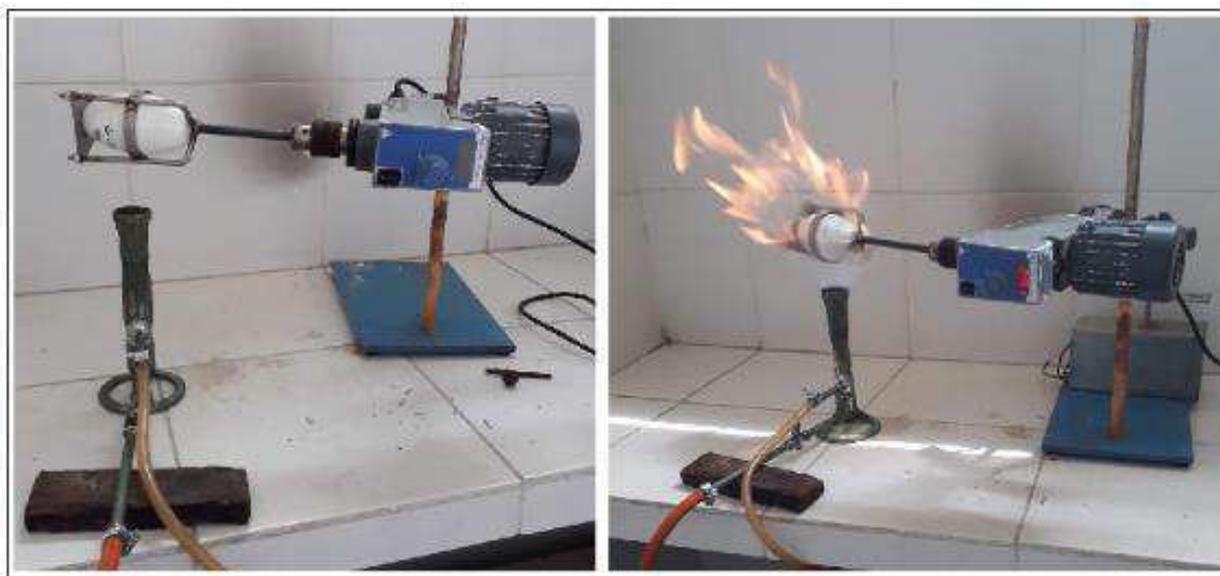
Para as análises térmica diferencial e termogravimétrica foi utilizado o analisador térmico modelo DTG-60 da SHIMADZU, sendo utilizado um fluxo de ar de  $50\text{ ml}.\text{min}^{-1}$  e taxa de aquecimento de  $12,50^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ . A amostra foi colocada no equipamento com massa inicial de 29,213 mg.

### 5.4. Ensaio de esfericidade

Segundo SCHWAB (1999), a sucata de vidro é moída e submetida à temperatura de  $1.200^\circ\text{C}$ , à velocidade regulada, em fornos verticais com correntes ascendentes de gás aquecido, transformando-a por tensão superficial em esferas e microesferas.

O ponto de fusão do quartzo é em média  $1.700^\circ\text{C}$ . Para tal, foi usado um protótipo de equipamento adaptado para a pesquisa. A câmara para acondicionamento do material consiste de dois cadinhos de porcelana acoplados e fixados com parafusos (Figura 15). Essa câmara é ligada a uma haste de agitador mecânico provido de controle de rotação. Por baixo da câmara foi colocado o Bico de Bunsen que fornece uma chama de alta temperatura, tendo como combustível GLP. No ensaio, o agitador mecânico se movimenta em baixa rotação. Deixou-se por 25 minutos a câmara com rotação em média de 300rpm, em seguida foi retirado e resfriado a temperatura ambiente.

Figura 15 – Detalhe do layout para realização dos ensaios de esfericidade.



### 5.5. Ensaios de luminosidade

Esses ensaios foram realizados para avaliar o desempenho de como as partículas de vidro e quartzo, de mesma granulometria, se comportam ao receberem uma fonte luminosa. Observaram-se as características visuais como brilho e luminosidade entre as partículas de vidro e quartzo mineral com mesma granulometria retido em 45 malhas, e um comparativo entre as partículas de vidro e quartzo hialino com granulometria de 50 malhas. Por último observou-se também a luminosidade das microesferas de vidro ao receberem uma fonte luminosa, as microesferas utilizadas foram a tipo II – A, padrão utilizado pela STTP.

Cada análise foi realizada da seguinte forma: foram construídos círculos com quatro centímetros de diâmetro cada e, neles foram dispostos três gramas de partículas de vidro e quartzo hialino bem espreçados para evitar sobreposição, em ambos os casos.

No ensaio foi observado a luminosidade e brilho no momento em que as amostras foram expostas a uma fonte de luz em sua direção, para tal, uma lanterna, provida de pilhas de corrente contínua, foi direcionada para as partículas de vidro, quartzo hialino e as microesferas de vidro; em seguida foram observadas como se comportam ao receber a fonte luminosa.

## 5.6. Aplicação em asfalto

A aplicação do material se deu através de uma superfície construída para verificar a importância de um asfalto pintado e incorporado com partículas preparadas para aumentar a luminosidade. Essa superfície possui as seguintes medidas (Tabela 4):

Tabela 4: Especificações do protótipo da faixa de pedestres

<b>Medidas</b>		
Extensão do protótipo	Comprimento das faixas	Largura das faixas
60cm	26cm	6cm

Para pintura das faixas de pedestres o tipo de tinta empregada nessa pesquisa é a tinta emulsionada em água da linha Starline, fabricada pela Vimaster Indústria de Produtos para Sinalização Viária. Essa tinta é própria para sinalização em pavimentos asfálticos e de concreto, em estradas e cidades, possui secagem rápida, pode ser refletivo com a adição de microesferas de vidro e após a secagem é muito resistente à abrasão.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Britagem e moagem

Os ensaios de britagem e moagem das amostras de vidro e quartzo hialino foram necessários para a redução de tamanho, com o intuito de colocá-las em granulometrias semelhantes às das microesferas de vidro. Na tabela 5 consta as especificações dos ensaios.

Tabela 5: Detalhamento dos ensaios de britagem e moagem.

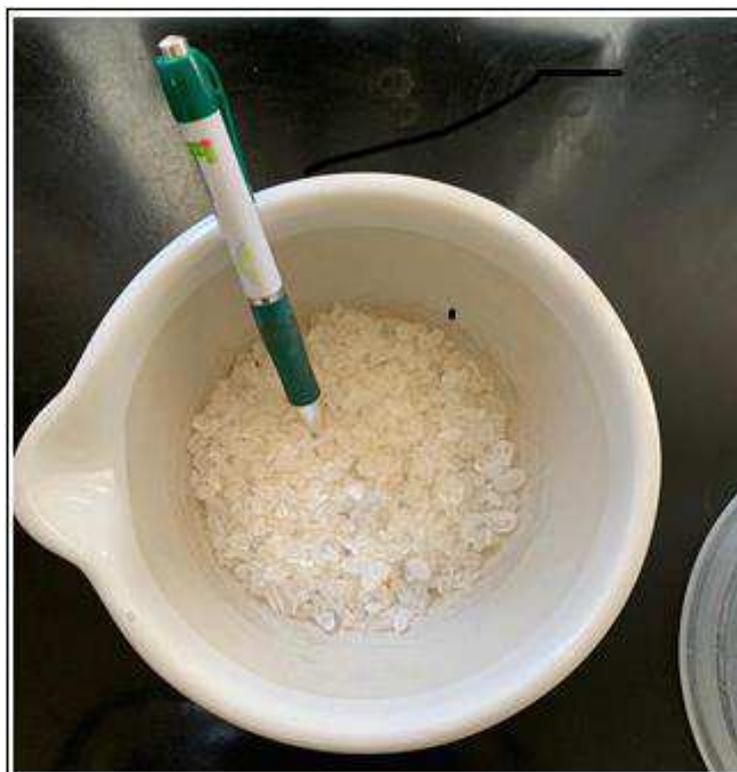
Tipo de material	Especificações dos ensaios					
	Britagem primária	Britagem secundária	Moagem primária	Moagem secundária	Tempo de moagem primária	Tempo de moagem secundária
Vidro	✓	-	✓	-	30 min	-
Quartzo Hialino	✓	✓	✓	✓	20 min	20 min

✓ : ensaio realizado

- : ensaio não necessário

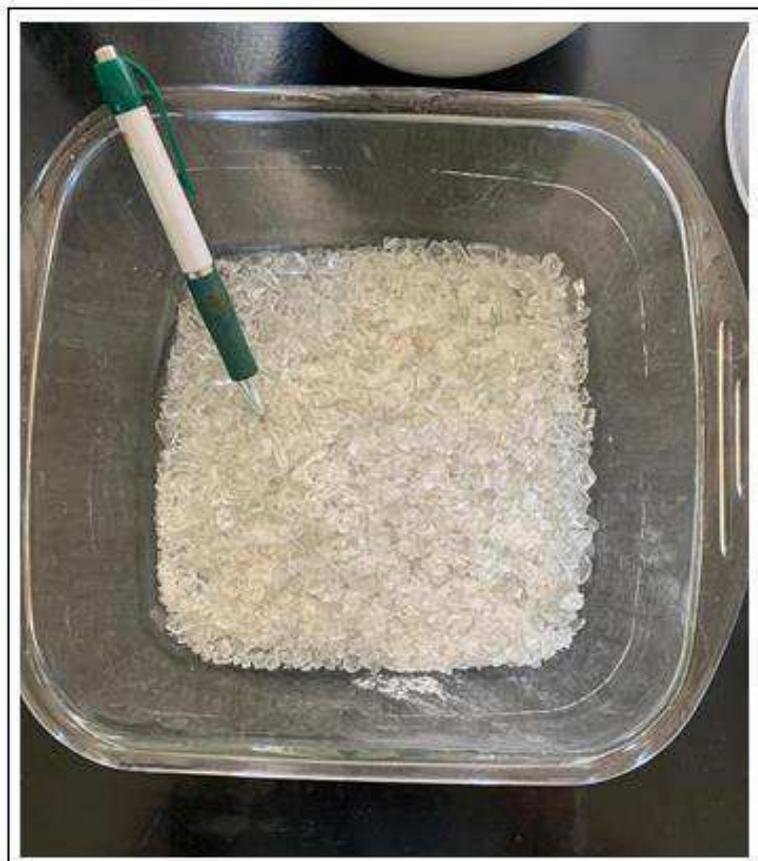
As Figuras 16 e 17 mostram a obtenção de fragmentos de quartzo e partículas de vidro após a britagem. O quartzo é um mineral de alta dureza, para uma melhor fragmentação foram necessárias duas etapas de britagem; para o vidro, a britagem primária foi suficiente.

Figura 16 – Fragmentos de quartzo hialino resultantes da britagem



Observa-se fragmentos com tamanho uniforme com pouca geração de material fino, pouco arredondados, e de fragmentação conchoidal, característica típica do quartzo quando fraturado.

Figura 17 – Fragmentos de vidro resultantes da britagem



O vidro possui menor dureza e por isto oferece menor resistência à cominuição. Evidentemente, a redução de granulometria do mineral quartzo apresentou maior resistência em relação às partículas de vidro, devido à dureza do quartzo 7 na escala de Mohr, conseqüentemente maior resistência à fragmentação do que o vidro, dureza 5. Isso acarretou em maiores tempos de cominuição do quartzo e maior consumo energético dos equipamentos usados para redução granulométrica.

Em seguida foi realizado o ensaio de moagem para cominuir o vidro e o mineral de quartzo hialino deixando as partículas menores em ordem de milímetros.

O material mais duro, quartzo, foi moído em duas etapas: moagem primária e secundária, com tempo de vinte minutos para cada moagem. O vidro foi moído em uma única etapa com tempo de trinta minutos. O tempo de moagem empregados

permitiram a obtenção de fragmentos atingirem granulometrias menores necessárias para a continuação dos ensaios.

## 6.2. Peneiramento

No peneiramento a seco foram separadas partículas de quartzo com granulometria passante na peneira 35 malhas e retidas nas peneiras 45 e 50 malhas, (ver Tabela 6). Conforme já foi mencionada, as partículas estão dentro do intervalo de tamanho das microesferas tipo II – A (0,850 mm a 0,075). As granulometrias 45 e 50 malhas são semelhantes em tamanho às microesferas de vidro, produzidas na indústria para fins comerciais.

O tempo de peneiramento para o vidro e o quartzo hialino foram o mesmo, 3 minutos para cada material. A alimentação foi de 144g e 218g para o vidro e o quartzo hialino, respectivamente. O percentual de recuperação de massa ilustrado na Tabela 6, o melhor desempenho foi o quartzo 50 malhas, com 8,26% de recuperação de massa.

Nessa abertura de peneira, a separação de partículas não apresentou dificuldades tais como entupimento e outros problemas de escoamento. Para isso, houve a necessidade de prévia limpeza superficial do quartzo, antes da etapa de beneficiamento, a fim de retirar argilominerais, que obviamente acarretariam o fechamento da tela da peneira, dificultando o escoamento do quartzo.

Tabela 6: Detalhamento dos ensaios de peneiramento

	Peneiramento			
	Vidro 42#	Vidro 50#	Quartzo hialino 42#	Quartzo hialino 50#
<b>Alimentação</b>	144g	-	218g	-
<b>Tempo de peneiramento</b>	3 min	3 min	3 min	3 min
<b>Retido</b>	11g	12g	17g	18g
<b>Recuperação de massa</b>	7,64%	8,33%	7,8%	8,26%

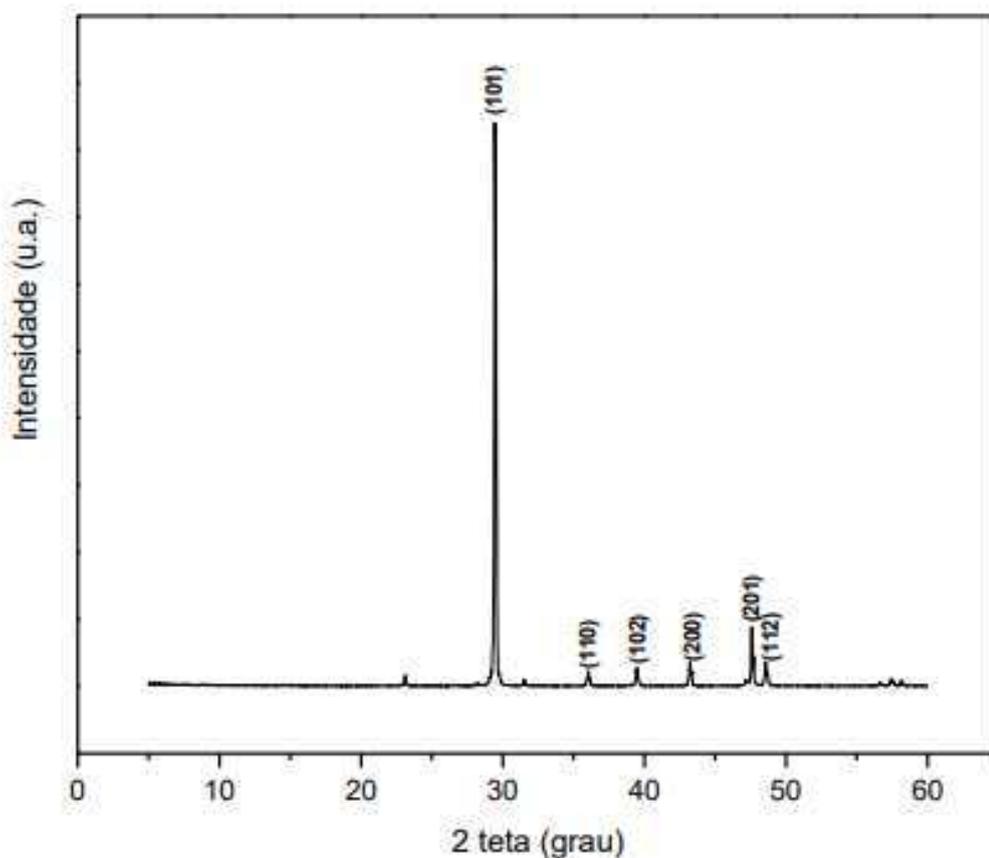
O material foi separado em lotes e etiquetado para que os testes seguintes fossem realizados com o passante em 35 malhas e retido em malha 45 mesh e passante em 45 malhas e retido em malha 50.

### 6.3. Caracterização mineralógica do quartzo

#### 6.3.1. Difração de raios X

A Figura 18 apresenta o difratograma gerado a partir da análise da amostra de quartzo hialino. As distâncias interplanares calculadas evidenciam fases encontradas na literatura (PDF 33-1161) que confirmam se tratar de um quartzo de alta pureza ja que não foram identificados outros picos correspondentes à presença de outros minerais. A alta intensidade do pico cujo plano  $hkl$  (índice de Miller) é igual a 101, indica a cristalinidade da fase, e se trata de um pico característico desse mineral.

Figura 18: Difratograma do quartzo hialino.



### 6.3.2. Fluorescência de raios X

O quartzo é primordialmente composto por silício (Si) e oxigênio (O). Em análise de fluorescência de raios X, de acordo com Franco-Magalhães; Silva; Paiva (2019), pode-se identificar que uma amostra de quartzo hialino possui, em geral, maior parte de óxido de silício, 98,86%, sendo os demais óxidos presentes tratados como impurezas, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7: Fluorescência de raios X de quartzo hialino, de acordo com Franco-Magalhães & Silva (2019).

<b>Óxido</b>	<b>Teor (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	98,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,02
K <sub>2</sub> O	0,02
CaO	0,02
MgO	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02
ZrO <sub>2</sub>	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
Perda ao fogo	0,11

Fonte: FRANCO-MAGALHÃES; SILVA; PAIVA, 2019.

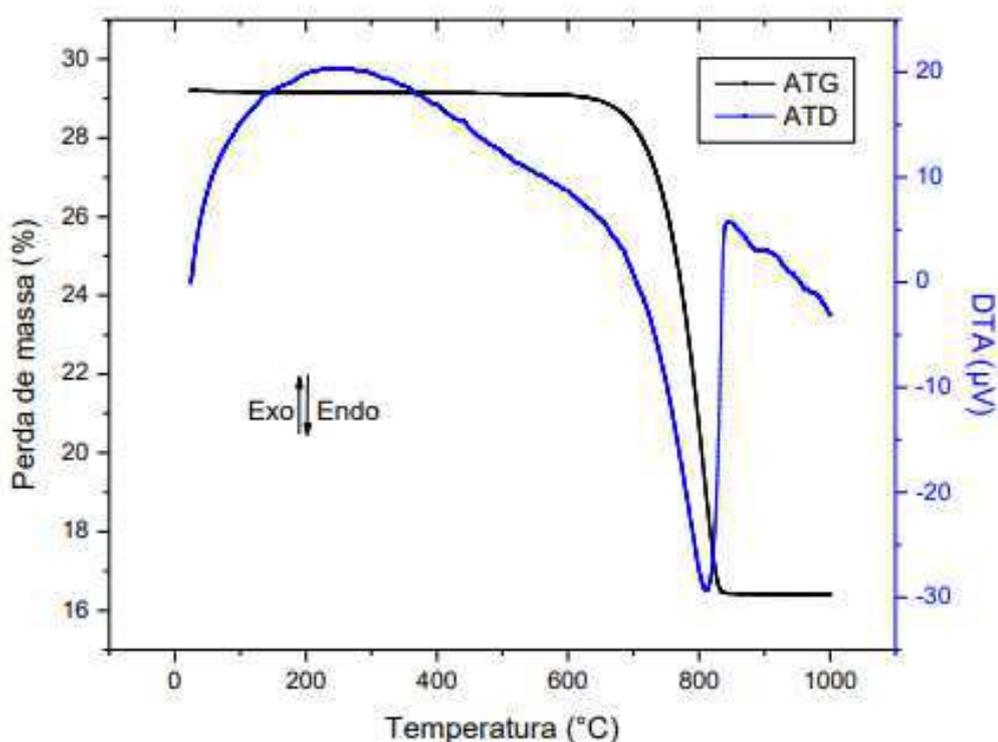
Assim tendo como referência esta composição química pode-se estabelecer uma analogia na composição da amostra de quartzo usado neste estudo. Isto é, esse quartzo possui elevada pureza e alta cristalinidade.

### 6.3.3. Análise termogravimétrica (ATG) e análise térmica diferencial (ATD)

Nos resultados de ATD e ATG obtidos na análise do quartzo hialino (Figura 19), foi possível identificar a presença de um pico endotérmico na temperatura de, aproximadamente, 800°C, com perda mássica de aproximadamente 56,3%. Essa

variação expressiva de peso pode significar o início da decomposição térmica do quartzo. Sendo seguido por um pico exotérmico, onde os processos ocorridos nessa fase são irreversíveis. A alta temperatura de resposta da amostra pode estar relacionada a temperatura em que o mesmo apresenta plasticidade, que segundo Guzzo (2008) é em cerca de 1630°C, com ponto de fusão em aproximadamente 1715°C.

Figura 19: Análise termogravimétrica e diferencial do quartzo hialino.



#### 6.4. Esfericidade

O Bico de Bunsen apesar de ter elevada temperatura, o máximo alcançado foi em torno de 600°C. Com isso, os resultados obtidos mostraram que as temperaturas atingidas pela chama do Bico de Bunsen não foram suficientes para que as partículas de quartzo hialino se tornem arredondadas, semelhantes às microesferas.

Devido a não esfericidade das partículas, cujo mínimo exigido pela norma ABNT 16184:2013 é um limite aceitável de 70% de esfericidade, não ocorreria o fenômeno de retroreflexão. O quartzo é um mineral que possui ponto de fusão em média de 1.700°C. Dessa forma, para obtenção da esfericidade é necessário que as partículas sejam colocadas em um forno que atinja altas temperaturas.

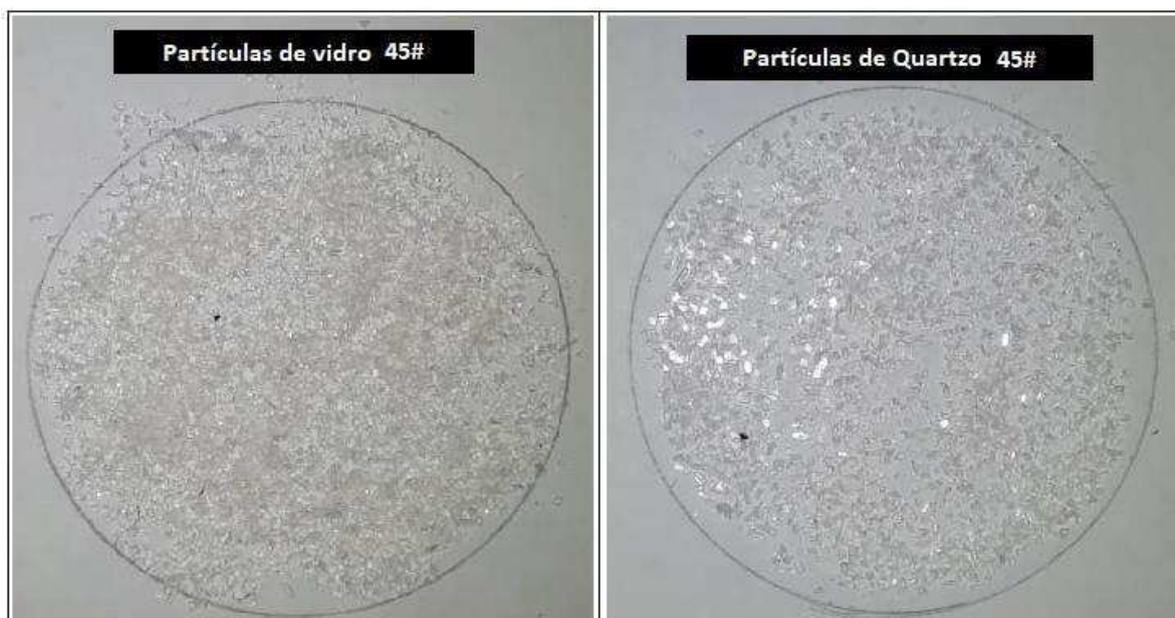
## 6.5. Luminosidade

As figuras 20 e 21 mostram os resultados de ensaios de luminosidade realizados com partículas de vidro e partículas de quartzo hialino com granulometria de 45 e 50 malhas, respectivamente.

No primeiro momento foram dispostas as partículas com granulometria maior, 45 malhas, do vidro e quartzo para comparação do comportamento dos materiais ao receberem um feixe de luz.

É importante salientar que ao espalhar as partículas não devem sobrepor uma a outra, pois interfere no brilho e na luminosidade das partículas. Por isso a importância de uma boa aplicação das partículas a tinta.

Figura 20: Resultados de ensaios de luminosidade realizados com partículas de vidro e partículas de quartzo com granulometria 45 malhas.



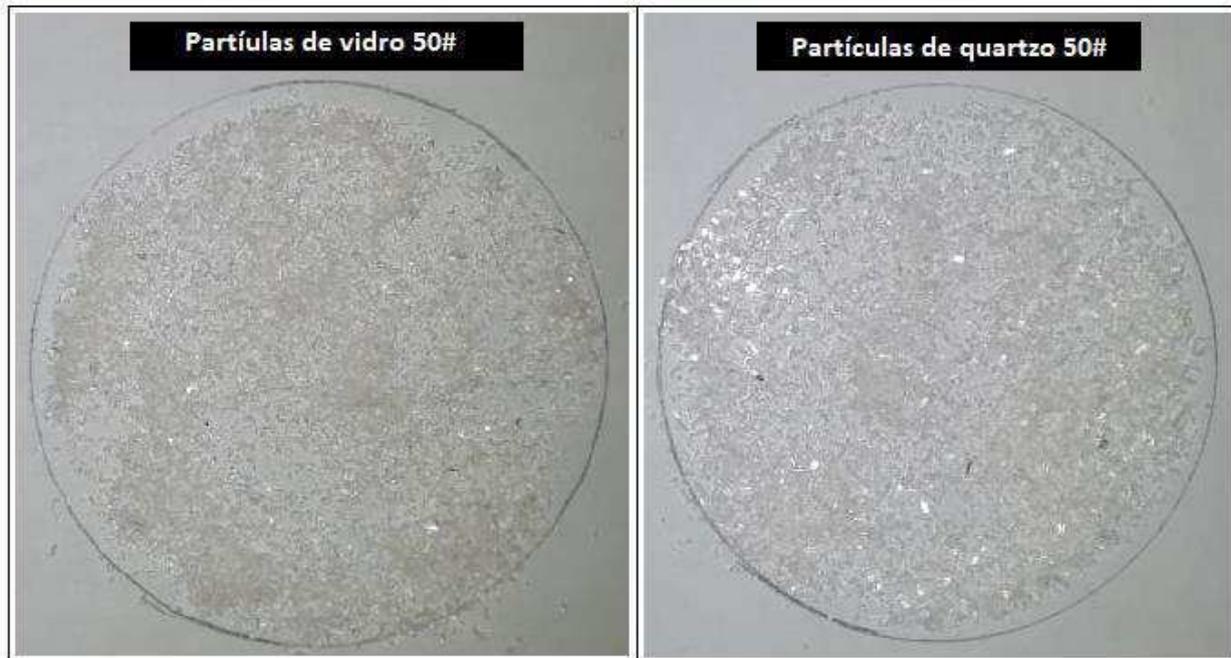
As partículas de vidro apresentaram baixo brilho e luminosidade, enquanto que, o quartzo possui maior brilho e luminosidade. Verificou-se neste ensaio que o brilho e luminosidade do quartzo é muito maior que a do vidro.

No segundo ensaio (Figura 22), foram dispostas as partículas de granulometria menor, 50 malhas, também na mesma ordem: primeiro o vidro, em seguida o quartzo.

As partículas com essa granulometria menor, 50 malhas, apresentou os seguintes resultados: para o vidro, é possível observar um ligeiro aumento no brilho e luminosidade ao receberem um feixe de luz; para o quartzo, ao receber uma fonte luminosa evidencia-se um material com maior brilho e com melhor luminosidade é mais evidente quando comparado com o vidro.

Esse resultado (Figura 21) pode ser compreendido como sendo devido à estrutura cristalina, visto que o quartzo é um mineral que possui um organizado arranjo de átomos distribuídos espacialmente compondo cristais. Enquanto que, o vidro é um material principalmente amorfo, ausente de estrutura cristalina, por ter passado por processos industriais tais como fusão em altas temperaturas.

Figura 21: Resultados de ensaios de luminosidade realizados com partículas de vidro e partículas de quartzo com granulometria 50 malhas.



Por último, a Figura 22 mostra como as microesferas de vidro se comportam ao receberem uma fonte luminosa.

Figura 22: Microesferas de vidro utilizadas pela STTP



Um feixe de luz foi direcionado para as microesferas de vidro, é notório como ocorre o fenômeno de retrorreflexão de uma partícula ao receber uma fonte luminosa, quando esféricas e com transparência. Os raios de luz incidem em sua superfície e são redirecionados de volta para a fonte de luz. Devido a esfericidade das faces, é que o feixe de luz retorna no mesmo sentido da fonte de luz que o originou. Com isso, o brilho e alta luminosidade das microesferas ficam visíveis.

### 6.6. Aplicação em asfalto

Na Figura 23, observa-se da esquerda para direita, foi adicionado, logo em seguida após a aplicação da tinta, as partículas de quartzo hialino nas 1ª e 2ª faixas com granulometrias retido em 45 e 50 malhas, respectivamente. Na 3ª faixa não foi adicionado nenhum tipo de material luminoso a tinta e na 4ª e 5ª faixa foi colocado as microesferas de vidro utilizadas como padrão. A aplicação do material à tinta mostra como fica evidente a visibilidade da sinalização.

Nas 1ª e 2ª faixas notam-se uma ligeira luminosidade e brilho; a 3ª faixa que não foi acrescentado material refletivo, não possui brilho e luminosidade, conseqüentemente, deixará a sinalização com menor percepção ao motorista e desgaste da tinta mais rápido; a 4ª e 5ª faixa comprova o brilho e luminosidade que as microesferas possuem devido a sua esfericidade. Por isto a necessidade de

acrescentar o material retrorrefletivo para melhor visibilidade e legibilidade da sinalização.

Figura 23: Aplicação de partículas de quartzo hialino e microesferas de vidro em superfície previamente preparada para receber as partículas.



Tabela 8: Comportamento das partículas de vidro, partículas de quartzo hialino e microesferas de vidro em termo visual e qualitativo para partículas com granulometrias de 45 e 50 malhas.

<b>Tipo de material</b>	<b>Brilho</b>	<b>Luminosidade</b>
<b>Partículas de vidro (45#)</b>	Baixo	Baixo
<b>Partículas de quartzo (45#)</b>	Médio	Médio
<b>Partículas de vidro (50#)</b>	Baixo	Baixo
<b>Partículas de quartzo (50#)</b>	Médio a alto	Médio a alto
<b>Microesferas de vidro</b>	Alto	Alto

A Tabela 8 mostra o resultado em termos visuais e qualitativo dos materiais ensaiados, quanto ao brilho e luminosidade. Verificou-se que as partículas de vidro apresentaram baixa luminosidade em relação ao quartzo. Sendo que as microesferas possuem maior luminosidade.

## 7. CONCLUSÕES

A análise de difração de raios X apresentou fases condizentes com a literatura, com um pico com  $2\theta$  em aproximadamente  $30^\circ$  característico do quartzo, com alta intensidade devido a cristalinidade da fase. Com a fluorescência de raios X disponível em literatura, pode-se observar a alta porcentagem de óxido de silício, o que indicaria um quartzo de alta pureza.

A análise termogravimétrica e diferencial exibiu uma elevada perda de massa a uma alta temperatura. Essa resposta tardia da amostra a uma decomposição térmica pode estar relacionada com o seu alto ponto de fusão total, de aproximadamente  $1.715^\circ\text{C}$ .

Por fim, ao ser observado o comportamento das partículas de vidro nas duas granulometrias retido em 45 e 50 malhas e microesferas de vidro ao receberem uma fonte de luz, pode-se dizer que as partículas de vidro, apresentaram baixo brilho e baixa luminosidade, mas que após ficarem esféricas as mesmas se comportam com alto brilho e alta luminosidade.

As partículas de quartzo hialino, nas duas granulometrias estudadas retido em 45 e 50 malhas, apresentaram brilho e luminosidade mesmo sem as partículas estarem esféricas. Deste modo, fica evidenciado a viabilidade das partículas de quartzo para produção de microesferas, sendo a granulometria 50 malhas com brilho e luminosidade ainda mais eficientes que a granulometria 45 malhas.

O quartzo hialino possui características visuais e propriedades necessárias para produção de microesferas em sinalização viária. O quartzo assegura relevantes resultados, do ponto de vista tecnológico, sem considerar critérios econômicos, para que substitua o vidro e proporcione vias mais seguras e bem sinalizadas. O estudo do quartzo hialino para produção de microesferas retrorrefletivas foi proposto pois apresenta duas propriedades importantes e necessárias para produção de microesferas para sinalização viária: dureza e transmitância.

A alta dureza do mineral garante maior resistência ao desgaste das partículas com o tráfego dos automóveis, além da sua retrorrefletividade que o torna um material com potencial para uso em sinalização viária. Outras possíveis vantagens seria sua maior durabilidade em todos os quilômetros aplicados, quando observados os desgastes sofridos na sinalização, tendo em vista o desgaste abrasivo que as microesferas sofrem.

O estudo comprova que o material de quartzo hialino possui transmitância, propriedade importante para garantir o fenômeno de retrorreflexão através da esfericidade das partículas. A transmitância é necessária para que os raios de luz possam atravessá-la sem sofrerem alteração do índice de refração e assim assegurar uma melhor luminosidade.

## 8. SUGESTÃO PARA NOVOS ESTUDOS

Sugere-se para estudos futuros a realização dos ensaios de esfericidade, utilizando quartzo hialino e quartzo sintético, afim de observar o fenômeno de retrorreflexão, com emprego de fornos com designer apropriado, que garantam altas temperaturas e regimes de movimentação das partículas, que asseguram um melhor desempenho na obtenção das microesferas.

## 9. REFERÊNCIAS

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **M 247**: Standard Specification for Glass bead used pavement marking. Washington, DC, 2013.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **PP 74**: Standard Specification Determination of Size and Roundness of Glass Bead use in Traffic Marking by Means of Computerizes Optical Method. Washington, DC, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13159**: Sinalização Horizontal Viária - Termoplástico aplicado pelo processo de aspersão. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13699**: Sinalização Horizontal Viária - Tinta a base de Resina Acrílica Emulsionada. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15405**: Sinalização Horizontal Viária - Tintas - procedimentos para execução da demarcação e avaliação. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15741**: Sinalização Horizontal Viária - Laminado Elastoplástico para sinalização. Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16039**: Sinalização Horizontal Viária - Termoplástico pré-formado para sinalização - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16184**: Sinalização Horizontal Viária - Termoplástico aplicado pelo método de extrusão. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16184**: Sinalização Horizontal Viária: Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Programa De Exploração da Rodovia Per Rodovia Br-116/RJ/SP - Presidente Dutra Trecho: Rio De Janeiro – São Paulo Tomo I - 16ª. Revisão Ordinária E 5ª Revisão Extraordinária Aprovada Pela Resolução Nº. 3.784, De 15/02/2012 (Publicada no D.O.U. em 08/03/2012) **Ministério dos Transportes**. Brasília. 2012.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Programa de Exploração das Rodovias PER Rodovias BR-116/RS e BR- 392/RSPÓLO PELOTAS. Atualizado até: 12ª Revisão Ordinária e 8ª Revisão Extraordinária Aprovados pela Resolução nº 4.976, de 22/12/2015 (publicada no D.O.U. em 24/12/2015). **Ministério dos Transportes**. Brasília. 2015

ARTESP - AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Concessão Onerosa, do Rodoanel Mário Covas – Trecho Oeste, Interligação entre os Corredores de acesso à metrópole De São Paulo - Sp-348; Sp-330; Sp-280; Sp-270 E Br116. São Paulo. 2008.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **E1710**: Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with Geometry Using a Portable Retroreflectometer. Pensilvânia: 2011.

BABIC, D. Application And Characteristics Of Waterborne Road Marking Paint. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, Sérvia, p. 150-169, 2014.

BRICE, J. C. **Crystals for quartz resonators**. Reviews of Modern Physics, vol. 57, no 1, p. 105-146, 1985.

Código Nacional de Trânsito, instituído pela Lei nº 9.503 de 23/09/1991, 1ª edição, Brasília – DF, DENATRAN, 189P., 1997.

DALE, J. M. **Development of Improved Pavement Marking Materials – Laboratory Phase**”, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A., 1967.

DALE, J. M. **Traffic Marking Beads – Are the gradations right?** Revista Técnica Better Roads, janeiro 1969.

DEER, W. A.; Howie, R.A.; Zussman, J. **Minerais Constituintes das rochas – Uma introdução**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 727p., 2010.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasília – DF, Ofício nº 607/96-DORo/DEST, enviado ao DER/MG em 30 de Julho e 1996.

DALTROZO, B. A. S. **Análise da Retrorrefletividade da Sinalização Horizontal em Trechos da ERS-342 e ERS-155 no Noroeste do Rio Grande do Sul**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE **Especificações Técnicas Programa BR - LEGAL**. Rio de Janeiro, 2013. (Processo nº 50600.008728/2013-11)

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Manual de Sinalização Viária**. Publicação Instituto de Pesquisas Rodoviárias. (Publicação IPR – 743). Rio de Janeiro, 2010.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Norma DNIT 409 - PRO: Medida da retrorrefletividade com uso de equipamento dinâmico - Procedimento**. (IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias). Rio de Janeiro, 2017.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Norma DNIT 100-ES: Obras complementares – Segurança no tráfego rodoviário – Sinalização horizontal – Especificação de serviço - Procedimento**. (IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias). Rio de Janeiro, 2018.

FANDERLIK, I., **Optical Properties of Glass**. Glass Science and Technology – 5, Ed. Elsevier, 1983.

FAZENDA, J. M. R. (Coord.). **Tintas Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2009.

FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B.; SILVA, B. A. da; PAIVA, R. M. B. de. BENEFICIAMENTO DO QUARTZO HIALINO E LEITOSO PARA OBTENÇÃO DE VARIEDADES GEMOLÓGICAS. **Revista Extensão & Cidadania**, [S. l.], v. 7, n. 12, p. 11, 2019. DOI: 10.22481/recuesb.v7i12.5908. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/recuesb/article/view/5908>. Acesso em: 8 mar. 2021

FREIRE, Renato Teixeira de Sá. **Trânsito: um problema urbano**. 2008. 86 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Engenharia Urbana) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FRONDEL, C. **The System of Mineralogy: Silica Minerals**. vol. 3, 7ª edição, John Wiley & Sons. Nova York. 334p, 1962.

FWHA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Roadway Delineation Practices Handbook**. Washington: Transportation Institute, 1994. (Publication n° FHWA-SA-93-001)

FWHA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Effective Pavement Marking Practices For Seal coat And Hot-Mix Asphalt Pavements**. Washington: Transportation Institute, 2003. (Publication n° FHWA/TX-03/0-4150-4)

FWHA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Pavement Marking Demonstration Projects: State of Alaska and State of Tennessee**. Washington: Transportation Institute, 2013. (Publication n° FHWA 12- 048)

FWHA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Methods for Maintaining Pavement Markin Retroreflectivity. **Washington: Transportation Institute, 2014**. (Publication n° FHWA-SA-14-017)

GUZZO, P. L. **Quartzo**. In: LUZ, A. B. (Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). Rochas & minerais Industriais: usos e especificações. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 681 – 721.

KITTEL, C. – Introdução à Física do Estado Sólido, Editora Guanabara Dois, quinta edição, Rio de Janeiro, 1978.

MACHADO, D. D. N. **Estudo da Durabilidade da Sinalização Horizontal em Pavimentos Asfálticos Rodoviários**. 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MIZERA, C. M. **Improving pavement marking performance through contrasting new methods to quantify marking presence and increasing installation efficiencies through an evaluation of prototype bead guns**. 2008. 70p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Iowa, Engenharia de Transportes, Iowa - Estados Unidos. 2008.

MOREIRA, H; MENEGON, R. **Sinalização horizontal**. São Paulo: Master Set Gráfica, 2003. 82 p.

Recomendações Técnicas para sinalização viária horizontal - R.T. 01.02 **Microesferas de vidro para sinalização viária**. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG, Belo Horizonte, MG, 1998.

SALLES, L. S. *et al.* Avaliação retrorrefletiva de pintura de demarcação horizontal: peculiaridades e considerações sobre a norma e os requisitos mínimos nacionais. **Transportes**, São Paulo, v. 23, n. 2, 2015, p. 5-17.

SCHWAB, M. **Estudo de desempenho dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos**. 1999. 159 f. Dissertação (Mestrado em Análise e seleção dos materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais (UFOP, CETEC, UEMG), Belo Horizonte, 1999.

SCHWAB E MACE, **Luminance Requirements for Signs with Complex Backgrounds**, Public Roads, Vol.2, nº 51, p.48-55, 1987.

SMADI, Omar 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, [s.l.], v. 2440, n. 1, p.94-102, jan. 2014

VASCONCELOS, E., **“O que é Trânsito”**. Editora Brasiliense, 2ª ed, 92p, São Paulo, 1992.

VDOT - Virginia Department of Transportation –**Reflecive glassbead** – Guide - 2012. Disponível em: [www.virginiadot.org/business/.../MCS.../bu-mat-PaveMarkCh3.pdf](http://www.virginiadot.org/business/.../MCS.../bu-mat-PaveMarkCh3.pdf). Acesso em: 19 mar. 2020.

VDOT - Virginia Department of Transportation **Chapter 3 Traffic Paint**.. Virginia Department of Transportation Disponível em: [www.virginiadot.org/business/.../MCS.../bu-mat-PaveMarkCh3.pdf](http://www.virginiadot.org/business/.../MCS.../bu-mat-PaveMarkCh3.pdf). Acesso em: 19 mar. 2020.

WENK, H. R. **Preferred orientation patterns in deformed quartzites**. In: Reviews in Mineralogy. Editores :P. J. Heaney, C. T. Prewitt e G. V. Gibbs.Mineralogical Society of America, vol. 29, p. 177-208, 1994.