

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ARTUR HENRIQUE PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMUM COMO  
POZOLANA E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUCATA DE VIDRO  
TEMPERADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2016

ARTUR HENRIQUE PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMUM COMO  
POZOLANA E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUCATA DE VIDRO  
TEMPERADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Sérgio Roberto Oberhauser  
Quintanilha Braga

Co-Orientador: Fábio Rodrigo Kruger.

CAMPO MOURÃO  
2016



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

### AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMUM COMO POZOLANA E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUCATA DE VIDRO TEMPERADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS

por

**Artur Henrique Pereira**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h 45 min do dia 14 de junho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado

**Tec. De Lab. Fábio Rodrigo Kruger**

( UTFPR )

Co-orientador

**Prof. Me. Adalberto L. R. de Oliveira**

( UTFPR )

**Profª. Drª. Darlene L. A. Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Esp. Sergio R. O. Q. Braga**

(UTFPR)

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos e a oportunidade de aqui estar.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, por todo apoio incondicional e incentivo, aos meus avós por parte de pai Adão e Camila, com quem morei grande parte do tempo da graduação e sempre me apoiaram, e a meus avós e padrinhos Estanislau e Marlene por sempre, desde a minha infância me incentivarem e apoiarem nos estudos.

Agradeço a minha namorada Maria Luiza, por nesses 2 últimos anos ter me dado conforto e esperança, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço ainda ao meu orientador Prof. Sérgio Braga por ter dedicado seu tempo para me auxiliar nessa caminhada de fim de curso.

A toda equipe técnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus de Campo Mourão e também ao corpo docente, pois devo todo o conhecimento adquirido a dedicação deles.

Um agradecimento especial ao Fábio técnico do laboratório de ensaios tecnológicos, e ao Ricardo companheiro de curso e estagiário do laboratório, a ajuda de vocês foi de fundamental importância na realização deste trabalho.

Agradeço ao engenheiro Israel Severiano, com quem fiz estágio, por ter se disponibilizado e me passado muito de seu conhecimento no pouco tempo do estágio.

Ao pessoal do tiro de guerra 05-019, da turma de 2012, vocês foram mais do que companheiros, foram verdadeiros irmãos.

Por fim agradeço a todos que de forma direta ou indireta me ajudaram nessa caminhada de 5 anos. Apesar de não ser possível dizer o nome de todos, sempre me lembrarei de cada um, só o que posso fazer é dizer: Obrigado a todos foi muito bom estar ao lado de cada um de vocês.

## RESUMO

PEREIRA, Artur Henrique. Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos. Trabalho de conclusão de curso. Universidade tecnológica federal do paraná. Departamento acad mico de constru o civil. Curso de Engenharia Civil. Campo Mourão. 2016

O presente trabalho trata sobre a viabilidade técnica da substitui o de parte do cimento por material pozolânico, no caso, p  de vidro proveniente de maquinas de lapida o, de indústria de tempera da região de Campo Mourão, a viabilidade foi avaliada pela compara o de resultados de corpos de prova de argamassa de cimento, rompidos aos 28 dias, em que foram utilizados vários traços com diferentes substitui es do cimento. Também foi avaliado o  ndice de pozolanicidade do p  de vidro, onde o mesmo obteve um desempenho de 78,95%.

O trabalho trata também da substitui o do agregado graúdo de brita, por agregado graúdo de sucatas de vidro temperado. Foram realizados os ensaios de determina o do tipo de agregado que   o vidro, sua granulometria e massa específica, foram feitos concretos com diferentes substitui es de brita por vidro e os resultados são comparados para traço diametral e compressão, onde os mesmo apresentaram vantagens para algumas porcentagem de substitui o.

**Palavras-chave:** Pozolana, Concreto com substitui o, Vidro, Agregados concretos.

## ABSTRACT

PEREIRA, Artur Henrique. Evaluation of the use of glass as pozzolan and evaluation of the use of tempered glass cullet as aggregate in concrete. Trabalho de conclusão de curso. Universidade tecnológica federal do paraná. Departamento acad mico de constru o civil. Curso de Engenharia Civil. Campo Mourão. 2016

This paper deals with the technical feasibility of replacing part of the cement by pozzolanic material, in the case of glass from cutting machines powder, tempera industry Campo Mourao region, viability is of the bodies of comparison of results cement mortar test, ruptured after 28 days are used various features with different cement replacements. The glass powder pozzolanic index is evaluated yet.

The work also deals with the replacement of coarse aggregate of crushed stone for coarse aggregate tempered glass shards, is carried out tests to determine the type of aggregate that is glass, its particle size and bulk density are made concrete with different substitutions gravel by glass and the results are compared to diametrical tension and compression.

**Keywords:** pozzolana, Concrete with Replacement, Glass, concrete aggregate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Velocidade de desenvolvimento de resistência típicas de concretos com cimento Portland (controle) e concreto com substituição de cinza volante (pozolana). .....	18
Figura 2 – Estrutura molecular do vidro comparado com solido cristalino (BAUER).21	21
Figura 3 – Maquina de lapidar vidro - Lapidadora .....	24
Figura 4 – Reservatório de água da lapidadora .....	25
Figura 5 – Pó de vidro – composto pozolanico.....	25
Figura 6 – Caco de vidro temperado. ....	26
Figura 7 – Caco de vidro temperado – Forma de ruptura. ....	34
Figura 8 – Corpos de prova moldados. ....	35
Figura 9 – Concreto seco, retificado, com 100% do agregado graúdo de vidro. ....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do Cimento Portland .....	16
Tabela 2 – Exigências Químicas .....	18
Tabela 3 – Exigências Físicas.....	19
Tabela 4 – Composição química do vidro cal-sódico .....	21
Tabela 5 – Diferença vidro Comum x Temperado.....	22
Tabela 6 – Composição em massa .....	28
Tabela 7 – Variação do agregado graúdo .....	29
Tabela 8 – Traços % de substituição de material pozolânico.....	30
Tabela 9 – Resultado do ensaio de índice de pozolanicidade.....	30
Tabela 10 – Ensaio Diâmetro máximo característico .....	32
Tabela 11 – Ensaio Massa Específica Aparente .....	32
Tabela 12 – Resistência a compressão .....	35
Tabela 13 – Volume de vazios .....	37
Tabela 14 – Valor teórico resistência a tração .....	38
Tabela 15 – Resistência a Tração - Ensaio.....	39
Tabela 16 – Absorção de água .....	40



## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Compressão Argamassa com pozolana .....	31
Gráfico 2 - Resistencia a compressão .....	36
Gráfico 3 - Resistência a tração .....	39
Gráfico 4 - Variação de Massa .....	41

## LISTA DE SIGLAS

E	Modulo de Elasticidade
GPa	Giga Pascal
MPa	Mega Pascal
kgf/m <sup>3</sup>	Quilograma-força por metro cubico
RAA	Reação Alkali-Agregado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
4.1 CIMENTO PORTLAND .....	16
4.2 POZOLANAS .....	17
4.3 AGREGADOS E REAÇÃO ALCALI-AGREGADO.....	19
4.4 VIDRO .....	20
4.4.1 Propriedades físicas do vidro comum e do vidro temperado.....	22
4.4.2 Processo de produção do vidro temperado.....	23
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
5.1 COLETA E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS.....	24
5.1.1 Material Pozolanico .....	24
5.1.2 Sucata de vidro temperado .....	26
5.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	27
5.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO COM CIMENTO PORTLAND AOS 28 DIAS .....	27
5.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECANICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADO GRAUDO DE VIDRO TEMPERADO .....	28
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>30</b>
6.1 ENSAIO: DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO. ARGAMASSA PRODUZIDA COM ADIÇÕES DE POZOLANA. ....	30
6.2 CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE BRITA POR SUCATA DE VIDRO TEMPERADO.....	31
6.2.1 Determinação da composição granulométrica do agregado graudo .....	32
6.2.2 Determinação da massa específica aparente.....	32
6.2.3 Determinação da absorção de água e da massa específica absoluta dos agregados graúdos .....	33
6.3 RESISTENCIA A COMPRESSÃO. ....	34
6.3.1- Massa aparente no estado compactado, determinação do índice de vazios do agregado. ....	36
6.4 RESISTENCIA A TRAÇÃO – ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL .....	38
6.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	40
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
7.1 UTILIZAÇÃO DO VIDRO COMO POZOLANA .....	42
7.2 UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMO AGREGADO GRAUDO.....	42

## 1 INTRODUÇÃO

O vidro é um dos materiais de construção juntamente com o concreto, mais consumidos no mundo, só no Brasil segundo dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2008) 54% do vidro produzido, cerca de 500.000 toneladas/ano, têm destinação incorreta.

O vidro é um material 100% reciclável. A cada 01 tonelada de lixo reciclado obtém-se 01 toneladas de vidro novo e 1,2 toneladas de matéria prima deixa de ser consumida.

O resíduo de vidro é classificado como Classe II B, inerte e não perigoso. Tendo uma elevada massa específica, que encarece o transporte, inviabilizando muitas vezes a logística, no processo de reciclagem do vidro no Brasil, apenas 27,6% dos resíduos de vidro são reciclados anualmente. Anualmente um grande volume é depositado de forma incorreta e prejudicial ao meio ambiente em aterros e lixões.

As composições do vidro são variadas, pois para se obter propriedades específicas ocorrem pequenas alterações em suas composições, no entanto a sílica é comum a todos os tipos de vidro, neste trabalho será verificada a viabilidade da utilização de sucata de vidro de vidraçarias e indústrias de tempera.

Segundo a CONAMA (2007), o vidro é classificado como resíduo reciclável para outras destinações. Ele deverá ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Tendo em vista esse conceito, o vidro será aqui pesquisado de duas formas distintas, a primeira como pozolana, componente presente no cimento responsável pela sua resistência, pois nas indústrias de tempera o vidro já é lixado com água em máquinas de lapidação, é gerado um pó muito fino que se solidifica mesmo imerso em água. A segunda pesquisa avaliará a substituição de parte do agregado graúdo no caso a brita, por sucata de vidro temperado, pois este material quando rompido, gera fragmento com dimensões padrões muito parecido com a brita, como o volume de vidro temperado quebrado é grande, e na região existem diversas empresas que geram essa matéria, temperas e vidraçarias, a possibilidade de sua utilização no concreto é além de uma destinação mais nobre que lixões, uma forma de ajudar as empresas em sua economia, pois como o descarte de forma correta desse vidro é uma dificuldade para as empresas a

sua utilização na construção civil poderá ser uma fonte de renda a mais, assim como desenvolver concretos mais leves, visto que o peso específico do vidro é menor que o da brita.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica da utilização do pó de vidro gerado nas indústrias de tempera como adição pozolânica, e da sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a atividade pozolânica em concretos com adição de pó de vidro finamente moído proveniente da lapidação de vidros em indústria de tempera na região de Campo Mourão;
- Avaliar a resistência aos esforços mecânicos e a absorção de concretos produzidos com adições de agregado graúdo de vidro temperado;

### 3 JUSTIFICATIVA

O vidro é um material cem por cento reciclável, consumido em larga escala no Brasil e no mundo, hoje em dia todas as cidades enviam para lixões grande quantidade de vidro de forma errada, pois como o mesmo é um material de elevada massa específica, torna-se muito caro a logística até um local para a correta destinação. A utilização na construção civil como um agregado ao concreto é uma forma de destinação que aproveita muito das propriedades do vidro, pois um material com características pozolânica precisa necessariamente conter Sílica em grande quantidade, o vidro contém aproximadamente 70% de sílica em sua composição segundo BAUER (1994).

A produção de concreto no Brasil vem crescendo, a exploração de recursos naturais já não é uma ideia tão atrativa, pois a população está cada vez mais conscientizada dos impactos ambientais causados pela exploração desses recursos. As vantagens da utilização de resíduos em substituição as matérias primas e a obtenção de recursos não naturais na reciclagem, além de evitarem o impacto ambiental pela destinação incorreta do resíduo, diminuem a exploração de novos recursos naturais das jazidas cada vez mais escassas.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é por definição segundo Bauer (1994) “o produto obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego”. Quando misturados com água hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode oferecer elevada resistência.

Tabela 1 – Composição do Cimento Portland

<b>Nome do Composto</b>	<b>Sigla</b>	<b>Composição em Óxidos</b>	<b>Abreviação</b>
Silicato tricalcico	CaO	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato bicálcico	SiO <sub>2</sub>	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricalcico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferro aluminato tetracalcico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fonte: Adaptado de Bauer

MEHTA e NEVILLE et al. falam ainda de outros compostos secundários de menor importância, como a magnésia, uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico, óxido de sódio entre outros componentes.

A resistência mecânica dos cimentos é determinada por meio de ensaio de ruptura a compressão dos corpos de prova realizados com argamassa. A argamassa é constituída de cimento e areia normal nas proporções de 1:3 em peso. Areia normal é a areia padronizada pela NBR 7214, como “a areia natural proveniente do rio Tietê em São Paulo, lavada e peneirada com determinada composição granulométrica.” Os corpos de prova segundo a NBR 7215/96 são cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, depois de moldados devem ser conservados em câmara úmida por 24 horas e a seguir imersa em água até a data do rompimento. Para o cimento Portland a resistência mínima é de 8 MPa aos 3 dias e 25 MPa aos 28 dias.



## 4.2 POZOLANAS

A ASTM C 618-06 e a NBR 12653/92 descrevem pozolana como um material silicoso ou silico – aluminoso que, por si mesmo, possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com a cal liberada na hidratação do cimento Portland em temperatura ambiente formando compostos com propriedades cimentícias.

A NBR 12653/92 divide ainda as pozolana em grupos, sendo eles:

Pozolanas naturais: Materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter pozolânica.

Pozolanas artificiais: materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.

Argilas calcinadas: materiais provenientes de calcinação de certas argilas submetidas a temperaturas, em geral, entre 500°C e 900°C, de modo a garantir sua reatividade com hidróxido de cálcio.

Cinzas volantes: Resíduos finamente divididos que resultam da combustão de carvão mineral pulverizado ou granulado com atividade pozolânica.

NEVILLE (2010) diz que o cimento Portland pozolânico tem um ganho de resistência lento e, portanto, exige que seja curado por maior tempo, entretanto a resistência a longo prazo é alta, como mostra a figura 1

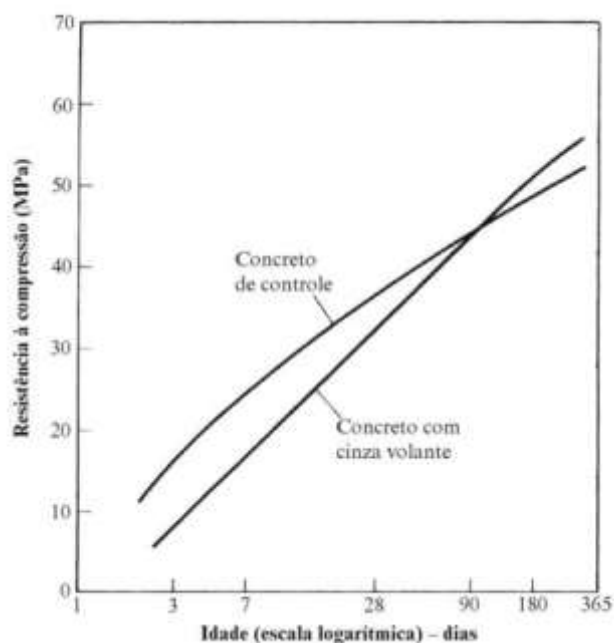
Classificação das Pozolanas segundo a NBR 12653/92

Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis nesta Norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.

Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas.

Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores.

A NBR 12653 ainda prevê condições específicas para os materiais pozolânicos:



**Figura 1 – Velocidade de desenvolvimento de resistência típicas de concretos com cimento Portland (controle) e concreto com substituição de cinza volante (pozolana). Fonte: Neville (2010)**

Exigências químicas: Os materiais pozolânicos devem estar em conformidade com as exigências químicas e físicas estabelecidas nas Tabela 2 e Tabela 3 respectivamente

**Tabela 2 – Exigências Químicas**

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % mín.	70	70	50
SO <sub>3</sub> , % máx.	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade, % máx.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0

**Fonte: NBR 12653/92**

Tabela 3 – Exigências Físicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 µm, % máx.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica:			
- com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
- com o cal aos 7 dias, em MPa	6,0	6,0	6,0
- água requerida, % máx.	115	110	110

Fonte: NBR 12653/92

#### 4.3 AGREGADOS E REAÇÃO ALCALI-AGREGADO

É o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, inerte. Classifica-se segundo a origem, natural ou artificial, segundo as dimensões, gráudo ou miúdo, e segundo o peso específico aparente, leves, médios e pesados. De acordo com METHA (2008), sabe-se que as propriedades de agregado têm significativa influência sobre a durabilidade e o desempenho do concreto.

Segundo NEVILLE (2010), pelo menos três quartos do concreto devem ser de agregados por razões econômicas, antigamente os agregados eram tidos como materiais inertes, no entanto hoje em dia sabe-se que compostos do agregado podem reagir com a pasta de cimento causando a chamada reação álcali-agregado (RAA).

TIECHER, Franciele argumenta que “A reação álcali-agregado (RAA) é a reação química entre os hidróxidos alcalinos (provenientes dos cimentos, da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros) e alguns tipos de minerais presentes nos agregados, a RAA subdivide-se em reação álcali – sílica, álcali – silicato, e álcali – carbonato. O produto da reação leva ao aparecimento de um gel capaz de expandir em contato com a água. Essa expansão leva ao aparecimento de fissuração mapeada e algumas vezes ao deslocamento de peças estruturais. ”

A ABNT NBR 7211/05 classifica os agregados como gráudo e miúdo, vale ressaltar que a norma se aplica a agregados de forma natural, sendo:

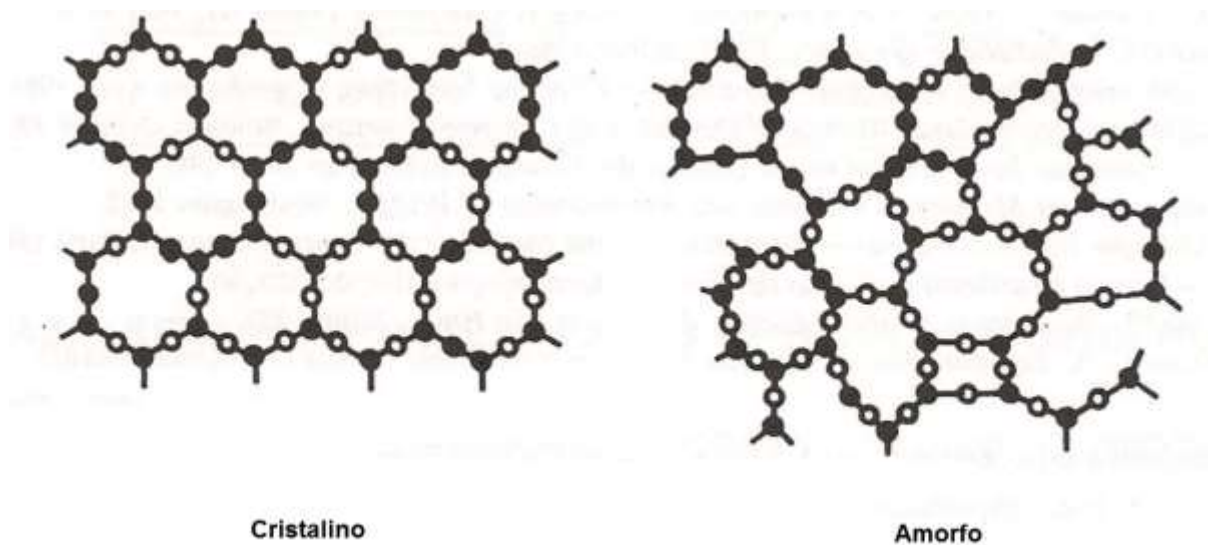
Agregado Miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidas na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ .

Agregado Graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidas na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Segundo Beltrão, Zenaide et al “na obtenção de concretos com especificações de qualidade mais rigorosas são utilizados pelo menos agregados com duas graduações, graúdo e miúdo.”

#### 4.4 VIDRO

Não se sabe exatamente onde e quando surgiu o vidro, acredita-se que o primeiro vidro produzido pelo homem veio da Síria a aproximadamente 3000 a. c, no tempo do imperador Tibério um artesão apresentou-lhe um vaso que aparentemente não se quebrava mesmo o inventor tendo deixado o vaso cair sem querer durante a demonstração, no entanto por razões desconhecidas o imperador mandou matar o inventor e o segredo de tal vidro se perdeu até poucos anos atrás, as primeiras janelas surgiram no primeiro ou segundo século da era cristã. No século XX, as pesquisas das propriedades físicas e químicas possibilitaram novos tipos de vidros, os temperados, laminados, as fibras de vidro, as fibras óticas e os vidros cerâmicos. O que dá aos vidros qualidades singulares é a sua estrutura atômica. Nem um líquido e nem verdadeiramente um sólido cristalino, está mais para um líquido super-resfriado. À primeira vista parece um sólido, no entanto se vistoriada sua estrutura interna com raios X, não se encontra o ordenado regular dos sólidos, a estrutura é mais parecida com o arranjo aleatório de um líquido, no entanto, um líquido resfriado abaixo do seu ponto de congelamento.



**Figura 2 – Estrutura molecular do vidro comparado com sólido cristalino (BAUER)**  
**Fonte: BAUER, Materiais de Construção Civil (1994)**

BAUER cita os principais compostos do vidro cal-sódico (soda-cal) que é o tipo mais comercializado.

**Tabela 4 – Composição química do vidro cal-sódico**

Composto	% presente
SiO <sub>2</sub>	70 %
Na <sub>2</sub> O	15%
CaO	10%
Outros óxidos	5%

**Fonte: Bauer (1994) adaptado**

#### 4.4.1 Propriedades físicas do vidro comum e do vidro temperado.

Tabela 5 – Diferença vidro Comum x Temperado

	Vidro Comum	Vidro Temperado
Módulo de elasticidade	75.000 ± 5.000 Mpa	75.000 ± 5.000 Mpa
Tensão de Ruptura a flexão	40 ± 5 Mpa	180 ± 20 Mpa
Tensão admissível a flexão:	13 ± 2 Mpa	60 ± 4 Mpa
Coeficiente de Poisson	0,22	0,22
Peso específico	2500 kgf/m <sup>3</sup>	2500 kgf/m <sup>3</sup>

Fonte: Bauer (1994) adaptado

O vidro temperado tem esse nome por analogia ao aço temperado, pois ambos têm sua resistência aumentada quando temperados, apesar de o mecanismo de tempera ser completamente diferente, funcionando no vidro como tensões internas que comprimem a parte externa. O vidro temperado tem grande resistência a compressão e pouca resistência a tração por ser um material frágil, de ruptura brusca. Devido a essas tensões induzidas no vidro temperado, quando este se rompe em qualquer ponto, toda a chapa se quebra em pequenos fragmentos sem arestas cortantes e menos suscetíveis de causar ferimentos. BAUER.

Segundo BAUER (1994) os vidros de segurança temperados são especialmente indicados onde o projeto especifique vidros em locais sujeitos a impactos, choques térmicos ou utilização sob condições adversas, que requeiram resistência mecânica. Assim além da construção civil encontramos vidros temperados em automóveis, construções navais, fogões, móveis etc.

#### **4.4.2 Processo de produção do vidro temperado**

O vidro temperado é produzido a partir do vidro comum. O vidro comum chega nas indústrias de tempera em placas com dimensões variadas, sendo a menor delas de 2,20m (dois metros e vinte centímetros) de altura por 3,21m (três metros e vinte e um centímetros) de largura.

Chegando a matéria prima nas indústrias, ou seja, o vidro comum se dá início ao processo de produção das peças temperadas, essas são feitas sob medida, medidas essas que são passadas a indústria pelos vidraceiros.

No processo de produção o vidro passa por várias etapas sendo elas: corte, lapidação, marcação, furação e finalmente a têmpera.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 COLETA E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

#### 5.1.1 Material Pozolanico

Os materiais utilizados foram coletados em uma indústria de tempera, localizada na cidade de Campo Mourão – Paraná, no parque industrial da cidade, saída para Goioerê.

O material pozolanico, pó de vidro, foi coletado de uma máquina de lapidação de vidro (figura 3), esta máquina trabalha com água na qual os discos, rebolos, fazem o desgaste e polimento do vidro, esse pó gerado é muito fino e se solidifica no fundo da caixa, gerando um composto branco e muito duro.



**Figura 3 – Máquina de lapidar vidro - Lapidadora**

**Fonte: O Autor**

A Figura 4 mostra o reservatório de água onde o pó de vidro é armazenado, e retirado uma ou mais vezes por semana.





**Figura 4 – Reservatório de água da lapidadora**

**Fonte: O Autor**

O composto de pó de vidro gerado é retirado manualmente da caixa, e gera o resíduo com propriedades pozolânicas, esse resíduo tem formato de placas, tem uma dureza alta e precisou ser processado de forma manual para obter o módulo de finura teórico das pozolanas. A figura 5 mostra o composto quando retirado da máquina.



**Figura 5 – Pó de vidro – composto pozolânico.**

**Fonte: O Autor**

Esse material é gerado do pó, quando o vidro é desgastado pela máquina, do vidro dito comum, ou seja, sem tempera. As indústrias e vidraçarias geram um volume alto de sucatas de vidro, pois no processo de cortar o vidro das chapas, gera-se um grande volume de sobras, com tamanhos não comerciais.

O pó de vidro foi deixado secar e moído de forma manual, o material usado na pesquisa foi o passante na peneira de malha #200.

### 5.1.2 Sucata de vidro temperado

A sucata de vidro temperado foi obtida na mesma indústria, por se tratar de uma tempera, indústria que faz o processo de tempera no vidro, é gerado um alto volume de cacos de vidro, provenientes de quebras durante o processo de fabricação, essas quebras são por diversos motivos, tais como, falhas no processo de confecção das peças e falhas no próprio vidro como, por exemplo, bolhas de ar presente dentro do mesmo. A sucata de vidro temperado, no entanto pode ser obtido em diversas empresas do ramo de vidro, as mais comuns são as vidraçarias.

A sucata de vidro temperado tem em geral a mesma granulometria, pelo formato como o vidro rompe e pelo fato de geralmente nas indústrias o vidro ter a mesma espessura, os vidros com mais saída é em geral o vidro 8mm e o vidro 10 mm, apesar de algumas vezes ter saída de vidros 6 mm.

A figura 6 mostra o caco de vidro temperado usado na pesquisa, foi usado somente cacos de vidro 8 mm e 10 mm misturados.



**Figura 6 – Caco de vidro temperado.**  
Fonte: O Autor

## 5.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental compreende primeiramente um ensaio de peneiramento do pó de vidro proveniente de lapidação, o pó de vidro será proveniente de uma empresa de Campo Mourão, que trabalha com a tempera de vidros, no processo ocorre a lapidação, técnica na qual se dá polimento nas bordas do vidro, por meio de máquinas lapidadoras, por se tratar de um processo rotineiro não há separação da cor de vidro para se lapidar então o pó terá vários tipos de vidros, entre eles podemos citar o incolor, o verde, o fume e os vidros fantasia pontilhado, astral e quadrato. É provável moagem para obtenção da granulometria prevista na norma.

Para a substituição da sucata de vidro temperado como brita no concreto, será realizado ensaio para obtenção da granulometria do agregado.

## 5.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO COM CIMENTO PORTLAND AOS 28 DIAS

Foi utilizado o cimento CP II-F-32 como recomenda a ABNT NBR 5752/2014 - Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho aos 28 dias, e apresenta resistência a compressão aos sete dias de 32 MPa, com variação de 3 MPa.

A areia utilizada foi a areia normal do IPT conforme a ABNT NBR 7214.

O material pozolânico ensaiado, no caso o pó de vidro, foi coletado e ensaiado nas condições de uso, exceto secagem em estufa que foi feita a temperatura de 105 °C, por 24h.

Foram moldados corpos de provas com 2 traços segundo a tabela 5.

O traço A foi realizado com Cimento CP II –F-32, areia normal e água.

No traço B foi adicionado 25% em massa de material pozolânico, em substituição a igual porcentagem de cimento CP II-F-32, areia normal e água.

Para cada traço foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos de (50 x 100) mm, conforme preconiza a NBR 7215

Tabela 6 – Composição em massa

Material	Massa (g)	
	Traço A	Traço B
Cimento CP II-F-32	624	468
Material pozolânico	-----	156
Areia Normal	1872	1872
Água	300	300

Fonte: ABNT NBR 5752/14

Os corpos de prova devem ser moldados segundo a NBR 7215, assim como a cura e a determinação da carga de ruptura á compressão. Os resultados, resistência a compressão individual, á media da resistência a compressão dos corpos de prova cilíndricos e o desvio padrão máximo devem estar de acordo com a NBR 7215. Os corpos de provas devem ser rompidos aos 28 dias.

A determinação do índice de desempenho aos 28 dias deve ser calculada pela equação a seguir:

$$I_{\text{cimento}} = (f_{cB}/f_{cA}) * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$I_{\text{cimento}}$  é o índice de desempenho expresso em %

$f_{cB}$  é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com adição de 25% de pozolana e expressa em MPa

$f_{cA}$  é a resistência media do traço de referência expresso em Mpa

#### 5.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECANICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADO GRAUDO DE VIDRO TEMPERADO

Devem ser moldados corpos de provas de acordo com a ABNT NBR 5738/03 para a determinação da resistência a compressão de concretos com substituição de vidro temperado como agregado graúdo.

A tabela 6 apresenta as substituições do agregado graúdo nos traços de concreto dos corpos de prova.

Tabela 7 – Variação do agregado graúdo

Traço	Vidro (%)	Brita (%)
C	0	100
D	10	90
E	20	80
F	30	70

**Fonte: Autoria própria**

O traço C será denominado traço de referência, pois representa o modo tradicional.

Os corpos de provas foram moldados com cimento Portland CP II – F-32, para cada traço.

A resistência a tração dos concretos será verificada conforme a NBR 7222/1994 pelo ensaio de compressão diametral de corpos de provas cilíndricos, conhecido como o Ensaio Brasileiro, pelo fato de ter sido proposto pelo professor Fernando Luiz Lobo Carneiro. No ensaio os corpos de provas serão moldados conforme a NBR 7215.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 ENSAIO: DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO. ARGAMASSA PRODUZIDA COM ADIÇÕES DE POZOLANA.

O experimento a seguir descrito, foi realizado conforme a NBR 5752/2014, apesar da mesma recomendar a substituição de 25% do cimento pelo material pozolânico, foram realizados ensaios com várias substituições, conforme tabela a seguir.

Tabela 8 – Traços % de substituição de material pozolanico

Material	Massa					
	Traço 0%	Traço 5%	Traço 10%	Traço 15%	Traço 20%	Traço 25%
Cimento CP II E (g)	624	592,8	561,6	530,4	499,2	468
Material Pozolanico (g)	0	31,2	62,4	93,6	124,8	156
Areia Normal (g)	1872	1872	1872	1872	1872	1872
Água (g)	300	300	300	300	300	300

Fonte: Autor

Abaixo segue tabela com os resultados.

Tabela 9 – Resultado do ensaio de índice de pozolanicidade

Traço	Média	% Variação
0	31,43	0%
5	29,13	-7%
10	28,48	-9%
15	27,17	-14%
20	24,55	-22%
25	24,82	-21%

Fonte: Autor

A coluna % Variação, mostra a diferença com relação ao traço de referência, ou seja, o traço com 0% de substituição. O traço de referência deveria apresentar resultado de 32 MPa, aos 28 dias, conforme diz o fabricante, a pequena variação está dentro da margem de erro aceitável no ensaio que é 3 MPa para mais ou menos.

Percebe-se que a substituição de pozolana ao cimento, em qualquer porcentagem, reduz a resistência do mesmo, esse resultado provavelmente se deve ao fato de se retirar o cimento que tem outros óxidos em sua composição além da pozolana,

O índice de desempenho, é então calculado pela equação 1, somente para a substituição de 25% e tem-se:

$$I_{\text{cimento}} = (f_{cB}/f_{cA}) * 100 = (24,81633/31,42952) * 100 = 78,95\%$$

Logo o experimento está de acordo com a NBR 12653/92

O gráfico 1 demonstra o resultado do experimento de forma mais clara.

Gráfico 1 – Compressão Argamassa com pozolana.



Fonte: Autor

## 6.2 CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE BRITA POR SUCATA DE VIDRO TEMPERADO.

Para este ensaio, realizaram-se vários ensaios com o material a ser substituído, a sucata de vidro temperado.

Como já dito anteriormente, a sucata de vidro temperado tem dimensões parecidas com a brita, devido a forma como o mesmo rompe, quando submetido a

esforços excessivos, como, por exemplo, um impacto acidental ou algum defeito na hora de fabricação do mesmo.

### 6.2.1 Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo

Foram feitos dois ensaios, para diminuir o erro, conforme NBR 7217, a tabela 9, mostra a média dos resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 10 – Ensaio Diâmetro máximo característico

#	Ensaio 1		
	Peso Retido (em gramas)	% Retida	% Retida Acumulada
19	0	0,0%	0,0%
12,5	316	31,6%	31,6%
9,5	386	38,6%	70,2%
6,3	288	28,8%	99,0%
4,8	8	0,8%	99,8%
Fundo	2	0,2%	100,0%
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>100,0%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor

Logo a sucata de vidro temperado deve ser considerada como brita 0 ou pedrisco, segundo a NBR 7217.

### 6.2.2 Determinação da massa específica aparente

Dimensões do recipiente conforme a tabela 10

Tabela 11 – Ensaio Massa Específica Aparente

Dimensões Recipiente			
Altura (cm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )
15	31,8	31,8	15168,6

Fonte: Autor

O ensaio foi feito 3 vezes conforme recomenda a norma, os resultados foram:  
M1: 21.800 gramas



M2: 22.450 gramas

M3: 22.250 gramas

A média dos três ensaios é:

Ma = 22.116 gramas

A massa específica aparente é o resultado da divisão da massa pelo volume, obtendo-se:

$$Y_{\text{aparente}} = 1,46 \text{ g / cm}^3$$

### **6.2.3 Determinação da absorção de água e da massa específica absoluta dos agregados graúdos**

Fazendo uma média entre o resultado dos ensaios, obtemos os valores a seguir:

$$Y_{\text{seco}} = 2,33 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{\text{sss}} = 2,33 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorção} = 0,21 \%$$

O valor de absorção aparece muito pequeno, apesar de o vidro ser aparentemente liso, ele possui microfissuras que podem absorver água por capilaridade, o caco de vidro também não está completamente solto, quando o vidro temperado se rompe os cacos não se separam, eles ficam ligados, apesar de não existir nenhuma força na ligação entre eles. Isso por ser observado na imagem a seguir.



**Figura 7 – Caco de vidro temperado – Forma de ruptura.  
Fonte: O Autor**

O caco de vidro temperado apresenta nesse ensaio uma vantagem sobre a brita comum, que tem seu valor de peso específico real em torno de  $2,98 \text{ g/cm}^3$ , isso mostra uma diferença de 21,81 % na massa desses agregados. Portanto uma estrutura utilizando como agregado graúdo o caco de vidro teria seu peso próprio reduzido.

### 6.3 RESISTENCIA A COMPRESSÃO.

A moldagem dos corpos de prova foi conforme a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de provas.

A figura 8 mostra os corpos de prova moldados.



**Figura 8 – Corpos de prova moldados.**

Fonte: O Autor

Os corpos de prova foram moldados com o traço em volume 1:2:3, e a substituição ocorreu pela retirada em volume de brita e adicionado o mesmo volume de sucata de vidro. A resistência obtida pode ser verificada a seguir. A relação água cimento foi de 0,5.

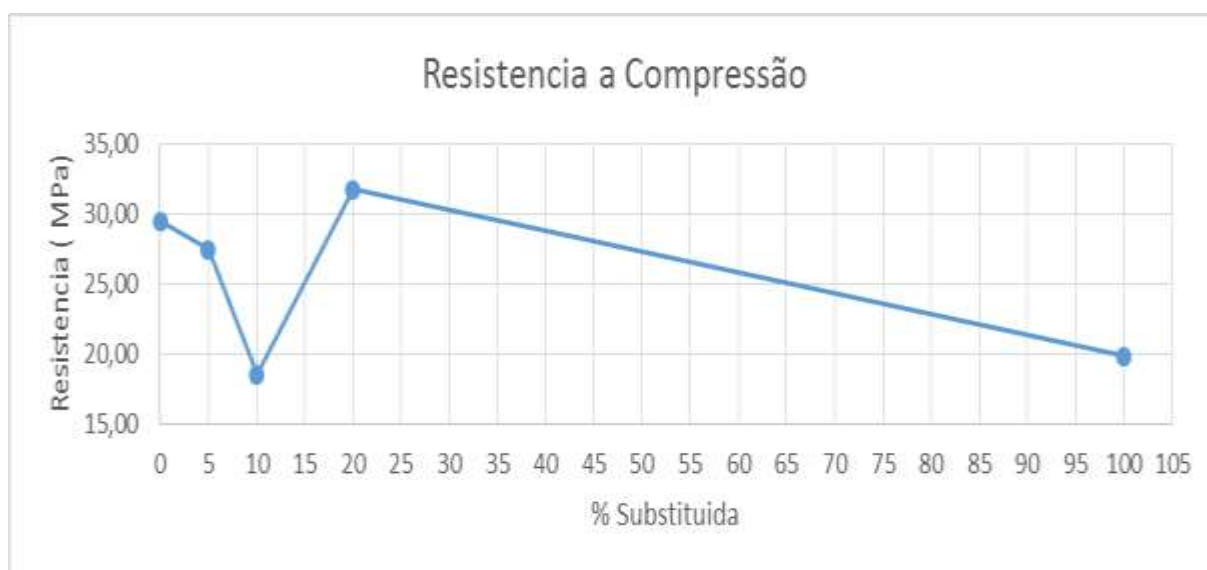
Tabela 12 – Resistencia a compressão

Traço	Volume Brita (L)	Volume Vidro (L)	Abatimento (cm)	Resistencia Média (Mpa)	%
0	18	0	3	29,48	0,0%
5	17	1	5	27,42	-7,0%
10	16	2	7	18,50	- 37,2%
20	14,5	3,5	2	31,76	7,7%
100	0	18	0	19,81	-32,8%

Fonte: Autor

O gráfico a seguir demonstra o resultado do experimento de forma mais clara.

Gráfico 2 – Resistencia a compressão



Fonte: Autor

### 6.3.1- Massa aparente no estado compactado, determinação do índice de vazios do agregado.

Nesse ensaio, pela determinação da massa específica pode-se obter o volume de vazios, dividindo a massa específica aparente pela real. De forma análoga, podemos fazer isso para mistura de agregados, multiplicando a proporção de cada material por suas respectivas massas aparentes e reais. Obtendo a tabela 12 seguir:

Tabela 13 – Volume de vazios

Agregado 1 (Brita)	Agregado 2 (Vidro)	Massa (Kg)	Y ap = M / V Kg / (dm <sup>3</sup> )	Vv	% Substituida
0	10	7,780	1,468	37,01%	100,00%
10	0	8,706	1,642	44,89%	0,00%
10	1	8,720	1,645	43,40%	9,09%
10	2	8,721	1,645	42,23%	16,67%
10	3	8,850	1,669	40,37%	23,08%
10	4	8,791	1,658	39,91%	28,57%
10	5	8,870	1,673	38,63%	33,33%
10	6	8,995	1,697	37,10%	37,50%
10	7	8,799	1,660	37,90%	41,18%
10	8	8,867	1,673	36,91%	44,44%
10	9	8,980	1,694	35,64%	47,37%
10	10	8,920	1,683	35,66%	50,00%

Fonte: Autor

Nota-se que o agregado somente de vidro tem um baixo índice de vazios e somente a brita tem-se o maior índice de vazio, e que conforme se adiciona proporções de vidro na mistura de agregados o volume de vazios tende a diminuir, na proporção de 50% ou seja, metade vidro metade brita, obtém-se o menor volume de vazios.

Quanto menor forem as dimensões de uma partícula, melhor será a acomodação das mesmas em uma mistura e mais partículas serão necessária para preencher um mesmo espaço, e dessa forma maior a superfície de contato.

O vidro provavelmente segue o mesmo princípio do concreto, na hora da concretagem um filme de água se formar em torno de cada partícula de agregado, dessa forma quanto menor seu volume de vazios, mais agregados estarão presentes na mistura e maior será o consumo de água.

Com relação a resistência podemos perceber uma variação não linear na resistência, e até mesmo um acréscimo de resistência na substituição de 20 %, isso provavelmente pois nessa proporção já se estaria obtendo um menor índice de

vazios. Nas proporções de 5 % e 10 % a resistência diminuiu isso pode ser atribuído ao fato que provavelmente as partículas não estariam bem alocadas.

No traço de 100% que deveria apresentar maior resistência devido ao fato do vidro ser um material de elevada resistência e o volume de vazios ser pequeno, isso não ocorreu pois, o vidro é um material extremamente liso, diferente da brita que é um material rugoso, logo o corpo de prova rompeu por deslizamento do agregado, ou seja, o material não se ligou a pasta de cimento de forma satisfatória.

#### 6.4 RESISTENCIA A TRAÇÃO – ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL

Apesar de na maioria das vezes a resistência a tração do concreto seja desconsiderada para o dimensionamento de estruturas em concreto armado, existe o valor de cálculo teórico para a tração do concreto, esse sempre em torno de 10% da resistência a compressão, dessa forma obtemos a tabela abaixo:

Tabela 14 – Valor teórico resistência a tração

Traço	Rest. Compressão (Mpa)	Rest. Tração (Mpa)
0	29,48	2,95
5	27,42	2,74
10	18,50	1,85
20	31,76	3,18
100	19,81	1,98

Fonte: Autor

Foi realizado para fins de comparação o ensaio de tração diametral, também conhecido por ser o ensaio criado por um brasileiro.

Obtemos os valores a seguir, mostrados na tabela 14:

Tabela 15 – Resistência a Tração - Ensaio

Traço	Rest. Tração (Mpa)	Varição em relação ao valor Teórico
0	2,65	- 10,16 %
5	2,79	1,82 %
10	2,63	42,16 %
20	2,37	- 25,47 %
100	1,09	-44,95 %

Fonte: Autor

Nesse ensaio, nota-se que ocorre o inverso da resistência a compressão, ou seja, em vez da resistência a tração diminuir nos traços de 5% e 10%, que foi o que ocorreu com a compressão, ela aumenta.

O gráfico abaixo mostra os resultados do ensaio de forma mais clara, e nota-se que ocorre o oposto do gráfico da compressão.

Gráfico 3 – Resistencia a tração



Fonte: Autor

## 6.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Ensaio realizado para determinar o índice de absorção de água dos corpos de prova. Também foi avaliada a diferença de peso entre os corpos de provas com diferentes proporções de substituição de agregado graúdo.

Tabela 16 – Absorção de água

Traço	Média Massa Seca (g)	Água Absorvida (g)	Varição água absorvida (%)	Diferença de peso (%)
0	3909,00	171,50		
5	3863,50	182,00	6,12 %	1,16 %
10	3823,50	191,50	11,66 %	2,18 %
20	3803,00	170,00	- 0,87 %	2,71 %
100	3542,00	147,00	- 17,78 %	9,38 %

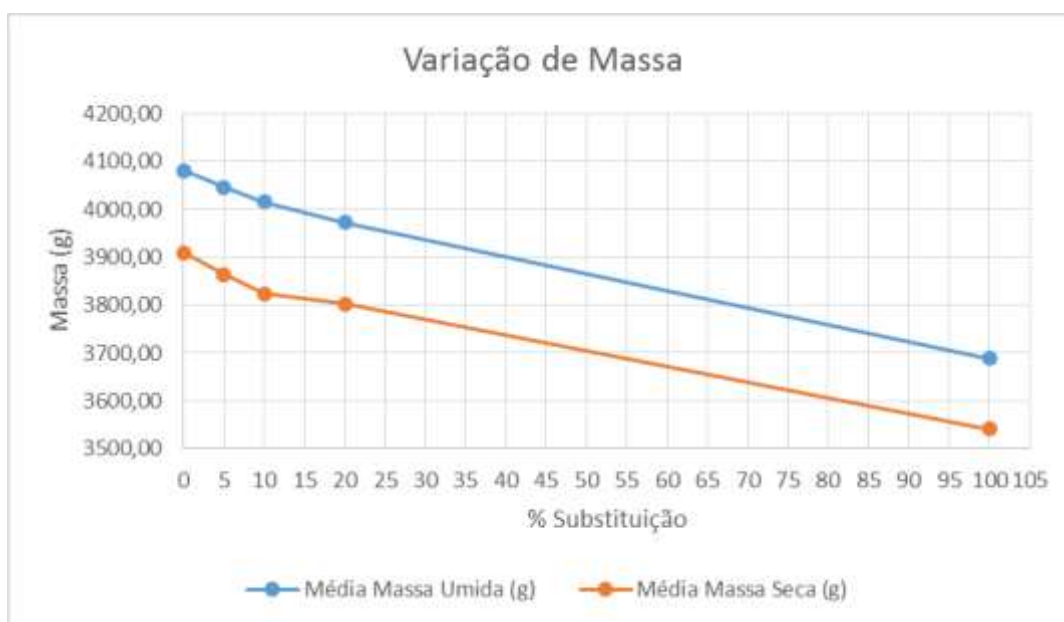
Fonte: Autor

Uma primeira análise é com relação a diferença de peso dos traços com relação a eles mesmos. Os traços de 5% e 10% que absorveram uma quantidade maior de água que o traço de referência. Com 20% obtemos aproximadamente a mesma absorção que o traço de referência. O traço com 100% de substituição, no entanto obtém uma absorção inferior, chegando a 17,78%. Essa diferença se dá provavelmente pela mesma teoria já descrita acima dos volumes de vazios. O corpo de prova com 100% tem um menor índice de vazios e conseqüentemente a força capilar que tende a absorver a água é menor.

Uma outra análise é com relação a diferença de peso entre as massas secas. Em todos os corpos de provas com adição de sucata de vidro como agregado graúdo, mesmo os que obtêm maior absorção, tem com relação ao traço de referência uma massa menor. Chegando no traço com 100% uma diferença de 9,38%, ou seja, apesar de absorver mais água em alguns traços, tem uma densidade menor. Notamos no gráfico 4 a variação da massa em relação ao seu peso seco e ao seu peso úmido.



Gráfico 4 – Variação de Massa



Fonte: O Autor

## 7 CONCLUSÃO

### 7.1 UTILIZAÇÃO DO VIDRO COMO POZOLANA

O vidro finamente moído utilizado como pozolana, teve uma perda de resistência, pois somente a substituição do cimento, retira outros óxidos presente no cimento que influem na resistência final da argamassa produzida.

Pode-se concluir que a substituição do material pozolanico de vidro não melhora a resistência a compressão, no entanto, a argamassa de cimento ainda apresentou resistência próxima a 25 MPa, e satisfaz a exigência quando ao índice de pozolanicidade da NBR 12653/92, tem-se de avaliar a viabilidade econômica dessa substituição e a reação álcali-agradado que surge da mesma.

Vale ressaltar que o material pozolanico utilizado nessa pesquisa não continha somente vidro como é a hipótese da pesquisa, pois o pó de vidro produzido pela lapidadora tem também as substancias dos rebolos de desgaste e polimento, apesar da proporção desses materiais serem pequenas.

Sugere-se então que novas pesquisas, como por exemplo, a avaliação da reação álcali-agregado, e a avaliação da viabilidade econômica tendo em vista que será necessário processo mecânico para obtenção da finura necessária do material pozolanico, ou seja, pesquisas que deem continuidade a essa de forma a obter-se mais dados para que conclusões mais precisas possam ser obtidas.

No entanto fica claro que para obras nas quais as características mecânicas não sejam preponderantes esse material pode ser empregado pois a resistência da argamassa em torno dos 20 MPa é algo a se considerar, principalmente em obras que desejem obter certificações como o selo verde, pois o uso de materiais reciclados é algo que ajuda na obtenção de tais certificações.

### 7.2 UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMO AGREGADO GRAUDO.

Os concretos produzidos com agregados graúdos de vidro obtiveram resultados positivos, apesar de seu uso ainda não poder ser recomendado para fins estruturais mesmo com as resistências obtidas serem altas e em alguns casos superiores ao traço de referência.

Apesar de aparentes vantagens técnicas e econômicas, esse é o primeiro, ou um dos primeiros, trabalhos no qual a brita é substituída por sucatas de vidro, tendo em vista que nenhum outro foi encontrado nas referências, somente sendo encontradas pesquisas na qual o vidro é usado como pozolana.

Vantagens encontradas na presente pesquisa:

Aumento da resistência na substituição de 20% do volume de brita por vidro

Menor densidade do concreto produzido com substituição da brita por sucata de vidro, em todas as porcentagens da substituição.

Diminuição do volume de vazios dos concretos produzidos.

Diminuição da absorção de água nos concretos produzidos com 20% e 100% de substituição brita por sucata de vidro.

Tendo todas essas vantagens técnicas na produção de concretos com substituição de vidros espera-se que novas pesquisas possam trazer mais dados e parâmetros para que sejam confirmadas as vantagens acima descritas e logo possam estar sendo produzidos concretos com agregados graúdos de vidro.

No entanto existe mais uma vantagem ainda não descrita no trabalho, o concreto produzido somente com sucatas de vidro, obteve uma aparência muito diferenciada, sendo que se o mesmo for polido provavelmente se terá um uso mais arquitetônico para o mesmo. A figura 9 mostra esse aspecto.



**Figura 9 – Concreto seco, retificado, com 100% do agregado graúdo de vidro.**

**Fonte: O Autor**

Nesse aspecto, o uso do concreto com agregado graúdo de sucata de vidro temperado provavelmente já pode ser indicado para fins não estruturais, os concretos produzidos com 20% de sucata de vidro substituindo a britas, por sua resistência e diminuição da densidade e o com 100% de substituição, pois apesar de não ser a melhor porcentagem de substituição, ainda assim, apresentou resistência próxima de 20 MPa, e sua indicação é para uso arquitetônico, tendo em vista o aspecto diferente do concreto convencional.

O uso se desse material se daria também na produção de pavers ou calçadas, pois seria fácil dosar um concreto no qual as resistências necessárias sejam atendidas, além do fato de se estar usando um material reciclado, evitando a degradação do meio ambiente, por meio da exploração de recursos naturais, e sendo também um fator que influenciaria na obtenção de certificações ambientais, como o selo verde, que é sempre procurado pelas empresas pois aumenta o valor dos imóveis construídos.

Os valores obtidos nos ensaios de tração mostram uma melhora significativa da resistência a tração, mostrando que em dimensionamentos de estruturas de concretos, onde a resistência a tração do mesmo é levada em consideração o material provavelmente ajudaria de forma significativa pois o ganho de resistência foi de 42% no traço com 10% de substituição.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752:2014: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2003: Moldagem e cura de cura de corpos de provas prismáticos.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:2008: Concreto – Determinação do modulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:1996: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214:1982: Areia para ensaio de cimento.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653:1992: Materiais pozolânicos.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:1994: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1982

CEMPRE. Compromisso Empresarial Para Reciclagem. Disponível em:<  
<http://www.cempre.org.br/>> Acesso em: 18 out. 2015.

BAUER, Falcão Luiz Alfredo. **Materiais de Construção 2: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos. S.A, 1994.

NEVILLE A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. São Paulo: bookman, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

CARVALHO, João Ribeiro de. **Concreto produzido com parte de resíduo de vidro na ilha de Fernando de Noronha-PE**. 2011. 12 f. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2011, IBRACON 2011, Florianópolis -SC, 2011.

BELTRÃO, Felipe Costa Moda; ZENAIDE, Jheyson Carlos. **A influencia do metacaulim nas propriedades do concreto**. 2010. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade da Amazônia, Manaus, 2010.

FÁVERO, Rafael burin. **Avaliação da utilização de sucata de vidro como adição mineral frente à sílica ativa e como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento**. 209. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos** - Curitiba: UTFPR, 2008.