

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
KELLY KRAMPE PERES
MARIANA PASQUALOTTO

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO COMO AGREGADO
GRAÚDO EM CONCRETOS

CASCATEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

KELLY KRAMPE PERES

MARIANA PASQUALOTTO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO COMO AGREGADO
GRAÚDO EM CONCRETOS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professora Orientadora: Mestre Engenheira Civil
Maria Vania Nogueira do Nascimento Peres.**

CASCADEL - PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

**KELLY KRAMPE PERES
MARIANA PASQUALOTTO**

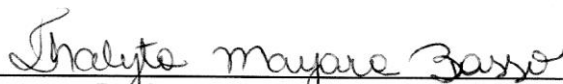
**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO COMO AGREGADO
GRAÚDO EM CONCRETOS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora Mestre Engenheira Civil Maria Vânia Nogueira do nascimento Peres

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professora Mestre Thalyta Mayara Basso
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professor Mestre Rodrigo Techio Bressan
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil

Cascavel, 18 de Junho de 2018.

DEDICATÓRIA

Aos nossos queridos pais Lucindo Peres e Malia Krampe Peres, Gelmir Pasqualotto e Elaine Pasqualotto por todo esforço prestado durante todos esses momentos de nossa caminhada, a Deus por estar sempre ao nosso lado, iluminando, proporcionando-nos força e coragem, pois sem ele nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, por guiar e iluminar nossos caminhos em todos os momentos.

Agradecemos às nossas famílias pelo apoio prestado e pelas palavras de amor e carinho que nos deram forças para chegar até aqui, pelo incentivo e pelos conselhos que vamos levar para a vida toda.

E em especial, agradecer a nossa orientadora professora, mestre, engenheira civil, Maria Vania Nogueira do Nascimento Peres pelo conhecimento transmitido e pelo papel fundamental na realização desse trabalho.

Ao Antonio Luiz da Silva e Henrique Liotto Zanatta por sempre estarem à disposição para nos ajudar no que era preciso.

À Vidraçaria Donatti pela disponibilização do material doado para a pesquisa.

Por fim o nosso muito obrigado a todos os professores que passaram pela nossa formação e que foram os grandes responsáveis pelo nosso conhecimento.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vende obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José Alencar

RESUMO

O vidro é um dos materiais mais utilizados, seu resíduo tem classificação Classe II B, visto que a massa específica do vidro é alta, encarece o seu transporte. No Brasil, a maioria dos resíduos de vidro estão sendo descartados incorretamente, acarretando prejuízos ao meio ambiente. A presente pesquisa explora o resíduo de vidro temperado como agregado graúdo em concretos, analisando a viabilidade de sua utilização em comparação aos concretos convencionais. Inicialmente foram realizados a caracterização dos insumos (areia, brita, vidro), obtendo suas massas específicas, composições granulométricas, absorções de água e teores de umidade. Os ensaios realizados nos concretos foram: Slump Test, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e absorção de água. Utilizando as porcentagens de substituição de 50% e 100% de resíduo de vidro temperado. Ao analisar os resultados, observou-se que no Slump Test não houveram diferenças significativas dos concretos com vidro em comparação aos convencionais. Posto que, os valores de resistência dos concretos com vidro apresentaram uma queda significativa em relação aos concretos convencionais. Obtendo média de 21,1MPa para os concretos convencionais, 15,2MPa para os concretos com 50% substituição de resíduo de vidro e 11,1MPa para os concretos com 100% de substituição de resíduo de vidro. Os resultados dos módulos de elasticidades também apresentaram uma ligeira queda dos concretos com vidro em relação aos concretos convencionais. Alcançando média de 53,70GPa para os concretos convencionais, 41,85GPa para os concretos com 50% de substituição de resíduo de vidro e 37,56GPa para os concretos com 100% de substituição de resíduo de vidro. No que se refere à absorção de água, os concretos com vidro apresentaram maior permeabilidade em comparação com os concretos convencionais. Dessa forma, a presente pesquisa relata que concretos com resíduo de vidro temperado não podem ser utilizados como concreto estrutural, porém, os concretos com resíduos de vidro temperado apresentaram uma aparência diferenciada, possibilitando a sua utilização para fins arquitetônicos.

Palavras-chave: vidro temperado; concreto; resistência à compressão; resíduo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes do Vidro	24
Figura 2: Série de peneiras	30
Figura 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	30
Figura 4: Abatimento do tronco de cone.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais.....	21
Tabela 2: Classes de consistência.....	21
Tabela 3: Resultado ensaio granulometria agregado miúdo	31
Tabela 4: Dados para cálculo de Massa Específica do Agregado Miúdo.	34
Tabela 5: Resultado Massa Específica do Agregado Miúdo.....	34
Tabela 6: Dados para o cálculo de Absorção de Água do Agregado Miúdo.	35
Tabela 7: Resultado Absorção de Água do Agregado Miúdo.....	36
Tabela 8: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Agregado Miúdo.....	37
Tabela 9: Resultado Teor de Umidade do Agregado Miúdo.....	37
Tabela 10: Valores granulometria do agregado graúdo.....	39
Tabela 11: Dados para cálculo de Massa Específica do Agregado Graúdo.	41
Tabela 12: Resultado Massa Específica do Agregado Graúdo.	41
Tabela 13: Dados para cálculo de Absorção de Água do Agregado Graúdo.	41
Tabela 14: Resultado Absorção de Água do Agregado Graúdo.....	42
Tabela 15: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Agregado Graúdo.....	43
Tabela 16: Resultado Teor de Umidade do Agregado Graúdo.	43
Tabela 17: Valores da granulometria do resíduo de vidro temperado.....	45
Tabela 18: Dados para o cálculo da Massa Específica do Vidro.....	47
Tabela 19: Resultados Massa Específica do Vidro	47
Tabela 20: Dados para cálculo Absorção de Água do Vidro	47
Tabela 21: Resultado Absorção de Água do Vidro	48
Tabela 22: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Vidro	49
Tabela 23: Resultado do Teor de Umidade do Vidro.....	49
Tabela 24: Consumo de materiais (kg/m ³).	49
Tabela 25: Valores de Resistência à compressão utilizados no ensaio	54
Tabela 26: Resultado Slump Test.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.	32
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo.	39
Gráfico 3: Curva granulométrica do resíduo de vidro temperado.	45
Gráfico 4: Resistência à compressão axial.	57
Gráfico 5: Resistência axial média por traço (MPa).....	57
Gráfico 6: Módulo de elasticidade.....	59
Gráfico 7: Módulo de Elasticidade médio por traço (GPa).	59
Gráfico 8: Valores de Absorção de água por imersão.	60
Gráfico 9: Valores de Absorção média por traço.	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01: Volume de água adicionado no frasco.....	33
Equação 02: Massa específica agregado miúdo	34
Equação 03: Absorção de água do agregado miúdo.....	35
Equação 04: Teor de Umidade agregado miúdo	36
Equação 05: Massa específica agregado graúdo	41
Equação 06: Absorção de água agregado graúdo	41
Equação 07: Teor de umidade agregado graúdo	42
Equação 08: Massa específica do resíduo de vidro temperado	47
Equação 09: Absorção de água do resíduo de vidro temperado	47
Equação 10: Teor de umidade do resíduo de vidro temperado	48
Equação 11: Índice de absorção de água	52
Equação 12: Resistência à compressão	53
Equação 13: Deformação específica.....	54
Equação 14: Módulo de elasticidade	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.C – Antes de Cristo

CO₂ – Dióxido de Carbono

CP – Cimento Portland composto

fck – Resistência característica à compressão do concreto

g/cm³ – Grama por centímetro cúbico

g/l – Gramas por litro

kg – Quilogramas

mg/l – Miligramas por litro

ml – Mililitro

mm – Milímetro

MPa – Megapascal

O – Oxigênio

SENEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

Si – Silício

Z – Pozolana

µm – Micrómetro ou milésimo do metro

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	16
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
2 CAPÍTULO 2	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 Concreto	18
2.1.1.1 Propriedades do concreto	19
2.1.2 Agregados	22
2.1.2.1 Agregado Miúdo	23
2.1.2.2 Agregado Graúdo	23
2.1.3 Vidro	23
2.1.4 Concreto com resíduos de vidro	25
2.1.5 Influência dos resíduos de vidro nas propriedades do concreto	26
2.1.5.1 Concreto fresco	26
2.1.5.2 Concreto endurecido	26
3 CAPÍTULO 3	28
3.1 METODOLOGIA	28
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	28
3.1.2 Características dos materiais	28
3.1.2.1 Cimento Portland	28
3.1.2.2 Agregado miúdo	29
3.1.2.2.1 Composição granulométrica	29
3.1.2.2.2 Massa específica	32
3.1.2.2.3 Absorção de água	34
3.1.2.2.4 Teor de umidade	36
3.1.2.3 Agregado graúdo	37

3.1.2.3.1 Composição granulométrica	37
3.1.2.3.2 Massa específica e absorção de água.....	40
3.1.2.3.3 Teor de umidade	42
3.1.2.4 Resíduo de vidro temperado	43
3.1.2.4.1 Composição granulométrica	43
3.1.2.4.2 Massa específica e absorção de água.....	46
3.1.2.4.3 Teor de umidade	48
3.1.2.5 Água de amassamento	49
3.1.3 Dosagem do concreto	49
3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova	50
3.1.5 Proporções de substituição do resíduo de vidro	50
3.1.6 Ensaios.....	51
3.1.6.1 Consistência – <i>Slump Test</i>	51
3.1.6.2 Absorção de água.....	52
3.1.6.3 Resistência à compressão	52
3.1.6.4 Módulo de elasticidade	53
4 CAPÍTULO 4	56
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1.1 Consistência – <i>Slump Test</i>	56
4.1.2 Resistência à compressão	57
4.1.3 Módulo de elasticidade	58
4.1.4 Absorção de água por imersão.....	60
5 CAPÍTULO 5	62
5.1 CONCLUSÃO	62
6 CAPÍTULO 6	63
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE A – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	69
APÊNDICE B – DEFORMAÇÃO A E B DO CONCRETO.....	70
APÊNDICE C – TENSÃO EFETIVA DO ENSAIO DE MÓDULO DE	
ELASTICIDADE.....	71
APÊNDICE D – VALORES DO MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	71
APÊNDICE E – VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO	72

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O concreto encontra-se em estudos frequentes. A sua durabilidade e capacidade de se moldar em diferentes formas são as principais características que levam à aplicação do concreto. A viabilidade de junção de resíduos de vidro em mistura com o cimento é uma grande contribuição para a construção civil, que faz a reciclagem de resíduos nocivos ao meio ambiente, possibilitando também a melhoria do desempenho do concreto (MARQUES, 2006).

Com a diversidade de insumos recicláveis no mundo, o vidro, juntamente com o concreto, é um dos materiais mais consumidos, sendo que o vidro é um material 100% reciclável. De acordo com a resolução CONAMA (2011), o resíduo de vidro é classificado como Classe II B, inerte e não perigoso.

O vidro possui uma alta massa específica, que acaba deixando o transporte mais caro, inviabilizando muitas vezes a logística no processo de reciclagem do vidro no Brasil. Entre 30% e 40% dos resíduos de vidro são reciclados anualmente, segundo reportagem da Folha de São Paulo de 23/06/2016. Sendo assim, uma grande quantidade de vidro está indo para lugares incorretos e prejudicando o meio ambiente, sendo destinados a aterros e lixões.

De acordo com a fabricante de vidros TRC Vidros Temperados (2017), as composições do vidro são variadas. Estudos revelam que a produção do vidro temperado passa por uma brusca mudança de temperatura, gerando uma compressão das faces externas e expansão na parte interna, adquirindo neste processo uma alta resistência, maior do que a do vidro comum. A têmpera tem como finalidade proporcionar tensões elevadas de compressão na zona superficial do vidro e altas tensões de tração no centro do mesmo.

Segundo o 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, a pesquisa avaliou a substituição parcial do agregado graúdo, ou seja, a substituição da pedra brita pela sucata de vidro temperado em concretos, pois quando o vidro temperado é rompido apresenta fragmentos com dimensões de padrões semelhantes ao da brita. Sabe-se que o volume de vidro temperado descartado é grande e na região existem diversas vidraçarias que geram essa matéria.

A oportunidade da utilização do resíduo de vidro temperado no concreto vai além de possibilitar uma destinação mais adequada. Desta maneira, as vidraçarias podem ter uma nova visão da destinação do vidro, auxiliando na sua economia, vendendo os resíduos para as empresas da construção civil.

O peso específico do vidro é mais baixo do que o da brita, sendo assim, pode-se induzir que os concretos ficarão mais leves, ou seja, as cargas das estruturas serão menores, o que reduzirá as quantidades de insumos utilizados na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento físico-mecânico do concreto com substituição de 50 e 100% do agregado graúdo por resíduo de vidro temperado em relação ao concreto convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a consistência do concreto com resíduo de vidro temperado em substituição agregado graúdo e do concreto convencional;
- Determinar a resistência à compressão axial e módulo de elasticidade do concreto convencional e do concreto com vidro temperado em substituição do agregado graúdo;
- Determinar o índice de absorção de água do concreto com resíduo de vidro temperado e do concreto convencional.

1.3 JUSTIFICATIVA

No que se refere à utilização dos resíduos, o Projeto Competir (2000) ressalta que a utilização de recursos naturais no Brasil não é mais tão chamativa, pois a preocupação da população com o esgotamento dos recursos naturais e o impacto causado pela exploração dos mesmos é crescente. Os resíduos estão sendo utilizados na construção civil cada vez mais, pois

além de reduzir os impactos ambientais, proporcionam uma destinação correta às matérias-primas, amenizam a exploração das jazidas e auxiliam na redução dos custos da obra.

De acordo com o Portal de Resíduos Sólidos (2013), “Para cada metro cúbico de vidro fabricado a partir de fontes primárias, é necessário extrair pelo menos 7 m³ de rocha”.

Ressalta-se a importância de as empresas adotarem uma prática sustentável. Existe atualmente uma diversidade de selos de sustentabilidade, que são conhecidos também como selos ecológicos, que fazem a certificação dos serviços e produtos de modo que a produção e oferta levam em consideração a preservação do meio ambiente.

Como forma de reduzir a quantidade de resíduos, a pesquisa avaliou o comportamento de concretos com resíduo de vidro temperado, buscou agregar conhecimentos científicos para as pesquisadoras e também para a instituição de ensino, aliando a teoria com a prática, além de possibilitar novas descobertas acadêmicas.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É viável a utilização do resíduo de vidro temperado como agregado graúdo em concretos?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O concreto com resíduo de vidro temperado como agregado graúdo obtém vantagens quando comparado ao concreto convencional. Utilizando-se de 100% do agregado graúdo de resíduo de vidro temperado obtém-se uma aparência diferenciada, possibilitando o seu uso arquitetônico.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O levantamento das características do concreto foi realizado por testes laboratoriais. Tratando-se, portanto, de uma pesquisa quantitativa experimental, que foi realizada no

laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado na Avenida das Torres, nº500, Loteamento FAG, Cascavel-PR.

A pesquisa limitou-se especificamente à determinação das características físicas e mecânicas, como consistência, absorção de água, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

A consistência foi avaliada com o concreto fresco, antes da moldagem dos corpos de prova. Já os demais ensaios foram avaliados com o concreto endurecido, na idade de 28 dias, sendo moldados para cada concreto estudado. Foram utilizados 03 (três) corpos de prova para o ensaio de absorção de água, 06 (seis) corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão e 03 (três) corpos de prova para o ensaio de módulo de elasticidade, totalizando 36 amostras.

2 CAPÍTULO 2

Neste capítulo são abordadas as definições de vidro, materiais para a confecção de concreto e suas características, bem como influências do vidro nas propriedades do concreto.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Concreto

Nas construções antigas os primeiros materiais utilizados foram a madeira e a pedra natural, por causa de suas disponibilidades na natureza. O aço e o ferro só começaram a ser utilizados alguns séculos adiante. O surgimento do concreto armado se deu pela necessidade da junção da resistência do aço com a durabilidade da pedra, obtendo como principais vantagens a rapidez e facilidade do concreto de assumir formas. Os elementos de construção produzidos com cimento são considerados de grande importância por possibilitar a construção das edificações e demais obras necessárias para a sobrevivência. A combinação do concreto com pedras, tijolos de argila, e alguns materiais naturais produziram grandes obras, revolucionando a arquitetura daquela época. Como principal exemplo das construções realizadas naquela época tem-se o Coliseu e o Panteão. Quando o concreto foi unido ao ferro foi possível obter a resistência à tração, viabilizando o aumento da aplicação do concreto em relação aos que eram utilizados pelos romanos (BASTOS, 2006).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o concreto é um material formado pela união de cimento, agregados (miúdo e graúdo), água e/ou aditivos. Posto que, como agregado miúdo o insumo mais utilizado é a areia, a pedra britada é o material mais empregado como agregado graúdo. Sendo assim, os elementos estruturais que são expostos à umidade (fundações, pisos, vigas, pilares, lajes) são normalmente executados em concreto com reforço de armaduras. O concreto armado é aquele que contém barras de aço e, portanto, é levada em consideração a união dos esforços dos dois materiais.

2.1.1.1 Propriedades do concreto

De acordo com Petrucci (1998), o concreto é visto como fresco até o início da pega do aglomerante (cimento e água) e ao fim do processo, é considerado endurecido. As propriedades do concreto fresco são: trabalhabilidade, consistência, textura, integridade da massa (oposto de segregação) e poder de retenção da água (oposto de exsudação). No concreto endurecido as propriedades são: massa específica, resistência aos esforços mecânicos (compressão axial, tração e flexão), permeabilidade e deformação elástica.

Para Mehta e Monteiro (1994), a trabalhabilidade é definida como a propriedade do concreto que define o esforço necessário para manipular um volume de concreto fresco obtendo uma pequena perda de homogeneidade. A trabalhabilidade é constituída de dois componentes principais: a coesão, que representa a segregação e a exsudação; e a fluidez, que representa a fácil mobilidade do concreto fresco. A trabalhabilidade tem uma grande importância em tecnologia do concreto, mesmo usando modos de preparo mais sofisticados. O concreto que não pode ser lançado ou adensado facilmente, pois possivelmente não alcançará as características de durabilidade e resistência necessárias.

A consistência é definida como grau de umidade do concreto, se relacionado com a plasticidade do mesmo, ou seja, é a facilidade ou não do concreto se deformar quando submetido a cargas, sendo um dos fatores fundamentais que interferem na trabalhabilidade (PETRUCCI, 1998).

Segundo Petrucci (1998), “Entende-se por exsudação a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém-lançado. A exsudação é motivada pela maior ou menor possibilidade que apresentam os materiais constituintes de manter a água de mistura dispersa na massa”.

Quando se relata sobre segregação, Mehta e Monteiro (1994) afirmam que é a separação dos materiais utilizados no concreto fresco, de modo com que a sua distribuição não seja mais homogênea, visto que uma das principais causas da segregação são as massas específicas e dimensões diferentes dos integrantes da mistura.

No que se refere aos esforços mecânicos, Petrucci (1998) relata que o concreto é um material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos esforços de tração. A resistência à tração é um décimo da resistência à compressão.

O concreto é considerado como o material mais apropriado para resistir aos esforços de compressão axial. Por este motivo a resistência à compressão do concreto é habitualmente especificada (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Segundo Helene e Terzian (1992), os fatores que interferem na resistência à compressão axial do concreto são: instabilidade dos insumos (cimento, água, agregados e aditivos) e da proporção dos mesmos; efetividade no controle e nos ensaios; habilidade; e qualidade na operação dos equipamentos de mistura e dosagem.

A permeabilidade é a propriedade que possibilita a passagem da água através do concreto. No entanto, como o mesmo é um material poroso, não é possível o preenchimento total dos vazios do agregado com a pasta de cimento (PETRUCCI, 1998).

Como explicam Mehta e Monteiro (1994), o módulo de elasticidade é a relação entre tensão e deformação, significando que o limite de elasticidade do concreto estrutural é a deformação máxima permitida antes do material se deformar permanentemente. Sendo assim, tem-se o módulo de elasticidade do concreto entre 14×10^3 MPa a 40×10^3 MPa.

A norma que relata sobre o concreto para fins estruturais (NBR 8953 – Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência), estabelece as classes do concreto em atribuição da massa específica, resistência à compressão axial e consistência. Em relação à massa específica, o concreto é dividido em três classificações: o concreto leve, com massa específica menor do que 2000 Kg/m^3 ; o concreto de peso normal, geralmente com massa específica entre 2000 Kg/m^3 e 2800 Kg/m^3 , sendo este o utilizado para peças estruturais; e o concreto pesado, com massa específica superior a 2800 Kg/m^3 (ABNT, 2015)

Quanto à resistência à compressão axial, a NBR 8953 (ABNT, 2015) classifica o concreto conforme a Tabela 1, porquanto, o concreto utilizado para fins estruturais está entre a classe C20 (20 MPa) e C100 (100 MPa).

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão Mpa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015)

Na classificação pela consistência no estado fresco, que é determinada pelo ensaio de abatimento (*Slump Test*), a NBR-8953 (ABNT, 2015), o concreto é classificado segundo a Tabela 2.

Tabela 2: Classes de consistência

Classe	Abatimento em mm	Aplicações típicas
S10	$10 < A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 < A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 < A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional do concreto
S160	$160 < A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	> 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento. NOTA 2 Os exemplos deste quadro são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.		

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015)

2.1.2 Agregados

Os agregados são moderadamente baratos e não reagem quimicamente com a água, por isso são usados como material de preenchimento inerte no concreto. As características dos agregados importantes para o concreto são: absorção de água, porosidade, textura superficial e forma das partículas, composição granulométrica, módulo de elasticidade e resistência à compressão. Normalmente os mais utilizados para a fabricação do concreto são areia, pedra britada e pedregulho, que são originários de jazidas naturais, portanto, são denominados como agregados naturais. Os agregados naturais são derivados de variados tipos de rochas, bem como, as rochas têm muitos minerais em sua composição (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

No que se refere aos agregados, Petrucci (1998) ressalta que eles precisam ser procedentes de rochas estáveis, ou seja, que não têm reação quando em contato com o ar, água ou gelo. O autor citado afirma que deve-se desprezar os agregados oriundos de rochas de xisto ou feldspáticas, que entram em decomposição quando têm contato com a água ou o ar.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a massa específica é a massa do material por unidade de volume, contendo os poros interiores da partícula, posto que a massa das partículas dos agregados que ocupam uma unidade de volume é definida como massa unitária, ou seja, a massa unitária é relativa ao volume que os agregados ocupam por ambos (agregados e vazios).

Com relação à absorção e umidade superficial dos agregados, Mehta e Monteiro (1994) destacam que os valores de capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são importantes para a correção do fator água-cimento. A umidade das rochas sedimentares densas e rochas ígneas intrusivas é baixa, mas no caso de rochas sedimentares porosas, areias e agregados leves, o valor pode ser alto. Quando se refere à areia, pode existir o fenômeno denominado inchamento, ou seja, pode ocorrer um aumento considerado da areia dependendo da composição granulométrica e do teor de umidade.

Ao que se refere à resistência à abrasão, resistência à compressão e módulo de elasticidade dos agregados, Mehta e Monteiro (1994) ressaltam que são características que estão relacionadas entre si e que têm grande influência da porosidade, já que os agregados utilizados no concreto convencional são normalmente resistentes e densos.

Entende-se por composição granulométrica a distribuição das partículas dos materiais granulares entre vários tamanhos, normalmente apresentados em porcentagens acumuladas menores ou maiores do que cada abertura de uma sucessão de peneiras, sendo que a dimensão máxima de agregado é definida pela dimensão da peneira, que são retidas 15% das partículas

do agregado. A textura e forma dos agregados interferem mais quando o concreto está fresco do que endurecido. As partículas angulares, ásperas e alongadas necessitam de uma maior quantidade de pasta de cimento para que o concreto fique trabalhável, aumentando assim o custo do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

2.1.2.1 Agregado Miúdo

Segundo Petrucci (1998), compreende-se por agregado miúdo a areia natural quartzosa ou pedrisco originário de rochas estáveis, com dimensões das partículas de no máximo 15%, que são retidas na peneira de 4,8mm.

2.1.2.2 Agregado Graúdo

Como explica Petrucci (1998), o agregado graúdo é a pedra britada, pedregulho natural ou seixo rolado, oriundos do britamento de rochas estáveis, com dimensões das partículas de no máximo 15%, passando na peneira de 4,8mm.

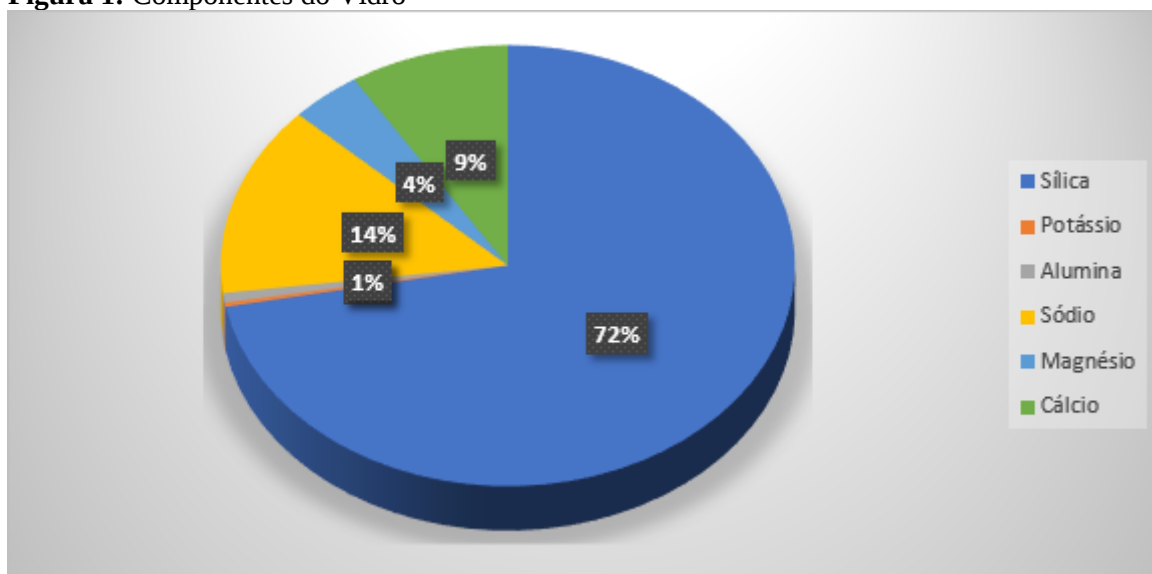
2.1.3 Vidro

A descoberta do vidro se deu pelos fenícios 3.000 anos a.C., através de uma queima da areia acidentalmente, sendo que os mesmos propagaram sua descoberta rapidamente. Passou-se então a criar pequenos ornamentos, como jaras, copos, vasos e espelhos (GIOVANNI, 1992).

Segundo Richards (2006), a essência do vidro estava limitada na transparência e cor, precisando que o vidro fosse confeccionado de maneira chapada, mas ainda não obtinham tecnologias necessárias para mantê-lo firme. Sendo ainda um material fraco e quebradiço, foram feitos estudos para a melhoria de sua aparência e resistência. Os bizantinos, por sua vez, criaram o vidro. O aspecto transparente do vidro se deu pela migração deste material para a Alemanha e para a França. Já no século XX, as características do vidro, sendo elas a transparência, a translucidez, a reflexão e opacidade, aliadas com os melhoramentos dos vidros, progrediram com a construção civil, visto que o desenvolvimento tecnológico possibilitou que o vidro suportasse ser utilizado como um complemento estrutural.

No que se refere ao vidro, Shackelford (2008) explica que ele é composto por um material cerâmico, sólido não-cristalino de óxido tradicional. A abundância de silicatos na crosta terrestre com os elementos químicos silício (Si) e oxigênio (O), que são matérias-primas básicas do vidro, proporciona um custo moderado deste. A Figura 1 mostra os componentes do vidro em suas porcentagens.

Figura 1: Componentes do Vidro



Fonte: Shackelford (2008)

O vidro comum, mesmo sendo um material frágil, não se enquadra em um material fraco, pois possui uma boa resistência à ruptura, mas não é resistente o suficiente ao receber impactos (SHACKELFORD, 2008).

Para Ferrari e Jorge (2010), o vidro, em seu estado natural, é um óxido metálico super-resfriado transparente, de grande dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, que pode ser fabricado com superfícies muito lisas e impermeáveis. Estas propriedades conduzem um grande número de aplicações, diferenciando-o de outros materiais por várias características, tais como baixa porosidade, absorvidade, dilatação e condutibilidade térmica, suportando pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm².

Segundo Petrucci (1998), os vidros podem ser classificados como: vidro recozido, vidro de segurança laminado, vidro de segurança armado, vidro térmico absorvente, vidro composto e vidro de segurança temperado. A produção do vidro temperado passa por um tratamento de mudança da temperatura, gerando uma compressão das faces externas e expansão na parte interna, exercendo neste processo uma alta resistência, maior do que a do vidro

comum. Em caso de quebra produzem pontas e bordas menos cortantes, fragmentando-se em pequenos pedaços arredondados. O vidro temperado é feito sob medida, pois seu corte não é possível depois de realizada a têmpera. A têmpera tem como finalidade proporcionar tensões elevadas de compressão na zona superficial do vidro e altas tensões de tração no centro do mesmo e a tensão de ruptura à flexão do vidro temperado é de 1800 a 2000 kgf/cm².

De acordo com o Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente (2017), o vidro tem uma principal vantagem, ser 100% reciclável, ajudando assim o meio ambiente. Sabe-se, então, que uma porção de vidro descartado e seguidamente reciclado tem a possibilidade de ser produzido nesta mesma porção novamente, obtendo a mesma qualidade, gerando uma economia de 4% de energia e 5% menos CO₂ liberados na atmosfera.

2.1.4 Concreto com resíduos de vidro

Estudos para a incorporação dos resíduos de vidro na produção de outros materiais já foram realizados. Na Austrália por exemplo, já utilizam o vidro reciclado como substituição do agregado miúdo natural para a fabricação do concreto (CRENTSIL et al. 2001)

De acordo com Petrucci (1998), o vidro trabalha bem com concreto armado, pois o adere muito bem ao cimento, tendo uma adesividade de natureza molecular e seu coeficiente de dilatação comum semelhante ao do concreto e do aço (sendo 10 a 11×10^{-6} concreto e aço e a do vidro um pouco menor, de 9×10^{-5}).

Devido à reação entre o álcalis no cimento e a sílica reativa no vidro, o uso do vidro como agregado graúdo no concreto não é satisfatório, visto que desencadeia perda de resistência e muita expansão no material. No entanto, estudos recentes têm mostrado que se as partículas de vidro apresentarem um tamanho de partícula de no máximo 300 µm, a expansão induzida pela reação álcali-sílica pode ser de menor proporção (MEYER et al., 1996 *apud* SHAO et al., 2000).

De acordo com Silva *et al* (2017), o resíduo de vidro temperado pode ser agregado ao concreto estrutural, com bons resultados, em obras de pequeno porte, dado que, os outros resultados obtidos relatam que o concreto com utilização de vidro como agregado graúdo pode ser aplicado em casos que não necessitem de muito esforço estrutural, como em artefatos, calçadas, entre outros. Nos estudos realizados com substituição parcial do cimento por vidro obtiveram resultados pertinentes, portanto, o concreto com adição de vidro atendeu às exigências. Portanto, substituir parcialmente o cimento pelo vidro resulta em uma opção viável. Visto que, o concreto com adição de vidro apresentou índices necessários para caracterizar a

mistura como utilizável como material de construção, não houve grandes dificuldades em sua execução comparadas ao concreto convencional. Dessa forma, o reaproveitamento dos resíduos de vidro concebe uma importante vantagem ao meio ambiente, retirando resíduos descartados no ambiente, agregando-os no processo produtivo.

2.1.5 Influência dos resíduos de vidro nas propriedades do concreto

2.1.5.1 Concreto fresco

Em um estudo feito por Topçu e Ganbaz (2004) com relação à trabalhabilidade, a adição de vidro moído no concreto não teve um efeito considerável, não obtendo variação quando se aumentou a porcentagem de vidro. Esse resultado foi referido à geometria do vidro, sendo esta uma distribuição granulométrica não uniforme.

No que se refere à massa específica, Nassar e Soroushian (2012) concluíram que quando se aumentava a porcentagem de resíduo de vidro no concreto a densidade diminuía, devido à densidade das partículas de vidro serem menores do que a densidade do cimento.

Cassar e Camilleri (2012) realizaram outros estudos com porcentagem de 10 a 50% de resíduos de vidro, substituindo parcialmente o cimento no concreto. Os autores concluíram que somente na porcentagem de 50% a densidade foi inferior ao concreto convencional, tendo em vista que nas porcentagens de 10 a 40% de substituição não ocorreram grandes diferenças comparado com o concreto convencional.

Em seus estudos, Taha e Nounu (2008) afirmam que a utilização de resíduos de vidro no concreto apresentou melhorias em suas propriedades no estado fresco em virtude das propriedades de textura e forma das partículas de vidro.

2.1.5.2 Concreto endurecido

Em relação aos esforços de resistência axial, Topçu e Gambaz (2004) concluíram que com o aumento do teor de vidro moído há uma diminuição da resistência do concreto. Esse comportamento deve-se à elevada fragilidade do vidro, levando ao aparecimento de fissuras, dificultando assim a aderência entre a pasta de cimento e o vidro, tendo em vista que a geometria pobre do vidro não deixou que a distribuição granulométrica do concreto se homogeneizasse.

Em relação à reação álcali-sílica, quanto menor a porcentagem de vidro moído mais lenta é a reação.

Em seus estudos sobre a resistência à compressão axial de concreto com substituição parcial do cimento por resíduos de vidro, Cassar e Camilleri (2012) relataram que nas porcentagens de substituição de 0 a 50% somente o concreto com substituição de 50% não obteve os 30 MPa de resistência à compressão axial. Verifica-se, também, que com o aumento do teor de substituição do vidro ocorre a diminuição dos valores de compressão.

Estudos realizados por Pereira (2016) mostram que as principais vantagens da utilização do vidro temperado com agregado graúdo são: ganho de resistência à compressão na substituição de 20%, menor densidade do concreto em todas as porcentagens de substituição estudadas, menor índice de vazios comparado com o concreto convencional, menor absorção de água quando substituídos em 20% e 100%. Com substituição de 100% obteve-se uma aparência bem diferenciada.

O uso do resíduo de vidro temperado como substituição do agregado graúdo é indicado para fins não estruturais quando a porcentagem de substituição é de 20%, por causa da diminuição da densidade e resistência, e quando há a substituição de 100% do agregado graúdo pelo vidro, apresenta resistência à compressão aproximada de 20 MPa, sendo indicado para fins arquitetônicos, pelo seu aspecto diferenciado (PEREIRA, 2016).

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Esta pesquisa trata-se de uma análise quantitativa com propósito exploratório sobre as características do resíduo de vidro como substituição do agregado graúdo no concreto nas porcentagens 50 e 100%. Foram executados ensaios no laboratório de materiais de construção civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz. Todos os ensaios foram baseados em normas.

Os ensaios realizados foram: consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67, ABNT 1998), resistência à compressão (NBR 5739, ABNT 2007), módulo de elasticidade (NBR 8522, ABNT 2008) e absorção de água por imersão (NBR 9778, ABNT 2005). Posteriormente, os resultados obtidos foram analisados com base em bibliografia, comparando-se os resultados dos concretos sem substituição do resíduo de vidro com os dos concretos com substituição do resíduo de vidro.

3.1.2 Características dos materiais

3.1.2.1 Cimento Portland

Para a produção dos concretos foi utilizado o cimento Portland, da marca Votorantim, sendo o CP II Z 32, que foram obtidos na cidade de Cascavel, Paraná, em seu comércio local. Optou-se por esse cimento pelo fato dele ser bastante empregado para produzir concretos.

Os fabricantes do cimento Portland - Votorantim garantem que seguem a norma NBR 11578 – Cimento Portland Composto (ABNT, 1991), possuindo uma massa específica de 3,05 g/cm³ em média. Este cimento dispõe de três classes de resistência à compressão axial, sendo elas de 25, 32 e 40 MPa, adquiridas depois de 28 dias.

3.1.2.2 Agregado miúdo

Foi utilizada areia média para o preparo dos concretos, que foi adquirida no comércio local da cidade de Cascavel, Paraná. A areia foi encaminhada para o laboratório, onde foram realizados os ensaios para obtenção de suas características físicas.

Os ensaios para a determinação das características físicas do agregado miúdo foram orientados pela NBR 7211 – Agregado para concreto: Especificação (ABNT, 2009), para o ensaio da composição granulométrica, NBR NM 52 – Agregado miúdo: Determinação de massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009), para massa específica e para determinar a absorção de água da areia foi utilizado a NBR NM 30 – Determinação da absorção de água (ABNT, 2000).

3.1.2.2.1 Composição granulométrica

Foi utilizada areia média para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão da areia média é menor que 9,5mm, então, a quantidade total de agregado miúdo que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995), orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Para executar o ensaio de determinação da composição granulométrica foram cumpridas as orientações da NBR NM 248 – Agregados: determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio.

Segundo a NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), para agregados com dimensões máximas inferiores a 4,75mm são necessários 300 gramas de agregado miúdo para cada amostra. Foram utilizadas duas amostras. As amostras foram colocadas em estufa por vinte e quatro horas, devendo estar em uma temperatura de 105 ± 5°C, posteriormente foram colocadas para esfriar em temperatura ambiente, determinando as massas das duas amostras.

Para a determinação das peneiras foram utilizadas as orientações da NBR 7211 - Agregados para concreto: especificações (ABNT, 2009), conforme Figura 2. Os resultados obtidos neste ensaio foram comparados aos valores estabelecidos como limites inferiores e superiores pela norma NBR 7211, conforme Figura 3.

Figura 2: Série de peneiras

<i>Serie Normal / Série Normal</i>	<i>Serie Intermedia / Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

As peneiras foram limpas e encaixadas, compondo um conjunto de peneiras em ordem crescente, sendo posicionados da seguinte forma: fundo, peneira 150µm, 300µm, 600µm, 1,18mm, 2,36mm, 4,75mm, 6,30mm. Após a montagem, as peneiras foram colocadas no

agitador mecânico para agregados miúdos e posteriormente foi colocada uma das amostras no topo das peneiras e então o agitador ficou ligado por 15 minutos.

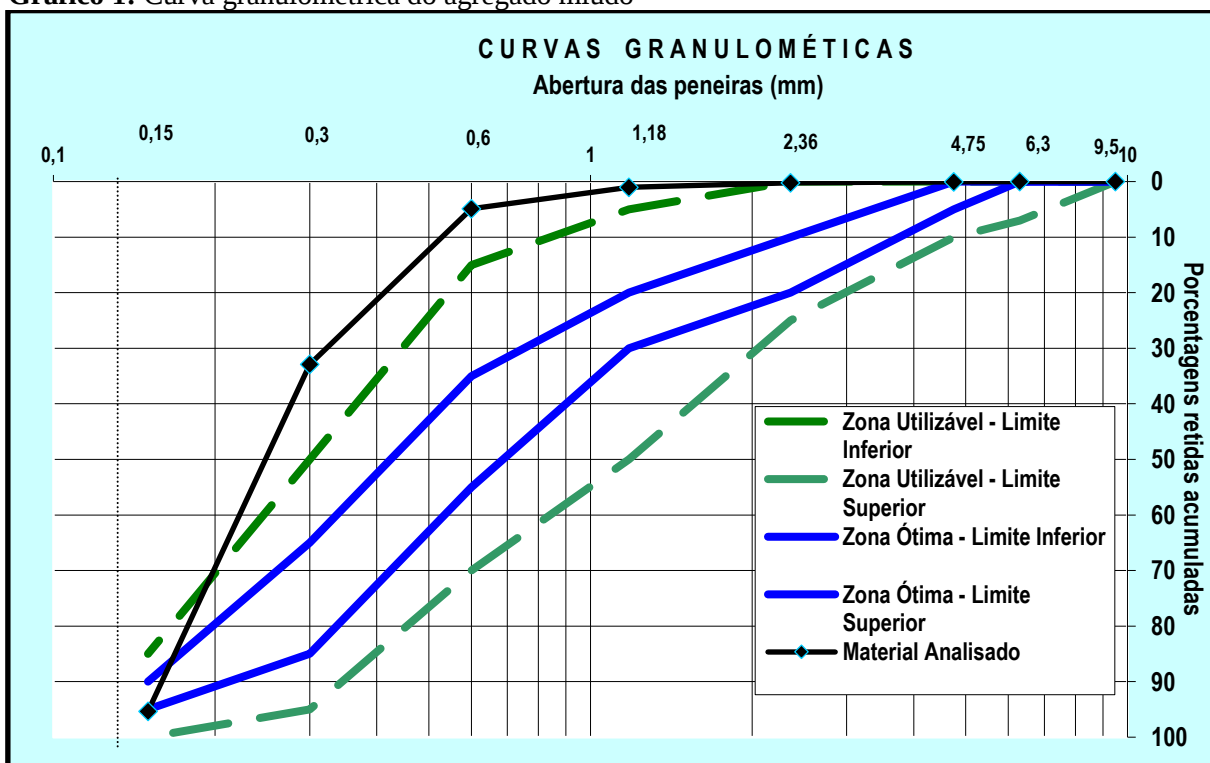
Depois do agitador de peneiras ser desligado, as peneiras foram retiradas, a massa de areia de cada peneira foi pesada e anotado o valor obtido em cada uma das peneiras. Foi repetido todo o processo para a outra amostra.

Em seguida, foram calculadas as porcentagens médias e acumuladas de cada amostra, sendo calculados também o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado. Conforme Tabela 3. O Gráfico 1 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 3: Resultado ensaio granulometria agregado miúdo

Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (g) =		300,0		Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)
	b) massa inicial seca (g) =		300,0			
	Massa retida (g)		Massa retida (%)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2		
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	0,13	0,13	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,36	0,36	0,60	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%
1,18	2,74	2,44	0,9%	0,8%	0,9%	1,1%
0,6	11,69	11,29	3,9%	3,8%	3,8%	4,9%
0,3	83,87	83,94	28,0%	28,0%	28,0%	32,9%
0,15	186,5	187,39	62,3%	62,5%	62,4%	95,4%
Fundo	13,8	14,00	4,6%	4,7%	4,6%	100,0%
Total	299,11	299,8	Módulo de finura =		1,35	
			Diâmetro Máximo =		1,18	

Fonte: Autores (2018).

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo

Fonte: UDESC – Joinville (2014).

Ao observar a curva granulométrica percebe-se que o agregado miúdo apresenta maior porcentagem de finos, sendo caracterizada como areia média fina. Os valores encontram-se fora dos limites utilizáveis estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

3.1.2.2.2 Massa específica

Foi utilizada areia média para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão da areia média é menor que 9,5mm, então, a quantidade total de agregado miúdo que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995), orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Foram utilizados 1.000 gramas para a

realização deste ensaio, que seguiram as orientações da NBR NM 52 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009).

A amostra foi levada à estufa a uma temperatura média de $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Após ser retirada da estufa, saturou-se de água a areia por 24 horas. A amostra foi retirada e colocada acima de uma superfície nivelada, sendo exposta a uma corrente leve de ar quente, garantindo uniformidade na secagem. Este processo de secagem foi continuado até a aderência dos grãos de areia não permanecer marcante. O agregado miúdo foi colocado em um molde tronco-cônico, foi aplicado com uma haste para compactação 25 golpes, levantando em seguida o molde. Verificou se a amostra permaneceu no formato do molde, caso afirmativo a secagem deve ser continuada, o processo foi repetindo até que ao ser retirado o molde a areia se desmoronou.

Foram separados então 500 gramas do agregado e colocados em um frasco com graduação de 500 ml. Foram anotados a massa deste conjunto (m_{ar}). na sequência foram adicionados água até alcançar 500 ml. Realizou-se então a agitação do frasco, não deixando bolhas de ar. A seguir o frasco foi colocado em banho de água com temperatura de $21 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Em seguida, durante aproximadamente uma hora, a amostra foi observada e completada com água até 500 ml e então, foi pesada e anotada a massa total, para posteriormente retirar o agregado do frasco e colocá-lo em uma bandeja, que foi levada à estufa com temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até obter massa constante. Logo após, foi colocada para esfriar em um dessecador em temperatura ambiente e então pesou-se e anotou-se a massa da amostra seca.

Após a realização do ensaio foi feito o cálculo da massa específica aparente do agregado miúdo seco pelas Equações (1) e (2).

$$V_a = \frac{M_t - M_{ar}}{\rho_a} \quad (1)$$

Onde:

V_a : volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

m_{ar} : massa do conjunto (frasco mais agregado), em gramas;

m_t : massa total (frasco mais agregado mais água), em gramas;

ρ_a : massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

d_1 : massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetros cúbicos;

m : massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V : volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a : volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos.

Foi realizado o ensaio com duas amostras para então obter a média, que está apresentada nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Dados para cálculo de Massa Específica do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
Mt (g)	1.050	1.100,50
Mar (g)	737,5	786,5
ρ_a (g/cm ³)	1	1
Va (cm ³)	312,5	314
m (g)	474,37	481,74
V (cm ³)	500	500

Fonte: Autores (2018).

Tabela 5: Resultado Massa Específica do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa específica (g/cm³)	2,53	2,59	2,56

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.2.3 Absorção de água

Foi utilizada areia média para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão da areia média é menor que 9,5mm, então, a quantidade total de agregado miúdo que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995), orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001).

Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Sendo então obtidas 1.000 gramas de agregado miúdo, o ensaio foi orientado pela NBR NM 30 – Determinação da absorção de água (ABNT, 2000).

A amostra foi levada à estufa a uma temperatura média de 105 ± 5 °C por 24 horas. Após retirada da estufa, saturou-se de água a areia por 24 horas. A amostra foi retirada e colocada acima de uma superfície nivelada, sendo exposta a uma corrente leve de ar quente, garantindo uniformidade na secagem. Este processo de secagem foi continuado até a aderência dos grãos de areia não permanecer marcante. O agregado miúdo foi colocado em um molde tronco-cônico, foi aplicado com uma haste para compactação 25 golpes, levantando em seguida o molde. Verificou se a amostra permaneceu no formato do molde, caso afirmativo a secagem deve ser continuada, o processo foi repetido até que ao ser retirado o molde a areia se desmoronou. Determinando então a massa saturada superfície seca da amostra (m_s).

Após a realização do ensaio foi feito o cálculo da absorção de água da areia pela Equação (3).

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A: é a absorção de água, em porcentagem;

m_s : massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m: massa da amostra seca em estufa, em gramas.

Foi realizado o ensaio com duas amostras para obter-se a média, os resultados estão demonstrados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Dados para o cálculo de Absorção de Água do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
m_s (g)	1.011,80	1.010,40
m (g)	989	987

Fonte: Autores (2018).

Tabela 7: Resultado Absorção de Água do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Absorção de água (%)	2,3	2,37	2,34

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.2.4 Teor de umidade

Foi utilizada areia média para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão da areia média é menor que 9,5mm, então, a quantidade total de agregado miúdo que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995), orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Foram utilizados 500 gramas para a realização deste ensaio (m_i). Este ensaio foi orientado pela apostila elaborada pelo professor Aldo de Almeida Oliveira, da Universidade Federal do Ceará (UFC, 2007).

A amostra foi levada à estufa por 24 horas em uma temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Foi pesada a amostra, em seguida, anotada a massa final (m_f).

Foi efetuado o cálculo do teor de umidade do agregado miúdo pela Equação (4).

(4)

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$$

Onde:

h: é o teor de umidade total, em porcentagem;

m_i : massa inicial da amostra, em gramas;

m_f : massa final da amostra seca, em gramas.

Foi realizado o ensaio com duas amostras para obter-se a média, os resultados estão demonstrados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
Mi (g)	500	500
Mf (g)	460	470

Fonte: Autores (2018).

Tabela 9: Resultado Teor de Umidade do Agregado Miúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Teor de umidade (%)	8,69	6,38	7,54

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.3 Agregado graúdo

Foi utilizada a brita 1 para o preparo dos concretos, tendo em vista que o agregado foi adquirido no comércio local da cidade de Cascavel, Paraná. Após a coleta, a brita foi encaminhada para o laboratório, onde foram realizados os ensaios para obtenção de suas características físicas.

Para a realização dos ensaios de caracterização física do agregado graúdo foram seguidas as indicações da NBR 7211 – Agregado para concreto: especificação (ABNT, 2009), para o ensaio da composição granulométrica, da NBR NM 53 – Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), para o ensaio da massa específica e absorção de água, e a NBR 9939 – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio (ABNT, 2011), para o ensaio de teor de umidade.

3.1.2.3.1 Composição granulométrica

Foi utilizada a brita 1 para a execução do ensaio de determinação da composição granulométrica, portanto, seguiu-se como referência a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A quantidade de material a ser coletado obedeceu aos requisitos da NBR NM 26 (ABNT, 2009), que regulamenta os procedimentos para a amostragem de agregados.

Segundo a NBR NM 26 (ABNT, 2009), o tamanho do grão varia entre 9,5mm e 19,0mm. Estipula-se que a quantidade total de agregado graúdo para o ensaio é de 25kg ou 40dm³.

Para executar o ensaio de determinação da composição granulométrica foram cumpridas as orientações da NBR NM 248 – Agregados: determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Serão utilizadas duas amostras para realizar o ensaio.

A massa mínima por amostra de ensaio foi definida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), que especifica para agregados com dimensões máximas nominais de 19,0mm a quantidade de 5000 gramas do agregado graúdo para cada amostra.

As amostras foram colocadas em estufa por vinte e quatro horas a uma temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, posteriormente foram postas ao resfriamento em temperatura ambiente, determinando as massas.

Para a determinação das peneiras foram utilizadas às orientações da NBR 7211 - Agregados para concreto: especificações (ABNT, 2009). Os resultados obtidos neste ensaio foram comparados aos valores estabelecidos como limites inferiores e superiores pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

As peneiras foram limpas e encaixadas, compondo um conjunto de peneiras em ordem crescente, sendo posicionados da seguinte forma: fundo, peneira 2,39 mm, 4,8 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm e 25 mm. Após a montagem, as peneiras foram colocadas no agitador mecânico para agregados graúdos e posteriormente foi colocada uma das amostras no topo das peneiras e então o agitador ficou ligado por 15 minutos.

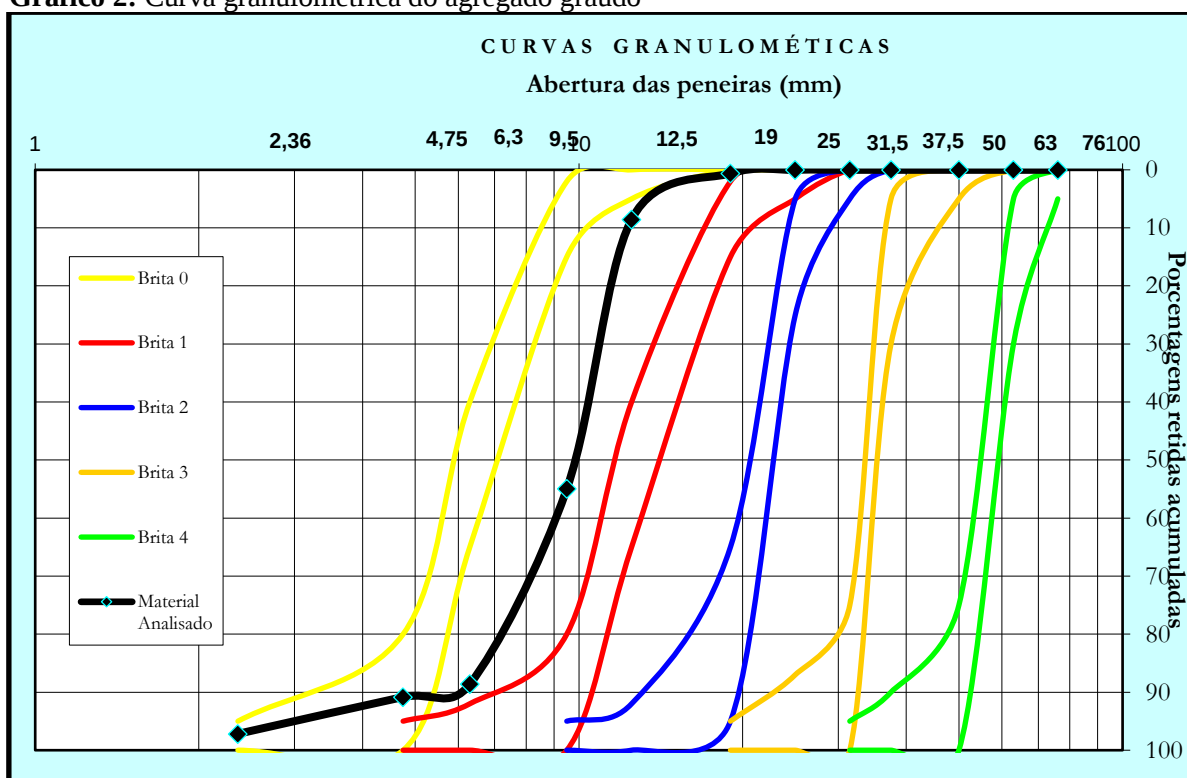
Depois do agitador de peneiras ser desligado, as peneiras foram retiradas, a massa de brita de cada peneira foi pesada e anotados o valor obtido em cada uma das peneiras. Foi repetido todo o processo para a outra amostra.

Em seguida, foram calculadas as porcentagens médias e acumuladas de cada amostra, sendo calculados também o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado. Conforme Tabela 10. A curva granulométrica do agregado graúdo está representada no Gráfico 2.

Tabela 10: Valores granulometria do agregado graúdo

Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (kg)=		5,00		Massa retida média (%)	Massa retida Acumulada (%)
	b) massa inicial seca (kg) =		5,00			
	Massa retida (kg)		Massa retida (%)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2		
25	0,0	0,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,07	0,20	1,4%	4,1%	2,7%	2,7%
12,5	3,06	2,61	61,2%	53,0%	57,1%	59,9%
9,5	1,17	1,29	23,4%	26,2%	24,8%	84,7%
6,3	0,61	0,66	12,2%	13,4%	12,8%	97,5%
4,8	0,07	0,12	1,4%	2,4%	1,9%	99,4%
2,39	0,01	0,00	0,2%	0,0%	0,1%	99,5%
Fundo	0,01	0,04	0,2%	0,8%	0,5%	100,0%
Total	5,00	4,92	Módulo de finura =		4,44	
			Diâmetro Máximo =		19 mm	

Fonte: Autores (2018).

Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo

Fonte: UDESC – Joinville (2014).

Ao analisar a curva granulométrica observa-se que a amostra está classificada como brita 1, estando dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

3.1.2.3.2 Massa específica e absorção de água

Foi utilizada brita 1 para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão varia entre 9,5mm e 19,0mm, então, a quantidade total de agregado gráudo que deverá ser coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995) orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 - Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio.

De acordo com a NBR NM 53 - Agregado gráudo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), primeiramente foi eliminado todo o material passante pela peneira 4,75mm por via seca. Em seguida, o agregado gráudo foi lavado para remover o pó ou quaisquer outros materiais da sua superfície. Como a dimensão do agregado gráudo brita 1 é de 9,5mm a 19,0mm, foram utilizados 3kg de agregado gráudo para cada ensaio.

A amostra de brita foi levada à estufa até obter massa constante a uma temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Logo após, foi resfriada à temperatura ambiente de 1 a 3 horas. Primeiramente foi pesada a amostra e determinada a sua massa seca (m), em seguida a amostra foi colocada em um recipiente com água e aguardou-se 24 ± 4 horas. Posteriormente, a amostra foi retirada do recipiente e secou-se superficialmente com um pano e, então, foi determinada a sua massa saturada (m_s).

Na sequência a amostra foi colocada em um cesto de arame, obtendo uma abertura de malha inferior ou igual a 3,35mm, possuindo uma capacidade de 4dm³ a 7dm³. O cesto foi imergindo dentro de um tanque com água em temperatura ambiente, então determinou-se a sua massa submersa (m_a). Para a pesagem da amostra, a balança possui um dispositivo adequado para que o cesto fique suspenso na água. Foi repetido o processo para a segunda amostra.

Foi calculada a massa específica da brita através da Equação (5).

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (5)$$

Onde:

d: massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m: massa da amostra seca, em gramas;

m_s: massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a: massa em água da amostra, em gramas.

Foi calculada a absorção de água da brita através da Equação (6).

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

A: é a absorção de água, em porcentagem;

m_s: massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m: massa da amostra seca, em gramas.

Os resultados obtidos estão demonstrados conforme Tabelas 11, 12, 13, 14.

Tabela 11: Dados para cálculo de Massa Específica do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
m (g)	2969,16	2984,27
Ms (g)	3025,50	3041,30
Ma (g)	1953,60	1990,50

Fonte: Autores (2018).

Tabela 12: Resultado Massa Específica do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa específica (g/cm³)	2,77	2,84	2,81

Fonte: Autores (2018).

Tabela 13: Dados para cálculo de Absorção de Água do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
ms (g)	3030,50	3041,30
m (g)	2969,16	2984,27

Fonte: Autores (2018).

Tabela 14: Resultado Absorção de Água do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Absorção de água (%)	2,06	1,91	1,99

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.3.3 Teor de umidade

Foi utilizada brita 1 para a realização dos ensaios, portanto, segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), o tamanho do grão varia entre 9,5mm e 19,0mm, então, a quantidade total de agregado graúdo que deverá ser coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995) orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o agregado passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Foi utilizado 3 kg de brita (m_i) para a realização do ensaio.

Este ensaio foi orientado pela NBR 9939 – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio (ABNT, 2011).

A amostra foi levada para a estufa por 24 horas em uma temperatura média de 105 ± 5 °C. Retirou-se a amostra da estufa, pesou-se e anotou-se a sua massa final (m_f). Repetiu-se o processo com a segunda amostra.

Foi calculado o teor de umidade da brita através da Equação (7).

(7)

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$$

Onde:

h: é o teor de umidade total, em porcentagem;

m_i : massa inicial da amostra, em gramas;

m_f : massa final da amostra seca, em gramas.

Os resultados obtidos estão demonstrados conforme Tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2
Mi (g)	3.000	3.000
Mf (g)	2.990	2.980

Fonte: Autores (2018).

Tabela 16: Resultado Teor de Umidade do Agregado Graúdo.

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Teor de umidade (%)	0,33	0,67	0,50

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.4 Resíduo de vidro temperado

Foram utilizados resíduos de vidro temperado para o preparo dos concretos, tendo em vista que o resíduo foi adquirido de restos da Vidraçaria Donatti de Cascavel, Paraná. Após a coleta, o resíduo foi encaminhado para o laboratório onde foram realizados os ensaios para obtenção de suas características físicas.

Para a realização dos ensaios de caracterização física do resíduo de vidro temperado foram seguidas as indicações da NBR 7211 – Agregado para concreto: especificação (ABNT, 2009), para o ensaio da composição granulométrica, da NBR NM 53 – Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), para o ensaio da massa específica e absorção de água, e a NBR 9939 – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio (ABNT, 2011), para o ensaio de teor de umidade.

3.1.2.4.1 Composição granulométrica

Para a execução do ensaio de determinação da composição granulométrica seguiu-se como referência a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A quantidade de material a ser coletado obedeceu aos requisitos da NBR NM 26 (ABNT, 2009), que regulamenta os procedimentos para a amostragem de agregados.

Segundo a NBR NM 26 (ABNT, 2009), o tamanho do resíduo de vidro deve variar entre 9,5mm e 19,0mm. Estipula-se que a quantidade total de agregado graúdo para o ensaio é de 25kg ou 40dm³.

Para executar o ensaio de determinação da composição granulométrica foram cumpridas as orientações da NBR NM 248 – Agregados: determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o resíduo de vidro passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Serão utilizadas duas amostras para realizar o ensaio.

A massa mínima por amostra de ensaio foi definida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), que especifica para agregados com dimensões máximas nominais de 19,0mm a quantidade de 5000 gramas do resíduo de vidro para cada amostra.

As amostras foram colocadas em estufa por vinte e quatro horas a uma temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, posteriormente foram postas ao resfriamento em temperatura ambiente, determinando as massas.

Para a determinação das peneiras foram utilizadas as orientações da NBR 7211 - Agregados para concreto: especificações (ABNT, 2009). Os resultados obtidos neste ensaio foram comparados aos valores estabelecidos como limites inferiores e superiores pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

As peneiras foram limpas e encaixadas, compondo um conjunto de peneiras em ordem crescente, sendo posicionados da seguinte forma: fundo, peneira 2,39 mm, 4,8 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm e 25 mm. Após a montagem, as peneiras foram colocadas no agitador mecânico para agregados graúdos e posteriormente foi colocada uma das amostras no topo das peneiras e então o agitador ficou ligado por 15 minutos.

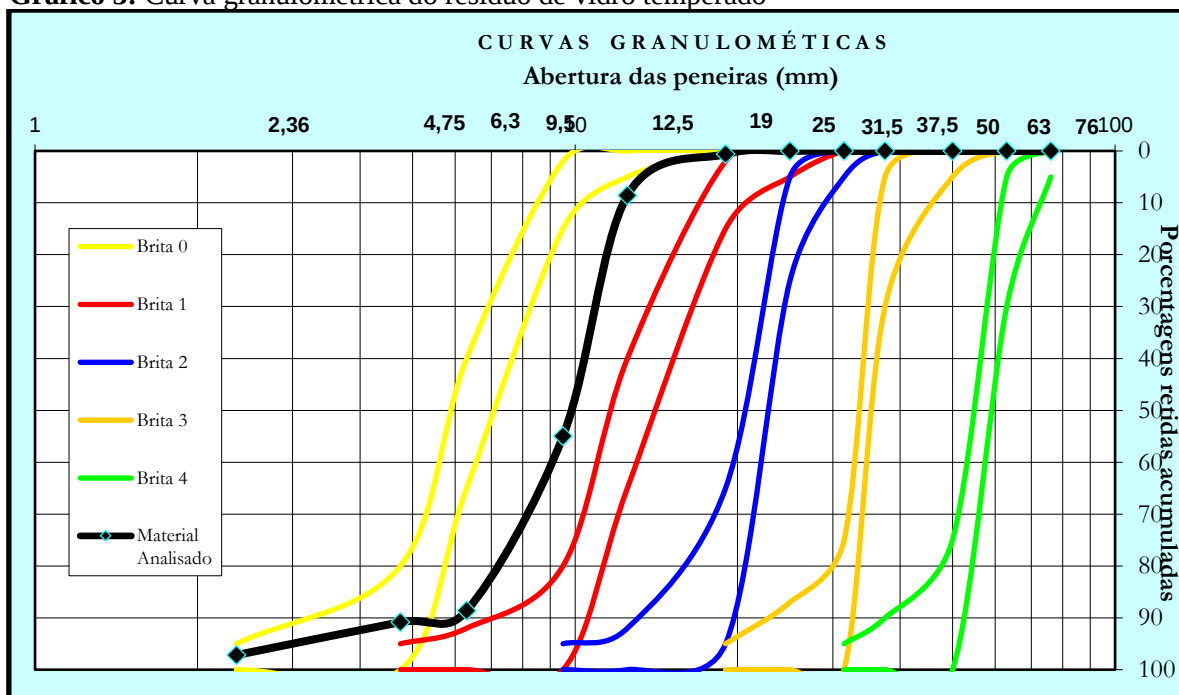
Depois do agitador de peneiras ser desligado, as peneiras foram retiradas, a massa de resíduo de vidro de cada peneira foi pesada e anotadas o valor obtido em cada uma das peneiras. Foi repetido todo o processo para a outra amostra.

Em seguida, foram calculadas as porcentagens médias e acumuladas de cada amostra, sendo calculados também o módulo de finura e a dimensão máxima característica do resíduo de vidro conforme Tabela 17, o Gráfico 3 apresenta a curva granulométrica do resíduo de vidro temperado.

Tabela 17: Valores da granulometria do resíduo de vidro temperado

Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (kg)=		5,00		Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)
	b) massa inicial seca (kg) =		5,00			
	Massa retida (kg)		Massa retida (%)			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2		
25	0,0	0,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,04	0,02	0,8%	0,4%	0,6%	0,6%
12,5	0,49	0,30	9,8%	6,1%	7,9%	8,6%
9,5	2,41	2,20	48,4%	44,4%	46,4%	55,0%
6,3	1,50	1,84	30,1%	37,2%	33,6%	88,6%
4,8	0,10	0,12	2,0%	2,4%	2,2%	90,8%
2,39	0,29	0,34	5,8%	6,9%	6,3%	97,2%
Fundo	0,15	0,13	3,0%	2,6%	2,8%	100,0%
Total	4,98	4,95	Módulo de finura =		3,41	
			Diâmetro Máximo =		19 mm	

Fonte: Autores (2018).

Gráfico 3: Curva granulométrica do resíduo de vidro temperado

Fonte: UDESC – Joinville (2014).

A partir da curva granulométrica do resíduo de vidro temperado observou-se que o vidro apresentou-se mais fino do que o esperado, obtendo característica entre brita 0 e brita 1.

3.1.2.4.2 Massa específica e absorção de água

A dimensão do resíduo de vidro varia entre 9,5mm e 19,0mm, segundo a NBR NM 26 Agregados: amostragem (ABNT, 2009) a quantidade total de resíduo de vidro que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995) orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o resíduo de vidro passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio.

De acordo com a NBR NM 53 – Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), primeiramente foi eliminado todo o material passante pela peneira 4,75mm por via seca. Em seguida, o resíduo de vidro foi lavado para remover o pó ou quaisquer outros materiais da sua superfície. Como a dimensão do resíduo de vidro é de 9,5mm a 19,0mm, foram utilizados 3kg de resíduo de vidro para cada ensaio.

A amostra de vidro foi levada à estufa até obter massa constante a uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Logo após, foi resfriada a temperatura ambiente de 1 a 3 horas. Primeiramente foi pesada a amostra e determinada a sua massa seca (m), em seguida a amostra foi colocada em um recipiente com água e aguardou-se 24 ± 4 horas. Posteriormente, a amostra foi retirada do recipiente e secou-se superficialmente com um pano e, então, foi determinada a sua massa saturada (m_s).

Na sequência a amostra foi colocada em um cesto de arame, obtendo uma abertura de malha inferior ou igual a 3,35mm, possuindo uma capacidade de 4dm³ a 7dm³. O cesto foi imergindo dentro de um tanque com água em temperatura ambiente, então determinou-se a sua massa submersa (m_a). Para a pesagem da amostra, a balança possui um dispositivo adequado para que o cesto fique suspenso na água. Foi repetido o processo para a segunda amostra.

Foi calculada a massa específica do resíduo de vidro através da Equação (8).

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (8)$$

Onde:

d: massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m: massa da amostra seca, em gramas;

m_s: massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a: massa em água da amostra, em gramas.

Foi calculada a absorção de água do resíduo de vidro através da Equação (9).

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

A: é a absorção de água, em porcentagem;

m_s: massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m: massa da amostra seca, em gramas.

Os resultados obtidos estão demonstrados nas Tabelas 18, 19, 20 e 21.

Tabela 18: Dados para o cálculo da Massa Específica do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2
m (g)	2.977	2.979
Ms (g)	3.020	3.025
Ma (g)	1.778,10	1.788

Fonte: Autores (2018).

Tabela 19: Resultados Massa Específica do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa específica (g/cm³)	2,42	2,41	2,42

Fonte: Autores (2018).

Tabela 20: Dados para cálculo Absorção de Água do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2
ms (g)	3.020	3.025
m (g)	2.977	2.979

Fonte: Autores (2018).

Tabela 21: Resultado Absorção de Água do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Absorção de água (%)	1,49	1,54	1,52

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.4.3 Teor de umidade

A dimensão do resíduo de vidro varia entre 9,5mm e 19,0mm, segundo a NBR NM 26 Agregados: amostragem (ABNT,2009) a quantidade total de resíduo de vidro que foi coletado é de 25kg ou 40dm³. A NBR 6502 - Rochas e solos (ABNT, 1995) orienta que o tamanho de grão deve variar entre 0,2mm e 0,6mm.

Após a coleta da amostra foi realizado o quarteamento segundo a NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001). Despejou-se a amostra em um separador mecânico, de forma que o resíduo de vidro passou livremente entre as calhas para os recipientes posicionados abaixo delas, recolocando partes da amostra de um destes recipientes novamente no separador. Este processo repetiu-se até que houve a quantidade de amostra necessária para realizar o ensaio. Foi utilizado 3.000 gramas de resíduo de vidro (m_i) para a realização do ensaio.

Este ensaio foi orientado pela NBR 9939 – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio (ABNT, 2011).

A amostra foi levada para a estufa por 24 horas em uma temperatura média de 105 ± 5 °C. Retirou-se a amostra da estufa, pesou-se e anotou-se a sua massa final (m_f).

Foi calculado o teor de umidade do resíduo de vidro através da Equação (10).

(10)

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$$

Onde:

h: é o teor de umidade total, em porcentagem;

m_i : massa inicial da amostra, em gramas;

m_f : massa final da amostra seca, em gramas.

Os resultados obtidos estão demonstrados conforme Tabelas 22 e 23.

Tabela 22: Dados para cálculo do Teor de Umidade do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2
Mi (g)	3.000	3.000
Mf (g)	2.998	2.997

Fonte: Autores (2018).

Tabela 23: Resultado do Teor de Umidade do Vidro

	Amostra 1	Amostra 2	Média
Teor de umidade (%)	0,07	0,1	0,09

Fonte: Autores (2018).

3.1.2.5 Água de amassamento

A água que foi consumida para a realização dos concretos foi fornecida pela SANEPAR, através da rede de distribuição pública.

3.1.3 Dosagem do concreto

No que se refere à dosagem ou traço do concreto, a NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento (ABNT, 2015), relata que são as proporções dos materiais componentes do concreto em volume ou massa, normalmente obtendo como referência o cimento, possibilitando também obter as quantidades de materiais para produzir um metro cúbico de concreto.

O traço unitário empregado nesta pesquisa foi baseado em Peres (2013), sendo 1 : 2,5 : 3, 5 e relação água / aglomerante de 0,52, para se obter uma resistência de 30 MPa, aos 28 dias. A Tabela 24 indica a quantidade de materiais por metro cúbico de concreto.

Tabela 24: Consumo de materiais (kg/m³).

Cimento	330,45
Areia	825,71
Brita	1155,99
Água	172,58

Fonte: Peres, 2013.

3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem e a cura dos corpos de prova seguiram as orientações da NBR 5738 – Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015). Sendo assim, foram utilizados moldes cilíndricos com diâmetro de 10 cm e com altura de 20 cm. Os moldes são de material metálico contendo uma abertura na parte superior, garantindo a estanqueidade e o fechamento na parte inferior, possibilitando a facilidade na desmoldagem, para que os corpos de prova não se danifiquem.

Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), primeiramente os moldes foram preparados com a aplicação na parte interna de uma fina camada de óleo mineral, sendo que o mesmo não pode reagir com o concreto. Posteriormente, o concreto foi colocado em camadas homogêneas, visto que cada uma foi adensada manualmente utilizando-se uma haste de adensamento.

Os corpos de prova foram de 100mm, então segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) foram necessárias duas camadas de adensamento, com doze golpes para cada. O adensamento foi executado com golpes uniformes se estendendo por toda a seção transversal da camada. Posteriormente, na próxima camada os golpes foram executados de maneira que a haste adentre 20mm em sua camada anterior. Após o adensamento manual, foi batido nos moldes, nas suas laterais, possibilitando a retirada dos vazios presentes no concreto.

Em seguida os corpos de prova foram colocados em uma superfície horizontal rígida, não possuindo perturbações ou vibrações. Após 24 horas, eles foram colocados em uma câmara úmida com uma umidade relativa do ar de 95% e com uma temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Foram realizados ensaios nos corpos de prova, depois de decorridos 28 dias.

Para cada concreto estudado foram moldados 03 (três) corpos de prova para o ensaio de absorção de água, 06 (seis) para o ensaio de resistência à compressão e 03 (três) para o ensaio de módulo de elasticidade, totalizando 36 amostras.

3.1.5 Proporções de substituição do resíduo de vidro

Foram estabelecidas as proporções de 50 e 100% de substituição de resíduo de vidro como agregado graúdo.

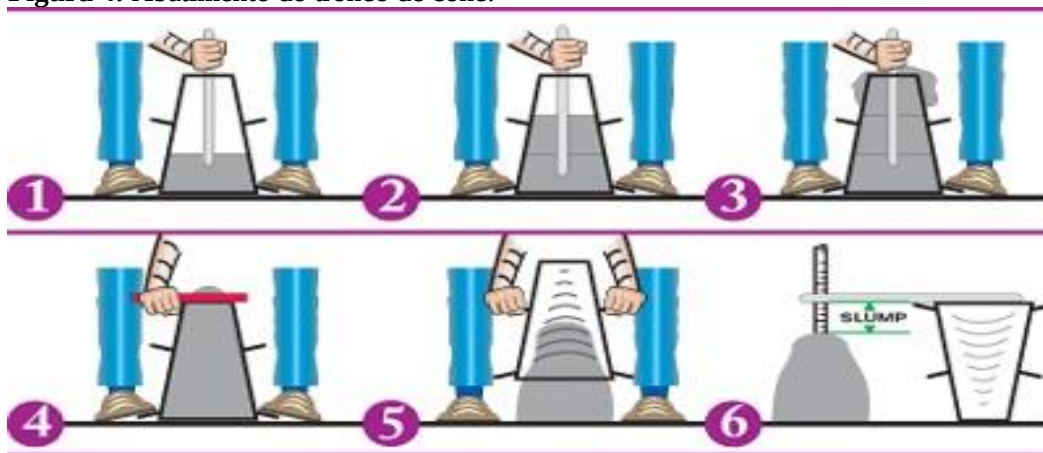
3.1.6 Ensaios

3.1.6.1 Consistência – *Slump Test*

O ensaio do abatimento do concreto, também conhecido como *Slump Test*, foi realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, medindo sua consistência e avaliando se está adequado para o uso a que se destina. Primeiramente foi fixado o abatimento em $100\text{mm} \pm 20\text{mm}$ de tolerância.

O ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone seguiu as orientações da NBR NM 67 – Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998). Para garantir a estabilidade, foram posicionados os pés do operador nas laterais do molde, sendo preenchido um molde com formato de um tronco de cone de concreto fresco em 03 (três) camadas, sendo que cada camada foi compactada com uma haste de socamento com 25 golpes para cada camada. Posteriormente, o concreto foi desmoldado sobre uma placa de base de material metálico, possuindo dimensão máxima de 500mm de cada lado. Foram medidas as diferenças de altura entre o eixo da amostra desmoldada e do molde, conforme ilustrado na Figura 4. Foi realizado 01 (um) ensaio para cada tipo de concreto, totalizando 03 (três) ensaios.

Figura 4: Abatimento do tronco de cone.



Fonte: LinkedIn (2017).

3.1.6.2 Absorção de água

Para a determinação da absorção de água foi realizado o ensaio de absorção de água por imersão, seguindo as orientações da norma NBR 9778 – argamassas e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2005). Foram utilizados para o ensaio 03 (três) corpos de prova para cada concreto analisado, totalizando 09 (nove) corpos de prova, cada um com 1.500cm³ de material.

Primeiramente os corpos de prova foram levados a estufa por 72h. Em seguida, foram pesados e anotados (Ms). Posteriormente, os corpos de prova foram levados por 72h a imersão em água com temperatura de 23 ± 2 °C.

Logo após, os corpos de prova foram levados para a imersão em um recipiente contendo água, levando-os progressivamente à ebulição, iniciando entre 15min e 30min. A condição de ebulição foi mantida por 5h. Em seguida, os corpos de prova foram levados à temperatura ambiente de 23 ± 2 °C para possibilitar o esfriamento. Os corpos de prova então foram retirados da água e secados com um pano úmido e novamente foi feita a pesagem dos corpos de prova (Msat).

Foi calculado o Índice de absorção de água através da equação (11).

$$A = \frac{Msat - Ms}{Ms} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

A: índice de absorção de água, em porcentagem;

Msat: é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

Ms: é a massa da amostra seca.

3.1.6.3 Resistência à compressão

Para este ensaio foram utilizados 06 (seis) corpos de prova para cada concreto analisado, totalizando 24 (vinte e quatro) corpos de prova. Ressalta-se que todos os 24 (vinte e quatro) corpos de prova foram rompidos com 28 dias após a sua moldagem. A norma que orienta a realização deste ensaio é a NBR 5739 – Concreto: ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007). Antes da execução do ensaio foram preparadas as bases

dos corpos de prova, nivelando as superfícies de cada um deles, passando os mesmos por uma retífica, possibilitando o encaixe perfeito na prensa hidráulica.

A prensa hidráulica possui um pistão que aplica uma força de compressão axial nos corpos de prova, a força é aplicada gradualmente até que aconteça o rompimento dos corpos de prova.

Previamente à realização do ensaio, foram secas e limpas as faces dos pratos da prensa hidráulica e as faces dos corpos de prova para iniciar o ensaio. Em seguida, os corpos de prova foram centralizados nos pratos da prensa hidráulica e então foi iniciada a aplicação da força de compressão gradual, sendo sem choque e contínuo. A velocidade foi constante, de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s. Foi mantida esta velocidade até o término do ensaio, parando no momento que iniciou a ruptura dos corpos de prova.

Foi calculado a resistência à compressão através da Equação (12).

(12)

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde:

f_c : resistência à compressão, em megapascals;

F: força máxima alcançada, em newtons;

D: diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

3.1.6.4 Módulo de elasticidade

Para ensaio de módulo de elasticidade foram utilizados 03 (três) corpos de prova para cada concreto analisado, totalizando 09 (nove) corpos de prova. A norma que orienta este ensaio é a NBR 8522 - Concreto: determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008). Antes da execução deste ensaio foram preparadas as bases dos corpos de prova, nivelando as superfícies deles, passando os mesmos por uma retífica, possibilitando o encaixe perfeito na prensa hidráulica.

Foi utilizada uma prensa hidráulica eletrônica que possibilitou o fornecimento dos dados necessários para o cálculo do módulo de elasticidade. Tendo em vista que foram utilizados os resultados do ensaio de compressão axial para obter as médias de carregamentos e descarregamentos, conforme Tabela 25, respeitando a velocidade de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s.

Tabela 25: Valores de Resistência à compressão utilizados no ensaio

AMOSTRA	RESISTÊNCIA MÉDIA (F_c) (Mpa)	TENSÃO DO LIMITE SUPERIOR (σ_b) (Mpa)
TESTEMUNHO	21,4	6,4
ADIÇÃO DE 50% DE VIDRO	15,5	4,7
ADIÇÃO DE 100% DE VIDRO	10,9	3,3

Fonte: Autores (2018).

Na primeira fase, o carregamento foi até a força que corresponde à tensão limite superior (σ_b), sendo que tensão limite σ_b é correspondente a 30% da tensão de ruptura segundo a Tabela 25 e foi mantido 60 segundos nesta tensão, posteriormente foi descarregado, chegando a uma força aproximada de 0.

Na segunda fase, foi carregado até a tensão de 0,5 MPa (σ_a) e foi mantido nesta tensão 60 segundos, posteriormente foi carregado até a força limite superior (σ_b) e foi mantido mais 60 segundos com esta força, em seguida foi descarregado, chegando a uma força aproximada de 0.

Na terceira fase foram repetidos os passos da segunda fase.

Na quarta fase foi carregado até a tensão de 0,5 MPa (σ_a) e foi mantido por 60 segundos, foram registradas as deformações (ε_a), efetuadas em até 30 segundos, posteriormente foi carregado até a força limite superior (σ_b) e foi mantido por 60 segundos, registrando as deformações (ε_b), efetuadas em até 30 segundos.

Em seguida foi carregado na mesma taxa de velocidade até que houve a ruptura do corpo de prova, desta maneira obteve-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$), visto que a resistência efetiva é definida como mais de 20% de f_c ,

O cálculo da deformação específica foi executado através da Equação (13), sendo que o ΔL obtido através dos relógios comparadores da prensa hidráulica, o comprimento inicial é a altura entre os anéis da prensa, sendo de 100mm.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (13)$$

Onde:

ε : Deformação específica;

ΔL : é a variação do comprimento do corpo de prova, em mm;

L: é o comprimento inicial do corpo de prova, em mm.

Foi calculado, enfim, o módulo de elasticidade através da Equação (14).

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad (14)$$

Onde:

σ_b : é a tensão limite superior ($\sigma_b = 0,3 \times f_c$), em megapascals;

ε_a : é a deformação específica média dos corpos de prova, sob a tensão limite superior;

ε_b : é a deformação específica média dos corpos de prova, sob a tensão básica (0,5).

3.1.7 Análise dos dados

As coletas dos dados referentes à pesquisa foram efetuadas através de anotações em papel sulfite. Em seguida, os dados foram organizados em tabelas e gráficos no Excel.

Após a organização, os resultados foram analisados por meio de comparação com a bibliografia, realizando também a comparação dos dados das amostras com substituição do resíduo de vidro e sem adição do resíduo de vidro.

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de consistência, módulo de elasticidade, resistência à compressão e da absorção de água, para substituição de 50% e 100% de resíduo de vidro temperado como agregado graúdo na confecção dos concretos, comparando com o concreto convencional.

4.1.1 Consistência – *Slump Test*

O ensaio de abatimento do concreto (*Slump Test*) foi realizado com o concreto fresco durante a confecção dos concretos, realizando um (01) ensaio para cada tipo de concreto, os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 26.

Tabela 26: Resultado Slump Test

Porcentagem de substituição	Resultado Slump Test (mm)
Testemunho	112
50%	112
100%	110

Fonte: Autores (2018).

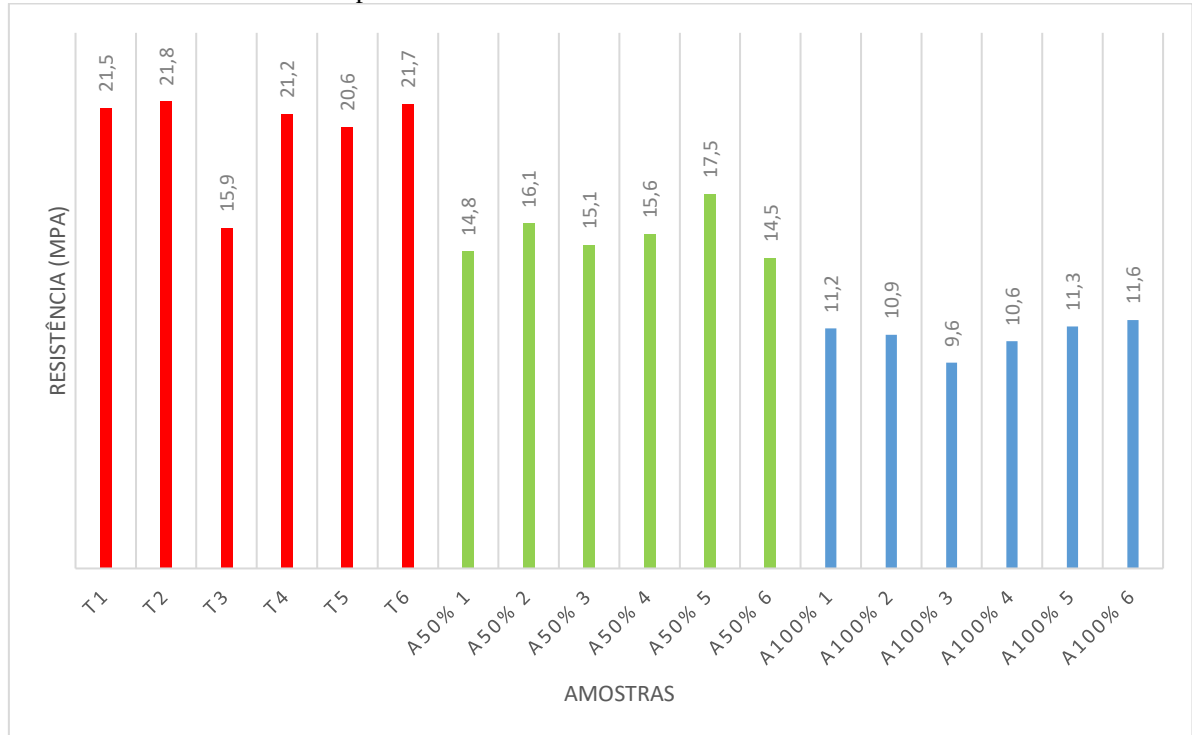
Ao analisar os resultados foi observado que em relação à comparação com o concreto convencional (testemunho) e dos concretos com resíduo de vidro temperado em substituição do agregado graúdo, não houve diferenças notáveis.

Segundo a NBR-8953 (ABNT, 2015) e demais bibliografias citadas no Capítulo 2 da presente pesquisa, os três (03) tipos de concretos analisados estão classificados como concretos utilizados para elementos estruturais, com lançamento convencional, possuindo boa consistência, pois em nenhuma das amostras apresentaram fenômenos como o de segregação ou exsudação do concreto.

4.1.2 Resistência à compressão

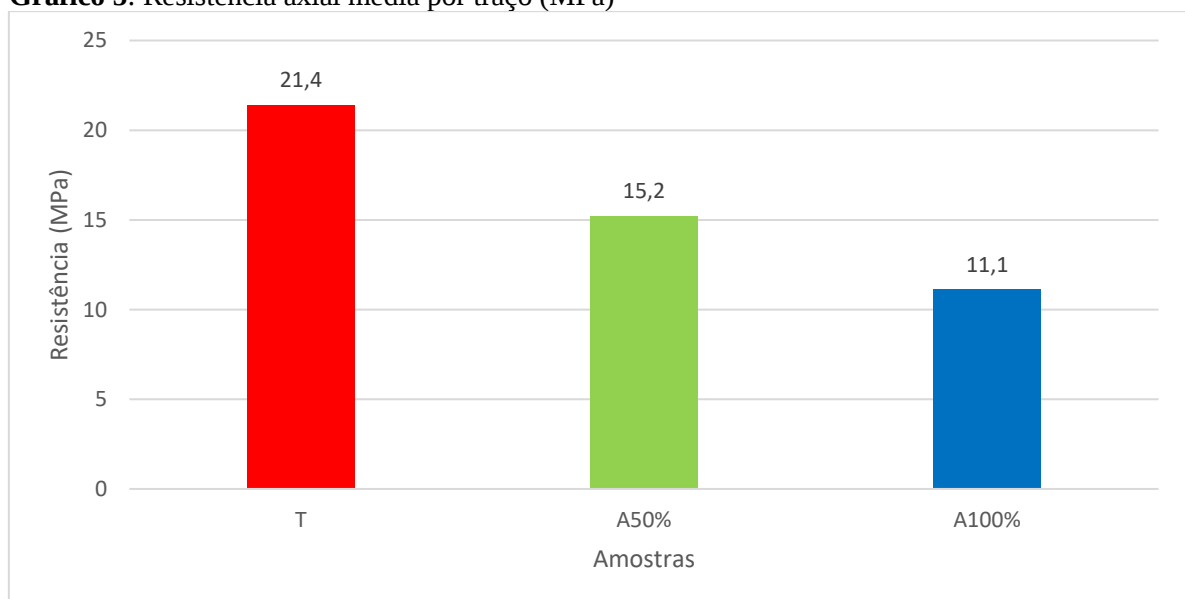
Os valores obtidos no ensaio de Resistência à compressão axial dos concretos após 28 dias, podem ser observados no Gráficos 4 e 5, no Apêndice A.

Gráfico 4: Resistência à compressão axial.



Fonte: Autores (2018).

Gráfico 5: Resistência axial média por traço (MPa)



Fonte: Autores (2018).

Analisando os resultados, observa-se que as amostras testemunho, que são sem adição de resíduo de vidro temperado, obtiveram resistência à compressão média de 21,4MPa, as amostras com 50% de substituição de resíduo de vidro temperado obtiveram resistência à compressão média de 15,2MPa. As amostras com 100% de substituição de resíduo de vidro temperado obtiveram resistência à compressão média de 11,1MPa. As amostras T3, A50% 5 e A100% 3 foram desconsideradas da amostragem devido ao desvio relativo máximo, caracterizado pela discrepância nos valores de sua resistência à compressão das outras amostras.

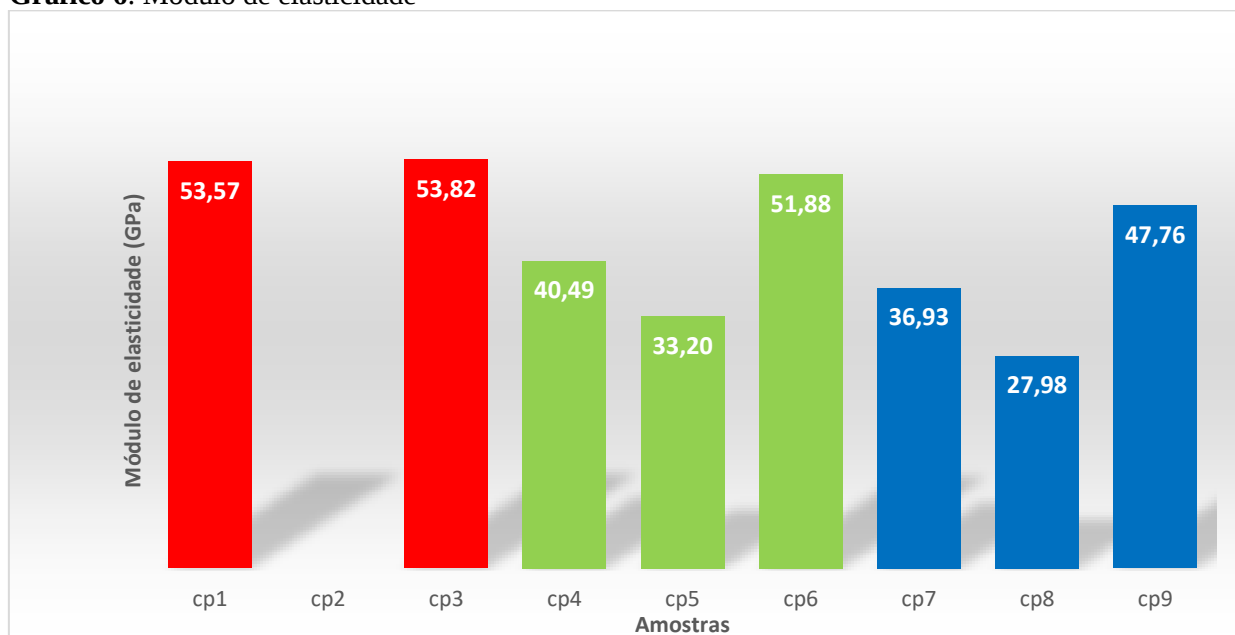
Nas amostras com 50% de substituição de vidro houve uma variação maior de resistência à compressão entre elas, acredita-se que isso ocorreu devido ao fato que durante a moldagem dos corpos de prova, pode ter variado a quantidade de vidro e brita em cada corpo de prova.

Notou-se que houve uma queda de resistência à compressão nas amostras com resíduo de vidro temperado, visto que nas amostras com substituição de 100% de vidro houve uma queda de resistência mais significativa, como já era esperado.

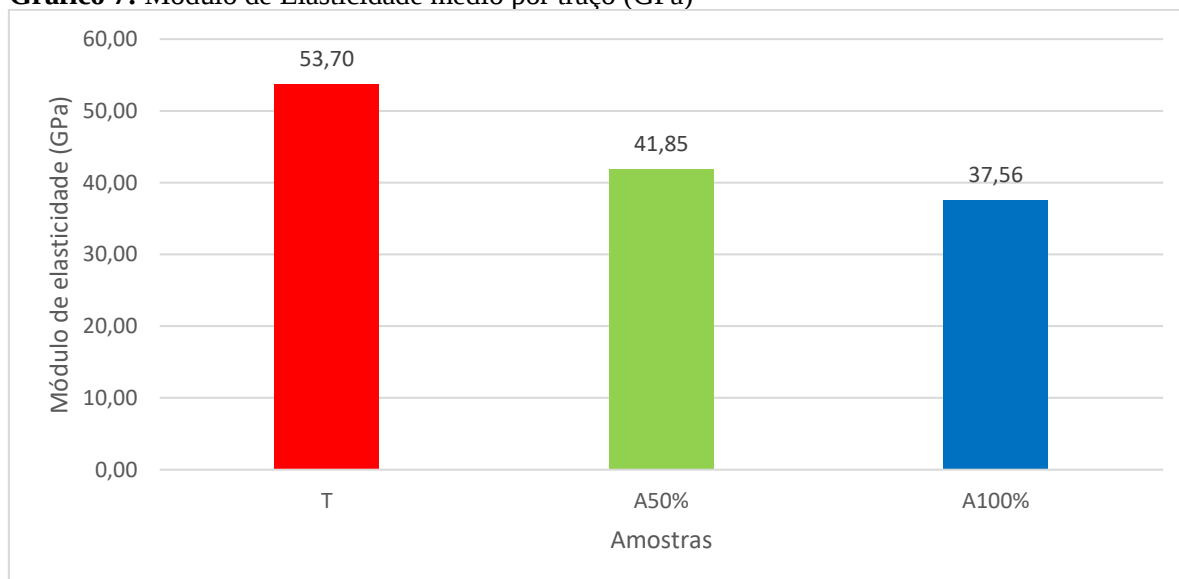
Conforme a NBR-8953 (ABNT, 2015) e demais bibliografias citadas no Capítulo 2, as amostras com substituição de resíduo de vidro temperado, nas porcentagens de 50% e 100% não podem ser utilizadas como concreto estrutural. Porém, se os concretos fossem confeccionados com cimento CPV é possível que as amostras com substituição de vidro pudessem chegar a 20MPa, possibilitando assim a sua utilização como concreto estrutural.

4.1.3 Módulo de elasticidade

Os valores obtidos no ensaio de Módulo de elasticidade dos concretos após 28 dias, podem ser observados no Gráficos 6 e 7, nos Apêndices B, C e D.

Gráfico 6: Módulo de elasticidade

Fonte: Autores (2018).

Gráfico 7: Módulo de Elasticidade médio por traço (GPa)

Fonte: Autores (2018).

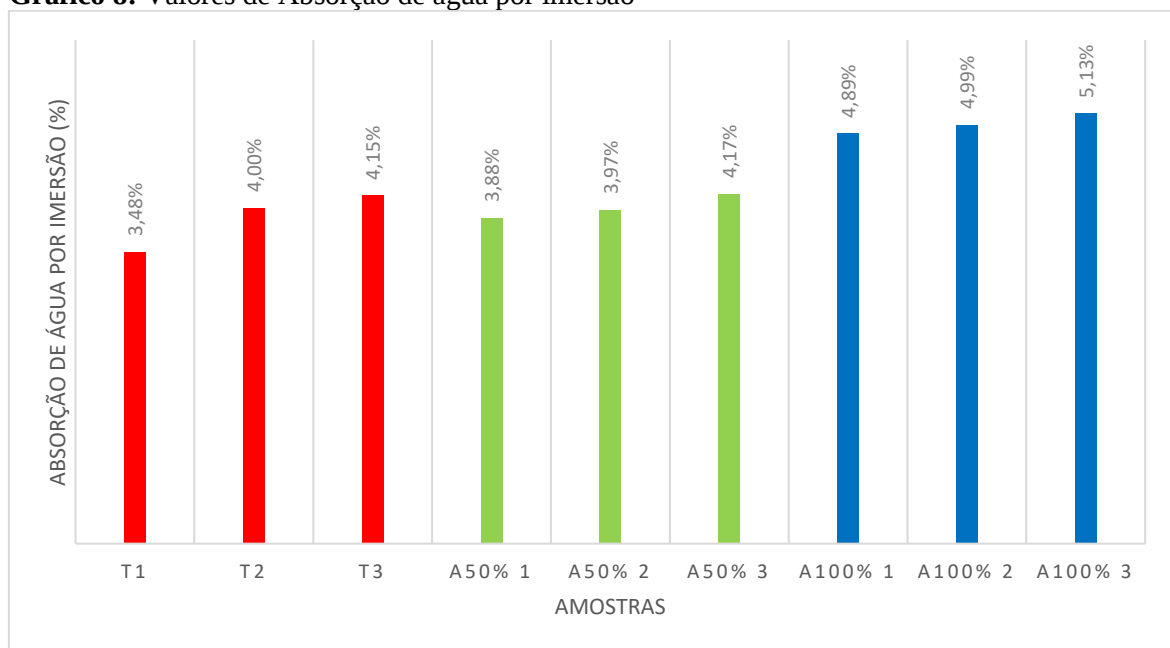
Verificou-se que as amostras testemunho, obtiveram um módulo de elasticidade médio de 53,70GPa, as amostras com 50% de substituição de resíduo de vidro temperado obtiveram um módulo de elasticidade médio de 41,85GPa. Já as amostras com 100% de substituição de resíduo de vidro temperado obtiveram um módulo de elasticidade médio de 37,56GPa. Notou-se novamente a queda dos valores dos testemunhos em relação às amostras com resíduo de vidro temperado.

A amostra cp2 foi desconsiderada, pois durante a realização do ensaio desta amostra ocorreu um erro no equipamento, não possibilitando a conclusão do ensaio.

4.1.4 Absorção de água por imersão

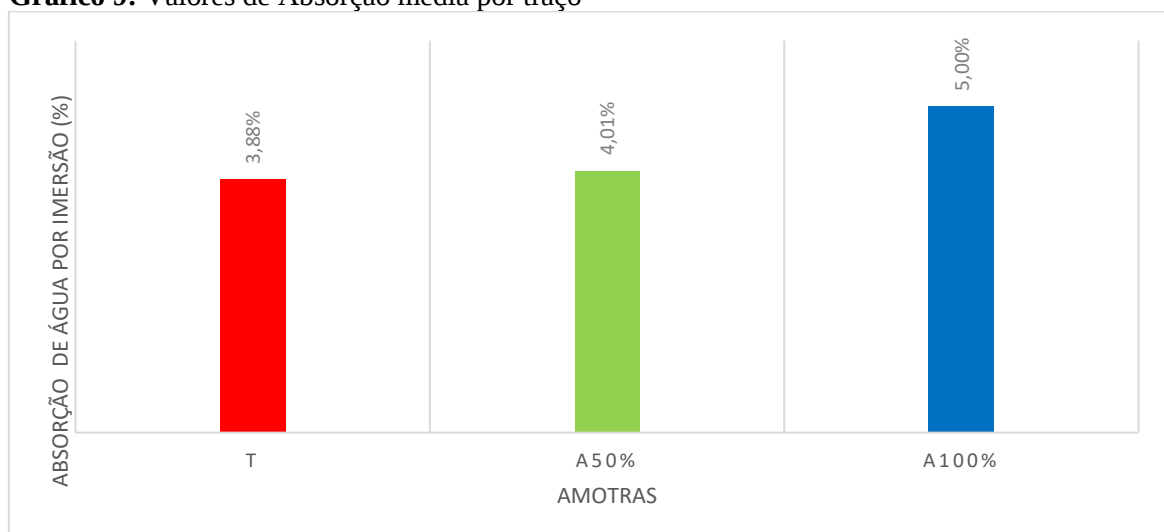
Os valores obtidos no ensaio de Absorção de água por imersão dos concretos após 28 dias, podem ser observados nos Gráficos 8 e 9.

Gráfico 8: Valores de Absorção de água por imersão



Fonte: Autores (2018).

Gráfico 9: Valores de Absorção média por traço



Fonte: Autores (2018).

Observou-se que os índices de absorção de água foram maiores nas amostras com resíduo de vidro temperado em comparação ao testemunho, indicando que o vidro aumentou a permeabilidade dos concretos. Segundo referências bibliográficas previamente citadas no Capítulo 2 desta pesquisa, concreto mais permeável aumenta a porosidade do mesmo, gerando maior possibilidade de ocorrer manifestações patológicas e desgastes no concreto.

Percebeu-se que as amostras com 50% de vidro não apresentaram grandes variações em comparação com as amostras testemunho. Evidenciando uma característica positiva para a utilização do resíduo de vidro temperado nos concretos.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÃO

A presente pesquisa buscou estudar a viabilização da utilização de resíduo de vidro temperado como agregado graúdo em concretos. Apresentando as influências do vidro no concreto convencional e relatando se o concreto com resíduo de vidro apresenta uma aparência diferenciada.

Com base nos resultados apresentados pode-se observar que o vidro temperado tem grande influência nas propriedades dos concretos. Houve queda nos valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos com substituição de resíduo de vidro temperado em comparação com o concreto convencional. Os valores de absorção de água também não foram positivos, pela ocorrência dos concretos com adição de vidro apresentarem maior permeabilidade em comparação com o concreto convencional. No que se refere ao *Slump Test*, não houve diferenças significativas nos concretos com adição de vidro em comparação com o concreto convencional, podendo relatar que o resíduo de vidro temperado tem influência positiva no concreto no estado fresco, com boa consistência, sem apresentar exsudação e segregação.

Após finalizar esta pesquisa, pode-se constatar que o concreto com substituição de resíduo de vidro temperado não deve ser utilizado para fins estruturais, porém, as amostras com substituição de 100% de resíduo de vidro temperado apresentaram uma aparência diferenciada, podendo ser utilizada para fins arquitetônicos.

6 CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, algumas sugestões para exploração e aprofundamento da pesquisa em concretos com adição do resíduo de vidro temperado:

- Utilização do resíduo de vidro temperado como material de substituição parcial do agregado miúdo.
- Utilização do resíduo de vidro temperado como material de substituição parcial do cimento.
- Utilização do resíduo de vidro temperado como material de substituição parcial do agregado graúdo utilizando cimento CPV.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. O. **Apostila para as aulas práticas de materiais de construção**. UFC – Universidade Federal do Ceará. Centro de tecnologia - Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Ceará, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953 - **Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502 - **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro: 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578 – **Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro: 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 – **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação**. Rio de Janeiro: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – **Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778 – **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9939 – **Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 248 - **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 26 - **Agregados - Amostragem**. Rio de Janeiro: 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 27 - **Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro: 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 30 - **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 52 - **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 53 – **Agregados graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. NBR NM 67 – **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco e cone**. Rio de Janeiro: 1998.

BASTOS, P. S. S. **Histórico e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado.** Disponível em:

<http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf>.

Acesso em: 15 ago. 2017.

CASSAR J; CAMILLERI J. **Utilisation of imploded glass in structural concrete.** Construction and Building Materials. N°29, p. 299-307, 2012.

CENTRO DE INFORMAÇÕES SOBRE RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE – RECICLOTECA. **Vidro:** história, composição, tipos, produção e reciclagem. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/vidro/>>. Acesso em: 20 ago. de 2017.

CRENTSIL, K. S.; BROWN, T.; TAYLOR, A. **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, 2001.

FERRARI, G.; JORGE, J. **Materiais e Tecnologias.** São Paulo: Universidade Bandeirantes. (Notas de aula). Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/apostila-parte-1rev-materiais-pdfd108975701>>. Acesso em: 20 ago. 2017

GIOVANNI, M. **O vidro:** os estilos na arte. São Paulo, Martins Fontes, 1992.

HELENE,P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem Controle do Concreto**, 1 ed. São Paulo: Pini Ltda, 1993.

MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. **Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura.** Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas São Paulo. 2006.

MEHTA, K. P., MONTEIRO, M. J. P. **Concreto, Estruturas, Propriedades e Materiais**, 1 ed. São Paulo: Pini Ltda, 1994.

MEYER, C., Y. Xi, J. **Mater.** In:Civil Eng. ASCE 11, 2 (1999).

NASSAR R.; SOROUSHIAN P. **Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement.** Construction and Building Materials, v. 29, p. 368-377, 2012.

PEREIRA, A. H. **Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos.** Campo Mourão, 2016.

PETRUCCI, R. G. E.; **Concreto de Cimento Portland**, 13 ed. São Paulo: Global S. A., 1998.

PROJETO COMPETIR; SENAI; SEBRAE; GTG. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem.** Disponível em: <http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/Livro-Gestao-de-Residuos_id_177__xbc2901938cc24e5fb98ef2d11ba92fc3_2692013165855_.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem de Vidro.** Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-vidro>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

RICHARDS, B. **New glass architecture.** North America, Yale University Press, 2006.

SHACKELFORD, J. F. **Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros.** Trad. Daniel Vieira. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SILVA, J. L et al. **Substituição do agregado graúdo (brita) por vidro temperado no concreto.** Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/substituicao-do-agregado-graudo-brita-por-vidro-temperado-no-concreto/152744>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

TAHA, B; NOUNU, G. **Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement.** Construction and Building Materials, n°22, p.713-720, 2008.

TEIXEIRA, I. **RESOLUÇÃO N°431 de 24 de Maio de 2011** – Publicada no DOU n°99, de 25/05/2011, pág 123 (resolução CONAMA).

TOPÇU, I. B., CANBAZ, M. **Properties of concrete containing waste glass**. Cement and Concrete Research. Elmsford, v.34, n.1, p. 267–274, 2004

TRC Vidros Temperados. **Sobre o Vidro**. Disponível em: <<http://www.trcvidros.com.br/sobre-o-vidro>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

VIALLI, A. **Vidro: Gargalo na reciclagem**. Folha de São Paulo. São Paulo. 2016.

APÊNDICE A – Resistência à compressão axial

AMOSTRA	Nº AMOSTRA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)	DESVIO RELATIVO MÁXIMO (%)
TESTEMUNHO	T1	21,5	21,4	3,6
	T2	21,8		
	T3	*		
	T4	21,2		
	T5	20,6		
	T6	21,7		
ADIÇÃO DE 50% VIDRO	A50% 1	14,8	15,2	5,8
	A50% 2	16,1		
	A50% 3	15,1		
	A50% 4	15,6		
	A50% 5	*		
	A50% 6	14,5		
ADIÇÃO DE 100% VIDRO	A100% 1	11,2	11,1	4,7
	A100% 2	10,9		
	A100% 3	*		
	A100% 4	10,6		
	A100% 5	11,3		
	A100% 6	11,6		

APÊNDICE B – Deformação A e B do concreto

		DEFORMAÇÃO A				
		RELÓGIO 1 (mm)	delta L/ L (mm)	RELÓGIO 2 (mm)	delta L/ L (mm)	MÉDIA RELOGIO 1 E 2
TESTEMUNHO	cp1	0,00350	0,0000350	-0,00450	-0,0000450	-0,00000500
	cp2	0,00000	0,0000000	0,00000	0,0000000	0,00000000
	cp3	0,00520	0,0000520	0,00830	0,0000830	0,00006750
A50%	cp4	-0,02700	-0,0002700	0,00650	0,0000650	-0,00010250
	cp5	0,00200	0,0000200	0,00750	0,0000750	0,00004750
	cp6	0,00250	0,0000250	0,00600	0,0000600	0,00004250
A100%	cp7	0,00050	0,0000050	0,00300	0,0000300	0,00001750
	cp8	0,00800	0,0000800	-0,00600	-0,0000600	0,00001000
	cp9	-0,00600	-0,0000600	0,00940	0,0000940	0,00001700

		DEFORMAÇÃO B				
		RELÓGIO 1 (mm)	delta L/ L	RELÓGIO 2 (mm)	delta L / L	MÉDIA RELÓGIO 1 E 2
TESTEMUNHO	cp1	0,0136	0,0001360	0,0075	0,0000750	0,00010550
	cp2	0,0000	0,0000000	0,0000	0,0000000	0,00000000
	cp3	0,0150	0,0001500	0,0205	0,0002050	0,00017750
A50%	cp4	0,0040	0,0000400	-0,0040	-0,0000400	0,00000000
	cp5	0,0245	0,0002450	0,0100	0,0001000	0,00017250
	cp6	0,0100	0,0001000	0,0145	0,0001450	0,00012250
A100%	cp7	0,0105	0,0001050	0,0080	0,0000800	0,00009250
	cp8	0,0120	0,0001200	0,0098	0,0000980	0,00010900
	cp9	-0,0100	-0,0001000	0,0250	0,0002500	0,00007500

APÊNDICE C – Tensão efetiva do ensaio de módulo de elasticidade.

		RESISTÊNCIA EFETIVA (Mpa)	DIFERE	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)	TENSÃO DO LIMITE SUPERIOR (MPa)
TESTEMUNHO	cp1	21,6	1%	21,4	6,42
	cp2	*			
	cp3	22,3	4%	21,4	6,42
A50%	cp4	15,8	2%	15,5	4,65
	cp5	17,3	12%	15,5	4,65
	cp6	16,8	8%	15,5	4,65
A100%	cp7	11,3	4%	10,9	3,27
	cp8	10,6	-3%	10,9	3,27
	cp9	12,6	16%	10,9	3,27

APÊNDICE D – Valores do Módulo de Elasticidade

		MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE MÉDIO (GPa)
TESTEMUNHO	cp1	53,57	53,70
	cp2		
	cp3	53,82	
A50%	cp4	40,49	41,85
	cp5	33,20	
	cp6	51,88	
A100%	cp7	36,93	37,56
	cp8	27,98	
	cp9	47,76	

APÊNDICE E – Valores de Absorção de Água por Imersão

Amostra	Massa (g) da amostra:		Absorção de água %	Absorção média de cada amostra
	Massa seca (Ms)	Massa saturada em água após imersão e fervura (Msat)		
T1	3.823,30	3.961,10	3,48%	3,88%
T2	3.783,30	3.941,00	4,00%	
T3	3.747,80	3.910,10	4,15%	
A50% 1	3.654,80	3.802,30	3,88%	4,01%
A50% 2	3.582,70	3.731,00	3,97%	
A50% 3	3.617,70	3.775,10	4,17%	
A100% 1	3.338,80	3.510,40	4,89%	5,00%
A100% 2	3.363,40	3.540,00	4,99%	
A100% 3	3.328,90	3.508,80	5,13%	