



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FRANCISCO ROMERITO DE GÓIS LIMA**

**GRANILITE PRODUZIDO COM RESÍDUO DE VIDRO  
TEMPERADO DE AUTOMÓVEIS**

**NATAL-RN  
2018**

Francisco Romerito de Góis Lima

Granilite produzido com resíduo de vidro temperado de automóveis

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Paulo Alysso Brilhante Faheina de Souza

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Marcos Lacerda Almeida

Natal- RN  
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Lima, Francisco Romerito de Goes.

Granilite produzido com resíduo de vidro temperado de automóveis / Francisco Romerito de Goes Lima. - 2018.  
17 f.: il.

Artigo científico (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Lacerda de Almeida.

1. Granilite - TCC. 2. Resíduo de vidro - TCC. 3. Vidro Temperado - TCC. 4. Piso - TCC. I. Souza, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. II. Almeida, Marcos Lacerda de. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 666.189.4

Francisco Romerito de Góis Lima

Granilite produzido com resíduo de vidro temperado de automóveis

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Aprovado em 21 de Junho de 2018:**

---

Profº Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza - Orientador (UFRN)

---

Profº Dr. Marcos Lacerda Almeida - Coorientador (UFRN)

---

Profª Me. Laíse Kelley Lemos Barbosa - Examinador interno (UFRN)

---

Engº Eberton Walter de Medeiros Fernandes - Examinador externo (CBTU)

## RESUMO

### GRANILITE PRODUZIDO COM RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO DE AUTOMÓVEIS

Concomitantemente com o crescimento da indústria, cresce também a quantidade de resíduos produzidos. Como exemplo, podemos citar o vidro, que, anualmente, é responsável por cerca de 1,36 milhões de toneladas de lixo no Brasil. Com isso, há a preocupação com o meio ambiente, tendo em vista que muitas vezes esse resíduo vai parar, de forma inadequada, em aterros sanitários. Portanto, é justificável o desenvolvimento de pesquisas que tenham como objetivo a sustentabilidade na construção civil. Desse modo, este trabalho visa analisar os efeitos da substituição total dos agregados minerais que compõem o granilite por resíduo de vidro temperado de automóveis. O material foi coletado em uma loja de vidros automotivos na cidade de Natal/RN. Inicialmente, foi feito um peneiramento prévio com a peneira de abertura 4,75 mm, para que o resíduo ficasse com sua granulometria similar à dos agregados utilizados, convencionalmente, para a fabricação do granilite. Foram produzidos cinco traços, aumentando a proporção do resíduo em relação ao Cimento Portland Branco (CPB). Avaliaram-se as resistências à tração na flexão e à compressão, assim como a absorção de água e índice de vazios das amostras produzidas. Sendo realizada para tal, a moldagem de corpos de prova prismáticos. Foi verificado que com o aumento da proporção do resíduo de vidro em relação ao cimento, houve uma diminuição das resistências à tração na flexão e à compressão. Mas também, sofreram redução os índices de absorção de água e de vazios dos corpos de prova. A pesquisa mostra que é viável a substituição dos agregados convencionais pelo resíduo de vidro temperado de automóveis na produção de granilite.

Palavras-chave: Granilite. Vidro Temperado. Resíduo. Piso.

## **ABSTRACT**

### **GRANILITE PRODUCED USING AUTOMOBILES TEMPERED GLASS WASTE**

As the industry grows, the quantity of waste produced also grows. As an example, we can mention glass, which is responsible for around 1.36 million tons of waste in Brazil every year. Therefore, there is a concern about the environment, since that glass wastes are often improperly disposed in landfills. It is important the development of researches on sustainable solutions to the civil construction. Based on that, this work aims to analyze the effects of a complete replacement of mineral aggregates that makes the granilite, using cars tempered glass waste. The material was collected in an automotive glass shop in the city of Natal, state of Rio Grande do Norte. Initially, a previous sieving was done with a sieve aperture of 4.75 mm, so that the waste had its granulometry similar to the aggregates conventionally used in the production process of granilite. Five mixtures were made increasing the proportion of glass waste relative to the proportion of White Portland Cement (WPC). The tensile strengths were evaluated in flexion and compression, as well as the water absorption and voids ratio of the samples produced. For this experiment, samples were produced in a prism format. It was proven that the increase of glass waste proportion compared to the cement proportion, decreased the flexion and compression tensile strength. However, the sample's water absorption indexes and voids ratio were reduced. This research indicates that it is viable to replace the conventional construction aggregates with automobiles tempered glass waste in the granilite production process.

**Keywords:** Granilite. Tempered glass. Glass Waste. Floor.

## 1 INTRODUÇÃO

O granilite é um tipo de concreto moldado in loco, que tem como agregados grânulos minerais (granito, mármore, quartzo e calcário, misturados ou não), chamados de granilhas. As granilhas são disponibilizadas em tamanhos variados. Os grãos maiores conferem maior resistência à abrasão. A resistência mecânica não depende do tamanho dos grânulos, mas sim do tipo de material empregado, sendo maior no quartzo e menor no mármore, tendo o granito como intermediário. O cimento utilizado pode ser comum ou branco. Nesse tipo de revestimento, é necessária a utilização de juntas de dilatação (Camargo, 2010).

O revestimento para piso é o principal uso desse tipo de concreto. Após a concretagem, o piso é polido, proporcionando o afloramento das granilhas, o que confere um efeito estético arrojado à superfície. Mesmo tendo seu uso extremamente difundido no Brasil inteiro, o concreto granilite ainda não possui normatização para a sua produção e/ou execução, sendo feito de forma empírica atualmente (Rossi, 2017).

O piso granilite, como também é chamado, possui diversas vantagens, tais como: facilidade de manutenção, custo relativamente mais baixo e beleza original renovável a um simples polimento. Além disso, apresenta grande resistência a impactos e desgaste superficial, excelente acabamento, cores variadas e ilimitadas combinações decorativas (Farias, 2010).

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABRAVIDRO), a fabricação do vidro temperado, considerado vidro de segurança, é realizada por meio de um forno de têmpera, onde o vidro comum é aquecido até cerca de 600 °C e resfriado bruscamente à temperatura ambiente. Esse processo faz com que suas moléculas internas se contraiam, tornando-o até cinco vezes mais resistente. Ao ser quebrado, o vidro temperado sofre um processo de “estilhaçamento”, produzindo numerosos e pequenos fragmentos. Após essa fragmentação, o material não apresenta pontas afiadas (cortantes), reduzindo o risco de ferimentos.

O vidro temperado é utilizado nos vidros laterais e traseiros dos automóveis e sua composição química não difere do vidro temperado utilizado na construção civil.

Tendo em vista que a utilização de resíduo de vidro para a produção de pisos ainda é pouco explorada, o trabalho visa estudar a viabilidade técnica do seu uso para a produção de concreto granilite, em substituição total aos agregados usualmente utilizados na sua fabricação. Apresentando, assim, uma forma de destinar corretamente um material que pode durar até um milhão de anos para se decompor, onerando os aterros sanitários e, portanto, o meio ambiente.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Com o crescimento da indústria, cresce também a quantidade de resíduos produzidos. De 2011 para 2012, a geração de resíduos sólidos, no Brasil, cresceu 1,3%, sendo superior à taxa de 0,9% referente ao crescimento populacional urbano do país nesse período. Em 2012, 6,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) deixaram de ser coletados, tendo destino inadequado. O vidro (de todos os tipos) representa uma parcela de 2,4% de todo o resíduo sólido produzido no Brasil, esse percentual equivale a aproximadamente 1,36 milhão de toneladas de lixo produzidas por ano (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE 2012).

Embora o vidro seja 100% reciclável, não ocorrendo perda de material durante o processo de fusão, muitas vezes é indesejável a mistura de diferentes composições durante o

reprocessamento, devido às impurezas, produzindo um vidro de baixa qualidade. Além de ser um processo de alto custo de mão de obra e grande consumo de água e energia (Coelho, 2009).

Paralelamente ao desenvolvimento econômico de um país, surgem as questões ambientais, assim como as pesquisas relacionadas com a escassez dos recursos naturais. Por esse motivo, a cada dia, tem-se buscado alternativas que possibilitem o uso de novos materiais no intuito de minimizar os impactos causados ao meio ambiente, bem como promover atividades sustentáveis (Guimarães, 2015).

O grande consumo de recursos naturais pela indústria da construção civil e o descarte inadequado de resíduos no meio ambiente, constitui um sério problema ambiental. De acordo com a estimativa de John (2000), a indústria da construção civil é responsável por 20 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta.

Várias pesquisas surgiram com o objetivo de investigar a utilização de diferentes resíduos como matéria-prima para a construção civil, como, por exemplo, a incorporação de resíduos à composição do concreto de cimento Portland (Paiva, 2013).

Propriedades como: alta durabilidade, elevada transparência, ótima resistência à água, a solventes e ácidos (exceto para o ácido fluorídrico,  $HF$  e o fosfórico,  $H_3PO_4$ ), tornam o vidro um produto muito apreciado pela civilização moderna (Coelho, 2009).

O reaproveitamento do vidro como material de substituição e adição no concreto vem sendo largamente estudado. Há diversos exemplos de sucesso da utilização de vidro na construção: isolante térmico (fibra de vidro), como agregado no cimento e asfalto e aditivo no cimento (aditivo pozzolânico) (Cota, 2013).

O vidro temperado tem se apresentado como um dos resíduos utilizados como material alternativo para agregado no concreto, pelo fato de possuir forma granular e resistente, com propriedades geralmente inertes e composição quimicamente compatível com a do concreto (Queiroz e Borja, 2016).

De acordo com o estudo de Guimarães (2015), sobre o uso de resíduo de vidro para a produção de pisos polidos, sua utilização em substituição ao agregado natural não resultou em diferenças significativas, em termos de absorção de água e abrasão profunda, quando comparadas às amostras com agregado natural. Em termos de resistência à flexão, foi obtido um valor médio de 7,10 Mpa aos 180 dias de idade, para amostras produzidas com agregado natural, e 5,90 Mpa para as placas produzidas com resíduo de vidro, utilizando o Cimento Portland tipo IV Resistente a Sulfatos (CP IV-32 RS).

Conforme o estudo feito por Bonifácio e Godinho (2014), onde se estudou o efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto, a adição de fibras de vidro aumentou a resistência à tração por compressão diametral em 3,7%. Além disso, esse trabalho mostra que no ensaio de flexão em corpos de prova prismáticos, a resistência do concreto aumentou em 6,1% em relação ao traço de referência.

De acordo com o estudo de Sauer (2013), sobre o potencial de aplicação de resíduo de vidro laminado de para-brisas moído, como substituto parcial do cimento em argamassas de recuperação estrutural, foi obtido que as características da argamassa com incorporação desse resíduo, mantiveram-se semelhantes às do traço de referência. Tais resultados confirmam a aceitabilidade desse material para fins cimentantes, tendo em vista seu potencial pozzolânico, tornando-o uma alternativa como adição mineral.

No Brasil, a utilização de resíduo de vidro no concreto e materiais cimentícios ainda é pouco explorada, mesmo tendo vários estudos no tema em questão. Porém, em países como Austrália e Estados Unidos, já há estudos mais expressivos.



A busca por alternativas para a disposição final adequada de resíduos constitui um grande desafio para a sociedade, já que o descarte inadequado acarreta sérios problemas ao meio ambiente.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado Cimento Portland Branco (CPB) estrutural, de fabricação Mexicana, da marca Tolteca, adquirido em Natal – RN.

O resíduo de vidro temperado de automóveis (Figura 1) foi adquirido, por doação, em uma loja de vidros automotivos de Natal – RN, sendo coletado em dois baldes de 18L, após ser quebrado com o uso de um martelo. Por segurança foram utilizados óculos e luvas de proteção. Esse procedimento de quebra foi feito para que o material adquirisse homogeneidade, tendo em vista que se encontrava em painéis, retirados dos veículos.

**Figura 1:** Resíduo de vidro temperado de automóveis



Fonte: Autor (2018)

A água utilizada foi da torneira do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Antes da caracterização, foi feito um peneiramento prévio no resíduo (peneira 4,75 mm), para eliminar restos de plástico, assim como pedaços de vidro com tamanhos fora do padrão e, também, para que o resíduo pudesse ficar com uma granulometria semelhante à dos agregados utilizados, convencionalmente, para a fabricação de granilite. Dessa forma, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), o resíduo utilizado classifica-se como agregado miúdo.

O resíduo foi submetido ao ensaio de granulometria, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo utilizadas as peneiras da série normal, variando suas aberturas de 4,8 até 0,15 mm. As peneiras foram agitadas com o auxílio do agitador mecânico durante 10 minutos, e, logo após, foi utilizado o processo manual. Para o ensaio, foram utilizadas 1000,0 g do material. O resultado obtido (massas retidas em cada peneira) foi tabulado no Excel, para que então fosse gerado o gráfico da curva granulométrica, onde as ordenadas correspondem às porcentagens acumuladas passantes em cada peneira e as abcissas representam suas aberturas em escala logarítmica.

Também foram realizados ensaios de massa unitária, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2009), e massa específica real, conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009).

Com o resíduo caracterizado, foi executado o ensaio de índice de consistência na mesa *Flow Table*, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016), para que todos os traços utilizados

adquirissem consistências semelhantes. Essa norma estabelece, quando não houver especificação, a adoção de um espalhamento de  $260 \pm 5$  mm, porém, decidiu-se usar  $270 \pm 5$  mm para evitar desperdício de material, já que este foi o valor obtido na primeira tentativa.

Os traços foram compostos de forma a substituir totalmente os agregados usuais (granilhas) pelo resíduo, sendo dispostos em cinco proporções diferentes: 1:1,0; 1:1,5; 1:2,0; 1:2,5 e 1:3,0. Sendo o primeiro algarismo referente ao cimento e o segundo ao resíduo, ambos medidos em massa. Esses traços serão aqui designados, respectivamente, como traços I, II, III, IV e V.

A homogeneização dos materiais foi feita de forma manual, tendo em vista que ao tentar fazê-la no misturador mecânico (argamassadeira), foi verificado que o resíduo sofria trituração. Sendo assim, a mistura foi feita com o uso de uma colher de pedreiro.

Realizou-se a moldagem de trinta corpos de prova prismáticos (seis por traço) com dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm, sendo três de cada traço para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), e três para a realização dos ensaios de absorção de água e índice de vazios (porosidade), de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009). Esses ensaios foram realizados 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Durante esse tempo, essas amostras permaneceram imersas no tanque de cura.

Os materiais utilizados para a moldagem dos corpos de prova encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1:** Materiais utilizados para a composição dos traços

Traços	Cimento (g)	Resíduo (g)	Água (g)
I	1520	1520	597
II	1270	1906	521
III	1064	2127	498
IV	917	2293	478
V	810	2430	457

Fonte: Autor (2018)

Para a realização dos ensaios de resistência mecânica à compressão e à tração na flexão, foi utilizada uma prensa universal da marca SHIMADZU (Figura 2), com carga aplicada de acordo com a norma.

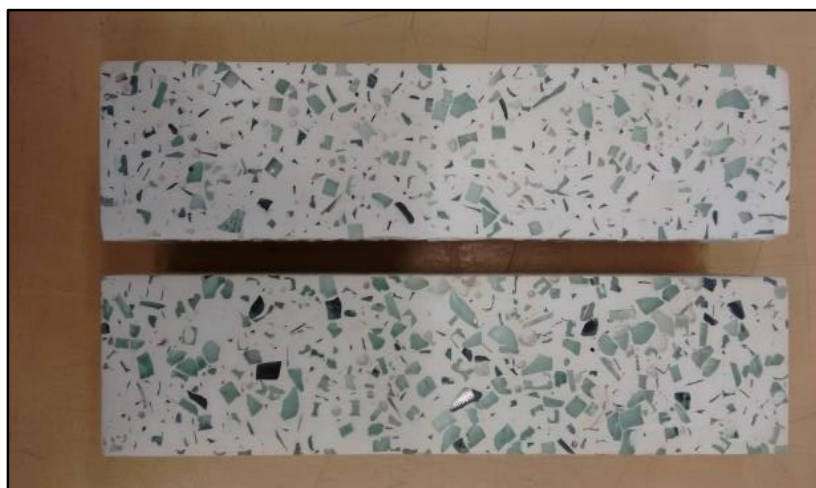
**Figura 2:** Ensaio à compressão



Fonte: Autor (2018)

Para verificar o efeito estético do granilite produzido, foram polidos dois corpos de prova, utilizando uma lixa. Sendo um deles do traço II e o outro do traço V (Figura 3). O objetivo desse polimento foi fazer o vidro aflorar. Como é possível observar na imagem, o resíduo de vidro aliado ao cimento branco, proporcionou um efeito estético bastante interessante ao concreto produzido. Foi notado que a superfície polida se apresentava totalmente lisa, sem material cortante.

**Figura 3:** Corpos de prova polidos. Acima: traço II, abaixo: traço V.



Fonte: Autor (2018)

O objetivo da escolha de dois corpos de prova com proporções distintas de resíduo foi avaliar como essa variação afetaria o efeito estético do granilite.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Resíduo

O resíduo utilizado trata-se de um agregado miúdo, passante na peneira da série Normal de 4,75 mm. Com massa específica real de  $2,47 \text{ g/cm}^3$ , massa unitária de  $1,47 \text{ g/cm}^3$ , diâmetro máximo de 4,75 mm e módulo de finura de 4,92.

Os valores de massa específica real e massa unitária do resíduo se assemelham muito com os valores dos agregados miúdos utilizados em larga escala na construção civil, como a areia, que apresenta valores em torno de  $2,6 \text{ g/cm}^3$  e  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, se apresentando um pouco mais leve do que esta.

Pode-se comparar, ainda, os valores de massa específica e massa unitária do resíduo, com os valores obtidos para os agregados naturais por Guimarães (2015). Ao realizar os ensaios de granulometria, este autor obteve os valores de  $2,83 \text{ g/cm}^3$  e  $1,47 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Comparando com os valores aqui obtidos para o resíduo de vidro temperado, observamos que o valor da massa unitária é, exatamente, igual, enquanto a massa específica do resíduo é um pouco menor ( $2,47 \text{ g/cm}^3$ ).

Os resultados da análise granulométrica do resíduo de vidro temperado de automóveis estão expressos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Análise granulométrica do resíduo

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa (g) retida</b>	<b>Massa (g) retida acumulada</b>	<b>Massa (g) passada</b>	<b>% passada</b>
6,3	0	0	999,32	100
4,75	4,33	4,33	994,99	99,57
2,36	936,31	940,64	58,68	5,87
1,18	43,82	984,46	14,86	1,49
0,600	6,59	991,05	8,27	0,83
0,300	4,82	995,87	3,45	0,35
0,150	2,3	998,17	1,15	0,12
Fundo	1,15	999,32	0	0

Fonte: Autor (2018)

Analisando a Tabela 2, observa-se que uma porcentagem de 99,57% da massa total ensaiada, passou na peneira de abertura 4,75mm. Apesar de o resíduo já ter passado por esta peneira antes do ensaio, ainda permaneceu 4,33% de material retido nela após o ensaio. Isso se deu devido ao reordenamento de alguns grãos nesta peneira, resultando na retenção de alguns deles que antes haviam passado. Podemos perceber também que houve uma perda de 0,68 g de material. Isso se deu devido a pequenas incrustações nas malhas das peneiras.

É possível notar que a maior parte do material ficou retida na peneira de abertura 2,36 mm, passando por esta apenas 5,87% do resíduo.

Desse modo, percebemos que a maioria do resíduo ficou com a granulometria compreendida entre as peneiras 2,36 e 4,75 mm.

Os resultados da análise granulométrica das granilhas utilizadas por Rossi (2017), para um traço convencional de concreto granilite, estão expressos na Tabela 3. Nela, podemos notar que 100% desse material passa pela peneira de abertura 6,3 mm, desse modo, seus grãos possuem diâmetro inferior a 6,3 mm. Para este ensaio foram utilizados 400,0 g de material. Esse foi o único ensaio de granulometria com agregados naturais encontrado na Literatura, e, por isso, foi utilizado como referência.

**Tabela 3:** Análise granulométrica das granilhas

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa (g) retida</b>	<b>Massa (g) retida acumulada</b>	<b>Massa (g) passada</b>	<b>% passada</b>
6,3	0	0	400	100
4,75	15,45	15,45	384,55	96,14
2,36	325,92	341,37	58,63	14,66
1,18	50,50	391,87	8,13	2,03
0,6	5,40	397,27	2,73	0,68
0,3	0,61	397,88	2,12	0,53
0,15	0,35	398,23	1,77	0,44
Fundo	1,77	400	0	0

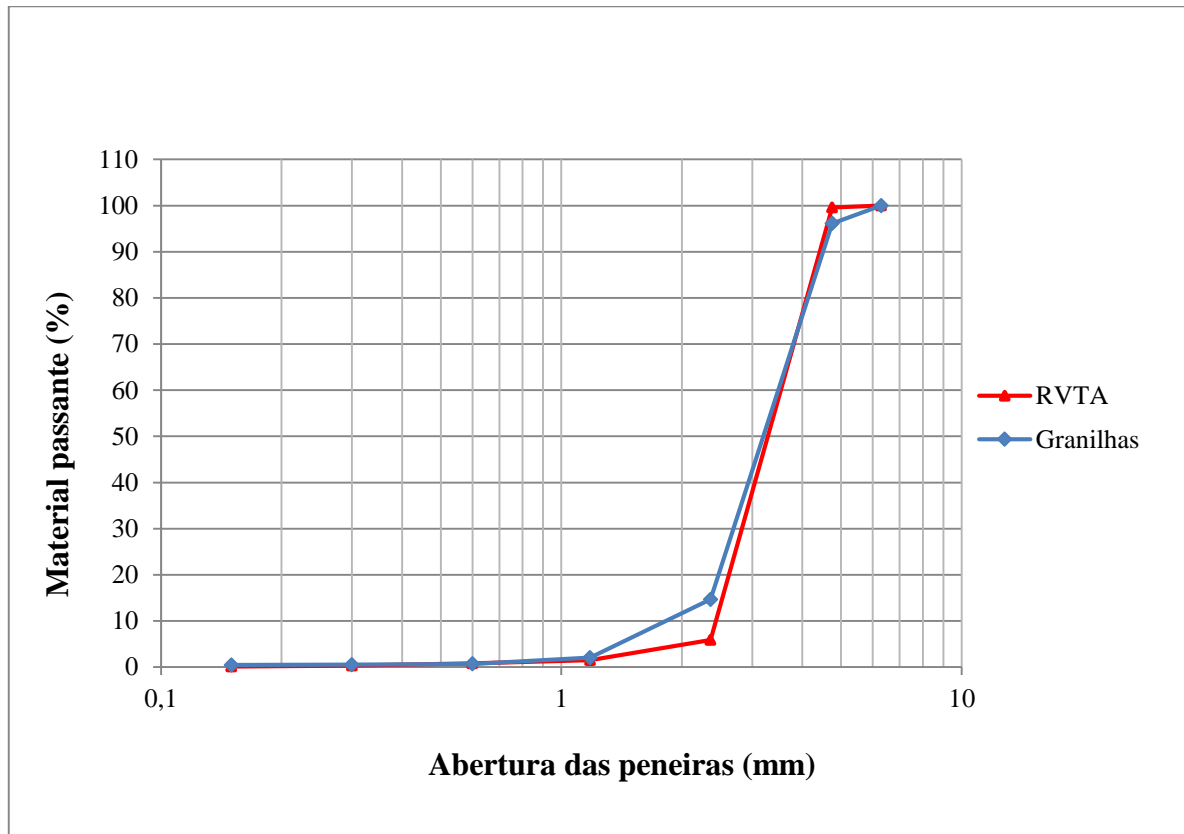
Fonte: Adaptado de Rossi (2017)

Através da análise da Tabela 3, podemos observar que a maior parte da massa retida das granilhas ficou na peneira 2,36 mm. Apenas 14,66% deste material passou nesta peneira, enquanto 96,14% passou na de abertura 4,75 mm.

Comparando as duas tabelas, é notória a semelhança entre as granulometrias do resíduo de vidro temperado e das granilhas. Ambos possuem a maior parte de suas massas compreendidas entre as peneiras de 2,36 e 4,75 mm.

Com o objetivo de comparar melhor as granulometrias dos materiais, foram plotadas, na Figura 4, as curvas granulométricas do resíduo de vidro temperado de automóveis (RVTA) e das granilhas utilizadas por Rossi (2017).

**Figura 4:** Curvas granulométricas do resíduo e das granilhas

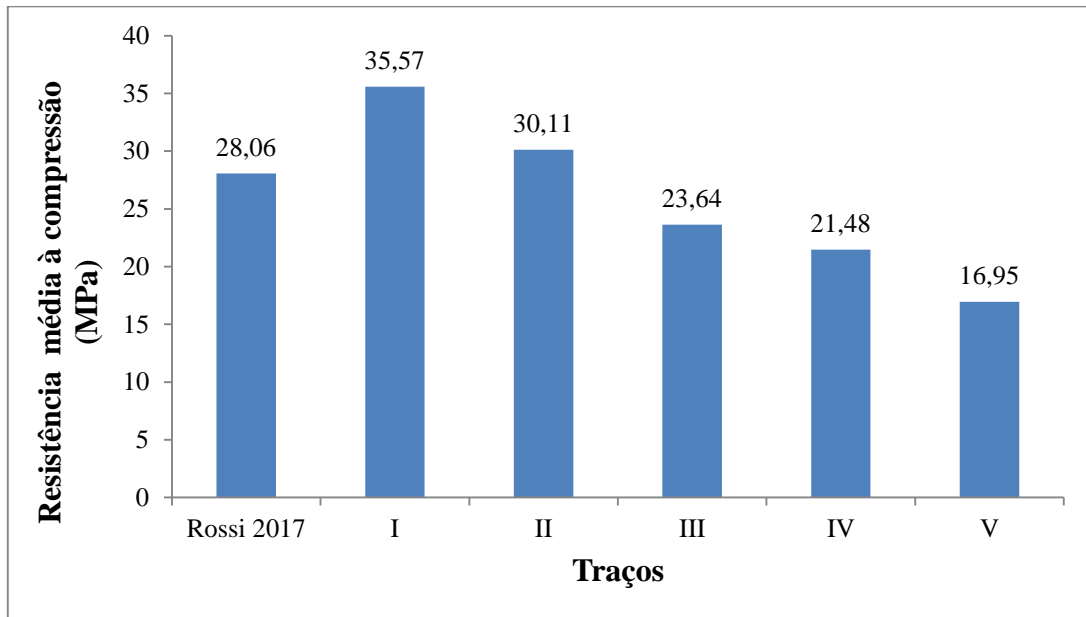


Fonte: Autor (2018)

Analisando a Figura 4, observa-se que as granilhas e o resíduo de vidro temperado possuem curvas de comportamento bastante semelhantes. Essa uniformidade será de grande importância para o comportamento estrutural do granilite produzido.

#### 4.2 Resistência à compressão

Na Figura 5, são apresentados os valores de resistência média à compressão, aos 28 dias. Esses valores foram calculados de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Nela também está representado o valor da resistência do traço de referência, especificado abaixo.

**Figura 5:** Gráfico da resistência média à compressão aos 28 dias

Fonte: Autor (2018)

Os valores obtidos dos traços com resíduo de vidro temperado são comparados com o traço de referência de Rossi (2017). Este traço foi escolhido como referência devido ao fato de ser baseado nos, convencionalmente, empregados pelos executores para a fabricação do concreto granilite, tendo ainda como referência o traço definido por Francelino (2012). O rompimento do corpo de prova do traço de referência também foi realizado aos 28 dias.

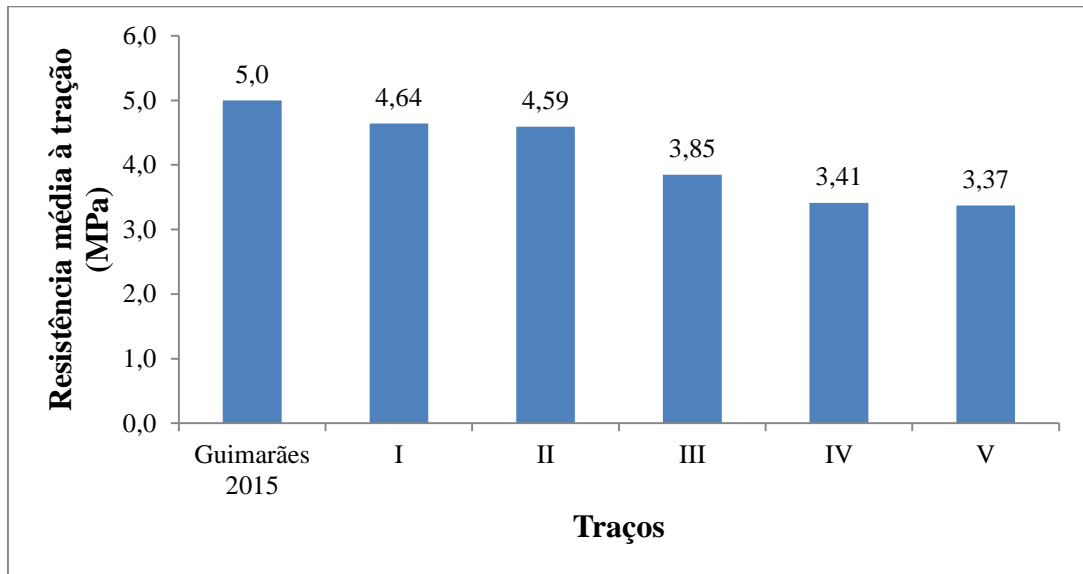
Pode-se observar, no gráfico, que os traços I e II adquiriram resistências superiores ao traço de referência, enquanto os traços III, IV e V apresentaram resultados inferiores. Além disso, nota-se que, com o aumento do resíduo em relação ao cimento, a resistência à compressão das amostras diminui.

O traço I foi o que apresentou a maior resistência, atingindo 35,57 MPa. Valor este que é 26,76% superior ao do traço de referência. Já o traço II, com 30,11 MPa, detém uma resistência 6,81% maior que o traço comparativo.

### 4.3 Resistência à tração na flexão

A Figura 6 mostra os valores médios de resistência à tração na flexão dos corpos de prova. Esses valores são comparados com o resultado obtido por Guimarães (2015) para um traço com agregados naturais. Nessa pesquisa, o autor utilizou o cimento CII F40. Todos esses valores referem-se a ensaios realizados aos 28 dias de idade das amostras. Esse traço foi utilizado como referência também para índices de absorção de água e de vazios. O motivo de sua utilização como referência foi devido ao fato de não terem sido encontrados, na Literatura, valores para esses ensaios com outros traços de granilite convencional.

**Figura 6:** Gráfico da resistência média à tração aos 28 dias



Fonte: Autor (2018)

De acordo com a Figura 6, as resistências à flexão dos corpos de prova com resíduo diminuem com o aumento da proporção do vidro em relação ao cimento, assim como aconteceu com a resistência à compressão.

Em comparação com o traço de referência, nota-se que todos os corpos de prova produzidos nesta pesquisa obtiveram resistências inferiores. O traço I foi o que apresentou a maior resistência entre os corpos de prova com resíduo, tendo apenas 7,20% a menos de resistência que o traço de referência.

O motivo pelo qual as amostras produzidas com resíduo de vidro apresentaram resistências à tração inferiores à de referência, pode ter sido devido à superfície lisa dos grãos de vidro, prejudicando, assim, a aderência, tendo em vista que ao avaliar a seção de ruptura à tração dos corpos de prova, nota-se que esta se dá no contato da pasta com o agregado de vidro (Figura 7).

**Figura 7:** Corpo de prova rompido à flexão



Fonte: Autor (2018)



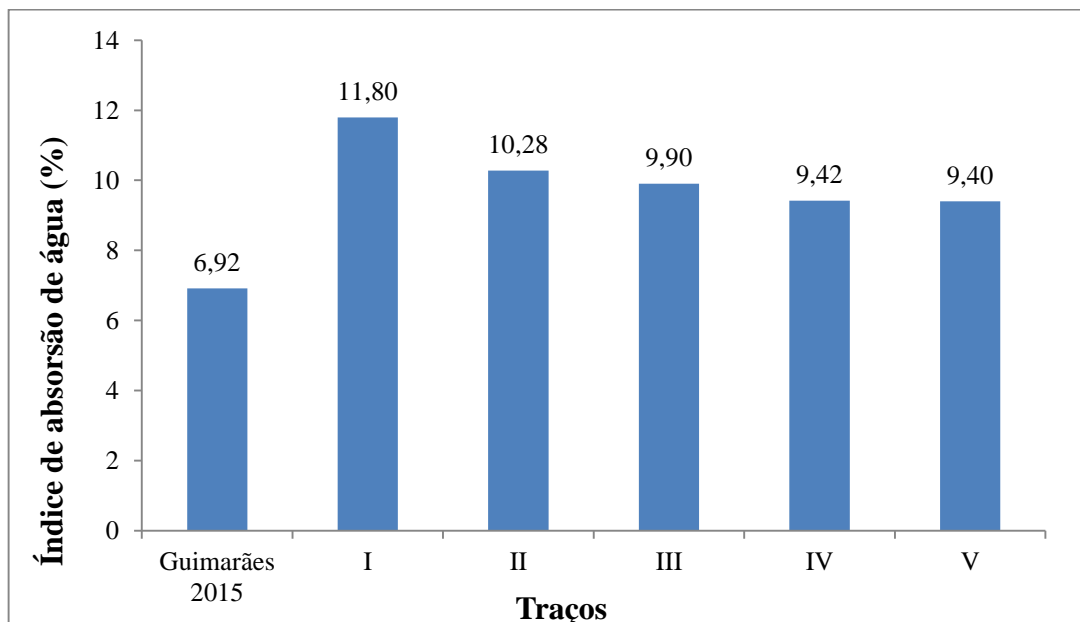
Outra razão pela qual as amostras apresentaram resistências à flexão menores, frente ao traço de referência, pode ser possíveis fissuras envolvendo o agregado de vidro. Como constatado nos resultados obtidos por Guimarães (2015), ao realizar microscopia eletrônica de varredura nas amostras com vidro.

#### 4.4 Absorção de água

Absorção de água por imersão, segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009), é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido.

Para os resultados de absorção de água, também será usado como referência o traço de Guimarães (2015) com agregados naturais. Os índices de absorção de água, em porcentagem, dos corpos de prova com resíduo de vidro, assim como o do traço usado como referência, estão dispostos na Figura 8. Todos os ensaios foram realizados aos 28 dias, após a moldagem das amostras.

**Figura 8:** Gráfico do índice de absorção de água



Fonte: Autor (2018)

Através da análise da Figura 8, nota-se que os traços produzidos com resíduo de vidro tiveram seus índices de absorção de água decrescentes com o aumento da proporção do resíduo em relação ao cimento. Esse comportamento deve-se ao fato de o vidro não ser um material absorvente, logo, quanto maior é sua presença, menos água a mistura absorve. Em comparação com o traço de referência, constata-se que todos os traços produzidos com o resíduo apresentaram índices de absorção de água superiores a este. As possíveis fissuras entre os agregados de vidro e a pasta de cimento, mencionadas anteriormente, podem ter sido responsáveis por esse aumento de absorção frente ao traço comparativo.

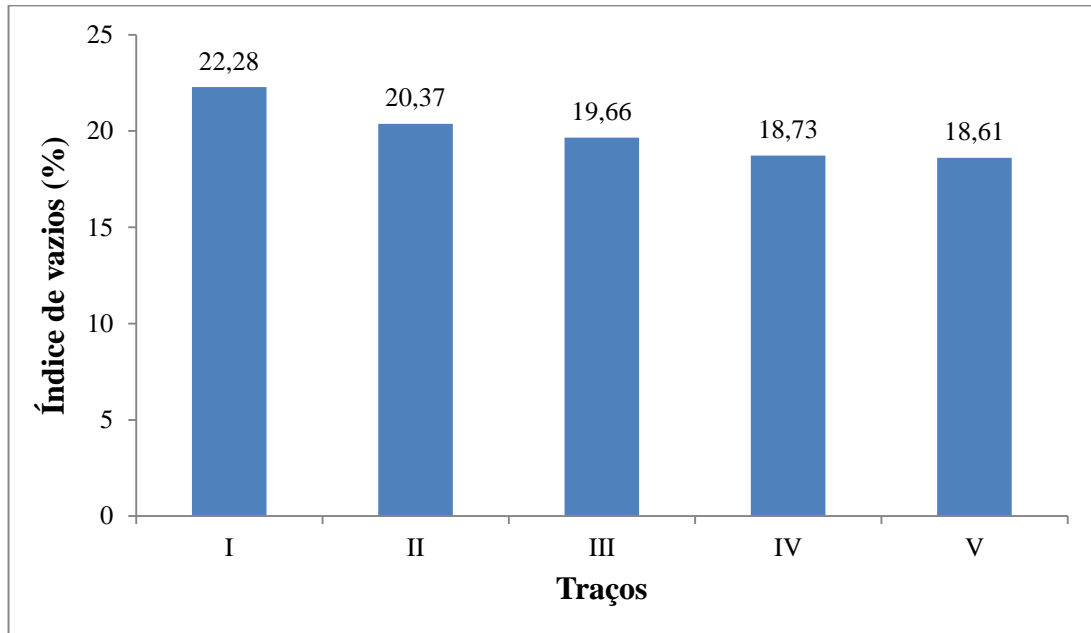
#### 4.5 Índice de vazios

Índice de vazios é a relação entre o volume dos poros permeáveis e o volume total da amostra.



Os resultados obtidos para índice de vazios dos corpos de prova (em porcentagem) produzidos com resíduo de vidro temperado estão dispostos na Figura 9. Os valores são referentes ao ensaio realizado 28 após a moldagem dos corpos de prova.

**Figura 9:** Índice de vazios dos corpos de prova



Fonte: Autor (2018)

Observando a Figura 9, e sabendo a proporção do resíduo de vidro em relação ao cimento de cada traço, podemos afirmar que quanto maior é a massa desse resíduo em relação à de cimento, menor é o índice de vazios da amostra. A explicação para tal comportamento vem da característica do vidro de ser um material não poroso. Assim, sua presença acarreta uma queda na porosidade da amostra como um todo.

Não foram encontrados, na Literatura, valores de índice de vazios para um traço de referência (com agregados naturais). Entretanto, sabe-se que esse parâmetro depende apenas dos poros permeáveis da amostra, assim como seu índice de absorção de água, estando ambos diretamente relacionados. Portanto, é possível afirmar que, como os valores de índice de absorção de água dos corpos de prova produzidos com resíduo de vidro foram maiores do que os do traço de referência, então seus resultados de índices de vazios também são.

## 5 CONCLUSÃO

O aproveitamento de resíduo de vidro temperado de automóveis na construção civil é de extrema importância, tendo em vista ser este um material de boa resistência e com propriedades compatíveis com o concreto. Este material, apesar das qualidades mencionadas e de sua capacidade estética, geralmente é descartado em lixões ou aterros sanitários, causando danos ao meio ambiente.

Através da produção de concreto granilite com diferentes proporções de resíduo de vidro temperado de automóveis em relação ao cimento branco estrutural, e após os ensaios realizados, é possível chegar às seguintes conclusões:

Tanto a resistência à compressão como à tração na flexão das amostras produzidas diminuiram, à medida que se aumentou a proporção do resíduo de vidro em relação ao cimento.

Os traços I e II apresentaram resistências à compressão maiores que o traço de referência, enquanto os valores obtidos para o restante dos traços ficaram abaixo.

Quanto à tração na flexão, todas as amostras atingiram resistências menores que o traço de referência. No entanto, os traços I e II alcançaram resistências bem próximas à do traço comparativo.

Os índices de absorção de água e de vazios dos corpos de prova diminuiram, à medida que se aumentou a relação resíduo/cimento. Esse comportamento já era esperado, tendo em vista que o vidro é um material não poroso e não absorvente. Quando comparados com o traço de referência, obteve-se que tanto os índices de vazios como os de absorção de água dos corpos de prova produzidos apresentaram valores superiores.

A utilização do cimento branco estrutural em conjunto com o resíduo de vidro temperado proporcionou uma bela estética ao granilite produzido.

Apesar de as amostras terem apresentado índices de absorção de água e de vazios superiores ao traço de referência, alcançaram boas resistências mecânicas, principalmente nos traços com menor proporção de vidro em relação ao cimento. Dessa forma, podemos afirmar que o uso de resíduo de vidro temperado de automóveis na produção de concreto granilite é tecnicamente viável. Além disso, a bela estética proporcionada e a sustentabilidade são fatores que valorizam esta pesquisa.

Como sugestão para trabalhos futuros, podemos indicar:

Avaliar a viabilidade técnica e estética do concreto granilite produzido com resíduo de vidro temperado de automóveis, utilizando-se cimento Portland Branco estrutural e pigmentos coloridos;

Produzir placas de concreto granilite com os traços aqui desenvolvidos, assim como a partir de outros traços;

Analisar a ocorrência da reação álcali-agregado no concreto granilite com os traços aqui trabalhados.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAVIDRO. **Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos**. 2018. Disponível em: < <http://abravidro.org.br/vidros/vidro-temperado-2/>>. Acesso em: 10 MAR. 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**.

<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf> (acesso em 19 de Outubro de 2017).

AZEVEDO, Eriem Allyne Medeiros. **Revestimento monocamada pigmentado, com resíduo de vidro temperado, para aplicação em fachadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

BONIFÁCIO, J. S. R.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2014.

CAMARGO, M. F. S. **Pisos à base de cimento: Caracterização, execução e patologias**. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

COELHO, R. M. P. **Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo, 2009.

COTA, Fábio de Paiva. **Efeito da incorporação de resíduos vítreos nas propriedades físico-mecânicas de compósitos cimentícios**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São João Del-Rei. Minas Gerais, 2013.

GUIMARÃES, G. B. **Avaliação do uso de resíduo de vidro na produção de pisos polidos**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

PAIVA, Emanuel Henrique Gomes. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

QUEIROZ C. C. JR.; BORJA E.V. **Análise da exequibilidade técnica de blocos de concreto vazado com resíduos de vidro como agregado artificial**. In: 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Águas de Lindóia, São Paulo, 2016.

ROSSI, Pietro Maria Silva. **Uso de resíduo cerâmico como agregado na composição de concreto granilite: verificação quanto à resistência a compressão**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil - Faculdade de Rondônia - FARO Porto Velho, 2017.

SAUER, A. S. **Estudo do potencial de aplicação do resíduo de vidro laminado em argamassas de recuperação estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2013.