

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS CAVALCANTE DE ASSUNÇÃO QUEIROGA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MATERIAIS VÍTREOS COMO
AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO**

São Luís
2017

MATHEUS CAVALCANTE DE ASSUNÇÃO QUEIROGA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MATERIAIS VÍTREOS COMO
AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio

São Luís
2017

Queiroga, Matheus Cavalcante de Assunção.
Estudo da viabilidade do uso de materiais vítreos como agregado miúdo
no concreto / Matheus Cavalcante de Assunção Queiroga. – São Luís,
2017.

86 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade
Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim.

1. Concreto. 2. Resíduo. 3. Vidro. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDU 666.97:502.131.1

MATHEUS CAVALCANTE DE ASSUNÇÃO QUEIROGA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MATERIAIS VÍTREOS COMO
AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 30 / 06 / 2017

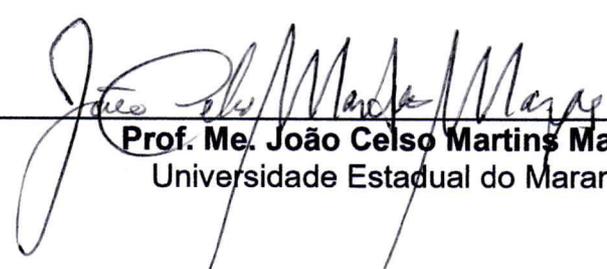
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão



Prof.ª Me. Adriana Oliveira de Carvalho
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Me. João Celso Martins Marques
Universidade Estadual do Maranhão

Aos meus pais, meus irmãos, minha avó
Baíca, familiares e amigos por todo
suporte, apoio, incentivo e ajuda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me iluminar, dar força, discernimento, persistência, honradez, me acompanhar todos os dias e mostrar que se ainda não está bom é por que ainda não é o fim.

Agradeço ao meu pai, Valdemar Cavalcante de Queiroga, que mesmo não estando mais presente entre nós, com certeza, vem me protegendo, orientando e ajudando a continuar firme nesta jornada.

À minha mãe, Maria do Rosário de Fátima Assunção Queiroga, a principal responsável por esta conquista, esta vitória é mais sua que minha. Obrigado por tudo que fizeste por mim, abdicando de seus desejos pessoais para priorizar o meu futuro e por nunca medir esforços para garantir o melhor para mim.

Aos meus irmãos, Rosa Maria Assunção de Queiroga e Valdemar Cavalcante de Queiroga Filho, por sempre me apoiarem e incentivarem nesta jornada.

Meu muito obrigado a minha namorada, Isabella Fonseca Prata, por sempre estar ao meu lado, nos momentos de alegria e, principalmente, nos de tristeza, sempre me motivando a continuar lutando.

Agradeço, também, a todos os meus familiares, em especial minha avó Baíca, e amigos que de alguma forma me ajudaram a percorrer este caminho, sempre me apoiando e fornecendo energia para a realização deste sonho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio, por ter me ajudado, guiado, dando suporte e auxílio nesta última etapa para conclusão do curso.

Obrigado ao laboratorista, Jurandir Amorim Moraes Filho, por todo suporte, ajuda, paciência e ensinamentos durante o desenvolvimento dos ensaios laboratoriais deste projeto.

Agradeço a Universidade Estadual do Maranhão, aos funcionários e aos meus professores pelos ensinamentos e por, de alguma forma, terem tornado o caminho menos complicado.

Em suma, a todos que me ajudaram o meu muito obrigado!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.”

Leonardo Da Vinci

RESUMO

Atualmente o mundo passa por uma época de conscientização ambiental, onde preservar deixou de ser uma opção e passou a ser uma necessidade. Sendo assim, há uma crescente movimentação de estudos acerca de opções de materiais sustentáveis e recicláveis para a construção civil, pois, a produção de lixo é algo intrínseco à atividade humana contemporânea. Com isso, surge a vertente que o uso de produtos recicláveis na construção civil pode ser um importante meio de minimizar os resíduos urbanos e a poluição do meio ambiente, além disso, uma forma de reduzir custos. Tendo em vista que o concreto é o material mais utilizado na construção civil e que o vidro é um produto não biodegradável e produzido em larga escala, aliado ao que foi exposto acima, pode-se pensar no vidro como um insumo do concreto. A partir daí, dá-se uma função ao vidro, reaproveitando-o na produção do concreto, e garantindo as propriedades deste, além do mais, propicia benefícios ao meio ambiente. Com isso, tem-se como objetivo deste trabalho o estudo da viabilidade do uso de materiais vítreos como agregado miúdo do concreto, realizando ensaios e análises dos resultados de resistência e propriedades para sua futura utilização na construção civil. Assim, foram estudados e comparados os comportamentos e propriedades dos três diferentes traços de concreto produzidos, sendo dois com substituição parcial do agregado miúdo natural por pó de vidro, nas proporções de 15% e 20%, e um padrão, sem essa troca. O estudo teve início com a caracterização dos materiais, com ensaios de granulometria, massa específica e umidade dos agregados e, por conseguinte, a produção dos corpos de prova, tendo como parâmetro o traço de referência, por fim, foram realizados ensaios de trabalhabilidade (slump) e de rompimento à compressão axial dos diferentes traços, com as idades de sete, quatorze e vinte e oito dias. Somente o traço com substituição parcial de 20% apresentou perda de trabalhabilidade, entretanto, todos os traços alcançaram a resistência desejada. Com isso, é importante frisar que o uso de vidro como agregado miúdo do concreto é uma opção que além de garantir as propriedades deste material reduz os impactos ambientais causados por este resíduo, além disso, contribui para uma construção sustentável.

Palavras-chave: Concreto. Resíduo. Vidro. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Today the world is going through an era of environmental awareness, where preserving is no longer an option and has become a need. Thus, there is a growing in the studies about sustainable and recyclable options of materials for civil construction, because the production of garbage is something intrinsic to contemporary human activity. This way, the emergence of the use of recyclable products in construction can be an important way to minimize urban residues and pollution of the environment, and a way to reduce costs. Taking into consideration that concrete is the most used material in civil construction and that glass is a non-biodegradable product and produced in large scale, combining with the facts above, glass can be thought of as an aggregate of concrete. From there, a function is given to the glass, reusing it in the production of the concrete, and guaranteeing its properties, besides, it provides benefits to the environment. The objective of this work is to study the feasibility of using vitreous materials as a small aggregate of concrete, performing tests and analysis of the results of resistance and properties for their future use in civil construction. Thus, the behaviors and properties of the three different concrete traces were studied and compared, two with partial replacement of the natural small aggregate by glass powder, in proportions of 15% and 20%, and a standard, without this change. The study began with the characterization of the materials, with tests of granulometry, specific mass and humidity of the aggregates and, therefore, the production of the specimens, having as reference the reference trace, were carried out workability tests (Slump) and axial Compression rupture of the different traces, at the ages of seven, fourteen and twenty-eight days. Only the concrete trace with partial substitution of 20% presented loss of workability, however, all the traces reached the desired resistance. It is important to emphasize that the use of glass as a small aggregate of concrete is an option that, in addition to guaranteeing the properties of this material, reduces the environmental impacts caused by this residue, and contributes to sustainable construction.

Keywords: Concrete. Residue. Glass. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição química do vidro.	21
Figura 2 - Participação das regiões do país no total de RSU coletado	31
Figura 3 - Composição Gravimétrica da Coleta Seletiva.	32
Figura 4 - Ciclo infinito da reciclagem do Vidro.	34
Figura 5 - Destino das Embalagens de Vidro pós-consumo no Brasil em 2007.	35
Figura 6 - Peneiramento com agitador mecânico.....	42
Figura 7 - Sequência do material retido no peneiramento da areia.	43
Figura 8 - Sequência do ensaio Chapman.	43
Figura 9 - Sequência do material retido no peneiramento da brita.	45
Figura 10 - Sequência do ensaio de massa específica do agregado graúdo.....	46
Figura 11 - Torrões de vidro.....	46
Figura 12 - Vidro triturado.....	47
Figura 13 - Sequência do material retido no peneiramento do Vidro.....	47
Figura 14 - Separação do material.	49
Figura 15 - Fabricação do Concreto.	49
Figura 16 - Corpos de prova moldados.....	50
Figura 17 - Corpos de prova submersos para cura.	50
Figura 18 - Ensaio de Tronco de Cone.	52
Figura 19 - Capeamento dos corpos de prova.	53
Figura 20 - Sequência do ensaio de compressão.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).....	55
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo (brita 1).....	56
Gráfico 3 - Curva granulométrica do vidro.....	58
Gráfico 4 - Curva de Abrams.....	59
Gráfico 5 - Ábaco experimental de França.....	61
Gráfico 6 - Resistência à compressão x Idade.....	68
Gráfico 7 - Comparação das resistências à compressão.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos ganhos com a reciclagem do vidro.	38
Tabela 2 - Granulometria do agregado miúdo.....	54
Tabela 3 - Classificação do módulo de finura.	55
Tabela 4 - Granulometria do agregado graúdo.	56
Tabela 5 - Granulometria do vidro.....	57
Tabela 6 - Consumo de água.....	60
Tabela 7 - Quantidade de materiais por traço.....	65
Tabela 8 - Resultado do Abatimento.....	65
Tabela 9 - Perda de trabalhabilidade.....	66
Tabela 10 - Resistência à compressão do traço padrão.	66
Tabela 11 - Resistência à compressão traço com substituição de 15%.....	67
Tabela 12 - Resistência à compressão traço com substituição de 20%.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C	Antes de Cristo
ASTM	American Society for Testing and Materials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro
ABRAVIDRO	Associação Brasileira de Distribuição e Processadores de Vidros Planos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANAVIDRO	Associação Nacional de Vidraçarias
CEBRACE	Companhia Brasileira de Cristal
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CERF	Civil Engineering Research Foudantion
cm	Centímetros
CNQ	Confederação Nacional do Ramo Químico
CP	Cimento Portland
CP's	Corpos de Prova
Fck	Resistência característica do concreto à compressão
g	Grama
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológico
Kg	Quilograma
Kg/hab.dia	Quilograma por habitante dia
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
Kgf/cm ²	Quilograma força por centímetro quadrado
L	Litro
mm	Milímetro
MF	Módulo de Finura
MPa	Megapascal

N	Newton
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PIB	Produto Interno bruto
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
Tf	Tonelada força
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Vidro	19
3.1.1 A história do vidro	19
3.1.2 Definição	21
3.1.3 Propriedades físicas do vidro	22
3.1.4 O uso do vidro na construção civil	22
3.2 Concreto	24
3.3 Reciclagem e meio ambiente	27
3.4 Vidro: resíduo urbano	33
3.5 A importância da reciclagem do vidro	35
3.6 O Concreto como agente reciclador	38
4 MÉTODO	40
4.1 Caracterização do objeto	40
4.2 Materiais utilizados e caracterização	41
4.2.1 Aglomerante	41
4.2.2 Agregado miúdo	42
4.2.3 Agregado graúdo	44
4.2.4 Vidro reciclado	46
4.2.5 Água	48
4.3 Produção dos corpos de prova	48
4.4 Ensaio de consistência e trabalhabilidade: Slump Test	51
4.5 Ensaio de compressão axial	52
5 ANÁLISE E RESULTADOS	54
5.1 Ensaio de caracterização do agregado miúdo	54
5.2 Ensaio de caracterização do agregado graúdo	55
5.3 Ensaio de caracterização do vidro reciclado	57
5.4 Determinação do traço pelo método IPT	58
5.4.1 Determinação da resistência média após 28 dias – F _{cj}	58
5.4.2 Determinação do fator água/cimento	59
5.4.3 Determinação do consumo de Água	59
5.4.4 Determinação do consumo de Cimento	60
5.4.5 Determinação da proporção entre os agregados	60
5.4.6 Determinação do consumo de agregados	61
5.4.7 Determinação do traço padrão em peso	62
5.4.8 Correção devido à umidade e à trabalhabilidade	63
5.4.9 Determinação dos traços corrigidos	64
5.4.10 Determinação do volume de concreto para cada traço	64

5.4.11 Quantidade de material por traço	65
5.5 Ensaio de consistência: Slump Test	65
5.6 Ensaio de Compressão Axial	66
5.6.1 Resultados do traço paradigma.....	66
5.6.2 Resultados com 15% de vidro	66
5.6.3 Resultados com 20% de vidro	67
5.6.4 Comparação dos resultados.....	67
6 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES	80

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea vive em uma época de conscientização ambiental, onde há uma crescente preocupação com os agentes poluidores do meio ambiente. A construção civil, por sua vez, não fica aquém. Obras sustentáveis deixaram de ser uma opção e passaram a ser uma necessidade. O uso de materiais reciclados na construção civil se tornou uma vertente fundamental para este aspecto ecológico.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente [201-], o desenvolvimento sustentável depende do setor da construção civil, haja vista, que este constitui a atividade humana de maior consumo dos recursos naturais. Avalia-se que de todos os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas mais de 50% é oriunda da construção (<<http://www.mma.gov.br>>).

Em consonância a Petrucci (1978), pode-se afirmar que o material construtivo mais utilizado no mundo é o concreto. Ademais, no Brasil, o consumo de concreto corresponde a 90% do total de materiais envolvidos na construção civil.

Conforme Civil Engineering Research Foundation – CERF (2009), de todos os recursos naturais extraídos, 15 a 50% é consumido pela construção civil, sendo que em países como o Reino Unido chega-se ao valor de 6 toneladas/ano.hab. Há a utilização de 1 a 8 toneladas/hab.dia de agregados naturais, onde, no Brasil, somente na produção de argamassa e concreto são usados 220 milhões de toneladas. Além disso, verifica-se que nas grandes cidades os agregados naturais iniciam um processo de escassez, até mesmo pela necessidade do controle ambiental da extração destas matérias-primas.

Dessa forma, é cada vez mais perceptível a necessidade da elaboração de técnicas para desenvolver uma construção ecológica e sustentável.

De acordo com a Associação Nacional de Vidraçarias – Anavidro (2013), ao se comparar todos os materiais recicláveis, o vidro é o que possui maior tempo para ser absorvido pela natureza. O tempo de decomposição do vidro na natureza pode levar de quatro mil anos até um milhão de anos, variando de acordo com o ambiente. Se considerado que a descoberta do vidro ocorreu, aproximadamente, há 6 mil anos, os primeiros vidros ainda não foram reabsorvidos pelo meio ambiente.

Além disso, para Pinto et al. (2008), a maior parte do vidro produzido não é reciclada, ocorrendo somente o seu descarte. Isto ocorre devido ao fato de que a

reciclagem e o transporte acabam por onerar a reutilização do vidro para sua finalidade inicial.

Para Petrucci (1978), como o concreto é o material de construção mais difundido no mundo, o estudo e aperfeiçoamento de sua produção é algo que deve ser valorizado e promovido. Logo, pesquisas e estudos acadêmicos acerca da utilização de materiais sustentáveis na sua fabricação tornaram-se algo comum e necessário.

O concreto possui três quartos do seu volume preenchido por agregados, conforme Neville (1997), sendo que sua qualidade é de suma importância. Logo, surge a necessidade de se buscar opções sustentáveis para substituição destes materiais. Com isso, o resíduo de vidro mostra-se uma opção barata e ecologicamente viável.

Por meio disso, aliando o material de construção mais utilizado ao resíduo que possui maior tempo para ser absorvido pela natureza, tem-se a possibilidade de utilizar este como insumo na produção daquele. Vale destacar, que além de reutilizar o vidro, a produção deste concreto acarretará benefícios ao meio ambiente e, até, redução de custos. Logo, tem-se a análise das propriedades do concreto produzido com substituição parcial do agregado miúdo natural por pó de vidro como o objetivo deste trabalho, sendo neste realizado ensaios para determinação das características tanto dos agregados quanto do concreto.

Portanto, a substituição do agregado natural por vidro no concreto permitirá a retirada deste resíduo do meio ambiente, onde ele perduraria por milênios, dando-o uma nova utilidade, reciclando-o e, assim, auxiliando o desenvolvimento de uma construção ecologicamente sustentável.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

- Analisar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo natural do concreto por um material vítreo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural por resíduo de vidro;
- Verificar a viabilidade técnica do concreto com material vítreo;
- Evidenciar a necessidade da reciclagem para construção civil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Vidro

3.1.1 A história do vidro

A descoberta do vidro é algo incerto e está cercada de mistério, tendo em vista que há inexistência de dados precisos que possam afirmar, com certeza, o autor desse feito. Contudo, um fato é certo, a origem do vidro é bem antiga, sendo que os primeiros registros datam de milhares de anos antes da era Cristã.

De acordo com a Companhia Brasileira de Cristal – Cebrace (2015), não há dados que precisem o descobrimento do vidro, porém historiadores atribuem este feito aos fenícios. Através da improvisação de uma fogueira de soda e salitre sobre a areia da praia, com o passar do tempo, velejadores notaram o surgimento de um líquido brilhante que se solidificava, surgindo, assim, o vidro (<www.cebrace.com.br>).

Segundo Barros (2010), a descoberta do vidro pelos fenícios é algo mitológico, tendo em vista que foi contada por um historiador latino chamado Plínio, por volta do primeiro século da era cristã. A descoberta de materiais vítreos em túmulos egípcios remete ao surgimento do vidro por volta de 4000 anos antes de Cristo, dado mais próximo da verdade.

Conforme Verçoza (apud BARROS, 2010), o vidro só passou por um processo de incremento durante a Idade Média, porém na época dos homens das cavernas já era utilizado. Todavia não se tratava de um vidro artificial, mas sim de um material natural, utilizado nas pontas de armas. Outrossim, os achados artificiais mais antigos são uma esfera de 12.000 anos antes de Cristo e um amuleto verde datado de 7.000 antes da era cristã, ambos egípcios.

Consoante a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – Abividro (2012), as primeiras civilizações a fabricarem o vidro foram os egípcios, para o uso em embalagens de cosméticos e utensílios. A técnica utilizada consistia em uma pasta de vidro maleável que propiciava diversas formas aos recipientes.

De acordo com Barros (2010), por volta de 1.500 anos antes de Cristo o vidro era pouco útil, utilizado basicamente como adorno. Somente com a descoberta

da técnica do sopro, por volta de 300 anos antes da era cristã, o vidro passou a ser melhor aproveitado. A técnica do sopro ainda é utilizada.

Já para Verallia (2010), o vidro desenvolveu-se, somente, por volta de 30 a.C, quando a vara de sopro foi descoberta na Fenícia. Esta técnica permitiu que o vidro pudesse ser moldado, possibilitando, assim, o surgimento de um “leque” de mercados. A produção concentrou-se em Alexandria e, em seguida, levada ao Mediterrâneo pelos fenícios. Com isso, surge a idade de ouro do vidro, nos primeiros quatrocentos anos da era cristã (<<http://pt.verallia.com>>).

Conforme Barros (2010), durante o século XIII, ao lado de Veneza, na ilha de Murano, a produção de vidro teve um desenvolvimento acentuado. O local foi escolhido estrategicamente e os conhecimentos da técnica eram passados hereditariamente, com o intuito de evitar a difusão ou espionagem das técnicas utilizadas. O *cristallo*, vidro transparente e bastante claro, que se assemelha com um cristal, surgiu nessa ilha.

De acordo Verallia (2010), até o século XVIII o vidro era um produto de luxo, sendo essa situação transformada quando Friedrich Siemens criou o forno de recuperação térmica, o que permitiu a produção do vidro em larga escala, contribuindo, assim, para sua difusão e permitindo que diferentes classes sociais tivessem acesso ao vidro (<<http://pt.verallia.com>>).

Consoante a Abividro (2012), o vidro chegou ao Brasil por volta do século XVII, através da invasão dos holandeses ao Nordeste. A primeira fabricação foi voltada para copos, frascos e janelas, sendo que uma oficina comandada pelo príncipe Mauricio de Nassau foi construída para a realização desta produção.

Para Cebrace (2015), após a saída dos holandeses do país a fábrica fechou. A retomada do vidro ao mapa econômico brasileiro aconteceu a partir de 1810, quando foi concedido a Francisco Ignácio da Siqueira Nobre uma carta régia que autorizava a instalação de uma indústria de vidreira no país, entrando em operação em 1812, porém falindo em 1825 (<www.cebrace.com.br>).

Ainda de acordo com a Cebrace (2015), as indústrias brasileiras de produção de vidro tiveram bastante dificuldade para competir com os produtos importados durante a história vítrea no Brasil, porém algumas detiveram êxito. No século XX a produção nacional ainda era artesanal, utilizava-se os processos de prensagem e sopro, onde a fabricação era unitária (<www.cebrace.com.br>).

Em conformidade com Barros (2010), a produção do vidro brasileiro teve seu real desenvolvimento no século XX, quando foram introduzidos fornos contínuos a recuperação de calor e equipados com máquinas ou totalmente automáticos, o que proporcionou produção em larga escala e redução de custo.

3.1.2 Definição

O vidro é obtido através do resfriamento de uma massa a base de sílica em fusão, uma substância amorfa, inorgânica e homogênea que tem como principais características a dureza e a transparência. O Conselho Regional de Química da IV região (2011) afirma que:

O vidro é uma substância inorgânica com características do estado líquido, mas que, quando resfriado, alcança um grau de viscosidade tão alto que se torna rígido para todos os usos práticos. Assim, visto sob o aspecto científico, o vidro é um líquido, mas com viscosidade tão elevada que, do ponto de vista prático, parece um “sólido” (<<http://www.crq4.org.br/vidroquimicaviva>>).

Figura 1 - Composição química do vidro.



Fonte: Trixglass.

O Conselho Regional de Química da IV região (2011) afirma que:

As etapas de produção incluem o transporte das matérias-primas para a fábrica; a classificação dos materiais; a pesagem, a mistura das matérias-primas e a introdução da massa no forno. Os procedimentos de fabricação passam por quatro etapas principais: fusão, conformação ou moldagem, recozimento e acabamento. No forno o vidro é fundido e passa para a etapa de conformação ou moldagem, quando uma máquina molda o objeto em

poucos segundos, muitas vezes usando o ar. Toda a operação é feita em tempo relativamente curto, porque o vidro transforma-se rapidamente de líquido viscoso em “sólido” (<<http://www.crq4.org.br/vidroquimicaviva>>).

3.1.3 Propriedades físicas do vidro

Segundo a Norma Projeto, execução e aplicação de vidro na construção civil - NBR 7199:1989, o vidro possui as seguintes propriedades:

- Módulo de elasticidade: $E = 750.000 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 50.000$
- Tensão de ruptura á flexão: Para vidro recozido: $400 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 50$
Para vidros de segurança temperado: $1.800 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 200$
- Coeficiente de Poisson: 0,22
- Dureza: entre 6 e 7 na escala de Mohs
- Índice de refração: 1,52
- Tensão admissível de flexão: Para vidros recozidos: $O = 130 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 20$;
Para vidro de segurança temperado: $O = 600 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 40$ (NBR 7199, 1989, p.4).

3.1.4 O uso do vidro na construção civil

Dentre as características do vidro para construção civil, tem-se: resistência satisfatória; multifuncionalidade; elevada tecnologia aplicada; e caráter estético. Por se tratar de um material que necessita, apenas, de limpezas periódicas, prescindindo manutenção ou acabamento, vem sendo utilizado em larga escala no âmbito imobiliário.

Pode ser utilizado em: pisos; divisórias; vitrines; fachadas; box para banheiro; coberturas; revestimento de paredes; guarda-corpos; blindagens; visores de piscinas; balcões planos ou curvos; janelas; portas; basculantes; visores de piscina, aquários; isolante térmico e acústico; insumos de revestimentos cerâmicos; e dentre outras.

De acordo Yazigi (2009), os vidros planos, utilizados na construção civil, podem ser classificados em: Comuns ou Recozidos; Temperados; Laminados; e Aramados. Outra subdivisão válida classifica-os em: Lisos; Impressos ou Fantasia; e Float. Já quanto ao aspecto visual, tem-se: Incolores; Coloridos; Transparente ou Não-Transparentes.

Consoante a Yazigi (2009), pode-se definir os vidros em:

- Vidro recozido: vidro comum, tratado de forma a liberar suas tensões internas após a saída do forno.
- Vidro temperado: vidro com maior resistência mecânica e ao choque térmico que o vidro recozido, tratado de forma a, quando fraturado, fragmentar-se totalmente em pequenos pedaços menos cortantes. Esse tipo de vidro não pode ser recortado, perfurado ou trabalhado após receber o tratamento.
- Vidro laminado: composto por duas ou mais chapas de vidro firmemente unidas por película(s) de material plástico, de forma que, quando quebrado, mantém os estilhaços aderidos à película.
- Vidro liso ou estirado: vidro transparente que apresenta leve distorção de imagens, ocasionada por características do processo de fabricação.
- Vidro *float*: vidro transparente fabricado por processo de flutuação, permitindo visão sem distorção de imagens (YAZIGI, 2009, p. 619).

Para Yazigi (2009), em se tratando de edificações, pode-se utilizar qualquer tipo de vidro na posição vertical, porém na horizontal não é permitido o uso de vidro recozido, por não satisfazer os requisitos de segurança.

Quanto ao vidro plano aramado, segundo Yazigi (2009), consiste em um material que possui boa resistência ao fogo, podendo ser considerado um material antichamas, obtido através da inserção de uma malha metálica de meia polegada em um vidro plano, translúcido e liso, através do processo de fusão que ocorre durante a fabricação do mesmo. Recomenda-se a sua utilização em edificações nos seguintes casos: ambientes onde é exigido resistência ao fogo, forros e coberturas (para iluminação zenital), divisórias e parapeitos.

Conforme Yazigi (2009), em ambientes que oferecem risco de acidentes é imprescindível o uso de vidro laminado, pois este é o único que possui a característica de não se partir após sofrer impacto. Além disso, outra vantagem do uso do vidro laminado é a dificuldade imposta por ele à depredação e furtos de bens.

Outra utilização de materiais vítreos na construção civil, consoante a Yazigi (2009), são os blocos de vidro, que consistem em duas faces de vidro estanques, separadas por ar rarefeito. São aplicados como meios de vedação permanente, com o intuito de garantir translucidez e claridade ao cômodo.

A lâ de vidro, de acordo com a Ecocasa [201-], vem sendo constantemente utilizada em edificações, devido às suas propriedades térmicas e acústicas. Ademais, é um produto duradouro, resistente à maresia e de fácil aplicação (<www.ecocasa.com.br>).

Segundo a Blindex [201-], o vidro pode ser aplicado em pisos decorativos, tablados, palcos, escadas e varandas, propiciando um design moderno e grande resistência mecânica e térmica (<www.blindex.com.br>).

Atualmente, está disposto no site da Cebrace um software que possibilita o dimensionamento rápido e eficaz de vidros para fachadas, coberturas, pisos, visores de piscina e aquário, baseado nas NBR's 7199 e 6123, o que evidencia a aplicabilidade do vidro na construção civil.

Para Brown e MacKenzie (1982), a utilização de material vítreo reciclado, para produção de cerâmicas industriais consiste em uma solução viável, satisfatória e ambientalmente ecológica.

De acordo com Bó et al. (2009), o uso de resíduos de vidro como insumo dos produtos utilizados na fabricação de materiais cerâmicos (granilha, fritas e vetrosas) propiciou uma redução nos custos de fabricação, além do mais, manteve as qualidades técnicas exigíveis. Vale ressaltar que se alcançou elevado ganho ambiental, tendo em vista que o vidro seria descartado no meio ambiente.

Conforme Godinho et al. (2005), a adição de pó de vidro em massa cerâmicas vermelhas, utilizadas para fabricação de telhas, obteve resultado satisfatório na sinterização, caracterizando, assim, os resíduos vítreos como possíveis insumos da produção de telhas.

Como o foco deste trabalho é o estudo do concreto com incremento de resíduo vítreo em detrimento de uma porcentagem de areia é de suma importância o conhecimento prévio acerca do concreto.

3.2 Concreto

Segundo Araújo; Rodrigues e Freitas (2000), após a pedra, argila e madeira o concreto é um dos produtos mais antigos da construção civil. No período romano já era comum o uso de concreto, entretanto, composto por cinza vulcânica e cal, que permitia a fabricação de grandes blocos de pedra. Já em 1756, John Smeaton foi o precursor na utilização de argamassa calcinada, no farol de Eddystone.

Ainda segundo Araújo; Rodrigues e Freitas (2000), o concreto só se destacou na construção civil após o advento do cimento Portland, em 1824, o que propiciou o concreto tornar-se um material versátil e de boa trabalhabilidade, satisfazendo, assim, os desejos arquitetônicos.

Para Pedroso (2009), o concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo. A sua utilização na construção civil se tornou algo imprescindível:

O concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontra-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis (PEDROSO, 2009, p. 14).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2013), durante o período de 2005 a 2012 o consumo de concreto preparado em centrais aumentou em 180%, superando o crescimento do uso de cimento, que foi de 80%. Cerca de 51 milhões de metros cúbicos de concreto devem ter sido consumidos no ano de 2012.

Para a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2013), estima-se que em 2017 a produção de concreto em centrais chegará a marca de 72,3 milhões de metros cúbicos, crescimento de 41,2% em cinco, correspondendo a 7,1% ao ano.

O concreto pode ser considerado, conforme Pedrosa (2009), uma pedra artificial que possui as propriedades de resistência mecânica semelhantes às pedras naturais e, além disso, caracteriza-se por possuir, em estado fresco, a capacidade de moldar-se.

Em conformidade a Yazigi (1997), o concreto de cimento Portland consiste em uma mistura de agregados, aglomerante e água. Após a mistura é almejado que o concreto possua boa plasticidade e trabalhabilidade, porém, após endurecido, deve garantir resistências à compressão e tração condizentes a sua utilidade.

O concreto é formado, de acordo com Andriolo e Sgarboza (1993), pela mistura de diferentes insumos, onde é permitido sua moldagem até determinado tempo, logo após, adquire propriedades mecânicas, através do seu endurecimento.

Já para Araújo; Rodrigues e Freitas (2000), o concreto é o resultado da mistura de aglomerante (cimento Portland), agregado miúdo (geralmente areia lavada), agregado graúdo (geralmente brita), água e, eventualmente, aditivos.

Para Petrucci (1978), o concreto é formado por aglomerante (cimento), materiais inertes (agregados miúdos e graúdos) e água, que quando recém-misturados proporcionam boa plasticidade, permitindo, assim, o manuseio e a moldagem adequados.

Conforme Leonhardt (1977), a consistência junto com a massa específica são as propriedades principais do concreto fresco, sendo decisivas para uma melhor trabalhabilidade.

Consoante a Mehta (1994), através do ensaio de abatimento do tronco de cone, pode-se determinar a consistência do concreto, sendo esta uma propriedade utilizada como índice de fluidez e mobilidade do concreto fresco.

Já quando endurecido, segundo Petrucci (1987), o concreto possui boa resistência às tensões de compressão, porém não possui o mesmo comportamento em relação aos esforços de tração. Entretanto, vale ressaltar, que a resistência à tração na flexão é aproximadamente o dobro quando submetido à tração simples. Além do mais, devido às tensões de distensão nos planos inclinados o concreto não possui alta resistência ao cisalhamento.

De acordo com Pinheiro et al. (2010), a principal característica mecânica do concreto é a resistência à compressão simples.

Já para Andolfato (2002), a resistência à compressão é a principal propriedade do concreto, pois ele é utilizado predominantemente para combater esse esforço e, a partir desta característica, pode-se determinar outras, através de correlações empíricas.

Conforme Petrucci (1987), a resistência mecânica do concreto é influenciada principalmente pelos seguintes fatores: fator água/cimento; graduação de forma dos agregados; tipo de cimento; idade; dimensão e forma dos corpos de prova; duração e velocidade da aplicação da carga durante o ensaio.

O cimento Portland comum é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos (NBR 5732, 1991).

Já para Bauer (1979), o cimento Portland é definido como:

Cimento Portland é o produto Obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfatos de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias de modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O clinker é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente (BAUER, 1979, p. 35).

A NBR 7211 (2009), define agregado miúdo como: “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm”.

Já em relação aos agregados graúdos é definido pela NBR 7211 (2009), como: “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm”.

A NBR 7211 (2009), determina que:

Os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão à durabilidade ou, quando for requerido o aspecto visual do concreto (NBR 7211, 2009, p. 4).

Para Helene (1992 apud PEDROZO, 2014), a importância da água na produção do concreto é indiscutível, tendo em vista o processo de hidratação do cimento, que consiste em uma reação química exotérmica que só ocorre quando o aglomerante entra em contato com a água e culmina com o endurecimento da mistura. Porém, vale ressaltar que o uso em excesso de água pode vir a gerar “sobras” no concreto, e, por conseguinte, formar canalículos no interior da mistura. Após o processo de endurecimento e de evaporação da água de amassamento, os canalículos transformam-se em vazios no concreto, causando, assim, diminuição na resistência mecânica e aumento da permeabilidade. Por outro lado, deve existir água suficiente na mistura para garantir toda a hidratação do concreto.

3.3 Reciclagem e meio ambiente

A reciclagem consiste em um processo cujo objetivo é reutilizar materiais usados e resíduos, tendo vista que nestes há componentes fundamentais para produção de outros, ou seja, é um procedimento que tem por objetivo a transformação de desperdícios que acarretariam em danos ao meio ambiente em materiais úteis à sociedade.

O processo de reciclagem permite que produtos já consumidos pela sociedade e que perderam a sua utilização possam ser reinseridos no grupo de materiais úteis, acarretando em diminuição da poluição do meio ambiente, água, ar, fauna e, também, na redução na emissão de gases de efeito estufa. Outrossim, há encolhimento no consumo de matéria-prima.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente [201-], a reciclagem é um dos componentes essenciais da política dos 3R's, correspondendo ao terceiro item

hierárquico da linha (reduzir, reutilizar e reciclar) e consiste na produção de um material por meio de um insumo já utilizado (<<http://www.mma.gov.br>>).

A política dos 3R's visa a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente através de seus três pilares: redução do consumo, reutilização dos materiais consumidos e reciclagem do lixo gerado. O resultado esperado por essas medidas é a redução dos resíduos sólidos e, por conseguinte, a diminuição do impacto ao meio ambiente gerado pelo excesso de lixo.

Conforme Nascimento (2010), o processo de reciclagem ainda faz parte da política dos 5R's, que consiste em um procedimento de educação ambiental, sendo algo prático e possível de ser aplicado no cotidiano da população. Esta política é balizada por cinco pilares fundamentais, sendo eles: Repensar, Recusar, Reduzir, Reutilizar, Reciclar.

Consoante a Nascimento (2010), recusar consiste em controlar o consumo, evitando o que não é necessário, ou seja, consumir somente o que for realmente necessário e que não agrida o meio ambiente; reduzir, por sua vez, tem uma relação com quantidade consumida, ou seja, deve-se gerar menos materiais danosos ao meio ambiente; reutilizar é atribuir uma utilidade aos materiais que considera-se sem serventia; já reciclar consiste na transformação de algo já utilizado, muitas vezes sem serventia, em um produto novo e útil.

De acordo com Brasil (2010), por meio da Lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos sólidos, em seu capítulo I, a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve seguir uma hierarquia, sendo esta: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A reciclagem é, conforme Brasil (2010), um procedimento pelo qual se transforma resíduos sólidos através de alterações físicas, físico-químicas ou biológicas, visando a obtenção de novos materiais, através de produtos já utilizados, com características compatíveis aos padrões estabelecido pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, e, se caso necessite, aos do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA.

Segundo Marley (1999), resíduo é o material restante de um processo produtivo, porém quando não há utilidade para o mesmo, denomina-se rejeito, além disso, quando o resíduo já possui uma utilidade conhecida ele será classificado como

subproduto. Outrossim, afirma que a reciclagem é um meio pelo qual pode-se diminuir ou até mesmo evitar os problemas causados à sociedade pela estocagem exacerbada de resíduos oriundos das atividades humanas.

Para Ribeiro et al. (2014), a reciclagem gera benefícios ao meio ambiente e à economia, além disso, há um fator inerente a essa atividade que é o aspecto social, que ocorre através da entrada de uma mão de obra, que até em tão era excluída, no mercado, como ocorre com os catadores de lixo. Com isso, exemplifica-se a inclusão social decorrente do processo de reciclagem.

Uma possibilidade para a redução do desemprego, conforme Odimar (2013), seria a reciclagem, uma vez que este processo tem o poder de englobar diversas pessoas e que a partir dela podem encontrar o sustento de suas famílias. Além do mais, pode vir a melhorar a imagem das empresas, haja vista que a sociedade apresenta bons olhos às instituições que possuem consciência ambiental.

Em conformidade ao Ministério do Meio Ambiente [2012], “Só no Brasil, na China e nos Estados Unidos, a reciclagem, em todas as formas, já emprega 12 milhões de pessoas” (<<http://www.mma.gov.br>>).

A reciclagem do lixo é, consoante a Calderoni (1997), um meio pelo qual o país pode vir a economizar, pois trata-se de um processo em que a matéria-prima não é onerosa, pelo contrário, ela é remunerada, ou seja, paga-se para se desfazer dela.

Para Zanin et al. (2015), a reciclagem constitui-se de um ciclo de atividades distintas que envolvem diferentes tipos de agentes (poder público, indústrias de transformação, catadores e cidadão), tornando sua interação complexa. O ciclo tem início com a fabricação do resíduo, por meio da atividade humana, por conseguinte, há o descarte e a coleta seletiva, condicionada a uma triagem. Logo após, tem-se a reciclagem, que torna o resíduo em um produto reciclado e a industrialização que dá a este um valor social. Por fim, há sua comercialização, consumo e geração de resíduo, retomando o ciclo.

Gonçalves (2003) denomina o círculo da cadeia produtiva da reciclagem como círculo atômico, no qual a administração pública possui as funções de: desenvolver uma eficaz ligação entre as partes da cadeia, evidenciando os aspectos sociais, econômicos e ambientais; e de atrair investimentos.

Para se poder avaliar de forma coerente a viabilidade econômica da reciclagem, conforme Calderoni (1997), deve-se considerar todas as partes

envolvidas no processo de reciclagem (prefeitura, indústrias, catadores, governo, sucateiros e população) de forma conjunta.

Segundo Nani (2008 apud OLIVEIRA, 2011), o processo de reciclagem produz diversos benefícios, dentre eles: preservação dos recursos naturais; redução do lixo a ser transportado para aterros; redução da poluição ao meio ambiente – água, solo e ar; economia energética; geração de empregos e renda, com o surgimento de indústrias do setor secundário da reciclagem; contribuição para a limpeza e conservação das cidades.

A reciclagem propicia, consoante a Ribeiro (2000), uma economia de cerca de 50 dólares por tonelada de lixo para a prefeitura, pois há uma redução na coleta, transporte e disposição do lixo.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2015), o setor da limpeza pública gerou, em 2015, 353,4 mil postos formais de trabalho no setor, sendo o que o mercado da limpeza urbana movimentou R\$ 27,5 bilhões.

Conforme o Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2008), no Brasil são produzidos, em média, cerca de 0,7 kg/hab.dia de resíduos urbanos, entretanto, em metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro este valor chega a 1 kg/hab.dia. Com isso, todos os dias são gerados 140 mil toneladas de resíduos. Quanto ao seu descarte, não são lançados, na sua totalidade, em locais apropriados. Ademais, tem-se que 76% são direcionados aos lixões, onde não há tratamento, ocasionando a poluição e contaminação do solo e mananciais e estimulando o surgimento de zoonoses.

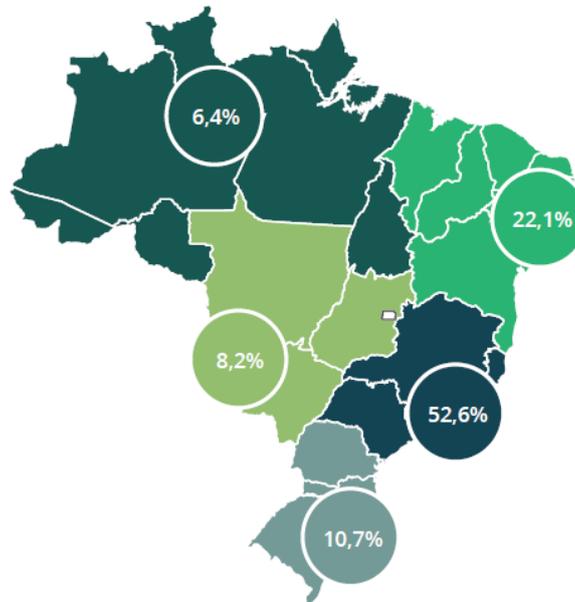
Já para Farias (2003), são produzidos cerca de 500 gramas de lixo por brasileiro todos os dias, chegando, em alguns casos, a mais de 1 kg, dependendo do poder aquisitivo, totalizando, assim, a produção de cerca de 100 mil toneladas de lixo, diariamente, no Brasil.

A média de produção de resíduos domésticos já é de um quilo por habitante/dia, a coleta chega a mais de 100 mil toneladas diárias (cerca de 20% do lixo doméstico não é coletado). De todo o lixo coletado, cerca de 50% vai para lixões a céu aberto, 25% para aterros mais ou menos adequados e, para a reciclagem, menos de 1% (BRASIL, 2000).

Em conformidade com Calderoni (1997), no Japão não existem lixões, devido a inexistência de espaço geográfico para este fim. O país paga a outras nações

para receber seus dejetos, além disso, 50% dos resíduos é reciclado, tornando-o líder mundial em reaproveitamento.

Figura 2 - Participação das regiões do país no total de RSU coletado



Fonte: ABRELPE, 2015.

Para Calderoni (1997), cabe à prefeitura o dever de assegurar a coleta e disposição final dos resíduos domésticos, enquanto os dejetos oriundos de atividade industrial são responsabilidade da indústria que o produz, entretanto, sujeita a fiscalização do poder público.

Consoante à Política Nacional de Resíduos sólidos – Lei 12305/10 no seu Art. 10, é de responsabilidade do Distrito Federal e dos Municípios a gestão de forma integrada dos resíduos sólidos dos seus respectivos territórios, não eximindo o poder dos órgãos federais e estaduais do SUASA, do SISNAMA e do SNVS de fiscalizar. Ademais, o autor do resíduo é responsável por gerir o mesmo, conforme previsto nesta Lei.

A ABNT NBR 12.980/1993, define coleta seletiva como: “Coleta que remove os resíduos previamente separados pelo gerador, tais como: papéis, vidros e outros”.

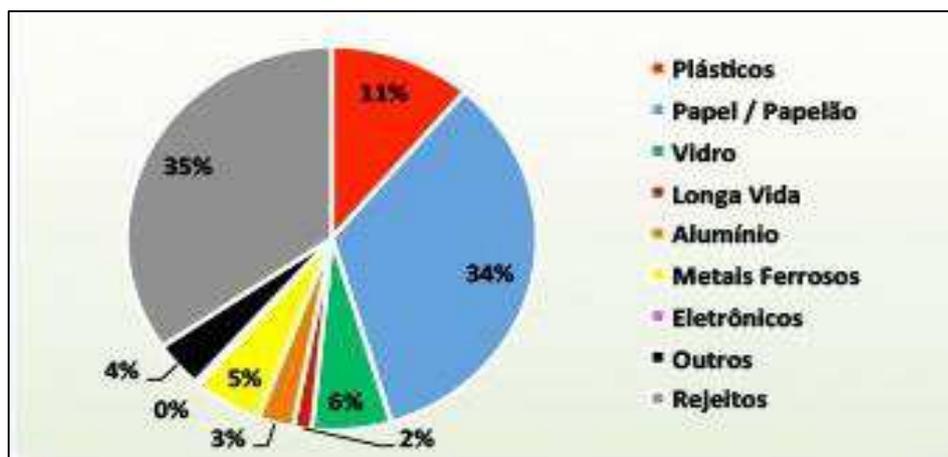
De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2010), a reciclagem no Brasil possui quatro setores principais, alumínio, papel, plástico e vidro.

ABRELPE (2015), afirma que em 2013 o Brasil produziu 962 toneladas de alumínio, onde 486 mil toneladas foram recicladas, correspondente a 33,7%, acima da média mundial de 30,7%. Além do mais, o Brasil é o líder mundial em reciclagem de latas de alumínio, com índice de 98,4% em 2014, correspondente a 261 mil toneladas.

Houve um crescimento na produção de papel no Brasil, conforme ABRELPE (2015), entre os anos de 2014 e 2015, neste último foram produzidos cerca de 10,3 milhões de toneladas. Por outro lado, em 2015 o Brasil obteve taxa de recuperação do papel de 63,4%, um crescimento de 4% em relação a 2014.

Já em relação ao plástico, a ABRELPE (2015) aponta que foram produzidos 6,99 milhões de toneladas em 2015, acarretando uma diminuição na produção de 9,8% em relação ao ano anterior. Além do mais, 51% dos plásticos PET foram reciclados no ano de 2015.

Figura 3 - Composição Gravimétrica da Coleta Seletiva.



Fonte: CEMPRE, 2016.

De 2014 a 2015 houve um crescimento de 1,7% na produção de resíduos sólidos urbanos no Brasil, consoante a ABRELPE (2015), superior ao crescimento populacional de 0,8% e inversamente proporcional a retração de 3,8% do Produto Interno Bruto – PIB. Porém, vale ressaltar que esse aumento é menor perante aos dados de anos anteriores.

3.4 Vidro: resíduo urbano

Demajorovic (1995) afirma que:

O termo “lixo” foi substituído por “resíduos sólidos”, e estes, que antes eram entendidos como meros subprodutos do sistema produtivo, passaram a ser encarados como responsáveis por graves problemas de degradação ambiental. Além disso, “resíduo sólidos” diferenciam-se do termo “lixo” porque, enquanto este último não possui qualquer tipo de valor, já que é aquilo que deve apenas ser descartado, aqueles possuem valor econômico agregado, por possibilitarem (e estimularem) reaproveitamento no próprio processo produtivo (DEMAJOROVIC, 1995, p. 89).

Fachin (2004) afirma que: “O vidro não pode ser considerado lixo, pois é matéria-prima pura. Além de não se degradar naturalmente no meio-ambiente, apresenta outra característica que lhe é única: é 100% reciclável”.

Segundo Oliveira (2004), os componentes dos resíduos sólidos podem ser divididos em três classes: papéis, plásticos, vidros e metais (grupo 1); materiais orgânicos, restos de alimentos, poda de árvores, têxteis e borrachas (grupo 2); materiais inertes (grupo 3). Composto-se, respectivamente, de 35%, 60% e 5%, para países em desenvolvimento. Outrossim, o grupo dos recicláveis divide-se em: 25% de papel, 5% de plástico, 3% de metais e 2% de vidro.

Conforme o IPEA, exposto no diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos de 2012, as embalagens de vidro correspondem a 40% do consumo deste material em todo o país.

De acordo com a Embalixo [201-], o vidro leva cerca de quatro mil anos para se decompor, ou seja, se não tratado, permanece poluindo o meio ambiente por, aproximadamente, 4 milênios (<www.embalixo.com.br/novo>).

Para CEMPRE (2008 apud FÁVERO, 2009), “O vidro é um material 100% reciclável. A cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo e cerca de 1,2 toneladas de matéria-prima deixam de ser consumidas”.

Já o Ambiente Brasil (2011) afirma que:

Na reciclagem do vidro, o caco funciona como matéria-prima já balanceada, podendo substituir o feldspato que tem função fundente, pois o caco precisa de menos temperatura para fundir. Os cacos devem ser separados por cor (transparente, marrom e verde). O vidro comum funde a uma temperatura de 1000 °C e 1200 °C, enquanto que a temperatura de fusão da fabricação do vidro, a partir dos minérios, ocorre entre 1500 °C e 1600 °C. Nota-se assim que a fabricação do vidro a partir dos cacos economiza energia gasta na

extração, beneficiamento e transporte dos minérios não utilizados. A economia de energia é a principal vantagem do processo, em termos econômicos, pois reflete na durabilidade dos fornos. O Brasil, no entanto, só recicla 14,2% do vidro que consome, o restante ficando em algum lugar na natureza por tempo indeterminado (<www.ambientebrasil.com.br>).

O Brasil reciclou, em 2010, quarenta e sete por cento das suas embalagens de vidro, consoante a CEMPRE [201-], valor este bem aquém, quando comparado a Alemanha que reciclou, em 2010, 87% e a Suíça com 95%, porém ficou à frente de países como o Estados Unidos, com apenas 40%.

Por sua vez, a Abividro, em 2015, criou e lançou um guia de reciclagem do vidro, onde apresenta o ciclo infinito do vidro.

Figura 4 - Ciclo infinito da reciclagem do Vidro.

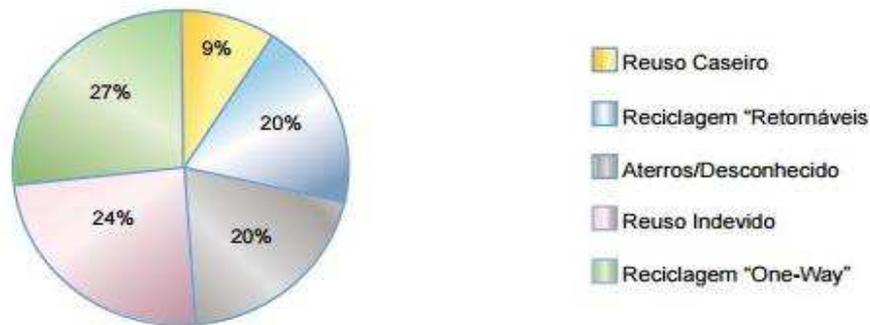


Fonte ABIVIDRO, 2015.

De acordo com o IPEA, exposto no diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos de 2012, existe baixa participação dos programas de coleta seletiva e há necessidade da criação de novos meios de reciclagem para o vidro.

É interessante a constatação que apenas 20% do vidro utilizado em embalagens teve destinação em aterros sanitários ou de forma ignora. Se a parcela reciclada atingiu a casa dos 47%, a parcela reutilizada totalizou 33%, onde 24% corresponde a reutilizações consideradas indevidas, em geral como embalagens de produtos fabricados informalmente (ABRELDE, 2009).

Figura 5 - Destino das Embalagens de Vidro pós-consumo no Brasil em 2007.



Fonte: ABIVIDRO (apud ABRELPE, 2009).

3.5 A importância da reciclagem do vidro

Muitos afirmam que o vidro é um material que não possui a capacidade de se decompor quando lançado no meio ambiente, ou seja, não é biodegradável. Com isso surge a necessidade de ser reciclado.

Segundo a Confederação Nacional do Ramo Químico – CNQ, exposto no Panorama Setor de Vidro de 2015, a partir de 2002 a indústria vítrea brasileira deteve um crescente desenvolvimento, chegando ao ponto de transformar o país o maior produtor e exportador de vidro da América Latina.

Em conformidade com a Associação Brasileira de Distribuição e Processadores de Vidros Planos – Abravidro, exposto no Panorama Abravidro (2015), o consumo de vidros planos no Brasil no ano de 2014 foi de aproximadamente 2 milhões de toneladas, totalizando um faturamento de mais de 5 bilhões de reais.

A Abravidro, no Panorama Abravidro 2016, afirma que no Brasil houve um consumo de, aproximadamente, um milhão e oitocentas toneladas de vidros planos em 2015, o que gerou um consumo aparente, per capita, de 8,75 quilos. Vale ressaltar que foi medido uma queda no consumo per capita de 10,7% em relação ao ano de 2014, que, por sua vez, obteve o consumo aparente de 9,79 quilos. Outrossim, no ano de 2015 houve a primeira queda no faturamento de vidro processado, 17%, que foi acompanhada da diminuição no consumo de vidros planos, retração de 9,9%, correspondendo a um consumo de 1.788.007 toneladas de vidro no Brasil.

De acordo com a Abravidro, exposto no Panorama Abravidro 2016, a participação do vidro automotivo cresceu 57,3%, chegando a representar 42,7% do

vidro produzido no ano em 2015, superando o vidro temperado, 34,9%, laminado, 9,1%, espelho 7,1%, tampo, 5,7% e insulado, 0,4%.

Três por cento dos resíduos urbanos brasileiros, conforme CEMPRE [201-], é composto de materiais vítreos, sendo que um terço destes são embalagens de vidro. Já em grandes cidades, como São Paulo, 1,5% do lixo urbano é vidro. Além do mais, 9% da coleta seletiva é composta de materiais vítreos.

Para Barros (2010), o segundo produto mais reciclado nos Estados Unidos, perdendo apenas para o jornal, é o vidro, totalizando cerca de 10,3 milhões de toneladas no ano de 2000.

Já para Assis (2006), de todo o lixo doméstico produzido no mundo, o vidro descartado corresponde a, aproximadamente, 7,5%, quando analisado o peso.

No Brasil, 50% dos recipientes vítreos é retornável, conforme CEMPRE [201-]. Vale ressaltar, que não há diminuição na qualidade e produtividade do novo produto quando se insere vidro reciclado, pelo contrário, a inserção gera economia energética e no consumo de água. Para se obter 4% de economia energética basta a inclusão de 10% de caco de vidro, e ainda acarretaria a redução de 9,5% do volume de água.

Em conformidade com a Confederação Nacional do Ramo Químico (CNQ), exposto no Panorama Setor de Vidro de 2015, a Bélgica é o país que mais recicla embalagens de vidro no mundo, totalizando 96%. Por sua vez, o Brasil possui índice de reciclagem das embalagens vítreas de cerca de 47%. Porém, vale ressaltar que se analisados todos os tipos de vidro o Brasil só recicla, aproximadamente, 18%.

Imbelloni (2000, p. 1 apud FACHIN, 2004, p. 26), afirma que:

O índice de reciclagem de vidro no Brasil em 2003 foi de 45%, o que equivale a 400 mil toneladas, levando-se em conta os três segmentos de vidro: plano (utilizados, por exemplo, em janelas e tampas de mesas), de embalagem (para produtos como palmito, azeitona e perfume) e especiais (aplicados em garrafas térmicas, lâs de vidro e tubos de televisão, entre outros). O último levantamento da Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro) mostra que os investimentos na reciclagem do vidro foram de aproximadamente R\$ 700 mil, renderam R\$ 56 milhões e geraram 1.200 empregos diretos e mais de 10 mil indiretos, englobando pessoas que possuem outras atividades profissionais e as que coletam também outras embalagens recicláveis. Quanto à produção global do setor vidreiro, que está concentrado em São Paulo e no Rio de Janeiro, os números de 2003 apontam um faturamento de R\$3,328 bilhões, capacidade instalada de produção de 2.904.000 toneladas e 12.500 empregos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente [201-], o tempo de decomposição do vidro é superior à soma dos tempos do papel, plástico, metal, alumínio e tecidos. A decomposição do vidro na natureza dura milênios (<<http://www.mma.gov.br>>).

A Associação de Reciclagem dos Resíduos de Embalagens de Vidro – CERV [201-] afirma que o vidro possui ciclo de reciclagem infinito e que ao reciclar há economia no consumo energético e de matéria-prima. Ademais, ocorre redução na emissão de gás carbônico e se reduz a quantidade de embalagens nos aterros. Concomitantemente ao ato de reciclar surge um hábito social de preservação do meio ambiente, conscientizando a população que os recursos naturais são finitos.

Para a CNQ, exposto no Panorama Setor de Vidro de 2015, cacos de vidro triturados podem vir a substituir a matéria-prima mineral virgem sem que haja perda de qualidade do novo produto. Outrossim, devido ao vidro comum fundir-se a uma temperatura entre 1000 °C e 1200 °C, valor inferior ao da fabricação do vidro novo, a inserção de vidro reciclado propiciaria economia energética e no consumo de água.

Consoante a Rodrigues et al. (1999), a reciclagem do vidro propicia algumas vantagens no processo de fabricação como: se obtém recuperação mais acelerada do nível dos fornos quando se almeja maior volume de vidro; facilita o aumento da temperatura; fornece maior homogeneidade do vidro, através das correntes de convecção aceleradas; por permitir um trabalho a temperaturas inferiores, proporciona redução da corrosão no refratário; e há diminuição no volume dos produtos de refinos e no tempo.

Ainda segundo Rodrigues et al. (1999), o ato de reciclar propicia outra vantagem intrínseca à produção que é a valorização da empresa, tendo em vista o aspecto de marketing.

Em conformidade a Verallia (2010), a reciclagem do vidro é permitida aos diferentes tipos de materiais vítreos como: Garrafas de refrigerante; Garrafas de sucos e águas; Garrafas de bebidas Alcoólicas; Espelhos; Vidros de janela; Box de banheiro; Para-brisa e laminados; Potes de produtos alimentícios; Frascos de remédios e perfumes; e Potes de molhos e condimentos (<<http://pt.verallia.com>>).

A reciclagem do vidro não gera apenas benefícios ambientais, conforme Abividro (1997), mas também oportuniza a criação de empregos e renda, empregos estes que acolhem as camadas mais necessitadas da sociedade.

Para Abividro (1997), a reutilização do vidro é um mercado ainda inexplorado, mesmo sendo viável no âmbito financeiro e social. No Brasil, ainda é uma

atividade que não é vista com bons olhos pelos empresários, necessitando, assim, de maiores investimentos e de um olhar empresarial.

Já Assis (2006), afirma que:

O grande atrativo na reciclagem do vidro recai na economia energética e de matéria prima para o produtor. De uma forma geral, 55% dos custos de produção vêm da aquisição de matéria prima, 30% de mão de obra e 15% da energia. Segundo dados da CEMPRE, cada quilo de vidro reciclado na forma moída substitui 6,6 quilogramas de areia e a refusão de 1 tonelada consome em média 70% menos energia do que a requerida para a fabricação inicial. Além do mais, vidros produzidos com material reciclado reduzem a quantidade de emissão de poluentes no ar em cerca de 20% e na água na ordem de 50% (ASSIS, 2006, p.105).

De acordo com Fachin (2004), a reciclagem do vidro propicia economia financeira tanto em relação a energia utilizada na fabricação quanto na matéria-prima que serve de insumo aos novos produtos.

Tabela 1 - Resumo dos ganhos com a reciclagem do vidro.

Economia de energia elétrica obtida pela reciclagem do vidro	R\$ 517.707,42 por ano
Economia de energia elétrica perdida pela não reciclagem do vidro	R\$ 632.753,50 por ano
Economia obtida de matéria-prima pela reciclagem do vidro	R\$ 371.537,28 por ano
Economia de matéria-prima perdida pela não reciclagem do vidro	R\$ 199.937,72 por ano
Total geral proporcionado pela reciclagem do vidro	R\$ 245.213,20 por ano

Fonte: Adaptado Fachin, 2009.

3.6 O Concreto como agente reciclador

Em consonância a John (2000 apud ALVES, 2008), a construção civil destaca-se, dentre os processos produtivos, como grande consumidora de insumos naturais, tanto renováveis quanto não renováveis. No Brasil analisando-se somente a produção de concreto e argamassas o país chega a consumir cerca de duzentos e vinte milhões de toneladas de agregados naturais.

Para John (2000), já se iniciou o processo de escassez nas reservas naturais principalmente próximo as grandes cidades. Além disso, a extração

descontrolada acarretará em destruição das paisagens, prejudicando, assim, a fauna e a flora.

Já Rocha e John (2003), chamam atenção para o seguinte fato:

Embora seja possível e prioritário reduzir a quantidade de resíduos durante a produção e até o pós-consumo, eles sempre serão gerados. O desenvolvimento sustentável requer uma redução do consumo de matérias-primas naturais não renováveis. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos a partir da reciclagem de resíduos, é uma alternativa insubstituível. Assim, o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de resíduos ambientalmente eficientes e seguras, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados é um desafio técnico importa (ROCHA; JOHN, 2003, p. 5).

São imprescindíveis os estudos e os aperfeiçoamentos dos processos tecnológicos que tornam possível a reciclagem de resíduos, segundo Alves (2008), oferecendo, assim, vantagens econômicas e sociais. Vale ressaltar, que o resíduo deve possuir os seguintes atributos: baixo custo de aquisição; problemas ambientais com sua estocagem, pois, quando forem utilizados, minimizem ou eliminem este problema; propriedades que atestem bom desempenho para a aplicação desejada.

Em conformidade com Oliveira et al. (2007), em geral, há diferença entre as propriedades aprestadas pelos concretos convencionais e os produzidos com insumos reciclados, a proporção destas divergências é influenciada pela qualidade e tipo do concreto. As propriedades que podem sofrer esta variação são: porosidade e permeabilidade; retração na secagem; resistência mecânica; módulo de elasticidade; absorção de água; massa específica e fluência.

Para Mehta e Monteiro (2008 apud FÁVERO, 2009), define-se adições minerais quando há o acréscimo de mais de 5% de materiais silicosos na mistura, entre 20 e 70% da massa do material cimentício total. As adições minerais na produção de concreto propiciam benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais, tendo em vista que o material antes dito como resíduo problemático agora ganha uma utilidade nobre, exemplo tem-se: escória de alto forno, cinzas volantes e sílica ativa.

Consoante a Dal Molin (1995 apud FÁVERO, 2009), as adições minerais podem gerar diferentes efeitos físicos ao concreto, podendo ser enquadrados em três tipos: refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento; alteração da microestrutura da zona de transição; efeito microfíler.

As adições minerais podem vir a atuar como pontos de nucleação para os produtos de hidratação, o que acarretaria, segundo Dal Molin (1995 apud FÁVERO, 2009), no refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento. Com isso, além da superfície dos grãos de cimento, haverá crescimento dos cristais nos locais ocupados pelos minerais e pela água, tornando as reações mais rápidas e instigando os tipos de produtos de hidratação formados. Por fim, conclui-se que a adição gera um número maior de cristais, porém em menores dimensões, já que são reduzidos os espaços para o crescimento dos materiais hidratados.

Em conformidade a Dal Molin (1995 apud FÁVERO, 2009), a alteração da microestrutura da zona de transição melhora a zona de transição, gerando, assim, aumento da durabilidade e resistência mecânica do concreto. Isto ocorre porque a adição de minerais afeta o movimento das partículas de água, e, com isso, diminui ou põe fim na água acumulada sobre os agregados.

A adição de minerais pode vir a gerar aumento da densidade do concreto, segundo Dal Molin (1995 apud FÁVERO, 2009), pois os vazios são preenchidos pelas finas partículas adicionadas, haja vista que estas possuem diâmetro médio igual ou inferior ao do cimento, caracterizando, assim, o efeito microfíler. Ademais, a eficácia de uma adição de mineral depende dos seguintes fatores: composições mineralógicas, químicas e granulares; e condições de cura do concreto.

4 MÉTODO

4.1 Caracterização do objeto

Aspirando entender o comportamento e identificar a viabilidade do concreto de cimento Portland com substituição parcial do agregado miúdo natural por material vítreo reciclado, realiza-se ensaios com corpos de provas moldados – CP's seguindo as prescrições das normas brasileiras (NBR's) e comparando-se os resultados a um traço pré-estabelecido, dito como paradigma.

Busca-se utilizar o vidro moído com granulometria máxima de 600µm, com o intuito de reduzir a expansão oriunda da reação álcali-sílica.

Tendo em vista os resultados de pesquisa obtidos por Pedrozo (2014), que concluiu que a substituição de mais 50% do agregado miúdo natural por agregado reciclado não produz resultados satisfatórios, opta-se por adotar traços com os teores de substituição de 0%, 15% e 20% de vidro.

A dosagem do concreto segue a metodologia do Instituto de Pesquisa Tecnológico – IPT. Primeiramente o abatimento desejado é estabelecido, 100 ± 20 mm, e a resistência, 25 MPa, sendo este último obtido após 28 dias da moldagem dos corpos de prova.

Por conseguinte, tendo-se o traço padrão, molda-se os corpos de prova (CP) com três diferentes porcentagens de troca do agregado miúdo natural por vidro moído, sendo elas: 0%, 15% e 20%. Outrossim, realiza-se o ensaio de abatimento para as diferentes dosagens de vidro. Os CP's adotados possuem a forma cilíndrica com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, satisfazendo, assim, as recomendações da NBR 5738/03.

Moldados os corpos de prova, submete-se estes ao processo de cura, com intuito de garantir a obtenção dos resultados almejados. Com isso, após o fim da pega, com o concreto já enrijecido, submerge-se os CP's em água até a realização dos respectivos ensaios para caracterização das propriedades do concreto.

4.2 Materiais utilizados e caracterização

4.2.1 Aglomerante

Adota-se como material ligante o Cimento Portland Pozolânico, mais especificamente o CP IV 32 da marca Apodi. De acordo com a NBR 5736/91, este é um aglomerante hidráulico constituído pela mistura de materiais pozolânicos e clínquer Portland. O CP IV 32 se enquadra na classe que apresenta resistência mínima à compressão, após 28 dias, de 32 MPa. É composto por: 45% a 85% de Clínquer sulfato de cálcio; 15% a 50% de Material pozolânico e; 0% a 5% de Material carbonático.

4.2.2 Agregado miúdo

Caracteriza-se o agregado miúdo natural segundo as recomendações da ABNT NBR NM 248/2003, fazendo-se necessário o emprego dos seguintes equipamentos: conjunto de peneiras das séries normal (com tampa e fundo), balança, agitador mecânico de peneiras, bandejas, escova ou pincel de cerdas macias, fundo avulso de peneiras e estufa para secagem dos agregados.

Figura 6 - Peneiramento com agitador mecânico.



Fonte: Autor, 2017.

Limpa-se, previamente, as peneiras, e posiciona-as de modo crescente, em relação à abertura das malhas, no sentido ascendente das peneiras, tendo como início a peneira da base e finalizando no topo do conjunto de peneiramento. Ademais, a NBR 5734/88, recomenda os seguintes espaçamentos entre malhas das peneiras para ensaio de granulometria do agregado miúdo: 9,5mm; 6,3mm; 4,8mm; 2,4mm; 1,4mm; 0,6mm; 0,3mm e; 0,15mm.

O ensaio para determinação da curva granulométrica da areia ocorre após uma prévia secagem do agregado em estufa, logo após, dar-se início ao peneiramento. Durante o processo utiliza-se o agitador mecânico, com o intuito de se obter valores mais fidedignos. Submete-se os materiais retidos em cada peneira ao processo de pesagem e a partir destes dados determina-se a curva granulométrica.

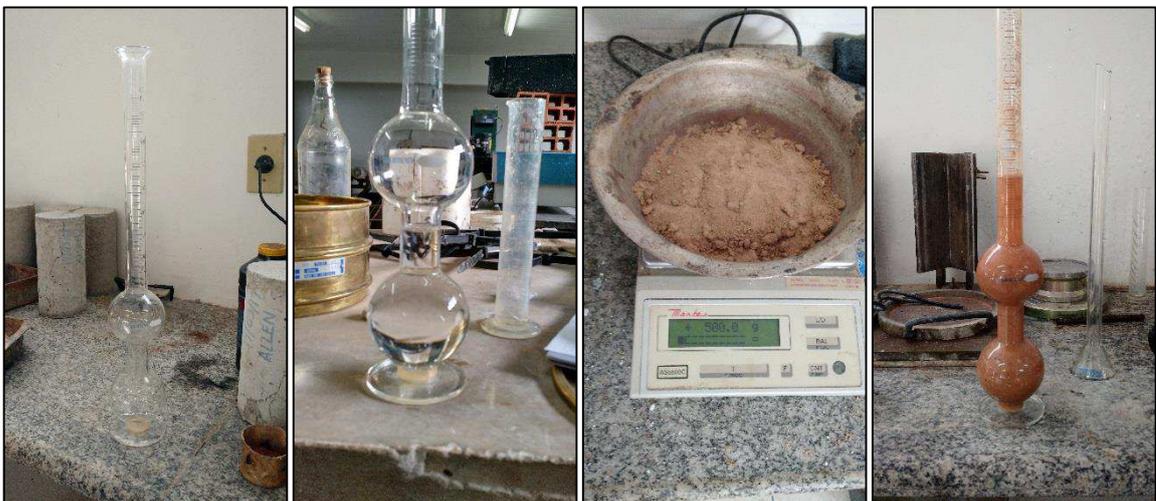
Figura 7 - Sequência do material retido no peneiramento da areia.



Fonte: Autor, 2017.

Já em relação à massa específica, determina-se através do frasco de Chapman, de acordo com as prescrições da NBR 9776/87.

Figura 8 - Sequência do ensaio Chapman.



Fonte: Autor, 2017.

Por fim, determina-se a umidade da areia através de 3 amostras com 60 gramas de material úmido, introduzidos na estufa por 24 horas, com o intuito de determinar seu peso seco. Assim, através da média dos valores pode-se calcular a umidade do agregado.

4.2.3 Agregado graúdo

Quanto ao material graúdo, utiliza-se a pedra britada de origem granítica (brita 1). Caracteriza-se a brita por meio do mesmo procedimento de caracterização do agregado miúdo, salvo a mudança da série de peneira, tendo em vista as recomendações da NBR 5734/88, que estabelece os seguintes espaçamentos entre as malhas das peneiras para o ensaio de granulometria do agregado graúdo: 38mm; 32mm; 25mm; 19,5mm; 12,5mm; 9,5mm, 6,3mm e 4,8mm.

Figura 9 - Sequência do material retido no peneiramento da brita.



Fonte: Autor, 2017.

Quanto a massa específica real o adota-se o método preconizado pela NBR NM 53/2003. Este ensaio é baseado no princípio do empuxo, onde considera o peso da água unitário.

Figura 10 - Sequência do ensaio de massa específica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2017.

4.2.4 Vidro reciclado

O vidro é oriundo do polimento de peças temperadas, sendo que este não detém serventia, tornando-se, assim, um resíduo sem aproveitamento. Adquirido na forma de torrões sólidos, pois, o polimento ocorre com o auxílio de água, por conseguinte, os farelos de vidro se consolidam devido à adesão do material com a água, tomando, assim, a forma de maciços sólidos.

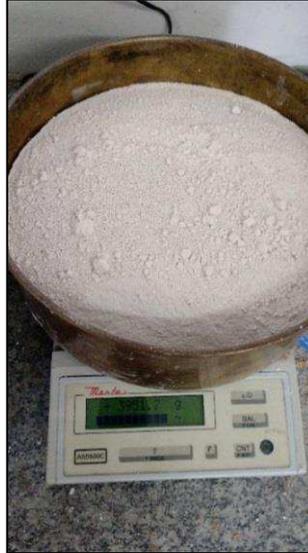
Figura 11 - Torrões de vidro.



Fonte: Autor, 2017.

Para utilização do material, realiza-se a secagem em estufa dos torrões por 24 horas, logo após, o material é encaminhado ao aparelho Los Angeles onde se realiza a trituração, por fim, peneira-se o material.

Figura 12 - Vidro triturado.



Fonte: Autor, 2017.

Caracteriza-se o vidro através das recomendações da ABNT NBR NM 248/2003, onde se peneira o material vítreo mecanicamente. Aproveita-se, somente, os cacos que passarem pela peneira número 30 (# 600 μ m) no concreto. A sequência de peneiras adotadas é similar à utilizada na caracterização do agregado miúdo natural.

Figura 13 - Sequência do material retido no peneiramento do Vidro.



Fonte: Autor, 2017.

A substituição da areia pelo vidro reciclado ocorre em duas diferentes proporções, ambas tendo como referência o mesmo traço, o dito paradigma, que não é submetido à troca parcial do agregado miúdo.

4.2.5 Água

Utiliza-se a água do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA para produção do concreto a ser ensaiado.

4.3 Produção dos corpos de prova

Partindo-se do traço determinado pelo método do IPT, molda-se 3 diferentes tipos de concreto, tendo como distinção, somente, a porcentagem de agregado miúdo natural substituído por cacos reciclados (0%, 15%, 20%). Produz-se 6 corpos de prova para cada traço, totalizando, assim, 18 corpos, para posteriores análises. Rompe-se o concreto em grupos de 2 cp's, pelo ensaio de compressão axial, em três diferentes idades (7, 14 e 28 dias).

Os moldes detêm formato cilíndrico de dimensões 10cm x 20cm, respectivamente, diâmetro e altura, de acordo com a NBR 5738/2015. A quantidade de material para cada traço é garantida através da pesagem minuciosa de cada insumo em balança de precisão.

A produção dos corpos de prova segue os procedimentos especificados pela ABNT NBR 5738/2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto. Com isso, tem-se a seguinte ordem:

1. Pesagem dos materiais, de forma a garantir o traço calculado;

Figura 14 - Separação do material.



Fonte: Autor, 2017.

2. Procedimento de adição dos materiais na betoneira, seguindo a ordem:
 - a. Imersão de 100% do agregado graúdo;
 - b. Imersão de 50% da água;
 - c. Imersão de 100% do agregado miúdo. Nos traços com vidro, este será adicionado junto à areia;
 - d. Imersão de 100% do aglomerante;
 - e. Imersão de 50% da água.

Figura 15 - Fabricação do Concreto.



Fonte: Autor, 2017.

3. Ensaio de consistência (Slump Test);
4. Limpeza dos moldes, retirando qualquer impureza que possa afetar nos resultados;
5. Revestir o interior do molde com uma fina camada de óleo mineral, com o intuito de facilitar o desmolde;

6. Garantir ao molde um apoio rígido, horizontal, sem vibrações ou outras perturbações que possam modificar as propriedades do concreto;
7. Moldagem dos corpos com adensamento manual, sendo preenchido em duas camadas de mesma altura, ou seja, metade da altura do corpo de prova e compactadas com 12 golpes da haste padrão;
8. Garantir a marcação dos corpos de prova, identificando o respectivo traço e a data de moldagem;

Figura 16 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Autor, 2017.

9. Desmoldar os corpos de prova após 24 horas e submergi-los em água, dentro de um tanque de cura até o dia do rompimento.

Figura 17 - Corpos de prova submersos para cura.



Fonte: Autor, 2017.

4.4 Ensaio de consistência e trabalhabilidade: Slump Test

O estudo para determinação da trabalhabilidade e consistência dos concretos produzidos segue as recomendações da ABNT NBR NM 67/1998, que prescreve o ensaio de abatimento do tronco de cone do concreto. Esta norma determina os seguintes equipamentos necessários para o ensaio:

1. Molde metálico em forma de tronco de cone oco, tendo as seguintes dimensões:
 - diâmetro da base inferior: 20 cm \pm 2 mm;
 - diâmetro da base superior: 10 cm \pm 2 mm;
 - altura: 30 cm \pm 2 mm.
2. Haste de compactação de aço com diâmetro de 1,6 cm e comprimento de 60 cm.
3. Placa de base metálica plana com menor dimensão 50 cm e 3 mm de espessura.

O procedimento do ensaio é descrito pela ABNT NBR NM 67/1998, tendo a seguinte sequência:

1. Umedece-se o molde e a placa de base;
2. Coloca-se o molde sobre a placa de base;
3. Preenche-se o molde em três camadas de mesma altura, ou seja, 1/3 da altura do molde e compactadas por meio de 25 golpes da haste de compactação;
4. Limpa-se a placa de base e retira-se o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical, em um movimento constante de duração de 5 a 10 segundos;
5. O tempo entre o preenchimento do molde e a sua retirada deve ser de 2,5 minutos;
6. Mede-se o abatimento do concreto, imediatamente após a retirada do molde. Recomenda-se que a medição seja em milímetros;
7. Caso haja desmoronamento ou deslizamento ao realizar o desmolde, deve-se realizar outro ensaio, desconsiderando este;

Figura 18 - Ensaio de Tronco de Cone.



Fonte: Autor, 2017.

4.5 Ensaio de compressão axial

O ensaio para determinação dessa propriedade segue a metodologia da ABNT NBR 5739/2007 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Esta norma afirma que a resistência à compressão do corpo de prova deve ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

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

Legenda:

f_c = Resistência à compressão (Mpa);

F = Força máxima alcançada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).

Antes de romper os corpos de prova deve-se realizar o capeamento do mesmo, regularizando-o, através de uma pasta de cimento, com o intuito de evitar o surgimento de tensões excedentes nos CP's durante a compressão.

Figura 19 - Capecamento dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2017.

Os CP's são ensaiados após o capecamento estar curado, haja vista que sua consistência e rigidez podem influenciar os resultados.

Figura 20 - Sequência do ensaio de compressão.



Fonte: Autor, 2017.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

5.1 Ensaio de caracterização do agregado miúdo

A partir dos procedimentos apresentados no item 4.2.2, o ensaio de granulometria é realizado com duas amostras. A média de seus valores está apresentada na Tabela 2 abaixo.

Por conseguinte, através dos resultados do ensaio, o agregado é classificado como areia muito fina, apresentando módulo de finura MF =1,56, além disso, apresenta 6,81% de material retido acumulado na peneira 0,6 mm, enquadrando-se entre o limite de 0 a 20%.

O módulo de finura é determinado de acordo com a NBR 7211/83, sendo definido como a razão entre o somatório do percentual retido acumulado nas peneiras de série normal (4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e; 0,15 mm) e 100, a partir deste valor o agregado é classificado de acordo com a Tabela 3.

Outrossim, é obtida a massa específica real do agregado miúdo igual a $\rho=2,64 \text{ g/cm}^3$, seguindo a metodologia apresentada no item 4.2.2 Já a umidade obtida é igual a 6,97%, os resultados estão apresentados no apêndice B.

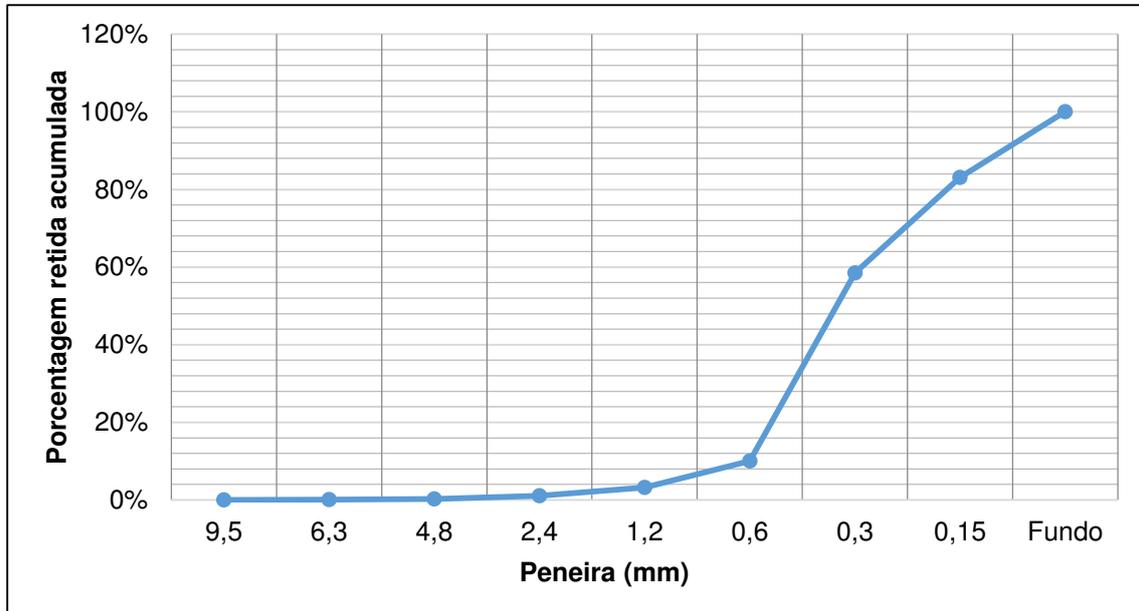
Tabela 2 - Granulometria do agregado miúdo.

Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,28	0,28	0,09	0,09
4	4,8	0,37	0,65	0,12	0,21
8	2,4	2,75	3,39	0,89	1,10
16	1,2	6,46	9,85	2,10	3,21
30	0,6	20,93	30,78	6,81	10,02
50	0,3	148,94	179,71	48,47	58,49
100	0,15	75,65	255,36	24,62	83,11
Fundo		51,90	307,26	16,89	100,00
TOTAL		307,26		100,00	156,23

Fonte: Autor, 2017.

Através dos valores da Tabela 2, pode-se traçar a curva granulométrica da areia, com isso tem-se o Gráfico 1 abaixo.

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 3 - Classificação do módulo de finura.

Classificação do módulo de finura	
MUITO GROSSA	$MF \geq 3,90$
GROSSA	$3,3 \leq MF \leq 3,90$
FINA	$2,40 \leq MF \leq 3,30$
MUITO FINA	$MF < 2,40$

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 1983).

5.2 Ensaio de caracterização do agregado graúdo

O ensaio de granulometria segue o procedimento descrito no item 4.2.3, também utiliza-se duas amostras cuja média dos resultados está apresentada na Tabela 4 abaixo.

De acordo com a granulometria, determina-se o diâmetro máximo da brita, $D_{m\acute{a}x} = 19,5$ mm, correspondente a abertura da menor peneira na qual passam, no mínimo, 95% da amostra.

Por fim, obtém-se a massa específica real igual a $\rho=2,83 \text{ g/cm}^3$, de acordo com os preceitos já definidos.

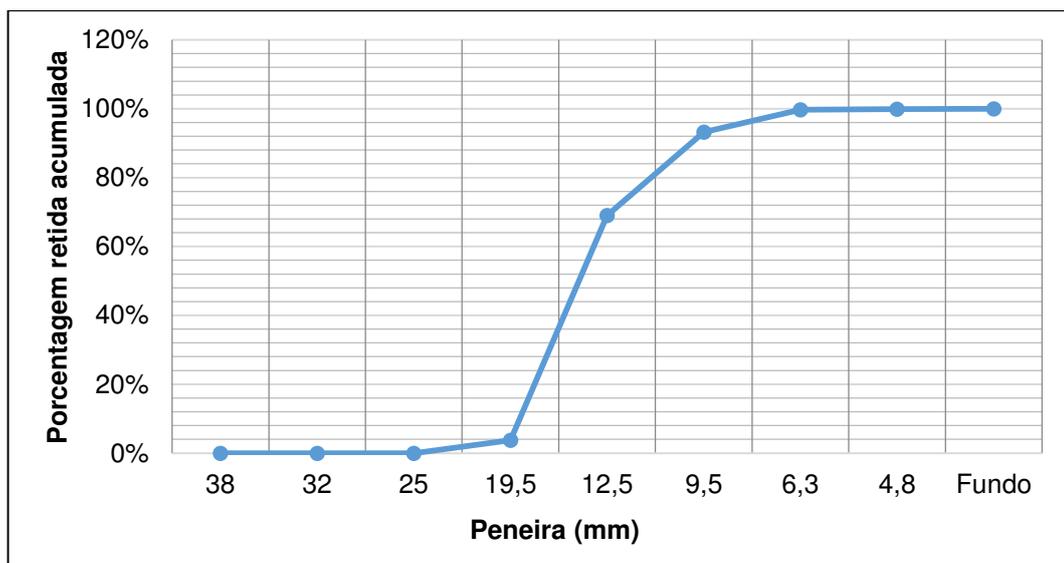
Tabela 4 - Granulometria do agregado graúdo.

Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
1 1/2"	38	0	0	0,00	0,00
1 1/4"	32	0	0	0,00	0,00
1"	25	0	0	0,00	0,00
3/4"	19,5	38,88	38,88	3,76	3,76
1/2"	12,5	673,97	712,85	65,25	69,02
3/8"	9,5	250,35	963,20	24,24	93,26
1/4"	6,3	66,80	1030,00	6,47	99,72
4	4,8	1,25	1031,25	0,12	99,85
Fundo		1,60	1032,85	0,15	100,00
TOTAL		1032,85		100,00	

Fonte: Autor, 2017.

Através dos valores da Tabela 4, pode-se traçar a curva granulométrica da brita, com isso tem-se o Gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo (brita 1).



Fonte: Autor, 2017.

5.3 Ensaio de caracterização do vidro reciclado

Por se tratar de um material que é utilizado como agregado miúdo, os procedimentos do ensaio de granulometria seguem a mesma metodologia do agregado miúdo natural, cujo resultado está presente na Tabela 5 abaixo.

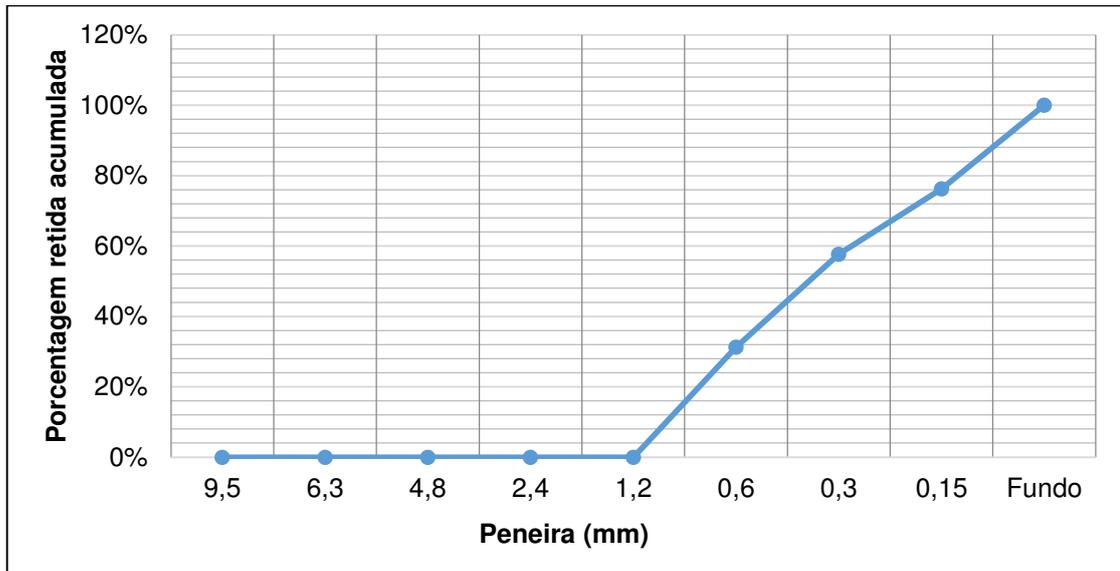
O módulo de finura obtido foi igual a $MF = 1,65$, segue as prescrições da NBR 7211/83, com isso, tem-se um agregado miúdo muito fino. Vale ressaltar que só são utilizados materiais retidos na peneira número 30 (# 600 μm) ou com dimensões inferiores.

Tabela 5 - Granulometria do vidro.

Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,6	95,24	95,24	31,26	31,26
50	0,3	80,42	175,65	26,40	57,66
100	0,15	56,66	232,31	18,60	76,25
Fundo		72,34	304,65	23,75	100,00
TOTAL		304,65		100,00	165,17

Fonte: Autor, 2017.

Através dos valores da Tabela 5, pode-se traçar a curva granulométrica do vidro, com isso tem-se o Gráfico 3 abaixo.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do vidro.

Fonte: Autor, 2017.

5.4 Determinação do traço pelo método IPT

O traço do concreto consiste nas quantidades dos insumos utilizados, seguindo uma proporção, com o intuito de garantir que a resistência almejada seja alcançada. No projeto é adotado a metodologia do Instituto de Pesquisa Tecnológico – IPT. A seguir é demonstrado todo o procedimento e os respectivos resultados.

Dados:

- a. Massa específica real do agregado miúdo: 2,83 g/cm³;
- b. Módulo de finura do agregado miúdo: 1,60;
- c. Massa específica real do agregado graúdo: 2,64 g/cm³;
- d. Diâmetro máximo do agregado graúdo: 19 mm;
- e. Massa específica do cimento CP IV 32: 3,10 g/cm³;
- f. Umidade: 6,97%;
- g. Abatimento (Slump test): 100 mm;
- h. Desvio Padrão: 4,0 MPa.

5.4.1 Determinação da resistência média após 28 dias – F_{cj}

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65S_d$$

$$F_{cj} = 25 + 1,65 \times 4$$

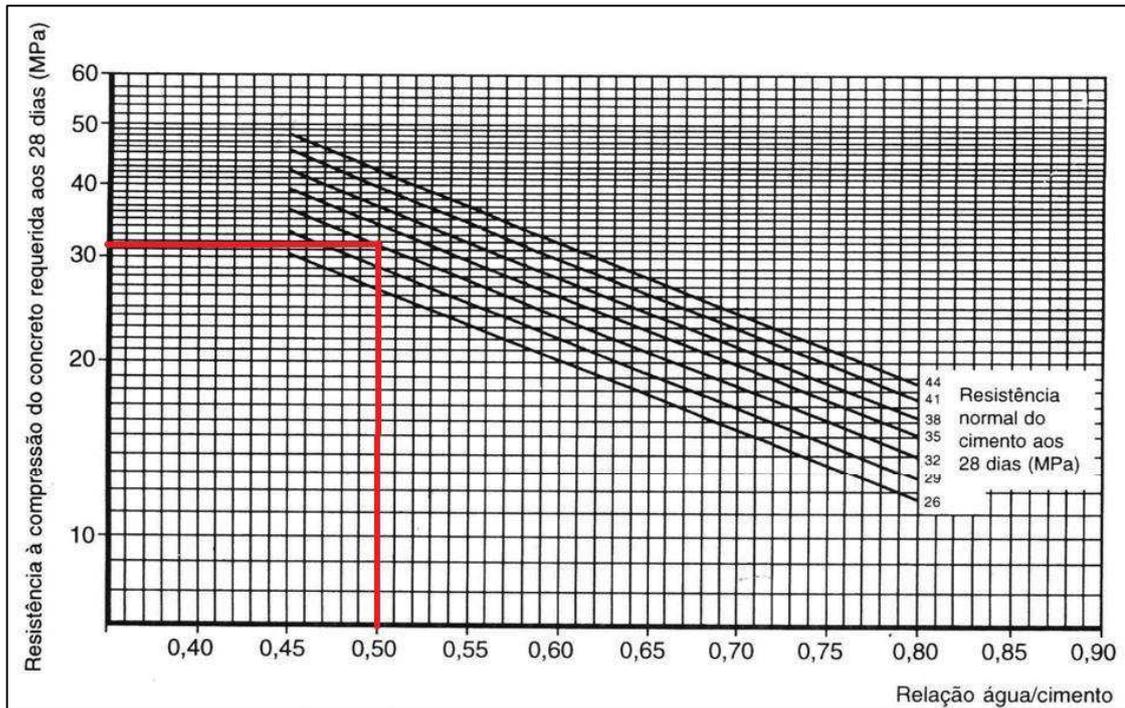
$$F_{cj} = 31,60 \text{ MPa}$$

5.4.2 Determinação do fator água/cimento

A partir da curva de Abrams abaixo, determina-se o fator água/cimento, sendo igual a:

$$a/c = 0,50$$

Gráfico 4 - Curva de Abrams.



Fonte: Adaptado Rodrigues, 1998.

5.4.3 Determinação do consumo de Água

De acordo com o diâmetro máximo do agregado graúdo e do abatimento desejado, utiliza-se a Tabela 6 abaixo para definir o consumo volumétrico de água. Com isso, tem-se a quantidade de água igual a:

$$Ca = 205 \text{ litros}$$

Tabela 6 - Consumo de água.

Consumo de água aproximado (l/m³)					
Abatimento (mm)	Dmáx agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado Rodrigues, 1998.

5.4.4 Determinação do consumo de Cimento

$$C_c = \frac{C_a}{a/c}$$

$$C_c = \frac{205}{0,50}$$

$$C_c = \mathbf{410\ Kg}$$

Legenda:

Cc: Consumo de cimento (kg);

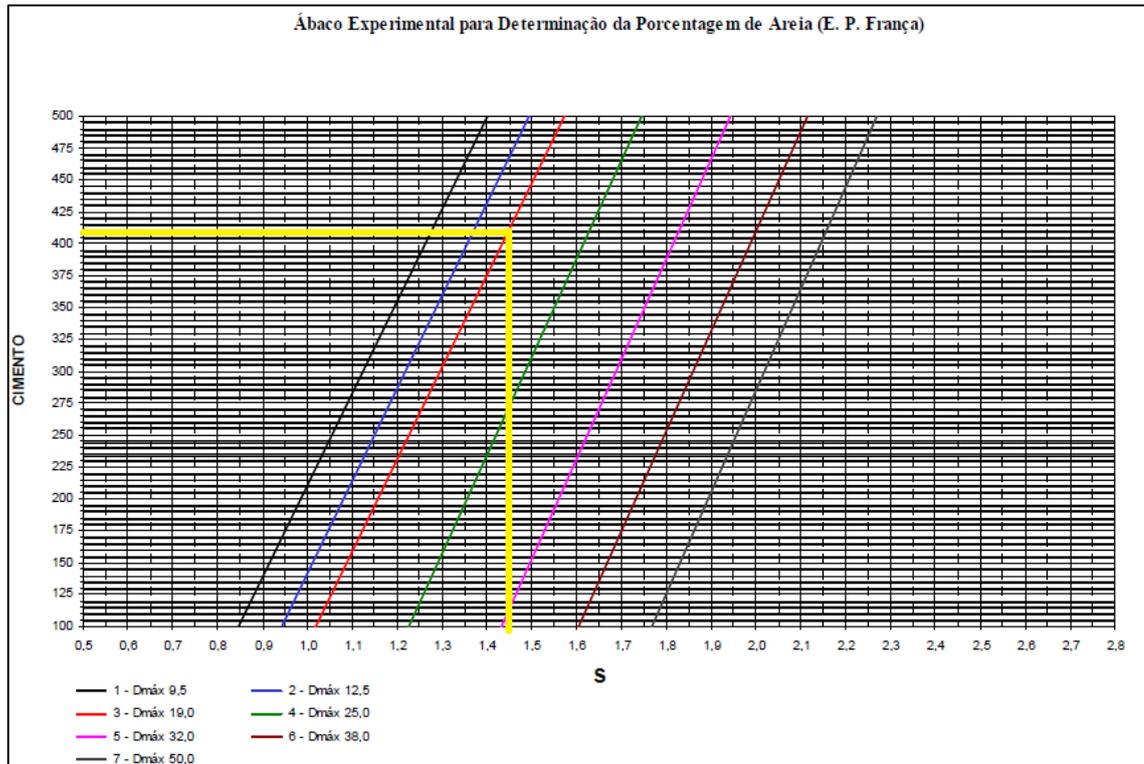
Ca: Consumo de água (kg);

a/c: Fator água/cimento.

5.4.5 Determinação da proporção entre os agregados

De acordo com o ábaco experimental de França abaixo pode-se determinar a porcentagem correspondente a cada agregado, com isso tem-se:

Gráfico 5 - Ábaco experimental de França.



Fonte: Adaptado Pimenta, 2012.

$$A\% = \frac{100}{1 + S}$$

$$A\% = \frac{100}{1 + 1,45}$$

$$A\% = 40,82 \%$$

$$B\% = 100\% - A\%$$

$$B\% = 100\% - 40,82 \%$$

$$B\% = 59,18 \%$$

Legenda:

A%: Porcentagem de agregado miúdo;

B%: Porcentagem de agregado graúdo.

5.4.6 Determinação do consumo de agregados

$$\frac{M_c}{\gamma_c} + \frac{M_m}{\gamma_m} + \frac{M_b}{\gamma_b} + \frac{M_a}{\gamma_a} = 1000$$

$$\gamma_{med} = \gamma_m \times A\% + \gamma_b \times B\%$$

$$\gamma_{med} = 2,64 \times 0,4082 + 2,83 \times 0,5918\%$$

$$\gamma_{med} = 2,75$$

Com isso:

$$\frac{M_c}{\gamma_c} + \frac{M_{agr}}{\gamma_{med}} + \frac{M_a}{\gamma_a} = 1000$$

$$\frac{410}{3,1} + \frac{M_{agr}}{2,75} + \frac{205}{1} = 1000$$

$$M_{agr} = 1822,54 \text{ Kg}$$

$$C_m = 1822,54 \times 0,4082$$

$$\mathbf{C_m = 743,96 \text{ Kg}}$$

$$C_b = 1822,54 \times 0,5918$$

$$\mathbf{C_b = 1078,58 \text{ Kg}}$$

Legenda:

Mc: Massa de cimento;

Mm: Massa de agregado miúdo;

Mb: Massa de agregado graúdo;

Ma: Massa de água;

Magr: Massa dos agregados;

γ_c = Massa específica do cimento (kg/m^3);

γ_b = Massa específica real do agregado graúdo (kg/m^3);

γ_m = Massa específica real do agregado miúdo (kg/m^3);

γ_a = Massa específica da água (kg/m^3);

γ_{med} : Massa específica dos agregados (kg/m^3);

Cm: Consumo de agregado miúdo (kg);

Cb: Consumo de agregado graúdo (kg).

5.4.7 Determinação do traço padrão em peso

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

$$\frac{410}{410} : \frac{743,96}{410} : \frac{1078,58}{410} : \frac{205}{410}$$

$$\mathbf{1 : 1,814 : 2,631 : 0,50}$$

5.4.8 Correção devido à umidade e à trabalhabilidade

Devido ao fato de a areia ser úmida, ou seja, conter água, deve-se corrigir o consumo de água, a fim de garantir o fator água cimento adequado, com isso tem-se:

$$Pa = Cm \times h$$

$$Pa = 743,96 \times 0,0697$$

$$Pa = 51,85 \text{ Kg}$$

$$Cac = Ca - Pa$$

$$Cac = 205 - 51,85$$

$$Cac = 153,15 \text{ L}$$

Legenda:

Pa: Peso da água presente no agregado miúdo;

Cm: Consumo de agregado miúdo (kg);

Ca: Consumo de água (kg);

Cac: Consumo de água corrigido (kg);

h: Umidade

No entanto nos traços em que há substituição de areia por vidro a quantidade de água da areia úmida é reduzida, já que o vidro se encontra em estado seco. Com isso tem-se:

Para substituição de 15%, tem-se:

$$Cac_{15\%} = 205 - 51,85 * 0,85$$

$$Cac_{15\%} = 160,93 \text{ L}$$

Para substituição de 20%, tem-se:

$$Cac_{20\%} = 205 - 51,85 * 0,80$$

$$Cac_{20\%} = 163,52 \text{ L}$$

Legenda:

Cac15%: Consumo de água corrigido para o traço com substituição de 15%;

Cac20%: Consumo de água corrigido para o traço com substituição de 20%.

Já em relação a trabalhabilidade, não é recomendado que a razão entre o agregado graúdo e agregado miúdo seja superior a 1,20. Assim, mantém-se a quantidade de areia e determina a proporção de brita, assim, tem-se:

$$b = m \times 1,20$$

$$b = 1,814 \times 1,20$$

$$b = 2,177$$

Legenda:

b: parte de agregado graúdo;

m: parte dos agregados.

5.4.9 Determinação dos traços corrigidos

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_v}{C_c}$$

Para o traço padrão, tem-se:

$$\mathbf{1 : 1,814 : 2,177 : 0,374 : 0}$$

Para o traço com substituição de 15%, tem-se:

$$\mathbf{1 : 1,814 : 1,542 : 0,393 : 0,272}$$

Para o traço com substituição de 20%, tem-se:

$$\mathbf{1 : 1,814 : 1,451 : 0,399 : 0,363}$$

5.4.10 Determinação do volume de concreto para cada traço

Devido ao ensaio de Slump e à perda, recorrente da fabricação do concreto, foi adotado um fator de perda de 80%. Com isso, tem-se o seguinte volume de concreto por traço.

$$V = \pi \times r^2 \times h \times 6 \times 1,8$$

$$V = \pi \times 0,05^2 \times 0,2 \times 6 \times 1,8$$

$$V = 0,017 \text{ m}^3$$

5.4.11 Quantidade de material por traço

Abaixo segue a Tabela 7, com o resumo do consumo de materiais para cada traço.

Tabela 7 - Quantidade de materiais por traço.

Material	Quantidade dos Materiais (Kg)		
	Traço Padrão	Traço Subst. 15%	Traço Subst. 20%
Cimento	6,95	6,95	6,95
Areia	12,61	10,72	10,09
Brita	15,13	15,13	15,13
Vidro	0,00	1,89	2,52
Água	2,60	2,73	2,77

Fonte: Autor, 2017.

5.5 Ensaio de consistência: Slump Test

Utiliza-se o ensaio descrito no item 5.4 deste trabalho para determinar a trabalhabilidade dos traços. Os resultados obtidos estão demonstrados abaixo.

Tabela 8 - Resultado do Abatimento.

Traço	Abatimento (mm)
Padrão	120
Subst. 15%	120
Subst. 20%	95

Fonte: Autor, 2017.

Tendo como base os resultados acima, pode-se perceber que a substituição do agregado miúdo natural por cacos de vidro moído só gerou perda de trabalhabilidade no traço com substituição de 20% do agregado, concomitantemente, ocorrendo redução do volume de vazios do concreto, ou seja, tornando-o mais consistente. A Tabela 9 apresenta a perda percentual de trabalhabilidade em relação ao traço padrão.

Tabela 9 - Perda de trabalhabilidade.

Traço	Perda de trabalhabilidade (%)
Subst. 15%	0%
Subst. 20%	20,83%

Fonte: Autor, 2017.

5.6 Ensaio de Compressão Axial

Os resultados das resistências à compressão obtidos seguem a metodologia descrita no item 5.5 deste trabalho. Com isso, conforme exposto no item 5.3 rompe-se 2 corpos de prova, de cada traço, nas seguintes idades: 7,14 e 28 dias. Adota-se o resultado da média entre eles.

5.6.1 Resultados do traço paradigma

Os valores correspondentes a resistência à compressão dos corpos de prova do traço padrão e a respectiva média estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Resistência à compressão do traço padrão.

Idade (dias)	Traço Padrão		
	Resistência à Compressão (MPa)		
	Corpo 1	Corpo 2	Média
7	20,54	22,01	21,27
14	31,53	29,58	30,56
28	33,36	32,76	33,06

Fonte: Autor, 2017.

5.6.2 Resultados com 15% de vidro

Os valores correspondentes a resistência à compressão dos corpos de prova do traço com substituição de 15% do agregado miúdo natural por vidro moído e a respectiva média estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Resistência à compressão traço com substituição de 15%.

Idade (dias)	Traço 15% Subst.		
	Resistência à Compressão (MPa)		
	Corpo 1	Corpo 2	Média
7	20,80	21,04	20,92
14	25,99	27,84	26,91
28	29,97	29,36	29,66

Fonte: Autor, 2017.

5.6.3 Resultados com 20% de vidro

Os valores correspondentes a resistência à compressão dos corpos de prova do traço com substituição de 20% do agregado miúdo natural por vidro moído e a respectiva média estão expostos na Tabela 12.

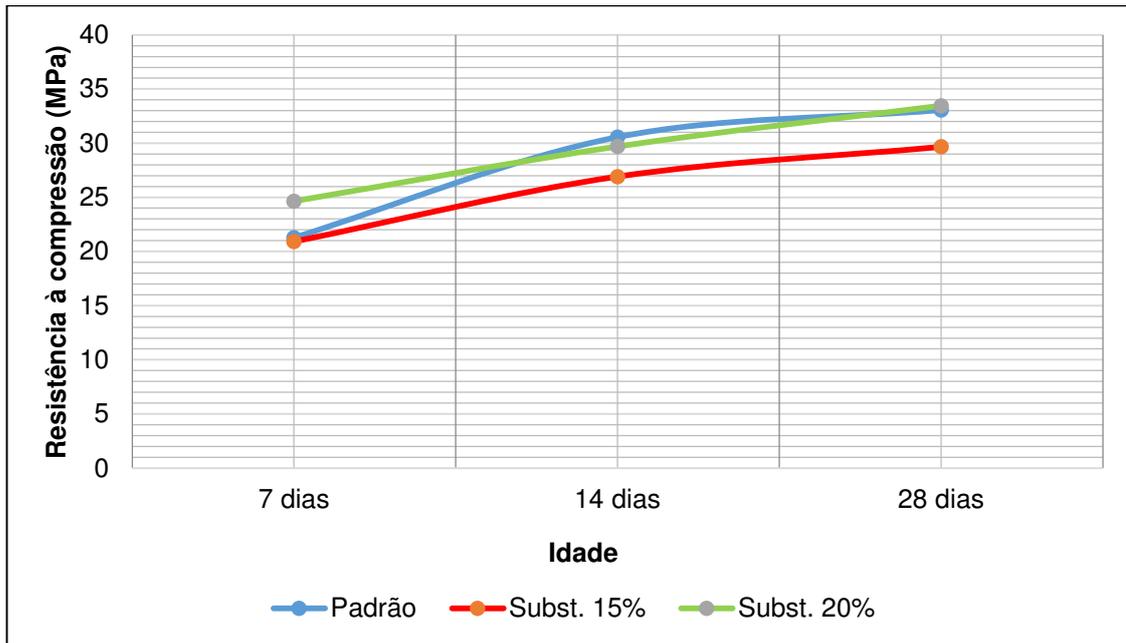
Tabela 12 - Resistência à compressão traço com substituição de 20%.

Idade (dias)	Traço 20% Subst.		
	Resistência à Compressão (MPa)		
	Corpo 1	Corpo 2	Média
7	24,11	25,18	24,64
14	29,74	29,64	29,69
28	34,58	32,34	33,46

Fonte: Autor, 2017.

5.6.4 Comparação dos resultados

No Gráfico 6 tem-se as curvas resistência-idade dos corpos de prova, permite a comparação da resistência dos diferentes traços no decorrer do tempo.

Gráfico 6 - Resistência à compressão x Idade.

Fonte: Autor, 2017.

A partir dos resultados exemplificados, no Gráfico 6 acima, pode-se notar que a substituição parcial do agregado miúdo natural por vidro moído reciclado obteve êxito. Os três traços detêm valores de resistência semelhantes, para todas as idades, 7, 14 e 28 dias. Vale frisar, que ambos satisfazem a resistência almejada, 25 MPa, chegando a superá-la nos três casos.

Conforme o Gráfico 6 acima, o traço com 20% de substituição parcial do agregado miúdo natural por vidro obtém acréscimo de resistência superior aos demais nos primeiros 7 primeiros dias, ou seja, durante esta cura inicial o concreto hidratou-se mais rapidamente. Vale salientar, que mesmo tendo uma hidratação mais acelerada o concreto não sofreu efeitos da retração, evidenciando, assim, que sua utilização em locais em que se deseja alta resistência inicial sem comprometer a resistência final é viável. Leva-se a crer que em determinada proporção o vidro pode tornar-se uma opção de aditivo reciclável, do tipo acelerador de pega. Este fato pode ser justificado, pois, os materiais vítreos quando adicionados à água aglomeram-se, formando torrões rígidos, estado este em que foi obtido o material para o estudo, ou seja, o pó de vidro já possui um poder de aglomerante intrínseco em sua composição. Ademais, este possui em sua composição alumina e magnésio, enquanto aquele propicia um aumento na resistência mecânica este além de proporcionar este acréscimo de tenacidade garante a resistência à mudança brusca de temperatura, o

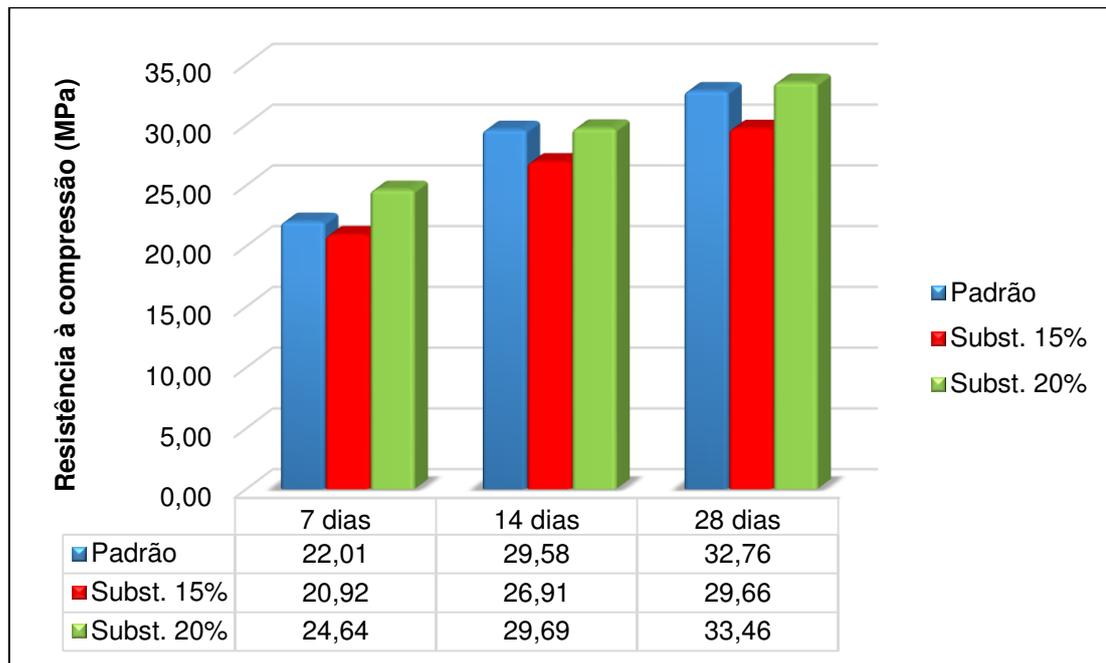
que justifica não ter ocorrido retração durante a pega, haja vista que esta ocorre de uma forma acentuada e trata-se de uma reação exotérmica.

Ainda de acordo com o gráfico 6 acima, é nítido que no intervalo de 7 a 14 dias a curva de resistência do concreto padrão possui um coeficiente angular superior aos demais traços e mais vertical que o trecho entre 14 e 28 dias da mesma curva, ou seja, a hidratação não ocorre de forma constante em relação ao tempo, nestes intervalos. Já em relação aos demais traços, sendo mais perceptível na curva do concreto com substituição de 20% do agregado miúdo, o acréscimo de resistência nestes trechos ocorre com maior linearidade, obtendo coeficiente angular mais ameno. Com isso, percebe-se que o vidro, além de proporcionar alta resistência inicial, garante uma hidratação do concreto de forma mais uniforme durante o tempo, neste intervalo, o que acaba por minimizar o risco do surgimento de trincas, oriundas da retração.

O traço com substituição parcial de 15% do agregado miúdo por pó vítreo detém os valores de resistência menos satisfatórios. Levando-se em consideração que neste traço não houve perda de trabalhabilidade, ou seja, a mistura não ficou mais consistente, quando comparada com o traço padrão. Portanto, aponta-se que a quantidade de material foi inferior ao valor necessário para preenchimento dos vazios e, com isso, obter resistência igual ou superior ao traço paradigma. Porém, este concreto detém resultado superior ao desejado na dosagem, o que evidencia que sua utilização tem viabilidade econômica e técnica.

Percebe-se que a substituição de 20% detém resultados superiores ao traço padrão, já com a troca de 15% os dados são inferiores, ou seja, há uma porcentagem entre estas que preencheria os vazios do concreto de forma a igualar a resistência do concreto paradigma. Supondo uma linearidade entre proporções e resultados, pode-se afirmar que a substituição de 19,47% entre os agregados seria a ideal para manter os mesmos valores obtidos no traço sem troca parcial de agregado.

A partir do Gráfico 7, tem-se a comparação da resistência à compressão dos três traços em suas respectivas idades, o que permite comparar os resultados obtidos.

Gráfico 7 - Comparação das resistências à compressão.

Fonte: Autor, 2017.

Com base nos valores de resistência correspondentes aos primeiros 7 dias, pode-se perceber que todos os traços obtêm resultados superiores a 80% do valor desejado, 25 MPa, sendo que no traço com 20 por cento do agregado miúdo constituído de material vítreo, em uma semana o concreto alcançou 98,56% da resistência calculada, ou seja, em poucos dias já se detém o fck esperado para 28 dias, com isso, evidencia-se que houve uma pega rápida e concomitantemente sem gerar patologias, algo desejado na maioria das obras, tendo em vista, que o tempo e a qualidade são uns dos fatores mais importantes na construção civil.

Quanto ao trecho entre 7 e 14 dias, o concreto padrão continuou tendo acréscimo de resistência de uma forma mais vertical que os demais. Porém, percebe-se que todos os traços já superaram a resistência desejada, ou seja, sinaliza que tanto os traços com 15 e 20% podem ser utilizados, preservando a propriedade mecânica fundamental do concreto.

Já em relação ao trecho entre 14 e 28 dias, vê-se que o aumento de resistência foi mais ameno e que os resultados finais dos traços foram parecidos e satisfatórios. O fato do traço com troca parcial de 20% obter resultado superior ao concreto padrão aponta que o vidro preencheu melhor os vazios devido ao seu baixo

módulo de finura, com isso, acarretando redução no índice de vazios do concreto e, concomitantemente, aumento da resistência à compressão.

Por fim, os fck de 28 dias dos corpos de prova superam o valor desejado em mais de 4 MPa, devido ao fato de ter sido aplicado um desvio padrão, a fim de evitar eventuais falhas.

Consoante aos consumos obtidos para a fabricação dos corpos de prova dos traços com 15 e 20% de substituição do agregado miúdo, chega-se aos valores de 111,17 Kg e 148,23 Kg, respectivamente, de vidro retirado do meio ambiente a cada metro cúbico de concreto fabricado.

Levando em consideração a situação ambiental atual, os resultados aqui obtidos são importantíssimos, pois o vidro é considerado um material não biodegradável, ou seja, ele não se decompõe na natureza, com isso, perdura nela, poluindo-a e prejudicando-a, assim, dando-se uma função para este material pode-se ajudar o planeta.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista o objetivo deste projeto, estudo da viabilidade do uso de materiais vítreos como agregado miúdo, pode-se concluir que obteve-se êxito, pois os resultados mostram que a resistência à compressão do concreto, principal propriedade deste, foi mantida. Além do mais, mesmo que o traço com 20% de troca de agregado tenha perdido trabalhabilidade, este ainda possui consistência útil para o uso na construção civil.

Conforme os resultados do trabalho, consegue-se concluir que esta nova opção de agregado pode ser utilizada tanto para os concretos sem função estrutural quanto para os com função estrutural, visto que a resistência e a trabalhabilidade obtidas são viáveis tanto para superestruturas quanto para fundações quando se requer resistência à compressão.

Através deste estudo, fica evidenciado que o concreto com vidro moído é uma opção ecológica e possível, tanto do aspecto técnico quanto do aspecto econômico, uma vez que o resíduo vítreo é obtido de graça, pois este, até então, não possuía serventia.

Por conseguinte, uma das principais vantagens deste concreto é a reciclagem, pois, antes um lixo, hoje o vidro torna-se um insumo do principal material da construção civil, com isso, reduz-se a quantidade deste produto nos aterros sanitários e, concomitantemente, viabiliza uma construção verde e sustentável.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar estudos sobre: outras proporções de substituição do agregado miúdo; utilização de outros tipos de vidro; influência ao longo prazo; análise de outras propriedades como tração, porosidade e resistência ao fogo; e o vidro como uma opção de aditivo acelerador de pega.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Brasil, Rio de Janeiro, 1991.

_____. **12.980**: Coleta, variação e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos. Brasil, Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Brasil, Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5734**: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos. Brasil: Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Brasil: Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Brasil: Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7199**: Projeto, execução e aplicação do vidro na construção civil. Brasil, Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto-Especificação. Brasil: Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Brasil: Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 43**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Brasil: Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Brasil: Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Brasil: Rio de Janeiro, 1998.

ALVES, M. S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concreto**. Belo Horizonte, 2008.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem do Vidro**. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_vidro.html>. Acesso em: 16 mar 2017.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: UNESP/NEPAE, 2002.

ANDRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. C. **Inspeção e controle de qualidade do concreto**. São Paulo: Ed. Newswork, 1993.

ARAUJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000.

ASSIS, O. B. G. **O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração**. São Carlos, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **O produto mais consumido no mundo é objeto de amplo estudo, que analisa e projeta tendências para o segmento mais importante da cadeia produtiva da construção civil**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIÇÃO E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS – ABRAVIDRO. **Panorama Abravidro 2015**. Disponível em: <<http://abravidro.org.br/mercado/panorama-abravidro/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

_____. **Panorama Abravidro 2016**. Disponível em: <<http://abravidro.org.br/mercado/panorama-abravidro/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009**. Brasil, São Paulo, 2009.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. Brasil, São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE VIDRO – CERV. **Reciclagem do Vidro**. Disponível em: <<http://cerv.pt/reciclagem-do-vidro/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE VIDRAÇARIAS DE SÃO PAULO – ANAVIDRO. **Quanto tempo o Vidro leva para decompor**. Disponível em: <<http://www.anavidro.com.br/quanto-tempo-o-vidro-leva-para-se-decompor/>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO – ABIVIDRO. **Benefícios da Reciclagem do Vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/beneficios-da-reciclagem-do-vidro>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

_____. **Vidro – Um recipiente que contém história**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/noticias/vidro-um-recipiente-que-contem-historia>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM International. Disponível em: <<http://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=CONCRETE%20&>>. Acesso em: 21 maio 2017.

BARROS, Carolina. **Apostila de vidros**. Pelotas, 2010.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979.

Blindex. **Pisos e Escadas de Vidro**. Disponível em: <<http://www.blindex.com.br/produtos/por-aplicacao/pisos-e-escadas-de-vidro>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

BÓ, Marcelo Dal et al.. **Fabricação de Vetrosas com a Utilização de Resíduos de Vidro Plano e Vidro de Bulbo de Lâmpadas**. Criciúma, 2009.

BRASIL. **Lei 12.305**: A Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 3 abr. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Brasil sedia Dia Mundial do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7825-brasil-sedia-dia-mundial-do-meio-ambiente>>. Acesso em 03 de abril de 2017 às 14:34.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 9 de junho. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Impacto das embalagens no meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Princípio dos 3R's**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs>>. Acesso em 27 de fevereiro de 2017 às 11:09.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. 4. ed. São Paulo: Editora Humanitas, 1997.

ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION - CERF. **Pesquisa internacional realizada pela entidade ligada ao American Society of Civil Engineers (ASCE) dos Estados Unidos**, 2009.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CRISTAL – CEBRACE. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/a-historia-do-vidro>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRES. **Vidro**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA DA IV REGIÃO – CRQ4. **Vidro**. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/vidroquimicaviva>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, 1995.

Ecocasa. **Lã de Vidro**. Disponível em: <http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/La_de_Vidro.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2017.

EMBALIXO. TUDO SOBRE O LIXO. **Empresa Embalixo**. Disponível em: <<http://www.embalixo.com.br/novo/?tipo=6>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

FACHIN, Leo Carlos. **A reciclagem de resíduos sólidos como meio de geração de emprego e renda, análise dos problemas sócio-ambientais e do custo de oportunidade**. Florianópolis, 2004.

FARIAS, J. S.; FONTES, L. A. M. Gestão integrada de resíduos sólidos: o lixo de Aracajú analisado sob a ótica da gestão de meio ambiente. São Paulo: **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 10, n. 2, abr./jun. 2003.

FÁVERO, R. B. **Avaliação da utilização de sucata de vidro como adição mineral frente à sílica ativa e como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento**. Porto Alegre, 2009.

GODINHO, K. O. et al.. **Efeito da adição de vidro sobre propriedades de queima de uma argila vermelha**. Campo dos Goytacazes, 2005.

GONÇALVES, P. **A reciclagem Intregadora dos Aspectos Ambientais Sociais e Econômicos**. Rio de Janeiro: DP&A: Fase, 2003.

BROWN, I. W. M.; MACKENZIE, K. J. D. “Process design of a ceramic-like body from recycled waste glass”. **J. Mater. Sci.**, v. 17, p. 2164-2193, 1982.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Brasília, 2012.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Princípios Básicos de Dimensionamento de Estruturas de Concreto**, v. 1 Rio de Janeiro. Interciência: 1977.

MARLEY ANUCIAÇÃO MAGELLA. **Desenvolvimento de materiais vítreos e vitrocerâmicos a partir de escórias da produção de aços inoxidáveis**. Florianópolis, 1999.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. Pini, 1994.

NANI, Luiz Everton. **Meio Ambiente e Reciclagem** – Um caminho a ser Seguido. Curitiba: Juruá, 2008.

NASCIMENTO, I. R. D.N. **Recolhimento de embalagens pela indústria, através de um programa de educação ambiental**: Estudo de caso. Rio de Janeiro: Niterói, 2010.

NEVILLE, ADAM. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1997.

ODIMAR, N. Junior. **A Função de Empresa Aparista na Cadeia de Reciclagem de Papel e Papelão no Sul Catarinense**. Criciúma: f. 64. 2013, Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, 2013.

OLIVEIRA, D. et al.. **Estudo do concreto utilizando agregado miúdo reciclado**: avaliação da resistência mecânica. João Pessoa, 2007.

OLIVEIRA, L. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, Vera Aparecida. **Proposta de um Modelo de Framework para Processos de Reciclagem**. Ponta Grossa, 2011.

PEDROSO, Fábio L. **Concreto**: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto: IBRACON, 2009.

PEDROZO, Gilnei Delavy. **Avaliação do uso de agregado miúdo obtido através da reciclagem de entulhos em concreto de cimento Portland**. Ijuí, 2014.

PETRUCCI, E. G. R. **1922-1975, Concreto de cimento Portland**. 13 ed. São Paulo: Globo, 1978.

_____. **Concreto de Cimento Portland**. 11. ed. Rio de Janeiro, Brasil. Editora Globo, 1987, 307 p.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. João Pessoa, 2012.

PINHEIRO, Libânio M. et al.. **Estruturas de Concreto**. Cap. 2. [S.l.], 2010.

PINTO, J. L. A.; MASUERO, A. B.; HASPARYK, N. P. Aproveitamento de resíduo de vidro em compósitos de cimento e a preservação do meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008. 1 CD.

PREDOZO, Gilnei D. **Avaliação do uso de agregado miúdo obtido através da Reciclagem De Entulhos em Concreto de Cimento Portland**. 70p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2014.

RIBEIRO et al., **Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem**: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

RIBEIRO, Túlio Franco et al.. **Coleta seletiva de lixo domiciliar – Estudo de casos**. Urbelândia, 2000.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre, 2003.

RODRIGUES, Ana C. M. et al.. **Reciclagem de vidro no Brasil**: Um panorama geral. São Carlos, 1999.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3. ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. Studies on concrete containing ground waste glass. **Cement and Concrete Research**. Elmsford, v. 30, n.1, p. 91-100, 2000.

TRIXGLASS. **Composição do Vidro**. Disponível em: <<http://www.trixglass.com.br/composicao-do-vidro/>>. Acesso em? 22 fev. 2017.

VERALLIA. **História do Vidro**. Disponível em: <<http://pt.verallia.com/o-vidro/historia>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2017 às 15:08.

Verallia. **Reciclagem de Vidro**. Disponível em: <<http://br.verallia.com/sustentabilidade/reciclagem-de-vidro>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. 10. ed. Brasil, São Paulo, 1997.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D.. **Resíduos plásticos e reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. 2. ed. São Paulo, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS.

Agregado Miúdo.

Granulometria da amostra 1 do agregado miúdo.

Amostra 1					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,20	0,20	0,07	0,07
4	4,8	0,27	0,47	0,09	0,15
8	2,4	2,90	3,37	0,95	1,10
16	1,2	6,35	9,72	2,07	3,17
30	0,6	19,95	29,67	6,52	9,69
50	0,3	146,57	176,24	47,87	57,56
100	0,15	76,75	252,99	25,07	82,63
Fundo		53,20	306,19	17,37	100,00
TOTAL		306,19		100,00	154,37
				Módulo de Finura	1,54

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria da amostra 2 do agregado miúdo.

Amostra 2					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,36	0,36	0,12	0,12
4	4,8	0,46	0,82	0,15	0,27
8	2,4	2,59	3,41	0,84	1,11
16	1,2	6,57	9,98	2,13	3,24
30	0,6	21,90	31,88	7,10	10,34
50	0,3	151,30	183,18	49,07	59,41
100	0,15	74,55	257,73	24,18	83,59
Fundo		50,59	308,32	16,41	100,00
TOTAL		308,32		100,00	158,07
				Módulo de Finura	1,58

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria média do agregado miúdo.

Média					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,28	0,28	0,09	0,09
4	4,8	0,37	0,65	0,12	0,21
8	2,4	2,75	3,39	0,89	1,10
16	1,2	6,46	9,85	2,10	3,21
30	0,6	20,93	30,78	6,81	10,02
50	0,3	148,94	179,71	48,47	58,49
100	0,15	75,65	255,36	24,62	83,11
Fundo		51,90	307,26	16,89	100,00
TOTAL		307,26		100,00	156,23
				Módulo de Finura	1,56

Fonte: Autor, 2017.

Agregado Graúdo.

Granulometria da amostra 1 do agregado graúdo

AMOSTRA 1					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
1 1/2"	38	0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/4"	32	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,5	22,37	22,37	2,17	2,17
1/2"	12,5	660,03	682,40	64,14	66,31
3/8"	9,5	263,30	945,70	25,59	91,90
1/4"	6,3	79,30	1025,00	7,71	99,60
4	4,8	2,50	1027,50	0,24	99,84
Fundo		1,60	1029,10	0,16	100,00
TOTAL		1029,10		100,00	

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria da amostra 2 do agregado graúdo.

AMOSTRA 2					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
1 1/2"	38	0	0	0,00	0,00
1 1/4"	32	0	0	0,00	0,00
1"	25	0	0	0,00	0,00
3/4"	19,5	55,39	55,39	5,34	5,34
1/2"	12,5	687,91	743,3	66,36	71,71
3/8"	9,5	237,4	980,7	22,90	94,61
1/4"	6,3	54,3	1035	5,24	99,85
4	4,8	0	1035	0,00	99,85
Fundo		1,6	1036,6	0,15	100,00
TOTAL		1036,6		100,00	

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria média do agregado graúdo.

MÉDIA					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
1 1/2"	38	0	0	0,00	0,00
1 1/4"	32	0	0	0,00	0,00
1"	25	0	0	0,00	0,00
3/4"	19,5	38,88	38,88	3,76	3,76
1/2"	12,5	673,97	712,85	65,25	69,02
3/8"	9,5	250,35	963,2	24,24	93,26
1/4"	6,3	66,8	1030	6,47	99,72
4	4,8	1,25	1031,25	0,12	99,85
Fundo		1,6	1032,85	0,15	100,00
TOTAL		1032,85		100,00	

Fonte: Autor, 2017.

Vidro.

Granulometria da amostra 1 do vidro.

AMOSTRA 1					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,6	86,56	86,56	28,34	28,34
50	0,3	82,43	168,99	26,99	55,33
100	0,15	59,91	228,90	19,61	74,94
Fundo		76,54	305,44	25,06	100,00
TOTAL		305,44		100,00	158,61
				Módulo de Finura	1,59

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria da amostra 2 do vidro.

AMOSTRA 2					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0	0	0,00	0,00
1/4"	6,3	0	0	0,00	0,00
4	4,8	0	0	0,00	0,00
8	2,4	0	0	0,00	0,00
16	1,2	0	0	0,00	0,00
30	0,6	103,91	103,91	34,20	34,20
50	0,3	78,4	182,31	25,80	60,00
100	0,15	53,41	235,72	17,58	77,58
Fundo		68,14	303,86	22,42	100,00
TOTAL		303,86		100,00	171,77
				Módulo de Finura	1,72

Fonte: Autor, 2017.

Granulometria média do vidro.

MÉDIA					
Peneiras		Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagens	
Nº	mm			Retida (%)	Retida Acumulada (%)
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,6	95,24	95,24	31,26	31,26
50	0,3	80,42	175,65	26,40	57,66
100	0,15	56,66	232,31	18,60	76,25
Fundo		72,34	304,65	23,75	100,00
TOTAL		304,65		100,00	165,17
				Módulo de Finura	1,65

Fonte: Autor, 2017.

APÊNDICE B – UMIDADE DA AREIA.

Areia.

Umidade da Areia.

Amostra	Peso Cápsula (g)	Peso areia úmida (g)	Peso areia seca + Capsula (g)	Peso areia seca (g)	Umidade (%)
I	16,15	60	72,23	56,08	6,99
II	12,6	60	68,91	56,31	6,55
III	17,84	60	73,72	55,88	7,37
				Média	6,97

Fonte: Autor, 2017.

APÊNDICE C – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

Ensaio de resistência à compressão traço padrão.

Traço	Traço de referência (MPa)	Data de Moldagem	Data do ensaio	Idade (Dias)	Corpo de Prova	Força de Ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)
Padrão	25	18/04	25/04	7	CP - I	16,45	20,54
					CP - II	17,63	22,01
			02/05	14	CP - I	25,25	31,53
					CP - II	23,69	29,58
			16/05	28	CP - I	26,72	33,36
					CP - II	26,24	32,76

Fonte: Autor, 2017.

Ensaio de resistência à compressão do traço com substituição parcial de 15% do agregado miúdo natural por pó de vidro.

Traço	Traço de referência (MPa)	Data de Moldagem	Data do ensaio	Idade (Dias)	Corpo de Prova	Força de Ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)
Subst. 15%	25	18/04	25/04	7	CP - I	16,66	20,80
					CP - II	16,85	21,04
			02/05	14	CP - I	20,81	25,99
					CP - II	22,30	27,84
			16/05	28	CP - I	24,00	29,97
					CP - II	23,51	29,36

Fonte: Autor, 2017.

Ensaio de resistência à compressão do traço com substituição parcial de 20% do agregado miúdo natural por pó de vidro.

Traço	Traço de referência (MPa)	Data de Moldagem	Data do ensaio	Idade (Dias)	Corpo de Prova	Força de Ruptura (tf)	Resistência à compressão (MPa)
Subst. 20%	25	19/04	26/04	7	CP - I	19,31	24,11
					CP - II	20,16	25,18
			03/05	14	CP - I	23,82	29,74
					CP - II	23,79	29,64
			17/05	28	CP - I	27,69	34,58
					CP - II	25,90	32,34

Fonte: Autor, 2017.