



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGAMASSAS FABRICADAS COM PÓ DE
VIDRO MOÍDO NA SUA CONSTITUIÇÃO TENDO COMO REFERÊNCIA A NORMA
TÉCNICA ABNT NBR 7215/1996**

GUILHERME VENÂNCIO BORGES ALMEIDA

BELO HORIZONTE

2018

GUILHERME VENÂNCIO BORGES ALMEIDA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGAMASSAS FABRICADAS COM PÓ DE VIDRO MOÍDO NA SUA CONSTITUIÇÃO TENDO COMO REFERÊNCIA A NORMA TÉCNICA ABNT NBR 7215/1996

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Evandro Carrusca de Oliveira

Co-orientador: Mateus Justino da Silva

BELO HORIZONTE

2018

GUILHERME VENÂNCIO BORGES ALMEIDA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGAMASSAS FABRICADAS COM PÓ
DE VIDRO MOÍDO NA SUA CONSTITUIÇÃO TENDO COMO REFERÊNCIA A
NORMA TÉCNICA ABNT NBR 7215/1996

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Ambiental e Sanitária do
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 04/12/2018

Banca Examinadora:



Evandro Carrusca de Oliveira – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. CEFET/MG – Orientador



Mateus Justino da Silva
Prof. Dr. CEFET/MG – Coorientador



Sidney Nicodemos da Silva
Prof. Dr. CEFET/MG



Gisele Vidal Vimieiro
Profa. Dra. CEFET/MG



Rubens José Pedrosa Reis
Prof. MSc. FUMEC

Agradecimentos

Enfim, a parte final do curso e a hora de cantar “*Let it go*” se aproximam. É difícil agradecer para cada pessoa que em algum momento fez parte da minha árdua caminhada... Com isso, a todos, meus mais sinceros agradecimentos.

Primeiramente, agradeço a Deus. Graças a Ele pude chegar aonde cheguei e alcançar lugares que antes me pareciam impossíveis. O Senhor foi meu guia nos momentos mais difíceis e permitiu com que alcançasse o sucesso.

Agradeço aos meus pais, Mauro e Isabel, que com grande paciência, auxílio e atenção estiveram ao meu lado durante a graduação. Foram incontáveis consolos e ajudas, em especial naqueles momentos em que pensava em desistir. Além de um amor infinito, minha eterna gratidão.

Agradeço aos professores Evandro e Mateus, por me orientarem e auxiliarem no projeto de pesquisa, sanando dúvidas, sugerindo melhorias para assim alcançar o êxito. Agradeço por passarem seus conhecimentos e transformarem este trabalho em uma oportunidade de crescimento.

Minha gratidão também aos demais professores que me proporcionaram experiências únicas, tanto boas quanto ruins, permitindo que eu aprendesse cada vez mais visando me tornar um profissional de excelência.

Às amigas Júlia, Bruna, Tuane e Gabi, agradeço pelo companheirismo, pelo “ombro amigo” na hora do aperto e alegrias conjuntas nos momentos de vitórias.

“Porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém.”

Romanos 11:36

Resumo

No modelo de produção atual, vários resíduos são gerados tanto na produção de bens duráveis como não duráveis. No Brasil, são geradas milhares de toneladas de resíduos sólidos todos os anos. Com uma perspectiva otimista, serão depositados em Aterros Sanitários e permanecerão ali por tempo indeterminado. Já com uma perspectiva negativa, serão descartados em locais inadequados como lixões, rios e oceanos causando impactos significativos. O vidro aparece como uma parcela significativa de tais resíduos. Diante de tal situação, alternativas para o aproveitamento do vidro têm sido pesquisadas e desenvolvidas. Paralelamente, é sabido que a construção civil se destaca como um dos setores que demandam maior consumo de recursos naturais utilizados como insumos nos processos produtivos. Neste contexto, neste trabalho é feita a caracterização tecnológica (Absorção de água, Índice de Vazios, Massa específica) de argamassas fabricadas com pó de vidro moído na sua constituição, além de determinar e avaliar a resistência à compressão da mesma tendo como referência a norma técnica ABNT NBR 7215/1996. O estudo mostrou resultados bastante interessantes, obtendo uma redução significativa na absorção de água, no índice de vazios e na massa específica. Houve ainda a redução na resistência à compressão. Embora recomende-se a realização de estudos complementares, mediante a melhora dos parâmetros da caracterização tecnológica, a argamassa de vidro se mostrou como uma boa alternativa para o ramo da construção civil.

Palavras-chave: vidro, gestão de resíduos sólidos, argamassa, caracterização tecnológica.

Abstract

In the current production model, several wastes are generated both in the production of durable and non-durable goods. In Brazil, thousands of tons of solid waste are generated every year. With an optimistic outlook, they will be deposited in Landfills and will remain there indefinitely. Already with a negative perspective, they will be disposed of in inappropriate places such as dumps, rivers and oceans causing significant impacts. Glass appears as a significant portion of such waste. Faced with such a situation, alternatives for the use of glass have been researched and developed. At the same time, it is well known that civil construction stands out as one of the sectors that demand greater consumption of natural resources used as inputs in production processes. In this context, in this work the technological characterization (Water Absorption, Index of Voids, Specific Mass) of mortars made with ground glass powder in its constitution is made, in addition to determining and evaluating the compressive strength of the same with reference to the norm technique ABNT NBR 7215/1996. The study showed very interesting results, obtaining a significant reduction in the water absorption, the voids index and the specific mass. There was also a reduction in compressive strength. Although it is recommended to carry out complementary studies, by improving the parameters of the technological characterization, the glass mortar proved to be a good alternative for the construction industry.

Keywords: glass, solid waste management, mortar, technological characterization.

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema representativo do processo de fabricação do Vidro.....	18
Figura 2: Destino do Resíduo Sólido no Brasil	19
Figura 3: Taxa de Geração de Resíduos Sólidos Urbanos para o ano de 2014	20
Figura 4: Influência do traço da argamassa na resistência da mesma e da parede	29
Figura 5: Argamassa de assentamento de alvenaria	30
Figura 6: Diferentes formas de revestimento da parede, com (a) emboço + reboco + pintura, (b) camada única + pintura, (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).....	31
Figura 7: Fluxograma do trabalho realizado.....	34
Figura 8: Vidro moído utilizado no experimento	36
Figura 9: Balança de precisão utilizada e materiais separados.....	36
Figura 10: Moldes metálicos utilizados na confecção de corpos-de-prova.....	38
Figura 11: Argamassadeira utilizada no experimento	39
Figura 12: Corpos-de-prova recém-moldados	40
Figura 13: Modelo de soquete	40
Figura 14: Placa de vidro cobrindo o molde para o corpo-de-prova.....	41
Figura 15: Corpos-de-prova após serem retirados dos moldes e prontos para a cura final	42
Figura 16: Estufa utilizada para a secagem dos corpos-de-prova	44
Figura 17: Cesto de aço usado para a determinação da Massa do corpo-de-prova saturado imerso em água (Mi).....	45
Figura 18: Prensa utilizada do experimento	47
Figura 19: Corpos-de-prova após o rompimento.....	47
Figura 20: Variação na absorção de água dos corpos-de-prova	48
Figura 21: Variação do Índice de Vazios dos corpos-de-prova.....	50
Figura 22: Variação da Massa específica seca dos corpos-de-prova.....	51
Figura 23: Variação da Massa específica saturada dos corpos-de-prova	52
Figura 24: Valores obtidos no ensaio de resistência à Compressão com 7 dias sem retifica...53	
Figura 25: Valores obtidos no ensaio de resistência à Compressão com 28 dias sem retifica.54	

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição Química de alguns tipos de vidros mais usados	17
Tabela 2: Conjunto de peneiras sucessivas que atendem às determinações da ABNT	21
Tabela 3: Composição dos Cimentos mais utilizados no Brasil.....	28
Figura 7: Fluxograma do trabalho realizado.....	34
Tabela 4: Tabela da abertura das peneiras em mm adaptada ASTM	35
Tabela 5: Tabela das Séries de corpos-de-prova.	37
Tabela 6: Influência do vidro na absorção de água	48
Tabela 7: Influência do vidro no Índice de Vazios.....	49
Tabela 8: Influência do vidro na massa específica seca	51
Tabela 9: Influência do vidro na massa específica de amostra saturada	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET MG = Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

ABRELPE = Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública de Resíduos Especiais

ABIVIDRO = Associação Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

CP I = Cimento Portland comum

CP I-S = Cimento Portland comum com adição

CP II-E = Cimento Portland composto com escória

CP II-Z = Cimento Portland composto com pozolana

CP II-F = Cimento Portland composto com fíler

CP III = Cimento Portland de alto-forno

CP IV = Cimento Portland Pozolânico

CP V-ARI = Cimento Portland de alta resistência inicial

RS = Cimento Portland Resistente a Sulfatos

BC = Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

CPB = Cimento Portland Branco

BC = Baixo calor

CPB = Cimento Portland branco

MPa = mega Pascal

IBRACON = Instituto Brasileiro de Concreto

RDM = Revestimento Decorativo Monocamada

ASTM = American Society for Testing and Materials

LISTA DE SÍMBOLOS

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado.

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

ρ_{sec} = densidade da massa específica seca

ρ_{sat} = massa específica de amostra saturada.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Ojetivos específicos	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Vidro	16
3.1.1 Composição	16
3.1.2 Métodos de Fabricação	18
3.1.3 Reciclagem	19
3.1.4 Impactos Ambientais	20
3.2 Areia	21
3.3 Cimento Portland	22
3.3.1 Matérias primas	22
3.3.1.1 <i>Clínquer</i>	22
3.3.1.1.1 Adições	23
3.3.1.1.2 Adição de gesso	23
3.3.1.1.3 Adição de escórias de alto forno.....	23
3.3.1.1.4 Adição de materiais pozolânicos	24
3.3.1.1.5 Adição de materiais carbonáticos	24
3.3.2 Tipos de Cimentos	24
3.3.3 Aditivos	28
3.4 Argamassas	28
3.4.1 Argamassas de assentamento na Alvenaria	29
3.4.2 Argamassa de Revestimento.....	30
4. METODOLOGIA	33
4.1 Determinação da Composição granulométrica	35
4.2 Determinação do Traço	36
4.3 Moldagem	
4.4 Soquete	37
4.5 Cura	40
4.5.1 Cura inicial ao ar.....	40

4.5.2 Cura final em água.....	42
4.6 Rompimento	42
4.7 Absorção de água por imersão	43
4.8 Índice de Vazios	44
4.9 Determinação da Massa Específica.....	45
4.9.1 Massa específica seca	45
4.9.2 Massa específica de amostra saturada	45
4.10 Determinação da Resistência à Compressão.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 Absorção de água por imersão	48
5.2 Índice de Vazios	49
5.3 Determinação da Massa Específica.....	51
5.3.1 Valores obtidos de massa específica seca.....	51
5.3.2 Valores obtidos de massa específica de amostra saturada.....	52
5.4 Determinação da resistência à Compressão	53
6. CONCLUSÕES.....	56
7. PROPOSTA DE CONTINUIDADE	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO 1.....	64
ANEXO 2.....	65
ANEXO 3.....	66
ANEXO 4.....	67
ANEXO 5.....	68
ANEXO 6.....	69
ANEXO 7.....	70
ANEXO 8.....	71

1. INTRODUÇÃO

No modelo de produção atual, vários resíduos são gerados tanto na produção de bens duráveis como não duráveis. Com o desenvolvimento industrial, o surgimento de novas tecnologias e consumo de bens manufaturados, os resíduos gerados têm se tornado um grave problema ambiental. Sobretudo a partir da década de 80, com mudança em massa para as cidades e crescimento das populações urbanas, o correto gerenciamento dos resíduos sólidos tem ficado cada vez mais difícil e oneroso. Escassez de áreas de deposição, altos custos sociais para o gerenciamento, problemas relacionados ao saneamento e à contaminação são alguns exemplos (ÂNGULO *et al*, 2017).

Para Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE(2014) entre os anos de 2013 e 2014 a produção total de resíduos sólidos urbanos no Brasil foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas para um índice de cobertura de 90,6% do território. Segundo López *et al* (2005), o vidro constitui, em média, 3% dos resíduos sólidos totais. O Brasil produzia no início dos anos 2000 cerca de 800 mil toneladas de vidro, nas quais cerca de 27,6% eram recicladas. O principal mercado do vidro é aquele gerado pelo comércio de sucata pelas vidrarias. Entretanto, vários fatores aparecem como limitantes à reciclagem, como impurezas, gastos com transporte, mistura de cacos de diferentes tipos e cores.

Quando descartado de forma incorreta, o vidro aparece como um resíduo bastante impactante, podendo ocasionar ferimentos. Luz *et al* (2008) destaca que o pó de vidro é um resíduo industrial inerte, mas que se descartado inadequadamente em corpos d'água, pode aumentar o pH e elevar a turbidez, influenciando diretamente na qualidade das águas.

Como já dito anteriormente, uma parcela considerável dos resíduos sólidos urbanos que não vão para a reciclagem é composta por vidro. Com uma perspectiva otimista, serão depositados em Aterros Sanitários e permanecerão ali por tempo indeterminado. Já com uma perspectiva negativa, serão descartados em locais inadequados como lixões, rios e oceanos causando impactos significativos. Neste contexto, alternativas para o aproveitamento do vidro tem sido pesquisadas e desenvolvidas.

Paralelamente, é sabido que a construção civil se destaca como um dos setores que demandam maior consumo de recursos naturais utilizados como insumos nos processos produtivos (SANTOS *et al*, 2014). A areia aparece como um dos materiais chave à construção e conseqüentemente é um dos mais utilizados. Kulaif (2014), coloca que São Paulo é maior produtor nacional, concentrando, em 2013, 23% do total nacional. O segundo maior produtor

de areia é Minas Gerais, seguido pelo Rio de Janeiro com 8%, Paraná e Bahia, em quarto lugar, com 6% cada e Rio Grande do Sul, com 5%. Santos *et al* (2014) coloca que o consumo de areia em Minas Gerais é de aproximadamente 30,9 milhões de toneladas por ano, com a média nacional aproximando-se dos 300 milhões.

Santos *et al* (2014) ainda destaca que para sua utilização, são necessárias diversas atividades de extração mineral geradoras de graves impactos ambientais sendo de vital importância a proposição de novas alternativas. Uma correta destinação e utilização desses resíduos podem colaborar com a redução da poluição e do consumo dos recursos naturais, podendo apresentar significativas vantagens econômicas, através do desenvolvimento de novos produtos e tecnologias.

Neste contexto, reunindo conceitos da Gestão de Resíduos Sólidos e da Construção Civil, novas alternativas para o aproveitamento do vidro tem sido pesquisadas e desenvolvidas. Neste projeto, o foco foi para a utilização do vidro moído como agregado miúdo em argamassas feitas com cimento Portland.

O trabalho foi dividido em tópicos. A primeira parte abordou todo o referencial teórico. São apresentadas a definição e composição do vidro, técnicas de processamento do vidro, dados econômicos do processo de moagem e possíveis impactos ambientais resultantes do descarte inadequado.

O segundo tópico apresentou a metodologia utilizada. São colocados os materiais e métodos, como ensaios e testes que serão realizados na continuidade do projeto. O terceiro tópico apresentou os resultados obtidos nos testes e ensaios por meio de gráficos e tabelas fazendo uma comparação com os diferentes traços utilizados em cada corpo de prova. Finalmente, o quarto tópico apresentou as conclusões da comparação entre os diferentes traços utilizados tanto de areia quanto de vidro moído.

2. OBJETIVOS

O tópico a seguir busca definir os objetivos do trabalho desenvolvido.

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar a resistência à compressão da argamassa utilizando vidro moído como agregado mineral na sua constituição, tendo como referência os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão de 1996.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Elaborar corpos de prova de argamassa composta de cimento Portland e diferentes porcentagens de vidro moído e agregado natural, além de corpos de prova padrão para comparações técnicas.
- Avaliar a resistência à compressão dos corpos de prova desta argamassa em estudo, com base na norma técnica ABNT NBR 7215/1996.
- Analisar a variação da Absorção de água promovida pela inserção do vidro na argamassa.
- Avaliar a variação do Índice de Vazios promovida pela inserção do vidro na argamassa.
- Avaliar a influência da inserção do vidro nos valores de Massa Específica da argamassa desenvolvida.
- Comparar com outros estudos que utilizaram o vidro como agregado.
- Avaliar as vantagens da utilização do vidro.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O tópico a seguir busca agregar embasamento teórico suficiente para o correto entendimento dos materiais e métodos utilizados.

3.1 Vidro

Segundo Araújo (1997), o vidro é um sólido amorfo, não cristalino, de natureza inorgânica e proveniente de uma fusão. Shreve (1997) ainda coloca que o vidro possui muitas utilidades em virtude da sua transparência, de sua eficiência como isolante elétrico e da sua capacidade de reter o vácuo.

Sua história é bastante antiga e remonta a comerciantes fenícios, que o descobriram por acaso ao fazerem uma fogueira em uma praia (SHREVE, 1997). O domínio da fabricação de vidro foi crescendo no decorrer da história, chegando à Europa e às Américas por voltado século XVII.

Como já dito anteriormente, o vidro aparece como um dos principais materiais fabricados pelo homem. Shreve (1997) coloca que a indústria do vidro é um campo muito especializado, onde se empregam todas as ferramentas de ciências modernas e engenharias na sua produção, controle e desenvolvimento. O autor também destaca que existe cerca de 800 tipos diferentes de vidros, cada qual com uma ou mais características e propriedades realçadas com relação à sua utilidade.

3.1.1 Composição

Segundo Valt (2004), a composição dos vidros pode variar conforme a sua utilização. Todavia, mesmo com as várias formulações desenvolvidas nos últimos anos, a cal, a sílica e a soda constituem cerca de 90% de todo o material utilizado na fabricação do vidro. Na Tabela 1, adaptada de Shreve (1997), são mostrados os tipos mais usados de vidro.

Tabela 1: Composição Química de alguns tipos de vidros mais usados

Tipo	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Vidro de Janela	69,4	-	3,5	1,6	-	8,2	-	17,3	-	-
Vidro Laminado	72,8	-	0,8	0,8	-	12,7	0,2	12,7	-	-
Chapa Polida	72,7	-	0,7	0,1	-	12,9	-	13,2	-	0,4
Cristal	74,2	0,4	-	-	0,2	4,3	3,2	17,7	-	-
Vidro de Óculos	69,3	0,3	-	-	-	12,4	-	6,2	11,8	-
Vidro de Garrafa	70,5	-	1,5	-	-	13,0	1,0	14,0	-	-

Fonte: adaptado de Shreve (1997)

Shreve (1997) coloca que pequenas mudanças foram observadas ao longo dos 2000 anos, sendo os fatores de maior importância a viscosidade do óxido fundido e a relação entre tal viscosidade e composição. Entre os vidros comerciais, o autor destaca:

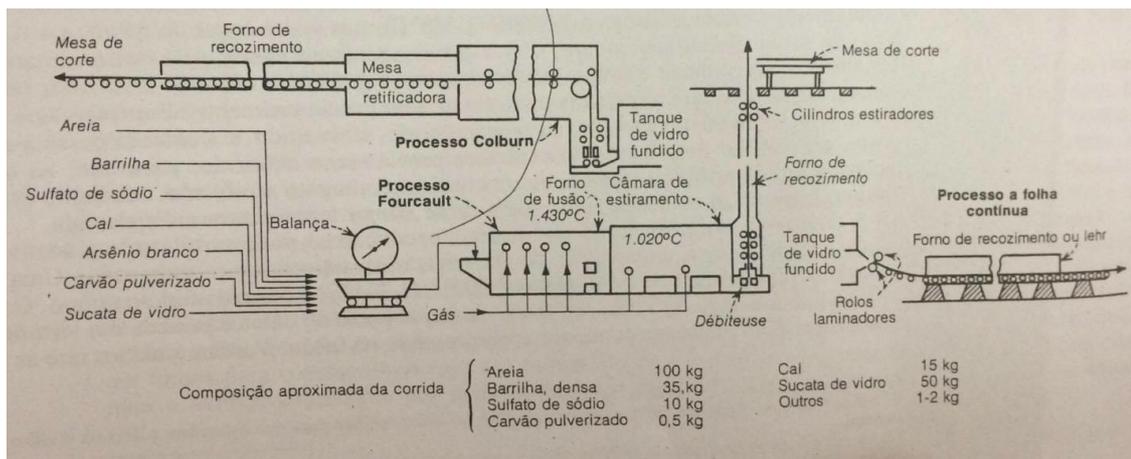
1. Sílica fundida: também chamado de vidro de quartzo, possui um baixo coeficiente de expansão e elevado ponto de amolecimento, atribuindo grande resistência térmica;
2. Silicatos Alcalinos: únicos vidros solúveis em água, usados como soluções. São importantes como adesivos para papel, na fabricação de caixas de papelão ondulado, proteção contra o fogo e proteção de ovos;
3. Vidro de sódio e cálcio: vidro com ampla utilização, principalmente em janelas, armações transparentes e vasos;
4. Vidro de Chumbo: é o Cristal utilizado em taças, objetos decorativos e instrumentos óticos. É obtido a partir do óxido de chumbo, da sílica e de álcalis;
5. Vidro de Borossilicato: vidros que tem em sua composição óxido de boro e sílica, também utilizado em trabalhos óticos;
6. Cerâmica de vidro: utilizada em utensílios de cozinha, indistintamente;
7. Vidros de Alumina e Sílica: contém cerca de 20% ou mais de alumina, sendo utilizados em altas temperaturas;
8. Fibra de Vidro: usado na indústria têxtil e como reforçador de concreto;
9. Vidros Especiais: vários tipos que incluem vidro colorido, vidro opalino, vidro translúcido, vidro de segurança (como vidro laminado e vidro temperado), vidro fotossensível e vidros específicos para uso químico e/ou industrial.

Destaca-se que, para este trabalho, foi dado ênfase aos vidros de janela, sendo aqueles que se fazem presentes em maiores quantidades nos resíduos sólidos dos grandes centros urbanos existentes atualmente. Além disso, são aqueles com composição similar à da areia usada na construção civil (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME - 2009).

3.1.2 Métodos de Fabricação

Shreve (1997) mostra que, de grosso modo, o processo de fabricação do vidro pode ser dividido em quatro fases principais: 1 - fusão, 2 - conformação ou moldagem, 3 - recozimento e 4 - acabamento. Destaca-se que esse processo pode ser alterado dependendo do vidro a ser produzido. Um esquema representativo pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Esquema representativo do processo de fabricação do Vidro



Fonte: Shreve (1997)

Shreve (1997) indica que, para a reciclagem, é necessário que o vidro esteja moído e inserido juntamente com a areia na realização da fase 1 - fusão. O autor destaca ainda a importância da separação dos vidros quanto à sua composição e tipo para que o produto da reciclagem seja de boa qualidade.

Para este trabalho, é importante salientar um processo que ocorre antes da etapa de fusão, na qual o vidro é processado. De acordo com a Iguaçumec (2017), empresa do ramo de projetos, fabricação e instalação de equipamentos, os trituradores de vidro têm por sua principal finalidade de diminuir o volume do material, como garrafas e frascos de vidro. Este material depois de triturado fica com uma granulometria de 3 a 5 cm. Esse processo é

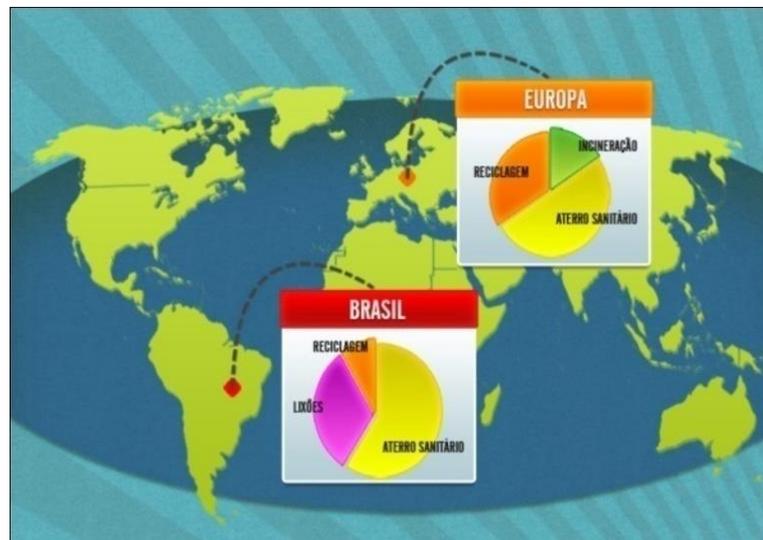
importante para diminuir a quantidade de vazios, diminuir a relação volume/peso e consequentemente reduzir o volume total, otimizando todo o processo.

3.1.3 Reciclagem

Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO(2017), a reciclagem sempre teve destaque na indústria de vidros e vem ganhando força nos últimos anos com os grandes investimentos feitos pelas indústrias do setor para promover e estimular o retorno da embalagem de vidro descartável como matéria-prima. Com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro, com perda zero e sem poluição para o meio ambiente. Além da vantagem do reaproveitamento de 100% do caco, a reciclagem permite poupar matérias-primas naturais, como areia, barrilha, calcário etc.

Conforme pode ser visto na Figura 2, grande parte do resíduo sólido urbano vai para Aterros Sanitários e para lixões, apresentando um potencial desperdiçado de cerca de 8 Bilhões de Reais (ABIVIVRO, 2017).

Figura 2: Destino do Resíduo Sólido no Brasil



Fonte: ABIVIDRO (2017).

Valt (2004) descreve o processo para a reciclagem do vidro. Basicamente, o vidro bruto que será reciclado é submetido a um eletroímã para a separação dos metais presentes. Após essa fase, o material é higienizado em tanques com água para a remoção de impurezas, como restos de alimentos, colas, etc, e em seguida encaminhado para uma esteira destinada à

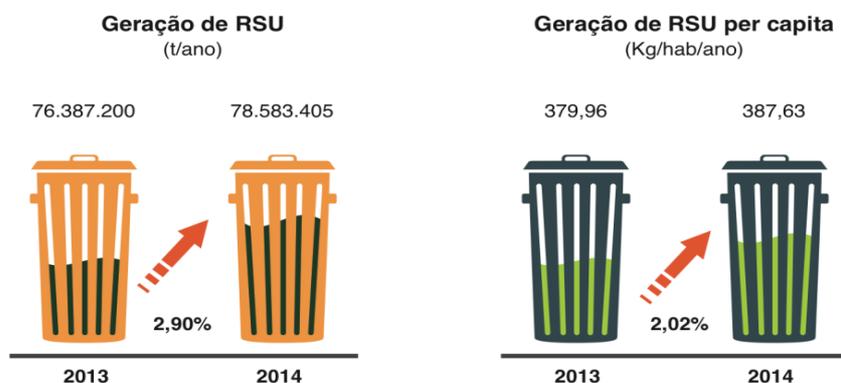
separação de outras impurezas, como restos de metais, pedras, plásticos e vidros indesejáveis que não tenham sido removidos anteriormente.

Finalmente, um triturador transforma os cacos e embalagens em pedaços de tamanho homogêneo que são encaminhados para um segundo eletroímã, que separa os metais ainda existentes. O vidro moído resultante deste processo é então armazenado e, posteriormente, utilizado na fabricação de novas peças vítricas (VALT, 2004).

3.1.4 Impactos Ambientais

A correta gestão dos Resíduos Sólidos aparece como uma das grandes questões da sociedade atual. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) coloca que a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil no ano de 2014 foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, valor 2,9 % superior àquele do ano anterior e superior à taxa de crescimento populacional daquele ano. Na Figura 3 é possível ver uma comparação da Geração de Resíduos sólidos urbanos e Geração de Resíduos sólidos urbanos per capita entre os anos de 2013 e 2014.

Figura 3: Taxa de Geração de Resíduos Sólidos Urbanos para o ano de 2014



Fonte: ABRELPE (2014)

De acordo com Gouveia (2012), o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a evolução das tecnologias vem alterando o estilo de vida e o consumo da população. Como consequência, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade, principalmente nos grandes centros urbanos como São Paulo, Manaus, Recife. O autor ainda destaca que, além do aumento da quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua

composição elementos sintéticos e perigosos ao meio ambiente, sendo este um dos principais impactos ambientais com relação aos resíduos sólidos.

O descarte de resíduos em lixões ainda é presente em grande parte dos municípios brasileiros (GOUVEIA, 2012). Almeida (2013) cita ainda os problemas resultantes do descarte incorreto de materiais cortantes, entre eles o vidro, que é responsável por causar vários acidentes nos trabalhadores destas áreas de descarte.

Segundo o Ministério da Saúde do Brasil (2009), embalagens vazias descartadas de forma inadequada funcionam como locais de acumulação de água e que servem como criadouros para o *Aedes aegypti*. Em virtude de todas as doenças transmitidas por este vetor (Dengue, Zica Vírus, Febre Amarela, Febre Chicungunya), este também é um impacto que pode ser citado em virtude do descarte inadequado de resíduos sólidos.

3.2 Areia

De acordo com a ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação (2005), agregados miúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Para tal determinação, utiliza-se a série de peneiras recomendada a ABNT NBR 7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica de 1987. O conjunto de peneiras pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Conjunto de peneiras sucessivas que atendem às determinações da ABNT

Série normal	Série intermediária
76 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
38 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,600 mm	-
0,300 mm	-
0,150 mm	-

Fonte: ABNT NBR 7217 (1987)

Isaia (2007) destaca que em quase todas as obras de infraestrutura civil, como edificações, pavimentação, barragens e saneamento, são usados fragmentos de rochas com tamanhos e propriedades variadas. O autor ainda destaca que as características dos agregados miúdos, como granulometria, composição química e superfície do grão, podem influenciar em vários parâmetros do concreto e argamassa feitos com ele.

Conforme já mostrado, Shreve (1997) coloca que a composição química do vidro é em torno de 70% de sílica. A sílica é o composto predominante na areia usada para a construção civil. Tal fator é mais um indicativo de que o vidro moído se mostra um substituto em potencial ao agregado miúdo.

3.3 Cimento Portland

Segundo Shreve (1997), o cimento é um produto obtido da pulverização do clínquer constituído essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos, sem adição subsequente à calcinação, a não ser água e/ou sulfato de cálcio bruto. Lima (2015) ainda ressalta que é um pó fino constituído por silicatos de cálcio, aluminatos, alumino-ferrosos e, em escala menor, calcário e gesso. Várias matérias primas podem ser utilizadas, sendo estas combinadas quimicamente através de piroprocessamento e submetidos a processos mecânicos.

A qualidade do cimento está relacionada com a composição química das matérias primas utilizada. Lima (2015) descreve que em torno de 80-90% da matéria prima que alimenta os altos fornos é o calcário, enquanto 10-15% são de compostos argilosos, podendo aparecer ainda algumas impurezas, bastante prejudiciais ao cimento, como o carbonato de magnésio, o óxido de sódio, o óxido de potássio.

3.3.1 Matérias primas

Basicamente, o cimento é composto de clínquer e diferentes adições, as quais são as responsáveis por diferenciar os tipos de cimentos existentes atualmente, influenciando diretamente em suas características e propriedades.

3.3.1.1 Clínquer

O Clínquer é o composto resultante da queima de uma mistura de argila e calcário, ou materiais semelhantes (SHREVE, 1997). Geralmente, tais materiais são obtidos em regiões próximas à fábrica. A rocha calcária é britada, moída e misturada na proporção desejada à

argila moída. Esta mistura é encaminhada para um forno giratório que atinge a temperatura de até 1450°C. Dentro do forno, ocorre uma reação transformando aquela mistura no clínquer, em pelotas, as quais são bruscamente resfriadas e moídas, formando o pó de cimento (ABCP, 2002).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) destaca a capacidade do cimento de reagir com a água, ficando num primeiro momento pastoso e depois endurecendo, adquirindo resistência. Lima (2015) ainda acrescenta que tal característica adquirida é a que faz dele um ligante hidráulico muito resistente e que é essa sua propriedade mais importante.

3.3.1.1.1 Adições

A ABCP (2002) indica que as adições são outras substâncias que são misturadas ao clínquer na fase de moagem, resultando em diferentes tipos de cimento Portland. O Gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozzolânicos e os materiais carbonáticos são alguns exemplos de tais substâncias.

3.3.1.1.2 Adição de gesso

Basicamente, o gesso funciona como Controlador de Pega, regulando o tempo do início do endurecimento após o contato com a água. Sem o gesso, o endurecimento do cimento em contato com a água seria extremamente rápido, impossibilitando seu uso na construção civil, e está presente em todos os tipos de cimento Portland, em uma concentração aproximada de três partes de gesso para noventa e sete de clínquer (ABCP, 2002).

3.3.1.1.3 Adição de escórias de alto forno

Como o próprio nome sugere, as escórias são resíduos da indústria de fundição. A escória de alto forno, utilizada como adição do cimento, é o resíduo gerado no processo siderúrgico que tem como primeira etapa a obtenção do ferro bruto e impuro, denominado Ferro-Gusa (CARVALHO-PUPATTO *et al*, 2004).

Antigamente, este material era considerado sem maiores utilidades e descartado em sua maioria. Porém, descobriu-se que as escórias de alto forno possuíam propriedades de ligante hidráulico com uma resistência considerável, de forma similar à do clínquer. Ao realizar a moagem da escória em conjunto com o gesso e com o clínquer, resultou-se em um cimento

capaz de atender às necessidades mais comuns, apresentando até mesmo melhoras em algumas propriedades (ABCP, 2002).

3.3.1.1.4 Adição de materiais pozolânicos

Segundo a ABCP (2002), podem ser considerados materiais pozolânicos aqueles de origem vulcânica ou matéria orgânica fossilizada, argilas queimadas à elevadas temperaturas (de 500 a 900 graus celsius) e alguns derivados resultantes da queima de carvão mineral. Oliveira *et al* (2006) destaca que a principal propriedade de uma pozolana é a sua capacidade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante.

A ABCP (2002) ainda evidencia que várias pesquisas levaram à descoberta destes materiais que, quando moídos em partículas finas, apresentam propriedades de ligante hidráulico. Entretanto, é necessário que os materiais pozolânicos sejam colocados em conjunto com outro material. Para o Cimento Portland, utiliza-se o clínquer, uma vez que o mesmo libera o hidróxido de cálcio (CaOH) em seu processo de hidratação reagindo com a pozolana. A adição dos materiais pozolânicos moídos ao clínquer moído com gesso é interessante. Em alguns casos, é até recomendável, pois o cimento resultante apresenta uma maior impermeabilidade aos concretos e argamassas (ABCP, 2002).

3.3.1.1.5 Adição de materiais carbonáticos

Materiais carbonáticos são rochas que apresentam o Carbonato de Cálcio em sua composição, como por exemplo, o Calcário comum. Para seu uso, é necessária a realização de uma moagem. Quando adicionado ao clínquer com o gesso, resulta em um cimento que permite que o concreto e/ou argamassa tenham uma maior trabalhabilidade, com as partículas destes compostos se alojando entre as demais partículas do cimento, funcionando como uma espécie de lubrificante (ABCP, 2002).

3.3.2 Tipos de Cimentos

Segundo a Associação Brasileira do Cimento Portland (ABCP, 2017), o cimento Portland é uma das substâncias mais consumidas pelo homem devido às suas características, como trabalhabilidade e moldabilidade em seu estado fresco, e alta durabilidade e resistência

a cargas e ao fogo no seu estado sólido. Tais características o tornam insubstituível nas obras civis, podendo ser empregado em peças de mobiliário urbano, barragens, estradas, edificações. É um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. É um dos principais ingredientes, tanto da argamassa quanto do concreto, e seu consumo só não é maior no planeta que o da água.

De acordo com a ECIVIL (2017), atualmente existem onze tipos de Cimento Portland no mercado. São eles:

- CP I – Cimento Portland comum
- CP I-S – Cimento Portland comum com adição
- CP II-E – Cimento Portland composto com escória
- CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana
- CP II-F – Cimento Portland composto com fíler
- CP III – Cimento Portland de alto-forno
- CP IV – Cimento Portland Pozolânico
- CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial
- RS – Cimento Portland Resistente a Sulfatos
- BC – Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação
- CPB – Cimento Portland Branco

O Cimento Portland comum, CP I, é o mais básico de todos, sendo usado em construções que não exijam condições especiais e que não apresentem ambientes desfavoráveis (águas salgadas, água subterrânea, esgoto, meios com presença de sulfato). Neste tipo, a única adição é cerca de 3% de gesso, que atua como retardador de pega e que evita a reação imediata do cimento (ECIVIL, 2017). Este tipo é normalizado pela ABNT NBR 5732 - Cimento Portland Comum, de 1991.

O Cimento CP I-S possui em sua composição o cimento CP I e uma pequena adição de material pozolânico (de 1 a 5%). Devido a essa adição, ele apresenta uma menor permeabilidade que o CP I (ECIVIL, 2017). Similar ao anterior, o CP I-S também é normalizado pela ABNT NBR 5732 - Cimento Portland Comum, de 1991.

De acordo com a ECIVIL (2017), CP II são todos aqueles cimentos que apresentam além da composição básica de clínquer e gesso, a adição de outro material. O CP II-E possui em sua composição a escória granulada de alto-forno, adquirindo a propriedade de baixo teor de hidratação. Sua composição é de 94 a 56% de clínquer e gesso e 6 a 34% de escória.

Destaca-se ainda que pode ou não haver a adição de material carbonático no limite máximo de 10% em massa. Este cimento é recomendado para estruturas que necessitam de despreendimento de calor moderadamente lento. A normalização deste cimento se dá pela ABNT NBR 11578 - Cimento Portland Composto, de 1991.

O CP II-Z contém em sua composição de 6 a 14% em massa de material pozolânico. Tais adições conferem ao cimento uma menor permeabilidade, de forma que seu principal uso são em obras subterrâneas, inclusive com a presença de água do mar. Similar ao anterior, pode haver a adição de material carbonático em até 10% de massa. Sua normatização também se dá pela ABNT NBR 11578 - Cimento Portland Composto, de 1991.

O Cimento Portland de Alto-Forno, chamado de CP III, possui a adição de escória variando entre 35 e 70% em massa. Esta adição confere ao cimento características como baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, sendo recomendado em obras de grande porte e com maior agressividade, como por exemplo, barragens e fundações de máquinas e canaletas para condução de líquidos agressivos. O CP III também é usado em argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto simples, armado e protendido (ECIVIL, 2017). É normalizado pela ABNT NBR 5735 - Cimento Portland de Alto-forno de 1991.

O Cimento Portland Pozolânico, chamado de CP IV, contém em sua composição a adição de pozolana, num teor variando de 15 a 50% em massa, que confere ao cimento uma maior durabilidade e uma alta impermeabilidade. O concreto feito com o cimento portland pozolânico apresenta resistência mecânica à compressão superior à aquela apresentada pelo cimento Portland comum. O seu uso é recomendado em obras expostas à água corrente e também em ambientes agressivos (ECIVIL, 2017). A norma técnica responsável por este composto é a ABNT NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico de 1991.

O CP V, também chamado de CP V-ARI ou simplesmente Cimento ARI, não contém adições especiais, similar ao CP I. É importante destacar que o mesmo pode ter a adição de até 5% em massa de Filer (material carbonático). A principal diferença entre eles é o processo de dosagem e de produção do clínquer. Para o CP V-ARI, é utilizado um clínquer com dosagem diferenciada de calcário e argila em comparação aos demais, além de uma moagem mais fina. Tais diferenças conferem ao CP V-ARI uma alta resistência inicial, podendo atingir até 26 MPa de resistência à compressão com 1 dia de idade, sendo recomendado em obras que necessitem de desforma rápida de peças (ECIVIL, 2017). A norma técnica responsável pelo CP V-ARI é a ABNT NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial de 1991.

Todos os cimentos citados podem se enquadrar como Cimento Portland resistente ao Sulfato, chamado de RS, sendo necessário que se enquadre em características próprias como teor de Aluminato Tricálcico (C3A) de no máximo 8% em massa, teor de adições carbonáticas de no máximo 5% em massa, cimento de alto-forno contendo entre 60 e 70% em massa de escória granulada, cimento pozolânico contendo entre 25 e 40% em massa de pozolana, cimentos que apresentarem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração e/ou obras que comprovem sua resistência aos sulfatos. O Cimento RS é recomendado para meios agressivos com sulfatos, como rede de esgoto, redes de efluentes industriais e água do mar (ECIVIL, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2017), o Cimento Portland de Baixo calor de Hidratação pode ser de qualquer um dos tipos anteriores, acrescidos pela sigla BC (baixo calor), e esta característica é determinada por meio da sua composição, que retarda o desprendimento de calor em peças com grande quantidade de concreto, evitando assim o aparecimento de fissuras com origem térmica. Estes cimentos são normalizados pela ABNT NBR 13116 - Cimento Portland de baixo calor de Hidratação, de 1994.

Pouco utilizado nos dias de hoje, o Cimento Portland Branco - CPB se diferencia dos demais pela sua coloração, sendo dividido em dois subtipos, o estrutural e o não estrutural. O com função estrutural é aplicado em concretos brancos com fins arquitetônicos, apresentando classes de resistência de 25,32 e 40MPa. O não estrutural é usado, por exemplo, para o assentamento de azulejos, podendo ser usados nas mesmas aplicações do Cimento cinza, embora apresente um custo mais alto. Para sua fabricação, são necessárias matérias-primas com baixo teor de óxido de ferro e manganês, condições especiais durante sua fabricação e utilização de caulim ao invés de argila, para assim obter um teor de brancura maior que 78%. Este cimento é utilizado em projetos arquitetônicos mais ousados, permitindo a alternância de cores associadas a pigmentos. É normalizado pela ABNT NBR 12989 - Cimento Portland Branco, de 1993. Na tabela 3 vê-se um resumo da composição dos cimentos.

Tabela 3: Composição dos Cimentos mais utilizados no Brasil

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: ECIVIL (2017)

3.3.3 Aditivos

Castro *et al* (2013) define aditivos como produtos que, adicionados em pequena quantidade às misturas, modificam suas propriedades afim de melhorá-las e adequá-las a determinadas condições. Podem apresentar diversas composições químicas e atribuir várias características ao concreto e à argamassa.

Vale destacar que essas alterações fornecidas pelo aditivo ao composto de cimento influenciam diretamente em sua aplicação, concedendo inclusive vantagens ambientais, tudo sempre mantendo a qualidade e atendendo às especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (LIMA, 2015).

3.4 Argamassas

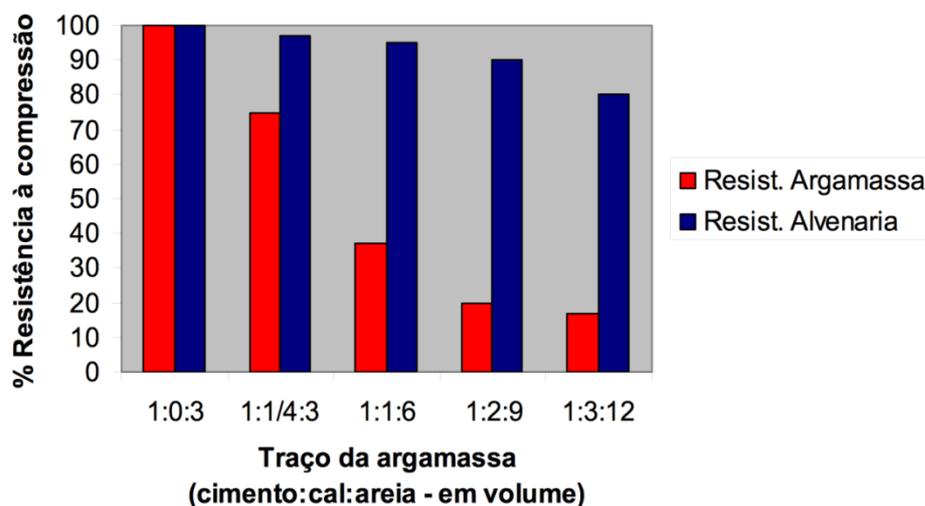
Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (ISAIA, 2007).

Elas podem ser classificadas de acordo com vários critérios, como natureza, número e tipo do aglomerante, a consistência, plasticidade, densidade, forma de preparo, funções (ISAIA, 2007).

Para seus vários usos, alguns parâmetros devem ser observados. Isaia (2007) evidencia a resistência mecânica, principalmente à compressão, já que é importante que a argamassa adquira rapidamente alguma resistência permitindo assim o assentamento de várias fiadas no mesmo dia bem como desenvolver adequada resistência ao longo do tempo. Destaca-se também que, para um bom desempenho, não são necessárias altas resistências da argamassa,

não devendo nunca esta ser superior à dos blocos. O traço da argamassa aparece como um grande influenciador, como pode ser na Figura 4.

Figura 4: Influência do traço da argamassa na resistência da mesma e da parede



Fonte: Isaia (2007)

De acordo com Isaia (2007), existem duas classificações para a argamassa. As quais são apresentadas a seguir.

3.4.1 Argamassas de assentamento na Alvenaria

Segundo o Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON, 2017), um dos usos mais comuns da argamassa é aquela para assentamento de alvenaria utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos. As principais funções desta argamassa são unir os tijolos e/ou blocos de forma a se fazer um elemento monolítico contribuindo na resistência aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes por toda a área de resistência do bloco, selar a parede garantindo a estanqueidade da parede à penetração de águas e absorver deformações naturais. Na Figura 5 é possível ver a aplicação da argamassa de assentamento.

Figura 5: Argamassa de assentamento de alvenaria



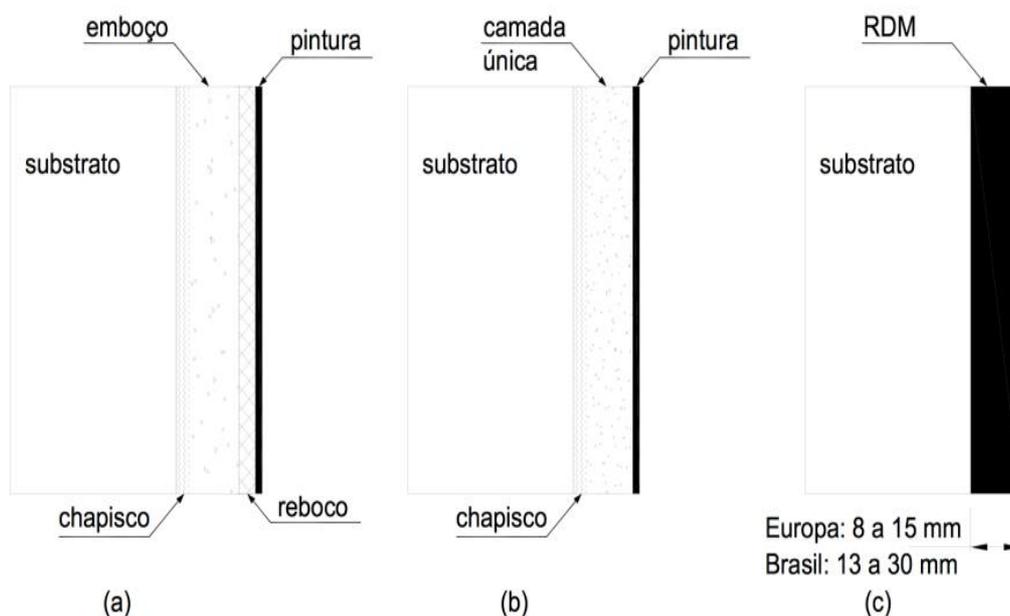
Fonte: Isaia (2007)

3.4.2 Argamassa de Revestimento

A argamassa de revestimento é usada para revestir paredes, muros e tetos, podendo receber acabamentos posteriores. O principal objetivo desse revestimento é a proteção da parede contra a ação do intemperismo e integrar o sistema de vedação da estrutura (ISAIA, 2007).

O autor ainda informa que esta argamassa pode ser composta por várias camadas, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Diferentes formas de revestimento da parede, com (a) emboço + reboco + pintura, (b) camada única + pintura, (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Isaia (2007)

O chapisco é a camada de preparo da base, podendo ser aplicada de forma contínua ou descontínua, tendo a função de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento escolhido.

O emboço é uma camada de revestimento feita para cobrir, uniformizar e regularizar a base, propiciando uma superfície capaz de receber outra camada ou até mesmo um revestimento, como por exemplo, uma cerâmica.

O reboco é a camada usada para o cobrimento do emboço. Similar ao anterior propicia uma superfície capaz de receber um revestimento decorativo, como a pintura, ou que se constitua como o acabamento final.

A camada única é um revestimento feito com um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre a qual já é aplicada a camada decorativa. Segundo Isaia (2007), também recebe o nome de Massa Única e é um dos mais utilizados no Brasil.

Finalmente, o revestimento decorativo monocamada (RDM) se trata de um revestimento aplicado em uma única camada, exercendo funções de regularização e decoração. É bastante utilizado na Europa e ainda não é normalizado no Brasil, com a composição variando de acordo com o fabricante. Em geral, apresenta diferentes proporções de cimento branco, cal hidratada, agregados diversos, pigmentos de origem inorgânica, fungicidas e aditivos diversos (ISAIA, 2007).

Isaia (2007) ainda destaca que as Argamassas de Revestimento têm algumas propriedades essenciais, como trabalhabilidade, consistência, plasticidade, adesão inicial, retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

4. METODOLOGIA

No trabalho proposto foi estudado o uso de vidro moído em substituição ao agregado miúdo em argamassas. Tal escolha se deve à composição química do vidro, que chega a aproximadamente 70% de sílica, principal constituinte da areia. O material utilizado foi fornecido por uma vidraçaria localizada no Rio de Janeiro (unidade matriz) após a indicação da responsável pela unidade em Belo Horizonte.

De acordo com a ABNT NBR 7215/1996, os corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura são elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de agregado miúdo e com relação água/cimento de 0,48.

Para o projeto, foram feitos corpos-de-prova com quatro porcentagens (0; 1/3; 2/3 e 1) de vidro moído em substituição à areia, a fim de se determinar a influência do mesmo na resistência à compressão da argamassa. Foram feitos cinco repetições para cada porcentagem totalizando vinte corpos de prova.

Para o ensaio de Resistência à Compressão com idade de sete dias, foram utilizados três dos cinco corpos-de-prova modelados. Os dois corpos-de-prova restantes foram utilizados para a obtenção dos demais parâmetros analisados e, após o período de 28 dias, foram ensaiados na mesma prensa utilizada nos primeiros. Todos os resultados foram catalogados e analisados, sendo apresentados a seguir.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Pavimentações do Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET-MG, instalado no Campus I da Instituição. Foram realizados, além dos ensaios de compressão, os ensaios de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos mesmos, de acordo com a ABNT NBR 9778/1987.

A fim de se facilitar a compreensão do trabalho, é mostrado no fluxograma da figura 7 como o trabalho foi realizado.

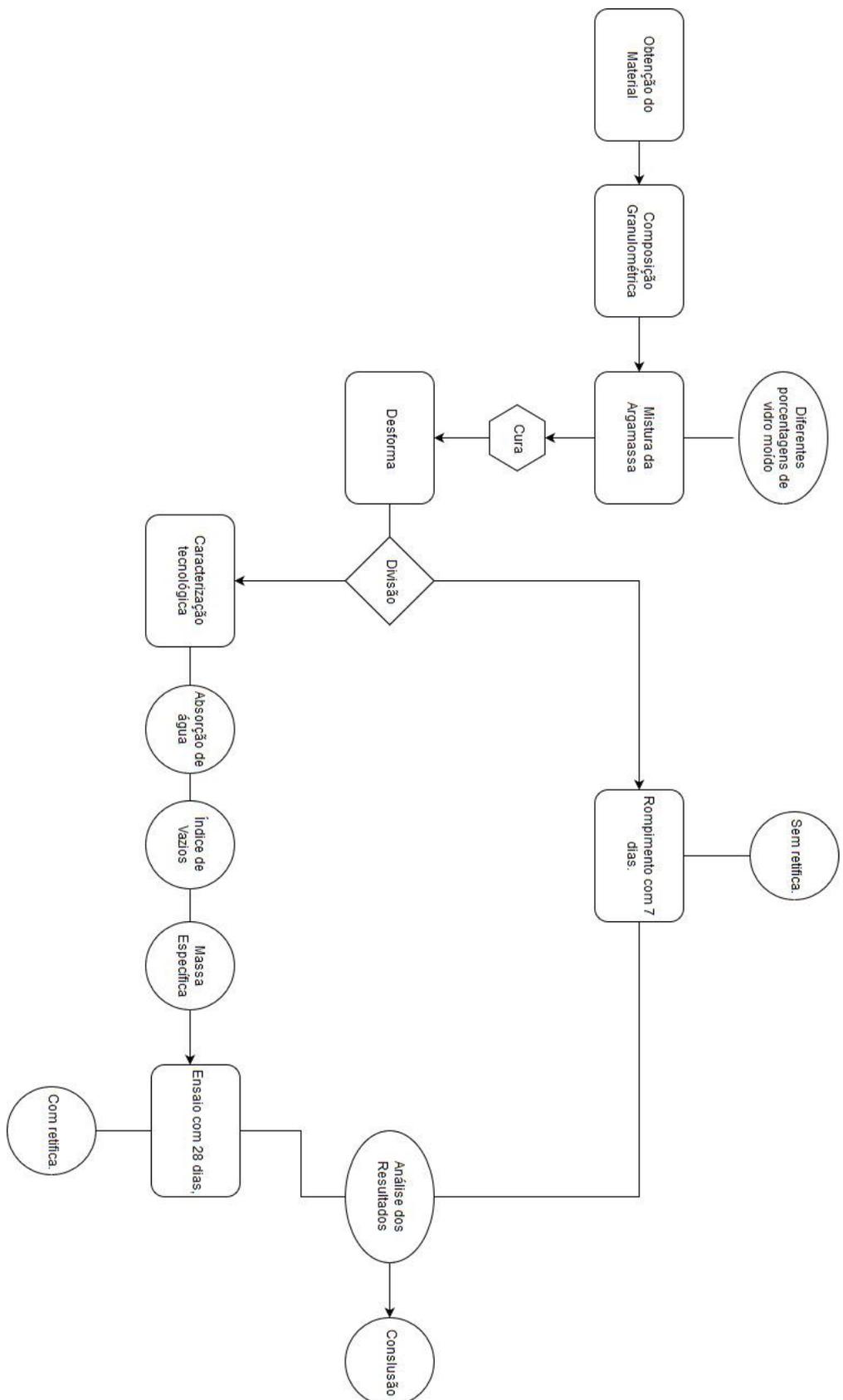


Figura 7: Fluxograma do trabalho realizado

Fonte: desenvolvido pelo autor

4.1 Determinação da Composição granulométrica

O vidro moído utilizado é proveniente de uma vidraçaria que já mói seus resíduos vítricos, tanto para a reciclagem quanto para outras finalidades (jateamento). O mesmo apresenta uma malha 325, caracterizado como uma granulometria fina.

Tabela 2: Tabela da abertura das peneiras em mm adaptada ASTM

Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)
3,5	5,66	18	1,00	80	0,177
4	4,76	20	0,84	100	0,149
5	4,00	25	0,71	120	0,125
6	3,36	30	0,59	140	0,105
7	2,83	35	0,50	170	0,088
8	2,38	40	0,42	200	0,074
10	2,00	45	0,35	230	0,062
12	1,68	50	0,297	270	0,053
14	1,41	60	0,250	325	0,044
16	1,19	70	0,210	400	0,037

Fonte: UFJF (2018).

A partir da Tabela 4 de granulometria, adaptada da ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de testes e materiais, na tradução livre), tem-se que a abertura em mm correspondente à do vidro moído é de 0.044 mm, sendo este valor a granulometria do mesmo.

Diante da granulometria apresentada pelo vidro moído, infere-se que o material apresentou uma granulometria inferior a todas as peneiras recomendadas pela ABNT NBR 7217 de 1987, uma vez que não ficou retido em nenhuma. Na Figura 8 pode-se ver o vidro moído utilizado para a confecção dos corpos de prova.

Figura 8: Vidro moído utilizado no experimento



Fonte: desenvolvido pelo autor

4.2 Determinação do Traço

De acordo com a ABNT NBR 7215/1996 o traço deve ser composto por uma parte de cimento, três partes de areia e uma relação água/cimento de 0,48. A fim de se realizar a comparação da influência do uso do vidro moído na resistência à compressão, foram utilizadas quatro porcentagens de vidro em substituição à areia. Devido à característica da alta resistência inicial, foi utilizado o cimento CP V - ARI. Os materiais foram separados em recipientes e pesados em uma balança de precisão, vista na Figura 9.

Figura 9: Balança de precisão utilizada e materiais separados



Fonte: desenvolvido pelo autor

A primeira série de corpos-de-prova moldada foi a padrão. Neles, para posterior comparação, não foi inserida nenhuma porcentagem de vidro moído. Seguindo as recomendações da ABNT NBR 7215/1996, foram colocados na argamassadeira 624 gramas de cimento CP V, 300 gramas de água e 1872 gramas de areia 100. Este conjunto de corpos-de-prova recebeu o nome de Série A.

A segunda série de corpos-de-prova teve 1/3 da massa de areia substituída por vidro moído. De modo similar à primeira série, foram colocados na argamassadeira 624 gramas de cimento, 300 gramas de água, 1248 gramas de areia 100 e 624 gramas de vidro moído. Este conjunto de corpos-de-prova recebeu o nome de Série B.

A terceira série de corpos-de-prova teve 2/3 da massa de areia substituída por vidro moído. Para este caso, foram colocados 624 gramas de cimento, 300 gramas de água, 624 gramas de areia 100 e 1248 gramas de vidro moído. Este conjunto de corpos-de-prova recebeu o nome de Série C.

Finalmente, a quarta série de corpos-de-prova teve 100% da massa de areia substituída pelo vidro moído. Nela, foram utilizados 624 gramas de cimento, 300 gramas de água e 1872 gramas de vidro moído. Este conjunto de corpos-de-prova recebeu o nome de Série D.

A fim de se facilitar a compreensão, as séries A, B, C e D e suas respectivas composições estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5: Tabela das Séries de corpos-de-prova.

Série	Cimento (g)	Água (g)	Areia (g)	Vidro moído (g)	Relação a/c
A	624	300	1872	0	0,48
B	624	300	1248	624	0,48
C	624	300	624	1248	0,48
D	624	300	0	1872	0,48

Fonte: desenvolvido pelo autor

Como já dito anteriormente, cada série era composta por cinco corpos-de-prova. Destaca-se ainda que a diferença entre dois resultados finais referentes à mesma idade, obtidos pelo mesmo operador a partir de uma mesma amostra submetida ao ensaio, utilizando o mesmo equipamento em curto intervalo de tempo, não deve ultrapassar 10% da média entre eles.

4.3 Moldagem

De acordo com a ABNT NBR 7215/1996, o molde é composto de forma cilíndrica e base, rosqueada ou não, ambas de metal não corrosível. Deve apresentar uma forma cilíndrica de aço ABNT 1020 com no mínimo 3 mm de espessura, obedecendo às seguintes dimensões:

A. Na aquisição:

- Diâmetro interno: $(50 + 0.1)$ mm;
- Altura: $(100 + 0.2)$ mm;

B. Em uso:

- Diâmetro interno: $(50 + 0,2)$ mm;
- Altura: $(100 \pm 0,5)$ mm.

A superfície interna da forma cilíndrica deve ser lisa, sem defeitos, e o ângulo formado pela base e qualquer geratriz da forma deve ser de $(90 \pm 0,5)^\circ$. A diferença entre dois diâmetros ortogonais quaisquer não deve ser superior a 0,2 mm. A base, com espessura mínima de 3 mm, deve ter dimensões suficientes para permitir a fixação da forma. A superfície compreendida pela forma cilíndrica deve ser plana e lisa, não podendo apresentar afastamentos relativos ao plano maiores que 0,050 mm em 50 mm. Um dos moldes utilizados pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Moldes metálicos utilizados na confecção de corpos-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

Na mistura da argamassa, utilizou-se uma argamassadeira elétrica de duas velocidades (Figura 11). Após a devida limpeza e montagem, coloca-se na cuba a água e o cimento, deixando-se misturar na velocidade I por 30 segundos. Ainda com o aparelho ligado,

acrescenta-se o agregado (areia, vidro ou a mistura de ambos) por mais 30 segundos. Após este tempo, muda-se para a velocidade II por mais 30 segundos. Depois, deixa-se a argamassa em repouso por 1 minuto e 30 segundos. Finalmente, liga-se a argamassadeira novamente deixando misturar por 1 minuto na velocidade II. Este processo é determinado pela norma e deve durar 4 minutos no total.

Figura 11: Argamassadeira utilizada no experimento



Fonte: desenvolvido pelo autor

Para a moldagem dos corpos-de-prova, os moldes devem ser lubrificados com óleo mineral para facilitar a retirada dos mesmos. São colocadas quatro camadas de argamassa, cada qual seguida por 30 golpes do soquete uniformemente distribuídos em toda a superfície. Este processo foi repetido nos vinte corpos-de-prova moldados no experimento. Na figura 12 se observa uma imagem dos corpos-de-prova recém-moldados e prontos para a etapa de cura.

Figura 12: Corpos-de-prova recém-moldados



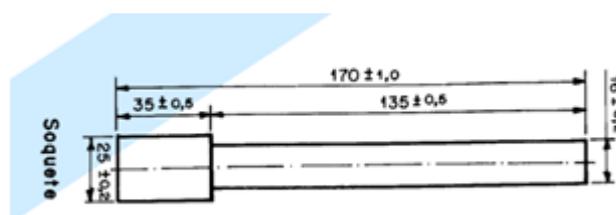
Fonte: A autoria própria (2018).

A partir da imagem, é perceptível uma diferença de cor entre os corpos-de-prova. Os mais escuros são os que não apresentam vidro em sua composição. Destaca-se ainda que a cor se tornava mais clara quanto maior era a porcentagem de vidro na argamassa em questão.

4.4 Soquete

De acordo com a ABNT NBR 7215/1996, o soquete deve ser feito de material não corrosível e ter as medidas apresentadas na Figura 13. O utilizado no laboratório de pavimentações do CEFET-MG era de aço.

Figura 13: Modelo de soquete



Fonte: ABNT NBR 7215 (1996).

4.5 Cura

A ABNT NBR 7215/1996 recomenda que os corpos-de-prova devem ser submetidos a um período de cura inicial ao ar e a um período final em água, descritas a seguir.

4.5.1 Cura inicial ao ar

Logo após a moldagem, os corpos-de-prova, ainda nos moldes, passam pela cura inicial ao ar. Para esta fase, os mesmos são colocados em câmara úmida, onde devem permanecer por um período de 20 h a 24 h.

Destaca-se que a face superior deve estar protegida por uma placa de vidro plano, a qual deve ser umidificada antes de ser colocada sobre o corpo-de-prova. Os materiais utilizados podem ser vistos na Figura 14.

Figura 14: Placa de vidro cobrindo o molde para o corpo-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

De acordo com a norma, os corpos-de-prova referentes aos diferentes amassamentos devem ser aleatoriamente agrupados em séries distintas de quatro corpos-de-prova, sendo cada série relativa a uma idade.

Após 24 horas, os corpos-de-prova foram retirados dos moldes e seguiram à cura final em água. No experimento, cada série apresentava cinco corpos-de-prova, moldados e agrupados em conjunto, conformemostrado na Figura 15.

Figura 15: Corpos-de-prova após serem retirados dos moldes e prontos para a cura final



Fonte: desenvolvido pelo autor

4.5.2 Cura final em água

Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova devem ser retirados das formas, identificados e, exceto aqueles que tenham que ser rompidos com 24 h de idade, devem ser imersos, separados entre si no tanque de água (não corrente) saturada de cal da câmara úmida, onde devem permanecer até o momento do ensaio.

Quando necessário, a água dos tanques da câmara úmida deve ser renovada com frequência, pelo menos quinzenalmente. Desde que são retirados da câmara úmida e até o instante do ensaio de compressão, os corpos-de-prova devem ser protegidos de maneira que toda a superfície exterior permaneça úmida.

Neste experimento, todos os corpos-de-prova foram mantidos na cura final em água por sete dias. Conforme presente na norma, após a cura inicial, permaneceram imersos em água saturada de cal até o dia da realização do ensaio de compressão.

4.6 Rompimento

Conforme a ABNT NBR 7215/1996 os corpos-de-prova devem ser rompidos à compressão nas idades especificadas, para o tipo de cimento em ensaio, obedecendo as tolerâncias prescritas na norma. A idade de cada corpo-de-prova é contada a partir do instante em que o cimento é posto em contato com a água de mistura, sendo registrada na respectiva ficha de controle.

Neste projeto, três dos cinco corpos-de-prova foram rompidos com sete dias, com os restantes sendo usados para os demais parâmetros da caracterização. Destaca-se ainda que não

foi feita a retifica dos corpos-de-prova e o rompimento foi realizado na idade exata de sete dias, com o intuito de se observar a influência do vidro moído na resistência e nos demais parâmetros analisados.

Os dois corpos-de-prova restantes, além de terem sido utilizados para a caracterização tecnológica, foram rompidos com a idade de vinte e oito dias. Para estes, foi realizada a retifica antes da realização dos ensaios.

4.7 Absorção de água por imersão

Para tal determinação, de acordo com a ABNT NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da Absorção de água por imersão, utiliza-se a Equação 1:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado.

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

Para a determinação da massa do corpo-de-prova saturado, os mesmos foram retirados da cura e o excesso de água retirado utilizando-se toalhas de papel. Após isso, os mesmos foram pesados na balança de precisão e os valores anotados para posterior análise.

Para a determinação da massa do corpo-de-prova seco, os mesmos foram retirados da cura e levados à estufa, mostrada na figura 16. Conforme a recomendação da norma, os corpos-de-prova permaneceram na estufa a 30° C por um período de 24 horas. Após este período, as amostras foram resfriadas a seco e à temperatura ambiente. Finalmente, as mesmas foram pesadas na balança de precisão e os valores anotados para posterior análise.

Figura 16: Estufa utilizada para a secagem dos corpos-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

4.8 Índice de Vazios

A relação entre os volumes de poros permeáveis e o volumetotal, segundo a ABNT NBR 9778/87, é calculada pela Equação 2:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

Destaca-se que a saturação do corpo-de-prova pode ser feita em uma das condições a seguir, em função da especificação:

- a) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- b) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, seguida de permanência em água em ebulição durante 5 horas.

Para a determinação do valor da massa do corpo-de-prova imerso em água, utilizou-se a mesma balança de precisão. Foi usada uma mesa com um orifício no meio do tampo por onde passava o cordão, preso pela parte de baixo na bandeja da balança, que sustentava o pequeno cesto de aço visto na Figura 17.

Figura 17: Cesto de aço usado para a determinação da Massa do corpo-de-prova saturado imerso em água (M_i)



Fonte: desenvolvido pelo autor

Tal cesto estava imerso em água, contida num recipiente abaixo da mesa citada anteriormente. Após ser realizada a tara da balança, os corpos-de-prova eram colocados no cesto, com os valores obtidos anotados para posterior análise.

4.9 Determinação da Massa Específica

Este tópico determina a massa específica seca, bem como a massa específica da amostra saturada.

4.9.1 Massa específica seca

Para tal determinação, usa-se a Equação 3, com as variáveis já explicadas anteriormente.

$$\rho_{sec} = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (3)$$

Onde:

ρ_{sec} = densidade da massa específica seca

4.9.2 Massa específica de amostra saturada

Para tal determinação, usa-se a Equação 4, com as variáveis já explicadas anteriormente.

$$\rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad (4)$$

Onde:

ρ_{sat} = massa específica de amostra saturada.

Ainda seguindo a norma ABNT NBR 9778/1987, o valor de M_{sat} pode ser feita em uma das condições a seguir:

- a) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (imersão);
- b) imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, seguida de permanência em água em ebulição durante 5 horas (imersão e fervura).

4.10 Determinação da Resistência à Compressão

A resistência à compressão será determinada por meio de um ensaio simples em cada corpo-de-prova modelado. A medida da resistência à compressão (MPa) será obtida por meio da divisão da carga de ruptura (newtons) pela área de carregamento (mm^2), multiplicando o resultado pela altura da peça.

Para a realização do ensaio, foi utilizada a máquina de ensaios da marca EMIC presente no Laboratório de pavimentações do Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET-MG, mostrada na Figura 18.

Figura 18: Prensa utilizada do experimento



Fonte: desenvolvido pelo autor

No ensaio, cada corpo-de-prova foi colocado diretamente sobre o prato inferior (devidamente limpo) da prensa, rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento, permanecendo na prensa até o seu rompimento, como mostrado na Figura 19. Os valores obtidos são apresentados por meio de gráficos gerados pelo software da própria máquina de compressão, analisados a seguir e mostrado nos anexos.

Figura 19: Corpos-de-prova após o rompimento



Fonte: Autoria própria (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados e a discussão dos mesmos obtidos no experimento realizado.

5.1 Absorção de água por imersão

Os resultados obtidos para os corpos-de-prova estão apresentados abaixo na Tabela 5.

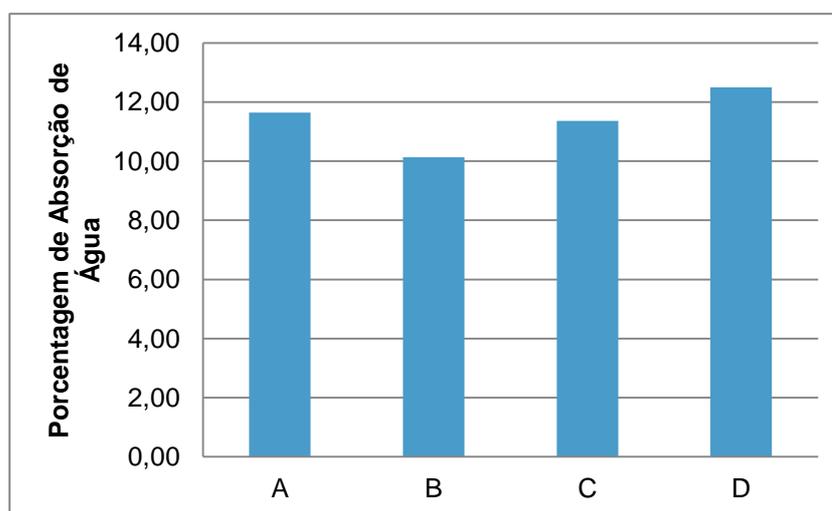
Tabela 6: Influência do vidro na absorção de água

Série	Corpo-de-prova	Msat (g)	Ms (g)	Absorção de água (%)	Média da Absorção de água (%)	Desvio Padrão
A	I	412,2	370,86	11,15	11,64	0,98
	II	406,49	362,52	12,13		
B	I	386,64	351,41	10,03	10,13	
	II	385,03	349,27	10,24		
C	I	365,26	329,21	10,95	11,37	
	II	366,83	328,17	11,78		
D	I	346,9	308,98	12,27	12,49	
	II	346,69	307,6	12,71		

Fonte: desenvolvido pelo autor

Os valores médios da porcentagem de variação da absorção de água pela porcentagem de vidro na argamassa são apresentados no gráfico apresentado na Figura 20.

Figura 20: Variação na absorção de água dos corpos-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

A partir da análise dos resultados, é perceptível que a porcentagem de absorção de água variou entre 10,13% e 12,49%, com um desvio padrão de 0,98%. No projeto realizado, houve um padrão crescente quanto à taxa de absorção de água nos corpos-de-prova com

vidro. Quanto maior a quantidade de vidro moído, maior era a absorção de água nos corpos-de-prova.

De acordo com Sato (2018), um dos fatores que mais interferem na absorção de água é a taxa de porosidade do corpo-de-prova analisado. Segundo o mesmo autor, a taxa de porosidade é influenciada pela densidade da argamassa, pela granulometria, o número e a força dos golpes em cada camada. Tal fato é confirmado por Isaia (2007), que destaca que a granulometria é dos principais influenciadores de tal parâmetro no concreto e na argamassa.

Diante o que foi apresentado por ambos os autores, tal resultado é devido à menor granulometria do vidro moído em comparação à da areia utilizada. Vale destacar que, considerando o desvio padrão, os corpos-de-prova com vidro moído atendem a esta especificação. Ressalta-se ainda que para os corpos-de-prova mistos de areia e vidro moído, o valor de tal parâmetro ficou abaixo do padrão. Tal característica se mostra bastante interessante para a construção civil, já que ajudaria a prevenir patologias devido à água absorvida por capilaridade.

5.2 Índice de Vazios

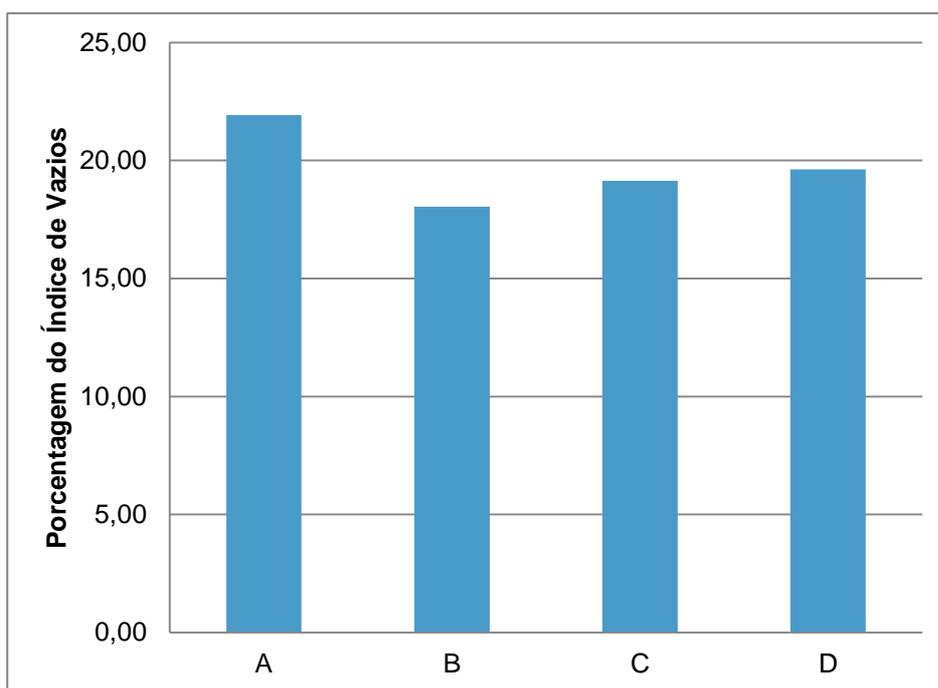
Os valores obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Influência do vidro no Índice de Vazios

Série	Corpo-de-prova	Msat (g)	Ms (g)	Mi (g)	Índice de Vazios (%)	Média (%)	Desvio Padrão
A	I	412,2	370,86	217,54	21,24	21,93	1,63
	II	406,49	362,52	212,05	22,61		
B	I	386,64	351,41	190,23	17,94	18,05	
	II	385,03	349,27	188,13	18,16		
C	I	365,26	329,21	169,87	18,45	19,13	
	II	366,83	328,17	171,71	19,81		
D	I	346,9	308,98	151,2	19,38	19,63	
	II	346,69	307,6	150,13	19,89		

Fonte: desenvolvido pelo autor

Os valores médios da porcentagem dos índices de vazios pela porcentagem de vidro na argamassa podem ser vistos no gráfico apresentado na Figura 21.

Figura 21: Variação do Índice de Vazios dos corpos-de-prova

Fonte: desenvolvido pelo autor

Para este parâmetro, houve um comportamento similar ao de absorção de água. Os maiores valores de índice de vazios apareceram na argamassa feita sem o vidro. Já o menor valor apareceu na argamassa que teve 1/3 da massa de areia substituída pelo vidro.

Como já dito anteriormente, o vidro utilizado no experimento tinha uma granulometria consideravelmente mais fina do que a areia. Segundo Silva *et al* (2006), a concentração de finos em uma argamassa influencia diretamente no índice de vazios até uma porcentagem específica, que pode variar de acordo com cada tipo de agregado. Paralelamente, a concentração de finos interfere na densidade da argamassa resultante.

Similar à absorção de água, os menores valores foram àqueles apresentados pela argamassa da Série B. Destaca-se que houve uma relação crescente entre os corpos-de-prova com vidro em sua composição. Ressalta-se que, mesmo naqueles que tiveram 100% da areia substituída por vidro moído, os valores obtidos ficaram abaixo daqueles feitos com 100% de areia. A razão provável de tal acontecimento é a densidade da argamassa, que ficava menor quanto maior era a porcentagem de vidro em sua composição.

De acordo com Isaia (2007), a redução no índice de vazios proporciona benefícios ao concreto e à argamassa. Além disso, quanto mais leve for à argamassa, mais trabalhável a mesma será em longo prazo. O autor destaca ainda que tal característica é bastante interessante, uma vez que reduz o esforço do operário na sua aplicação e resulta em um

aumento de produtividade ao final da jornada de trabalho. Em comparação à argamassa tradicional, esta característica da argamassa de vidro também se mostra interessante.

5.3 Determinação da Massa Específica

Este tópico apresenta os resultados obtidos em relação à massa específica determinada.

5.3.1 Valores obtidos de massa específica seca

Os resultados obtidos estão apresentados abaixo na Tabela 8.

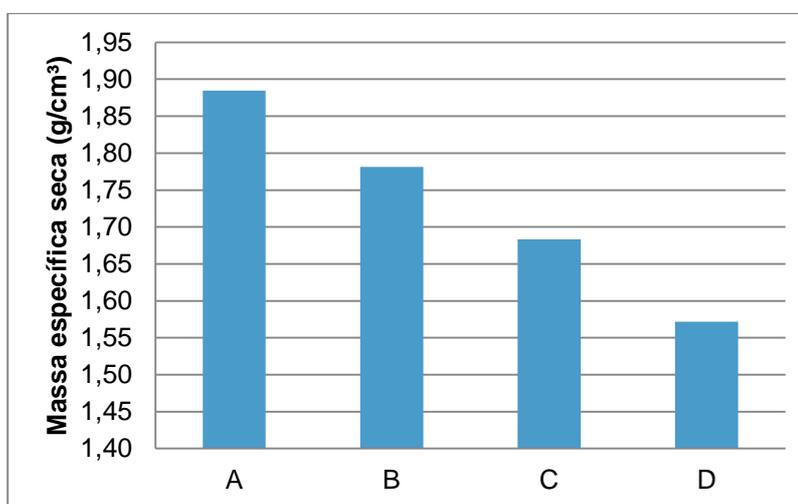
Tabela 8: Influência do vidro na massa específica seca

Série	Corpo-de-prova	Msat (g)	Ms (g)	Mi (g)	Massa específica seca (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão
A	I	412,2	370,86	217,54	1,91	1,88	0,13
	II	406,49	362,52	212,05	1,86		
B	I	386,64	351,41	190,23	1,79	1,78	
	II	385,03	349,27	188,13	1,77		
C	I	365,26	329,21	169,87	1,68	1,68	
	II	366,83	328,17	171,71	1,68		
D	I	346,9	308,98	151,2	1,58	1,57	
	II	346,69	307,6	150,13	1,56		

Fonte: desenvolvido pelo autor

Os valores médios da massa específica seca são apresentados a seguir na Figura 22.

Figura 22: Variação da Massa específica seca dos corpos-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

Para este parâmetro, houve um comportamento próximo ao linear decrescente. Quanto maior a porcentagem de vidro na argamassa, menor era o valor da massa específica seca. Os valores apresentados para a Massa específica seca ficaram entre 1,57 e 1,88 gramas.

5.3.2 Valores obtidos de massa específica de amostra saturada

Os resultados obtidos nesta análise são apresentados a seguir na Tabela 9.

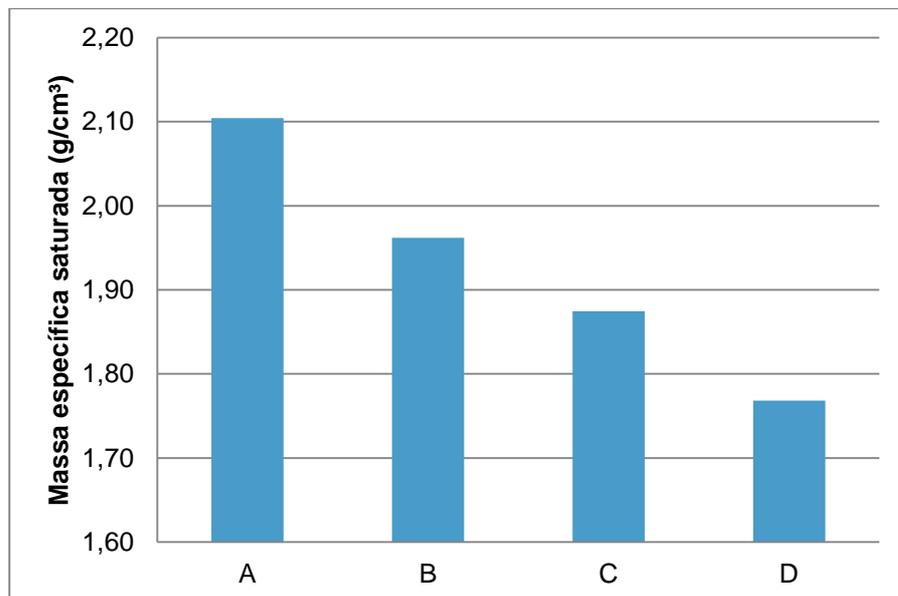
Tabela 9: Influência do vidro na massa específica de amostra saturada

Série	Corpo-de-prova	Msat (g)	Ms (g)	Mi (g)	Massa específica saturada (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão
A	I	412,2	370,86	217,54	2,12	2,10	0,14
	II	406,49	362,52	212,05	2,09		
B	I	386,64	351,41	190,23	1,97	1,96	
	II	385,03	349,27	188,13	1,96		
C	I	365,26	329,21	169,87	1,87	1,87	
	II	366,83	328,17	171,71	1,88		
D	I	346,9	308,98	151,2	1,77	1,77	
	II	346,69	307,6	150,13	1,76		

Fonte: desenvolvido pelo autor

Os valores médios da massa específica da amostra saturada são apresentados no gráfico mostrado na Figura 23.

Figura 23: Variação da Massa específica saturada dos corpos-de-prova



Fonte: desenvolvido pelo autor

O comportamento deste parâmetro foi semelhante ao do parâmetro Massa específica seca. Quanto maior era a porcentagem de vidro na mistura, menor era o valor obtido para a Massa específica da amostra saturada. Os valores obtidos variaram entre 1,77 e 2,10 gramas.

Segundo Isaia (2007), a massa específica de uma argamassa varia com o teor de ar e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente o agregado. Ao se fazer a pesagem dos agregados no momento da moldagem dos corpos-de-prova, percebeu-se que era necessário um maior volume de vidro a fim de se obter a mesma massa.

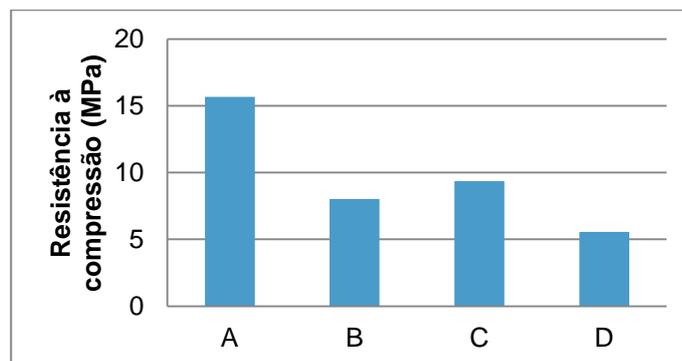
Diante disso, infere-se que a massa específica do vidro era menor que a da areia e, conseqüentemente, a massa do corpo-de-prova ficava menor quanto maior a quantidade de vidro em sua composição. Destaca-se ainda que esse comportamento foi observado tanto para a massa específica seca quanto para a amostra específica da amostra saturada.

5.4 Determinação da resistência à Compressão

A série de corpos-de-prova que apresentou os maiores valores de resistência foi a que não possuía vidro em sua composição. Os valores e gráficos obtidos pela prensa são apresentados nos Anexos de 1 a 8.

Para os ensaios realizados com sete dias sem a retifica, obteve-se para a Série A o valor médio da tensão de 15,67 MPa, um valor de 8,03 para a Série B, um valor de 9,35 MPa para a Série C e uma média de 5,56 MPa para a Série D. Infere-se que para este ensaio de compressão, não foi percebido um padrão. Além disso, houve uma redução considerável na resistência das argamassas que continham vidro em sua composição. Os resultados são mostrados no gráfico da Figura 24.

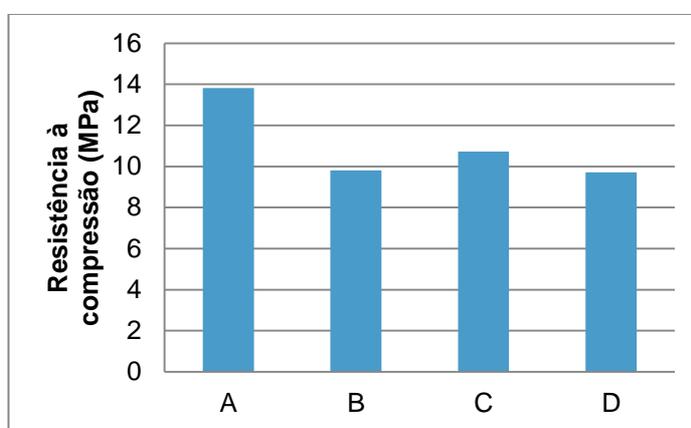
Figura 24: Valores obtidos no ensaio de resistência à Compressão com 7 dias sem retifica



Fonte: desenvolvido pelo autor

Para os ensaios realizados com vinte e oito dias e com realização da retifica, obteve-se para a Série A o valor médio da tensão de 13,82MPa, um valor de 9,81 para a Série B, um valor de 10,73 MPa para a Série C e uma média de 9,71 MPa para a Série D. Similar ao ensaio feito com sete dias, infere-se que não foi percebido um padrão. Embora tenha ocorrido uma redução na resistência das argamassas que continham vidro em sua composição, ela foi menos significativa do que no ensaio anterior. Os resultados são mostrados no gráfico da Figura 25.

Figura 25: Valores obtidos no ensaio de resistência à Compressão com 28 dias sem retifica



Fonte: desenvolvido pelo autor

De acordo com a ABNT NBR 15270- Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos – uma argamassa utilizada para alvenaria deve ter uma resistência mínima à compressão de 3 MPa. A argamassa feita atingiu valores consideravelmente superiores, mostrando assim que a mesma aparece como uma alternativa interessante à argamassa tradicional.

Buscou-se então qual a possível justificativa para a redução da resistência. Ao analisar a ABNT NBR 7215 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, percebe-se que há a recomendação da utilização da areia em diferentes frações (fração grossa, média-grossa, média-fina e fina).

Neste trabalho, utilizou-se a areia na granulometria 100 (0,149 mm) e o vidro moído na granulometria 325 (0,044 mm). A partir disso, sugere-se que a diminuição na resistência à compressão se deve à ausência de diferentes frações granulares, tanto de areia quanto de vidro, na composição dos corpos-de-prova. A diferença granulométrica entre os dois

agregados utilizados aparece como um dos principais fatores influenciadores nos resultados obtidos nessa pesquisa.

Além disso, outro fator que pode ter influenciado no resultado é a diferença entre as granulometrias do vidro moído e areia utilizados. Se ambos apresentassem granulometrias similares, os comportamentos dos corpos-de-prova provavelmente seriam mais próximos um do outro. López *et al* (2005) coloca que vidros, quando usados como agregados, podem reduzir a resistência devido a forma de fratura, características superficiais pobres e alta fragilidade. Todavia, o mesmo autor destaca que partículas mais finas de vidro exibem uma forma mais regular e fragilidade muito reduzida.

Segundo Isaia (2007), a taxa de aderência entre o cimento e os agregados influencia de forma considerável na resistência, tanto do concreto quanto da argamassa. O vidro, devido às suas propriedades, tende a ter uma superfície mais lisa do que a areia. Tal fator prejudica a aderência do mesmo com o cimento e pode influenciar na resistência da argamassa.

Embora poucos, existem alguns trabalhos similares a este. O trabalho de Righi *et al* (2011) analisa os efeitos da substituição de areia por vidro moído no comportamento de concretos em elevadas temperaturas. Neste trabalho, percebeu-se que houve uma redução na resistência até o teor de 15% de substituição em relação ao concreto de referência. Para o concreto que teve 100% de substituição, a resistência foi superior ao concreto de referência, evidenciando que o vidro estaria adequado para ser usado como agregado. Destaca-se ainda que neste estudo, o vidro moído e a areia apresentavam granulometrias similares.

O trabalho de López *et al* (2005) fez a avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. Similar ao trabalho de Righi *et al* (2011), houve um aumento progressivo da resistência à compressão com o aumento do teor de vidro no concreto, tendo um aumento médio de 57% de resistência em comparação ao material de referência. Neste trabalho, a granulometria final do agregado miúdo resultante (areia + vidro) ficou mais próxima à curva granulométrica ideal, levando assim a uma redução considerável nos vazios do concreto. No projeto de López *et al* (2005), o vidro e a areia também apresentavam granulometrias similares.

Embora os estudos similares sejam baseados em concretos, nos quais o agregado graúdo exerce grande influência na resistência, ambos utilizaram areia e vidro moído em granulometrias similares. Tal fator é uma forte evidencia que a provável razão da diminuição da resistência à compressão apresentada na argamassa desenvolvida se deve principalmente à diferença granulométrica existente entre os agregados utilizados.

6. CONCLUSÕES

A partir da pesquisa feita no referencial teórico, é possível perceber que os resíduos sólidos, entre eles o vidro, representam um grave problema ambiental. Medidas que visem uma gestão sustentável e inovadora aos resíduos sólidos devem ser pesquisadas.

Sob este contexto, o uso do vidro se mostra bastante interessante para o ramo de Materiais de Construção alternativos. Com os experimentos realizados, foi possível concluir em relação ao vidro moído:

1. A areia e vidro moídos utilizados apresentavam diferenças significativas de densidade, sendo este um dos principais fatores influenciadores nos resultados obtidos.
2. Além da diferença de densidade, a diferença da granulometria (0,044 do vidro e 0,149 do vidro) também aparece como um possível fator influenciador.
3. A inserção do vidro possibilitou uma redução considerável na taxa de absorção de água e no índice de vazios. Caso essa argamassa não seja utilizada com funções estruturais, pode ser uma alternativa interessante para se evitar patologias devido à infiltração por capilaridade.
4. De modo similar, a inserção do vidro possibilitou uma redução significativa da massa da argamassa. Após a realização de estudos complementares a este trabalho em função da resistência, a argamassa de vidro pode possibilitar uma redução da massa total de uma edificação, resultando em economia com estrutura e fundação.
5. Embora a resistência à compressão tenha diminuído em comparação a padrão, a argamassa desenvolvida apresenta um bom valor de resistência, em torno de 10 Mpa, para o ensaio de 28 dias.

Diante do estudo realizado, mesmo ocorrendo a redução da resistência à compressão, o vidro moído mostrou condições favoráveis para seu uso como agregado miúdo. Destaca-se que houve uma melhora considerável em parâmetros avaliados, sendo identificadas assim várias vantagens concedidas pelo vidro à argamassa. Além disso, existem alternativas que não foram utilizadas neste trabalho, como por exemplo, o uso de aditivos que melhorem a resistência do concreto.

Ressalta-se ainda que alguns fatores que podem ter influenciado negativamente no resultado obtido para a resistência, sendo o mais provável a diferença granulométrica existente entre os mesmos.

O uso do vidro resultaria em inúmeras vantagens, como a minimização de resíduos e de seus impactos ambientais. Além disso, inferir-se que seu uso como agregado representa uma possível alternativa de uso do vidro, material pouco reciclado na sociedade atual.

Finalmente, destaca-se que é importante a realização de estudos mais aprofundados, a fim de se obter uma argamassa de vidro que atenda às especificações das normas técnicas e definir o custo final da mesma em comparação argamassa tradicional.

7. PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Após a realização dos ensaios, os resultados foram analisados para cada teste e verificados se estão de acordo com a ABNT NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão de 1996.

Como possíveis propostas de continuidade, sugere-se a realização de estudos com utilização de areia e/ou vidro moído em diferentes frações (fração grossa, média-grossa, média-fina e fina), conforme recomendado na norma. Recomenda-se ainda a realização de mais ensaios, para assim se obter uma melhor caracterização tecnológica da argamassa desenvolvida. Finalmente, sugere-se a realização de estudos que analisem os custos da argamassa de vidro em comparação à tradicional, a fim de se avaliar a viabilidade da mesma.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP - Disponível em:
<<http://www.abcp.org.br>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP - **Guia Básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE - **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014** - São Paulo, SP, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732 - Cimento Portland Comum**. Rio de Janeiro. 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733 -Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. Rio de Janeiro. 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735 -Cimento Portland de Alto-forno**. Rio de Janeiro. 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736 -Cimento Portland Pozolânico**. Rio de Janeiro. 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214 -Areia normal para ensaio de Cimento**. Rio de Janeiro. 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 -Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão**. Rio de Janeiro. 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217** – Agregados – **Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecidos - **Determinação da Absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro. 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578** - Cimento Portland **Composto**. Rio de Janeiro. 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12989** - Cimento Portland **Branco**. Rio de Janeiro. 1993

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13116-Cimento Portland de baixo calor de hidratação**. Rio de Janeiro. 1994

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO - ABIVIDRO - Disponível em: <<http://www.abividro.org.br>>,

ALMEIDA, Francieli Aparecida (1), VIANA, Anna Paula Severo (2); RITTER, Agata Maitê (3); SELKITTO, Miguel Afonso (4) - **Cooperativas de catadores de resíduos e cadeias logísticas reversas: estudo de dois casos** - PPGEPS UNISINOS - São Leopoldo, RS - Brasil - 2013

ÂNGULO, Sérgio Cirelli (1); ZORDAN, Sérgio Edurado (2); JOHN, Vanderley Moacyr (3) - **Desenvolvimento sustentável e reciclagem de resíduos na Construção Civil**- São Paulo: Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP. São Paulo, SP. Brasil. Acesso em 21 de agosto de 2017..

ARAÚJO, Eudes Borges de - **Vidro: Uma Breve História, Técnicas de Caracterização e Aplicações na Tecnologia** - Universidade Federal de São Carlos - Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, número3, setembro de 1997.

BRASIL – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - **Relatório Técnico 31: perfil de areia para construção civil** - 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE - **O Agente Comunitário de Saúde no controle da dengue** - 2009, Brasília, DF, Brasil.

CARVALHO-PUPATTO, Juliana Garcia (1); BULL, Leonardo Theodoro (2); CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa - **Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias** - Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; QUARCIONI, Valdecir Angelo - **Aditivos ao cimento** - Revista Notícias da Construção, n940.Agosto de 2013.

ECIVIL - Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland.htm>.

GOUVEIA, Nelson - **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social** - Departamento de Medicina Preventiva, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil - 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON - Disponível em: <<http://site.ibracon.org.br>>

IGUAÇUMEC ELETRÔNICA LTDA - Disponível em: <<http://www.iguacumec.com.br/historico.html>>

ISAIA, Geraldo Cechella – **Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON,2007,2v.1712p.

KULAIIF, Yara - **Areia para construção** - São Paulo: Departamento Nacional de Produção Mineral. São Paulo, SP, Brasil. 2014

LIMA, Júlia Piazi de - **Caracterização tecnológica de manilhas do tipo tubo de concreto simples com ponta e bolsa fabricadas com rejeito de ardósia na sua constituição tendo como referência a norma técnica ABNT NBR 8890/2007** - Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Departamento de Centro e Tecnologia Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso – 2015

LÓPEZ, D.A.R.; DE AZEVEDO, C.A.P.; BARBOSA NETO, E.- **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino** (*Evaluation of physical and mechanical properties of concretes produced with ground waste glass as fine aggregate*) - Revista Cerâmica n.51 p. 318-324, Santa Cruz do Sul, RS. Brasil. 2005.

LUZ, A.P.I.; RIBEIRO, S.I. - **Uso de pó de vidro como fundente para produção de grês porcelanato** - Lorena: Faculdade de Engenharia Química de Lorena (FAENQUIL) Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR) Polo Urbo Industrial – Revista Matéria, Vol. 13 – 2008

OLIVEIRA, Marília P. de; BARBOSA, Normando P. de - **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas** - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.2, p.490–496, Campina Grande, PB, Brasil. 2006

RIGHI, Débora; KÖHLER, Lucas; KIRCHHOF, Larissa, LIMA, Rogério - **Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas** – Revista Engenharia Estudo e Pesquisa v11, n2, p 28 – 35, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2011

SANTOS, Diego Haltiery dos(1); MARINHO, Ana Luíza Borges(2); BARROS, Thamires Rangueri de(3); SILVA, Guilherme Jorge Brigolini(4); PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti Peixoto(5) - **Blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular**- Ouro Preto: Campus Morro do Cruzeiro - Laboratórios da Escola de Minas - Laboratório de Materiais de Construção Civil - ANAIS DO 56o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – 2014

SATO, Neide Matiko Nakata - **ANÁLISE DA POROSIDADE E DE PROPRIEDADES DE TRANSPORTE DE MASSA EM CONCRETOS** – Politécnica Engenharia de Construção Civil da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 2018

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. -**Indústrias de processos químicos** - 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1997

SILVA, Narciso Gonçalves da; CAMPITELI, Vicente Coney - **INFLUÊNCIA DOS FINOS E DA CAL NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS** – XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Florianópolis, SC, Brasil. 2006.

UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora – **Tabela de Granulometria** – Disponível em: <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Granulometria.pdf>> , acesso em agosto de 2018.

VALT, Renata Bachmann Guimarães - **Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de Alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos Materiais.** - Curitiba: Programa de Pós- Graduação em Engenharia, Área de Concentração em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2004, 193 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia)

