

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

**ANDRÉ LUIZ GIARETA LODI
GRACIELI REGINA GAMBIN
MARCELO LUIZ WEIT**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2014

ANDRÉ LUIZ GIARETA LODI

GRACIELI REGINA GAMBIN

MARCELO LUIZ WEIT

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Tecnólogo em Gestão
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientadora: Profa. Dra. Angela Laufer
Rech

MEDIANEIRA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada

Por

André Luiz Giaretta Lodi

Gracieli Regina Gambin

Marcelo Luiz Weit

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 21h20min. do dia 24 de novembro de 2014, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Angela Laufer Rech
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientadora)

Prof. Me. Renato Santos Flauzino
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Fábio Orssatto
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Profa. Dra. Larissa de Bortolli Chiamolera
Sabbi
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, por estar sempre nos mostrando os caminhos certos, nos dando força e coragem em todos os momentos de nossas vidas.

Agradecemos em especial às empresas que disponibilizaram tempo e informações para conseguirmos realizar este estudo.

Agradecemos ao Engenheiro Leocir Stodulski, por auxiliar na obtenção de dados e ao ceder os equipamentos utilizados no estudo e também a seus funcionários que nos auxiliaram na confecção dos corpos de prova. Agradecemos ao engenheiro Marcelo Camati por nos doar o objeto de estudo deste trabalho, o pó de vidro.

Ainda, agradecemos ao Grupo SR em especial a Carla e ao Fagner por nos auxiliarem nos testes de resistência à compressão, disponibilizando tempo e informações que complementaram este estudo.

A Alice Abegg pela ajuda nas traduções de texto de língua Inglesa, nosso sincero muito obrigada.

E nossa imensa gratidão à Professora Dra. Angela Laufer Rech por nos orientar e dispor de diversas sugestões que enriqueceram este estudo.

A todos os nossos amigos, somos gratos pelos momentos felizes e tristes compartilhados. O contato pode não ser tão frequente, mas o carinho continua imenso.

Por fim, e nem por isso menos importante, agradecemos às nossas famílias por sempre terem as palavras certas para todos os momentos e nos darem forças para superarmos mais esta etapa em nossas vidas. São nos pequenos gestos diários transmitindo segurança, conforto e tranquilidade que percebemos a importância dos nossos entes queridos.

RESUMO

LODI, André L. G.; GAMBIN, Gracieli R.; WEIT, Marcelo L. **Incorporação de Resíduos Vítreos em Blocos de Concreto para Pavimentação Intertravada.** 2014. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

A construção civil é um setor que vem testando e estudando vários produtos e métodos para o reaproveitamento dos resíduos sólidos. Um produto que vem sendo usado cada vez mais na construção civil é o bloco de concreto para pavimentação intertravada. Neste contexto, visando apresentar uma alternativa para o reaproveitamento de resíduo vítreo proveniente de empresa beneficiadora de vidro, este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da adição de resíduo vítreo na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada. Para tanto, foram conduzidos testes, sendo confeccionados corpos de prova, os quais foram inspecionados visualmente, avaliados quanto à resistência à compressão e a absorção de água. O primeiro tratamento foi considerado padrão, ou seja, sem nenhuma porcentagem de pó de vidro em sua composição. Os outros três tratamentos (2, 3 e 4) foram fabricados com variação de 10%, 20% e 30% de pó de vidro em sua composição. Os corpos de prova foram fabricados com areia, pedrisco, cimento e água, sendo que no caso dos tratamentos 2, 3, e 4 acrescentou-se as porcentagens respectivas de pó de vidro. Após o período de 7 dias considerados necessários para cura dos corpos de prova, foram realizados os testes de inspeção visual e absorção de água e aos 10 dias de cura foi realizado o teste de resistência a compressão, com base nas recomendações da norma NBR 9781:2013, que regulamenta as peças de concreto para pavimentação. Para a análise estatística dos dados foram utilizados os resultados obtidos nos testes de compressão e absorção de água, sendo considerado um nível de confiança de 5% para análise de variância (ANOVA) e para o teste de Tukey. Constatou-se por meio dos testes, que os resultados para a análise de inspeção visual foram satisfatórios. Para o teste de resistência à compressão nenhum dos tratamentos atingiu valores recomendados pela norma citada anteriormente, sendo que, o tratamento com adição de 20% de pó de vidro, obteve melhor desempenho. No teste de absorção de água, nenhum dos tratamentos atingiu valores recomendados pela norma, sendo que, quanto maior a quantidade de pó de vidro, maior a absorção de água. Com isso, concluiu-se que, os blocos fabricados com as porcentagens de pó de vidro estipuladas no estudo, não são indicados para a utilização na pavimentação de vias de tráfego de pedestres, veículos dotados de pneumáticos ou áreas de armazenamento de produtos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Reciclagem. Inspeção visual. Resistência à compressão. Absorção de água. Viabilidade.

ABSTRACT

LODI, André L. G.; GAMBIN, Gracieli R.; WEIT, Marcelo L. **Incorporation of Glassy Residues in Concrete Blocks for Interlocked Paving.** 2014. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

The civil construction is a sector that has been testing and studying several products and methods for the reusing of solid waste. A product that has been increasingly used in civil construction is the concrete block for interlocked paving. In this context, in order to present an alternative to the reuse of glassy residues from glass processing company, this study aimed to evaluate the feasibility of adding glassy residues in the manufacture of concrete block for interlocked paving. For this purpose, some tests were conducted and were made specimens, which were visually inspected, evaluated about compressive strength and water absorption. The first treatment was considered standard, in other words, without any percentage of glass powder in the composition. The other three treatments (2, 3 and 4) were manufactured with a variation of 10%, 20% and 30% of powder glass in the composition. The specimens were manufactured with sand, gravel, cement and water, whereas in the case of treatments 2, 3 and 4 it was added the respective percentages of powder glass. After the period of 7 days as are necessary to cure the specimens, tests of visual inspection and water absorption were performed and 10 days of curing the compressive strength test was performed, based on the recommendations of the NBR 9781: 2013, which regulates the pieces of concrete for paving. For the statistical analysis of the data, obtained results in compression and water absorption tests were used, being considered a confidence level of 5% for analysis of variance (ANOVA) and for the Tukey's test. It was found through the tests that the results for visual inspection analysis were satisfactory. For the compressive strength test any of the treatments reached values recommended by the standard mentioned above, and, treatment with addition of 20% glass powder had the best performance. In the water absorption test, any of the treatments reached values recommended by the standard, and, the greater the amount of glass powder, higher the water absorption. With this, it was concluded that the blocks manufactured with the percentage of glass powder stipulated in the study, are not indicated for use in paving roads for pedestrian traffic, vehicles equipped with pneumatic or product storage areas.

Key-Words: Solid waste. Recycling. Visual inspection. Compressive strength. Water absorption. Feasibility.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CIMENTO <i>PORTLAND</i> COMPOSTO CP II-Z-32	27
FIGURA 2 – PEDRISCO UTILIZADO COMO AGREGADO GRAÚDO	28
FIGURA 3 – AGREGADO MIÚDO (PÓ DE VIDRO)	29
FIGURA 4 – GERAÇÃO DO PÓ DE VIDRO	29
FIGURA 5 – PREPARAÇÃO DO PÓ DE VIDRO	30
FIGURA 6 – PESAGEM E SECAGEM DO PÓ DE VIDRO	30
FIGURA 7 – BALANÇA DE PRECISÃO UTILIZADA NO ESTUDO	31
FIGURA 8 – AREIA UTILIZADA COMO AGREGADO MIÚDO	32
FIGURA 9 – BETONEIRA UTILIZADA NA MISTURA DOS COMPONENTES	34
FIGURA 10 – MESA VIBRATÓRIA	35
FIGURA 11 – GRUPOS ETIQUETADOS COM OS VALORES DAS PORCENTAGENS CORRESPONDENTES	36
FIGURA 12 – ETAPAS DO TESTE DE COMPRESSÃO	38
FIGURA 13 – ETAPAS DO TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	38
FIGURA 14 – INSPEÇÃO VISUAL DOS CORPOS DE PROVA	40
FIGURA 15 – RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO POR TRATAMENTO	42
FIGURA 16 – MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR TRATAMENTO	45

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS QUANTO PERICULOSIDADE	15
QUADRO 2 – FORMAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
QUADRO 3 – RECOMENDAÇÕES SEGUNDO A NORMA NBR 9781 PARA OS PAVERS	24
QUADRO 4 – PROCEDIMENTOS GERAIS RECOMENDADOS PARA A MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– VARIACÃO DA UMIDADE DO PÓ DE VIDRO DURANTE SECAGEM EM FORNO	31
TABELA 2	– MASSA DOS COMPONENTES DA PROPORÇÃO COMPOSICIONAL	33
TABELA 3	– PROPORÇÕES DE MÁTERIA PRIMA PARA QUANTIDADE DE PAVERS CONFECCIONADOS PARA CADA TESTE	34
TABELA 4	– MASSA E MEDIDAS DAS MATÉRIAS PRIMAS PARA CADA TRATAMENTO	34
TABELA 5	– DADOS REFERENTES AO TESTE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	41
TABELA 6	– ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	42
TABELA 7	– VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS	43
TABELA 8	– DADOS REFERENTES AO TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	44
TABELA 9	– ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	45
TABELA 10	– VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE ACORDO COM OS TRATAMENTOS	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.1.1 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS	14
3.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos	14
3.2 GERAÇÃO GRADATIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.2.1 Impactos Ambientais	15
3.3 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	16
3.4 RECICLAGEM	17
3.5 VIDRO	19
3.5.1 Conceitos Gerais	19
3.5.2 História do Vidro	19
3.5.3 Processo Produtivo	20
3.5.4 O Vidro no Brasil	21
3.6 CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE	22
3.6.1 Uso de Agregados	22
3.7 PAVERS	23
3.7.1 Conceitos Gerais e Normatização	23
3.7.2 Processo de Fabricação dos Pavers	24
3.7.3 Manutenção	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 MATÉRIAS PRIMAS PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	27
4.1.1 Cimento	27
4.1.2 Agregado Graúdo	28
4.1.3 Pó de Vidro	28
4.1.3.1 Preparação do pó de vidro	29
4.1.4 Areia	32
4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	32
4.3 TESTES	36

4.3.1 Inspeção Visual	37
4.3.2 Resistência Característica à Compressão	37
4.3.3 Absorção de Água	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 ANÁLISE DE INSPEÇÃO VISUAL	40
5.2 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	41
5.3 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar grandes impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente tratados (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2011, p. 2).

Apesar de não ter ao certo uma referência exata da data ou civilização que teve a primeira experiência com o vidro, sabe-se que ele era manuseado por egípcios, fenícios, assírios, sírios, babilônios, gregos e romanos (SALATA, 2008, p. 146).

O vidro é um material não poroso que resiste a temperaturas de até 150°C sem perder suas propriedades físicas e químicas. Esse fato faz com que os produtos possam ser reutilizados varias vezes para a mesma finalidade (SEMA, 2009, p. 87).

Segundo o CEMPRE (2013), o Brasil produz em média 980 mil ton ano⁻¹ de embalagens de vidro, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Parte delas foi gerada como refugo nas fábricas e outra parte retornou por meio da coleta seletiva. Apenas 47% das embalagens de vidro foram recicladas em 2011 no Brasil, somando 470 mil ton ano⁻¹. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata de vidro pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas.

A preocupação com a preservação do meio ambiente, aliada a escassez dos recursos naturais, vem fazendo com que o setor da construção civil busque alternativas, desenvolve-se assim, novos materiais e técnicas relacionados ao conceito de sustentabilidade. O reaproveitamento dos resíduos sólidos e a redução do desperdício de materiais são fundamentais nesse setor, uma vez que além de produzir uma grande quantidade de resíduos, a construção civil também consome um grande percentual dos recursos naturais extraídos do planeta. Diversos estudos envolvendo a reciclagem de resíduos vêm sendo realizados, e a maior parte deles apresenta resultados favoráveis referentes ao aproveitamento dos resíduos sólidos

gerados (ROSÁRIO; TORRESCASANA, 2011, p. 1).

A utilização de artefatos de concreto vem crescendo no mundo todo, principalmente no Brasil. Com as novas possibilidades de oferecer diferentes materiais alternativos ligados diretamente com a preocupação do aspecto ambiental, tecnológico e econômico que contribui para um desenvolvimento prático e confiável (FIORITI, 2007, p. 1).

Este estudo teve como objetivo, analisar as propriedades tecnológicas de artefatos de concreto feitos à base de cimento *Portland* e agregados de resíduos vítreos. Assim, por meio deste estudo verificou-se a viabilidade de reduzir o uso de matérias primas, normalmente usadas no processo tradicional de fabricação dos pavers, no intuito de não alterar as características do artefato, por meio do uso de resíduos provenientes do beneficiamento do vidro.

A reciclagem aliada ao crescimento urbano são temas relevantes neste estudo, pois são atividades em constante crescimento na atualidade. Nesta pesquisa, o foco da reciclagem é o vidro, por ser um material muito utilizado cotidianamente, tendo seu processo natural de decomposição na natureza um período de tempo muito elevado. Na construção civil, um produto que está sendo usado cada vez mais é o paver. Em calçadas, ruas, praças, a utilização do paver é uma ótima opção, até por que é um material de fácil manutenção, facilita a infiltração de água, e ainda é possível fazer inúmeras formas durante a instalação, obtendo um aspecto visual muito bom.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade da adição de resíduos vítreos na fabricação de pavers.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Inspecionar visualmente o artefato;
- Avaliar a resistência à compressão do artefato;
- Avaliar a absorção de água do artefato;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define resíduo sólido como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 3).

Os termos lixo e resíduo sólido são usados com frequência para denominar resíduos produzidos em uma sociedade. Sendo assim, pode-se dizer que resíduo sólido engloba todo tipo de material que possui certo grau de rigidez, que tem forma própria e é resultante de qualquer atividade devendo-se adotar, no entanto, algumas análises adicionais para sua classificação (VALÉRIO; SILVA; COHEN, 2008, p.4).

3.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a PNRS, quanto à origem e quanto a periculosidade.

Em relação à origem os resíduos sólidos industriais são classificados como “aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais” (BRASIL, 2010, p. 3).

Em relação a periculosidade os resíduos sólidos são classificados como perigosos e não perigosos, como pode ser observado no Quadro 1.

Quanto à Periculosidade	Descrição
Resíduos perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
Resíduos não perigosos	Aqueles não enquadrados na alínea “a”. Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto á periculosidade

Fonte: Brasil (2010, p. 3).

3.2 GERAÇÃO GRADATIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O desenvolvimento econômico em conjunto com o crescimento populacional e a urbanização vêm sendo acompanhados por alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população. Como decorrência direta desses processos, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, principalmente nos grandes centros urbanos. Além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas (GOUVEIA, 2012, p. 3).

3.2.1 Impactos Ambientais

Os impactos ambientais negativos causados pela geração de resíduos sólidos são decorrentes da prática de disposição inadequada em fundos de vale, às margens de ruas ou cursos d’água. Essas práticas habituais podem provocar, entre outras coisas, contaminação de corpos d’água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, entre outros. E com isso ainda tem-se a poluição visual, mau cheiro e a contaminação do meio ambiente (MUCELIN; BELLINI, 2008, p.113).

No Brasil, constitucionalmente, é dever do poder público o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos em suas cidades. O manejo dos resíduos sólidos compreende os serviços de coleta, limpeza pública e destinação final adequada, e podem atingir até 20% do orçamento das prefeituras (IBGE, 2008, p. 59).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), 61,2% das prestadoras desses serviços eram entidades vinculadas diretamente com a administração pública, 34,5% eram empresas com regime de concessão pública ou terceirização, e 4,3% entidades sob regime de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios. A pesquisa mostra ainda que, mais de 56% dos municípios da região sul tem empresas privadas atuando no setor, indicando uma tendência na terceirização dos serviços. O destaque foi do Rio Grande do Sul com 60,2%, seguido de Santa Catarina com 55,3% e Paraná com 51,7%, respectivamente (IBGE, 2008, p. 59).

Ainda assim, a problemática ambiental gerada pelo resíduo sólido é de difícil solução, pois cerca de 82% das cidades brasileiras não apresentam um serviço de coleta que prevê a segregação dos resíduos na fonte (RIBEIRO, 2012).

3.3 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

É importante o conhecimento sobre a composição quantitativa e qualitativa do resíduo sólido, visto que isto serve de base para a definição do acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final a ser dada de forma a minimizar o impacto ambiental que estes podem provocar. Quanto melhor conhecer o resíduo sólido que produz, melhores serão as soluções de gestão e tratamento dos mesmos (VALÉRIO; SILVA; COHEN, 2008, p.5).

De acordo com França e Ruaro (2009, p. 2193), no Brasil, os resíduos sólidos podem ser destinados para lixões e aterros. O Quadro 2 apresenta uma descrição detalhada de cada método de destinação.

Destinação dos resíduos sólidos	Descrição
Lixões	Trata-se do método mais utilizado, onde não existe separação dos resíduos sólidos, o acondicionamento é precário, tendo em vista que é despejado a céu aberto, contaminando o ambiente, e normalmente conta com a presença de pessoas e animais no local.
Aterro controlado	É a área na qual é implementada pelo menos uma medida mínima de controle ambiental, como o isolamento, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra, controle de entrada de resíduos, dentre outras.
Aterro sanitário	É a disposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária. Uma vez depositados, os resíduos sólidos se degradam naturalmente por via biológica até a mineração da matéria biodegradável, em condição fundamentalmente anaeróbia.

Quadro 2 – Formas de destinação dos resíduos sólidos
Fonte: França e Ruaro (2009, p. 2193).

O Escritório Regional de Foz do Iguaçu (ERFOZ) abrange além do próprio município outros oito municípios, que juntos somam mais de 388,700 habitantes. Dados coletados pelo Relatório da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos do Estado do Paraná, indicam que cerca de 55,6% dos municípios depositam seus resíduos em áreas inadequadas, sem licenciamento ambiental (IAP, 2013, p.13).

3.4 RECICLAGEM

A reciclagem no Brasil tem suprimento incerto de matéria prima, ociosidade e logística. Por outro lado, apesar do sistema precário de coleta e disposição final dos resíduos sólidos, a necessidade de aumentar a renda familiar associada à viabilidade econômica e a questão ambiental favorecem as atividades de reciclagem (SANTOS et al., 2004, p. 309).

Reciclagem, de acordo com a PNRS, é um “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010).

Para França e Ruaro (2009, p. 2193) reciclagem é o processo que separa o

resíduo sólido antes do destino final. Procura-se desta forma reutilizar e reduzir o que for possível, diminuindo a pressão sobre os aterros sanitários ou outros métodos de destinação final.

A importância da reciclagem dos resíduos sólidos é fundamental para a preservação, conservação e redução do consumo de recursos naturais não renováveis do planeta, pois satisfaz às necessidades da população sem comprometer a sobrevivência das gerações futuras e do planeta (LUCAS; BENATTI, 2008, p. 415).

A busca por uma destinação útil aos resíduos sólidos tem sido uma preocupação constante por parte das empresas que se dedicam a estas atividades, de ambientalistas, bem como órgãos de controle e instituições de pesquisas, interessados na preservação do meio ambiente (COSTA; GUMIERI; BRANDÃO, 2014, p. 245).

A reciclagem sempre teve grande destaque na indústria vidreira, e ganhou força nos últimos anos com os grandes investimentos feitos 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. A reciclagem permite poupar matérias-primas naturais, como areia, barrilha, calcário entre outros (ABIVIDRO, 2014).

Os produtos de vidro são totalmente reaproveitáveis, seja por meio da reutilização, como o reenvasamento de garrafas, ou pela sua reciclagem na fabricação de novos produtos de vidro (GODINHO; HOLANDA; SILVA, 2005, p. 419).

A reutilização do vidro para a produção de novas embalagens consome quantidades menores de energia e emite menos resíduos particulados de CO₂, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Outro aspecto é o menor descarte de resíduo sólido, reduzindo os custos de coleta urbana, e aumentando a vida útil dos aterros sanitários (ABIVIDRO, 2014).

O principal mercado para a sucata de vidro é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem o material diretamente em suas campanhas de reciclagem. Porém, a reciclagem de vidro tem vários fatores limitantes como impurezas, custo do transporte que é muito elevado e a mistura de cores que são difíceis de serem separadas (SILVA et al., 2011, p. 2).

O pó de vidro é um resíduo decorrente de indústrias beneficiadoras de vidro

que pode ser considerado uma impureza no processo de separação e reciclagem, esse pó “é um resíduo industrial inerte, mas se levado aos rios pode aumentar o pH e a turbidez das águas” (LUZ; RIBEIRO, 2008, p. 2).

3.5 VIDRO

3.5.1 Conceitos Gerais

Dias e Cruz (2009, p. 7), definem vidro como “uma mistura de areia, barrilha, calcário, alumina e aditivos que formam uma massa semi-líquida, é um óxido metálico, super resfriado, transparente, de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo”.

Segundo Montano e Bastos (2013, p. 270), o vidro pode ser classificado como plano, oco ou especial. O vidro plano é produzido em chapas, que podem ser posteriormente moldadas ou cortadas, enquanto que o vidro oco é utilizado na produção de copos, garrafas e embalagens. Já o especial, tem o foco na produção de lentes, lâmpadas e fibra de vidro, por exemplo.

3.5.2 História do Vidro

Apesar de não ter ao certo uma referência exata da data ou civilização que teve a primeira experiência com o vidro, sabe-se que ele era manuseado por egípcios, fenícios, assírios, sírios, babilônios, gregos e romanos. Alguns autores atribuem à descoberta acidental aos navegadores fenícios. Outros contestam, e indicam que povos mesopotâmios e egípcios já dominavam técnicas rudimentares para a fabricação de vidro, há cerca de 5.000 anos (SALATA, 2008, p. 146).

Entre os anos de 500 a 600 d.C. surgiu o vidro plano, obtido por uma técnica utilizada até o século XIX, que consistia em soprar uma esfera e expandi-la por rotação em forno. Já em 1200 d.C. foi descoberto o método de sopro de cilindros,

onde a ação simultânea do sopro e da força de rotação do cano formava um cilindro côncavo, que era cortado em um forno de recozimento e depois estendido para formar vidro plano (LINO, 2011, p. 217).

Porém, foi apenas após a revolução industrial que a produção em grande escala se tornou possível, devido aos avanços tecnológicos que possibilitaram a descoberta dos processos de folha estirada e de flutuação, revolucionários para o setor (LINO, 2011, p. 217).

3.5.3 Processo Produtivo

No processo produtivo do vidro, apesar de a sílica ser usada em maior volume, é a barrilha que tem o maior custo na fabricação do vidro, pois não é encontrada em território brasileiro, sendo necessária a sua importação. A barrilha é utilizada para reduzir a temperatura de fusão, podendo chegar a 1.600 °C, e que deve ser mantida, uma vez que o forno foi ativado. Outro componente que encarece o processo de fabricação do vidro, e que tem peso relevante no surgimento de uma nova fábrica, é o gás-natural, que serve como combustível para os fornos (MONTANO; BASTOS, 2013, p. 268).

Segundo Marques (2012, p.3), as fases de fabricação e pós-fabricação, críticas na produção de vidros, exigem um perfeito controle da temperatura, o que favorece o uso do gás-natural, sendo este aplicado nos principais equipamentos do setor, como fornos de fusão, de têmpera, de queima e linha de choque térmico.

Após produzido o vidro pode ser comercializado diretamente com o consumidor final, como no caso de empresas grandes, ou por meio de distribuidores, lojas e vidraçarias para o público em geral. Além de ser utilizado em sua forma tradicional de fabricação, o vidro pode ser tratado, adquirindo propriedades específicas (MONTANO; BASTOS, 2013, p. 270).

3.5.4 O Vidro no Brasil

No Brasil, foi no ano de 1950 que marcou a grande demanda de vidro pelos setores moveleiro e da construção civil, impulsionando o surgimento de grandes empresas como a Sebastião Paes de Almeida, que chegou a controlar 60% do mercado nacional (ABRAVIDRO, 2013).

Fatores como as constantes evoluções do setor vidreiro, assim como a demanda crescente do produto, fizeram com que empresas multinacionais investissem no país. No ano de 1974, as empresas Pilkington inglesa e a Saint-Gobain francesa implantaram no Estado de São Paulo a Cebrace. Em 1998, a multinacional americana Guardian se instalou no Brasil. Em 2013, a japonesa AGC construiu uma fábrica no país, e por fim, naquele mesmo ano a empresa Vivix, 100% brasileira, instalou uma fábrica em Pernambuco. Assim, as empresas AGC, Cebrace, Guardian, Saint-Gobain Glass, União Brasileira de Vidros (UBV) e Vivix configuram com as seis grandes indústrias produtoras de vidro *float* e impresso no Brasil, sendo responsáveis pela produção de 6.950 ton dia⁻¹ de vidro (ABRAVIDRO, 2013).

Segundo Montano e Bastos (2013, p. 270), os principais mercados consumidores de vidro plano são a construção civil, que utiliza o vidro em fachadas, portas, janelas, partes internas e externas, tendo como tendência o aumento da utilização, tendo em vista a parte estética e ambiental; e a indústria automobilística, que utiliza o vidro nas janelas e para-brisas dos carros, além dos vidros que passam por transformações, como no caso do vidro laminado, conhecido como blindado. Em menor quantidade existe a utilização do vidro para a linha de eletro doméstico, eletro eletrônicos e utensílios diversos.

A cadeia produtiva de vidro *float* aumentou 106% no Brasil, em apenas cinco anos. Este resultado arremete a uma expectativa de evolução e ampliação do serviço prestado pelas indústrias como consequência da maior concorrência (ABRAVIDRO, 2013).

3.6 CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE

O setor da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais e energéticos, além de gerador de muitos resíduos. Considerando a importância do segmento na transformação do meio ambiente, o setor é cada vez mais preocupante. O conjunto de práticas e procedimentos preconizados na construção sustentável, certificada ou não, introduziu uma nova realidade no setor da construção civil, caracterizada pelo uso racional dos recursos naturais e, em especial, pelo tratamento dos resíduos sólidos gerados, forçando as transformações nos processos de gestão (GARÉ 2011, p. 19).

De acordo com Oliveira (2007, p. 1), os resíduos sólidos gerados pela construção civil durante os processos de construção e demolição, geralmente são considerados inservíveis e causam inúmeros problemas sócio ambientais quando não dispostos de forma adequada, ocupação irregular de áreas e vias urbanas, entupimento de sistemas de drenagem, proliferação de vetores transmissores de doenças e a degradação da paisagem urbana e rural. O autor cita como alternativa, a reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil e usar os agregados gerados, para pavimentação, confecção de concretos, argamassas, blocos e outros.

Rosário e Torrescasana (2011, p. 2), explicam que em virtude de um destino adequado aos resíduos sólidos, da necessidade da preservação do meio ambiente e visando a sustentabilidade, se faz necessário o desenvolvimento de materiais alternativos e o aproveitamento dos resíduos sólidos. Alcântara (2009, p. 36), atribui aos profissionais da construção civil a tarefa de adequação dos princípios da construção sustentável ao cotidiano.

3.6.1 Uso de Agregados

O uso de materiais agregados ao concreto, já foi estudado por vários pesquisadores. López, Azevedo e Neto (2005), por exemplo, pesquisaram o uso de vidro reciclado como substituto do agregado fino (areia) no concreto. Matos (2010),

pesquisou o uso de resíduos de vidro moído, mas na substituição parcial ao concreto.

Alguns destes materiais são adicionados com o intuito de melhorar as características mecânicas dos concretos ou simplesmente são adicionados para diminuir a quantidade de materiais destinados aos aterros. O uso de vidro já foi estudado e alguns países já utilizam este material como agregado fino no concreto, a Austrália, por exemplo, utiliza o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção. No Brasil, esta forma de valorização desse recurso é pouco utilizada, uma vez que o aterro é uma opção muito barata e a disponibilidade de matéria-prima para materiais de construção é abundante (LOPEZ; AZEVEDO; NETO, 2005, p. 3).

3.7 PAVERS

3.7.1 Conceitos Gerais e Normatização

A norma regulamentadora de peças de concreto para pavimentação é a NBR 9781:2013 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que define pavimento intertravado como:

pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub base), seguida por uma camada de revestimento constituída por peças de concreto justaposta sem uma camada de assentamento e cuja juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção (ABNT, 2013, p. 2).

São três os tipos de pavimentos intertravados, os paralelepípedos, a alvenaria poliédrica e os pavers (SENÇO, 2007, p. 614).

O pavimento de pavers tem sido cada vez mais utilizado, ficando os paralelepípedos e a alvenaria poliédrica como sinônimos de um pavimento mais antigo, quase que não utilizados mais (CARVALHO, 2011, p. 36).

Os pavers podem ser definidos, de forma geral, como “elementos pré-moldados de concreto, a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e

miúdos, cimento e água” (NASCIMENTO et al, 2009, p. 992).

A norma regulamentadora existente para os pavers a serem utilizados em pavimentação intertravada é a NBR 9781:2013 da ABNT. Esta norma estabelece requisitos e métodos de ensaio exigíveis para aceitação destes blocos de concreto sujeitos ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos (ABNT, 2013, p. 1). O quadro 3 apresenta os requisitos exigidos pela norma.

Requisitos exigidos pela norma	Descrição
Formato	As peças podem ser produzidas em diversos formatos.
Espessura	As peças são padronizadas quanto à espessura em 60, 80 e 100 mm.
Dimensões	Quanto as tolerâncias dimensionais das peças de concreto, são permitidas variações inferiores a 3 mm.
Resistência à compressão	A resistência a compressão deve ser maior ou igual a 35 MPa para tráfego de veículos comerciais de linha e maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados defeitos de abrasão.
Absorção de água	Quanto a absorção de água as peças devem apresentar valor menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

Quadro 3 - Recomendações segundo a norma NBR 9781 para os pavers
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013).

3.7.2 Processos de Fabricação dos Pavers

Para obter um processo de fabricação de qualidade é necessário ter um controle desde a entrega dos materiais, até a prensagem e cura dos blocos. O cimento assim que entregue deve ser estocado em silos, sendo imediatamente liberado para uso. Depois vem a etapa de mistura atendendo o traço desejado, que é a proporção entre água, cimento e agregados (ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO, 2011, p.86).

Uma importante consideração que exerce influência direta na trabalhabilidade do concreto, é a granulometria do agregado escolhido, pois quanto menor esta granulometria, maior será a quantidade de água necessária para envolver os grãos do mesmo, formando uma película d'água responsável por uma boa

trabalhabilidade, porém esta quantidade não pode ser em excesso para não prejudicar a moldagem, a pega e a cura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p.77).

Antunes et al. (2011, p. 2) citam pelo menos três processos básicos de fabricação. O mais utilizado é a partir do emprego de vibroprensas. O segundo processo é o processo dormido, em que o material é depositado em formas e permanece nelas por pelo menos 24 horas. É mais lento, de menor produtividade, mas produz peças com melhor acabamento. O terceiro processo, chamado de “concreto virado”, utiliza uma mistura tão ou mais seca do que a utilizada no processo de vibroprensagem e logo após a sua moldagem a mistura é desenformada e depositada sobre uma superfície horizontal onde entra em processo de cura. Os processos mais adequados são do tipo “dormido” e “virado”.

Após o processo de fabricação os produtos são empilhados sobre pallets de madeira e plastificados com um filme de polipropileno. Antes de serem vendidos aos consumidores os pallets são levados até uma câmara a vapor, com temperatura a 80°C e umidade a 100%, para acelerar o processo de cura. Permanecem na câmara a vapor por um período de 12 horas, até atingir a resistência adequada. Para isso é feito o controle tecnológico após dois dias, em alguns blocos de cada lote, e repetido depois de 28 dias (ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO, 2011, p.84).

Mehta e Monteiro (2008, p. 85) consideram sete dias como um período mínimo de cura ao ar livre para concretos contendo cimento *Portland* comum, sendo desejável, porém, períodos mais longos para concretos contendo cimentos compostos ou com adições minerais, de modo a garantir a contribuição das reações na resistência do material.

Fioriti (2007, p. 2) afirma que “a vida útil do pavimento intertravado, pode ser de até 25 anos, desde que se tenham projetos apropriados para a sub-base, além de blocos de boa qualidade e que os mesmos estejam muito bem assentados”.

O paver deve ser assentado diretamente sobre fino colchão de areia ou pó-de-pedra (em geral 4 à 7 cm). O travamento das peças ocorre com o preenchimento das juntas com areia fina, conferindo-lhes capacidade de transmissão lateral das cargas entre as unidades, tornando este tipo de pavimento ideal para qualquer tipo de obra de pavimentação. Possuem maior durabilidade, características de drenagem natural e permeabilidade, resistência à abrasão e anti-derrapagem, aproveitamento 30% da iluminação natural e redução de até 4°C da temperatura ambiente, quando

comparado com o pavimento asfáltico (DIAS, 2008, p. 46).

Além do formato diferenciado, que confere propriedades estéticas ao pavimento, é possível adicionar pigmentos aos blocos pré-moldados para obter blocos coloridos, o óxido de ferro é responsável pelas cores vermelho, ocre, preto e marrom, o cromo pela cor verde e o cobalto pela azul, sendo estes os pigmentos mais utilizados na coloração dos blocos (CARVALHO, 2011, p. 36).

3.7.3 Manutenção

Carvalho (2011, p. 40), relata que a manutenção dos pavimentos intertravados é bastante simples, não necessita de mão-de-obra especializada e se for feita periodicamente evita-se a necessidade de reforços estruturais ou reconstruções, não há necessidade de uso de equipamentos mais específicos, ficando a manutenção apenas a cargo de ferramentas simples e compactador manual. O Quadro 4 apresenta recomendações para a manutenção dos pavimentos intertravados.

Recomendações	Descrição
Limpeza da vegetação	Consiste na retirada da vegetação que cresce nas juntas.
Complementação da areia	Deve ser feita periodicamente para propiciar a capacidade de intertravamento dos blocos.
Recomposição do pavimento	É a recomposição de peças trincadas ou deslocadas.
Restauração do Pavimento	Quando houver desgaste do revestimento ele possa ser restaurado apenas com a troca da face do bloco.

Quadro 4 – Procedimentos gerais recomendados para a manutenção de pavimentos intertravados de concreto

Fonte: Carvalho (2011, p. 41).

Os principais problemas relacionados com a manutenção segundo Godinho (2009, p. 67), são as degradações e defeitos superficiais, que consiste no aparecimento de fissuras, quebra de blocos, desgaste da superfície, afundamentos, ondulações e a depressão.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATÉRIAS PRIMAS PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As matérias primas utilizadas na mistura da massa, para confecção dos corpos de prova (pavers) foram o cimento, agregado graúdo (pedrisco), agregados miúdos (pó de vidro e areia fina) e água.

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo *portland* composto CP II-Z-32 (Figura 1) que pode ser adquirido em lojas de materiais para construção.



Figura 1 – Cimento *portland* composto CP II-Z-32

4.1.2 Agregado Graúdo

Como agregado graúdo foi utilizado pedrisco, de granulometria 4,8 a 8,5 mm (Figura 2), que pode ser adquirido em lojas de materiais para construção.



Figura 2 – Pedrisco utilizado como agregado graúdo

4.1.3 Pó de Vidro

O pó de vidro utilizado como agregado miúdo (Figura 3) foi cedido por uma empresa que atua no ramo de beneficiamento de vidro, localizada no município de Medianeira - PR.

A geração do pó de vidro ocorre na etapa de lapidação do processo de beneficiamento do vidro. Nesta etapa são utilizados equipamentos que necessitam de água para resfriamento e lubrificação, resultando em um efluente contaminado com pó de vidro. Neste efluente é adicionado um coagulante para que as partículas de pó de vidro se agrupem e decantem no sistema de coleta (Figura 4a). O material coletado é estocado em sacos (Figura 4b), que tem capacidade aproximada de 1.500 kg e fica armazenado a céu aberto para secagem. Após é encaminhado para uma empresa especializada em reciclagem de vidro, localizada na cidade de

Guarulhos, à 50 Km da capital São Paulo. O contrato de prestação de serviços tem duração de um ano, e ao final de cada contrato a empresa recicladora fornece um certificado de descarte correto do resíduo, para a empresa geradora.

Os sacos são formados por um material poroso, o que facilita a drenagem da água, resultando em um material pastoso e compactado.



Figura 3 – Agregado miúdo (pó de vidro)



Figura 4 – Geração do pó de vidro. a) sistema de coleta do pó de vidro, b) secagem nos sacos

4.1.3.1 Preparação do pó de vidro

Os aglomerados de pó de vidro foram separados manualmente. Primeiramente, espalhou-se os mesmos em tábua de madeira (Figura 5a) e colocou-

se exposto ao sol (Figura 5b) para a secagem ser mais rápida e de fácil descompactação do resíduo vítreo.

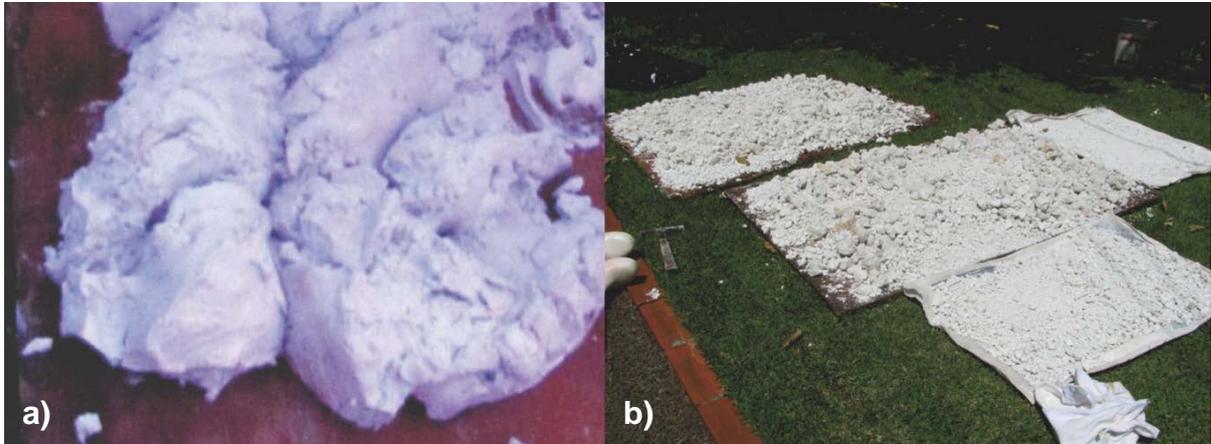


Figura 5 – Preparação do pó de vidro. a) aglomerado do pó de vidro, b) secagem ao sol

Em seguida esse material foi pisoteado para o esfarelamento completo. Logo após, utilizou-se uma peneira de 2 mm para o refino completo do material.

O pó de vidro peneirado foi colocado em formas de alumínio para ser pesado (Figura 6a), depois foi colocado no forno, a 220°C, para perda total da umidade (Figura 6b).

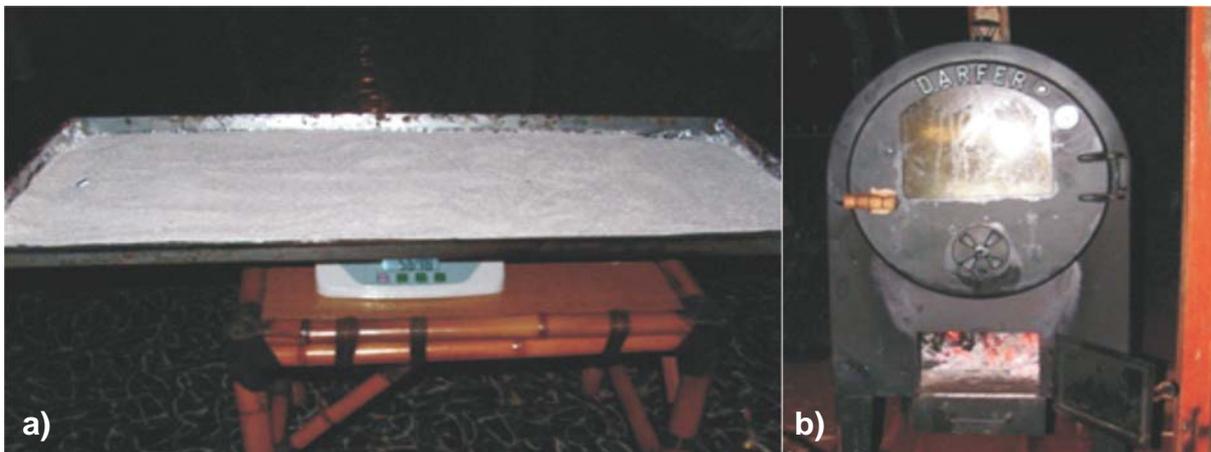


Figura 6 – Pesagem e secagem do pó de vidro. a) forma de alumínio, b) forno

A massa total da forma de alumínio (tara) correspondia a 1.736 gramas e a massa inicial do pó de vidro antes da sua colocação no forno, sem a tara, era de 4.980 gramas. A balança utilizada para pesagem é da marca TS modelo TS500, do tipo eletrônica de precisão de uma grama (Figura 7).



Figura 7 – Balança de precisão utilizada no estudo

Durante o processo de secagem no forno, foram realizadas pesagens periódicas do material, de 25 em 25 minutos, com a finalidade de verificar a variação da sua massa. Por meio deste processo pode-se avaliar o momento em que o material não teve mais variação da sua massa, assegurando que a umidade havia sido eliminada, obtendo-se a massa real do pó de vidro.

A Tabela 1 apresenta o resultado das pesagens realizadas durante o processo de secagem no forno, pode-se constatar que a massa final do pó de vidro, sem umidade, ficou em 5.660 gramas. A massa final do pó de vidro depois de seca (sem a tara) era de 3.924 gramas, representando uma perda de 20% de umidade.

Tabela 1 – Variação da umidade do pó de vidro durante secagem em forno

Tempo decorrido em minutos	Pó de vidro em gramas (com tara)
0	6.716
25	6.359
50	6.108
75	5.954
100	5.884
125	5.724
150	5.660
175	5.660

4.1.4 Areia

Como agregado miúdo também foi utilizado a areia fina, de granulometria 0,05 a 0,3 mm (Figura 8), que pode ser adquirido em lojas de materiais para construção.



Figura 8 – Areia utilizada como agregado miúdo

4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados nas instalações de uma indústria de pavers, localizada no município de Missal - PR. O proprietário acompanhou este processo.

Na primeira etapa, foi observado o processo convencional de fabricação de pavers realizado na indústria, no intuito de compreender o mesmo. Foram observadas as dimensões dos pavers: 6 x 10 x 20 cm, sendo altura, largura e comprimento, respectivamente. As proporções composicionais da massa utilizada na fabricação dos pavers foram repassadas pelo proprietário. Para uma mistura homogênea, os componentes são adicionados na proporção de quatro partes (em volume) de areia, três partes de pedrisco para uma parte de cimento e ainda três

litros de água. Com essa quantia de matéria prima é possível fabricar 2 m² ou 100 pavers.

Após esta primeira etapa iniciou-se o processo de confecção dos corpos de prova.

Para este estudo, estipularam-se as porcentagens de 10%, 20% e 30% de pó de vidro para adição à massa cimentícia. Para que o artefato continuasse com sua massa original, o correspondente ao agregado miúdo pó de vidro à ser adicionado foi diminuído proporcionalmente da massa do agregado miúdo areia. Assim, considerando a necessidade de uma referência (testemunha), os testes foram realizados contemplando quatro tratamentos, representados por:

- Tratamento 1 – Massa cimentícia convencional sem adição de pó de vidro;
- Tratamento 2 – Massa cimentícia + 10% de pó de vidro;
- Tratamento 3 – Massa cimentícia + 20% de pó de vidro;
- Tratamento 4 – Massa cimentícia + 30% de pó de vidro.

O delineamento utilizado no estudo foi um delineamento inteiramente casualizado (DIC), apresentando seis repetições para cada teste realizado.

A norma NBR 9781:2013 recomenda a utilização de no mínimo seis amostras para o teste de inspeção visual, seis amostras para o teste de resistência à compressão e três amostras para o teste de absorção de água, porém para um resultado mais confiável, decidiu-se utilizar a quantidade de seis amostras para cada teste.

Desta forma, foram confeccionados 18 corpos de prova para cada tratamento. Levando em consideração que foram feitos três testes, o total de corpos de prova fabricados foi de 72.

Para calcular a porcentagem correta de cada componente (matéria prima) da proporção composicional para esta quantia de peças, os mesmos foram pesados (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa dos componentes da proporção composicional

Matéria prima	Massa (kg)
Areia	31,5
Pedrisco	36,2
Cimento	29,3
Pó de vidro	18,5

Depois de conhecer o peso dos componentes, calculou-se a quantidade necessária de cada componente para confeccionar 18 pavers (Tabela 3).

Tabela 3 – Proporções de matéria prima para quantidade de pavers confeccionados para cada teste

100 Pavers	Massa (kg)	18 Pavers	Massa (kg)
4 Latas de areia	126	0,72 Lata de areia	22,68
3 Latas de pedrisco	108,6	0,54 Lata de pedrisco	19,55
1 Lata de cimento	29,3	0,18 Lata de cimento	5,27
3 Litros de água	3	0,540 Litros de água	0,54

Uma vez definida a quantidade de matéria prima necessária para confecção dos corpos de prova para cada tratamento, foi calculado a quantidade de pó de vidro a ser incorporado a cada tratamento (Tabela 4).

Tabela 4 – Massa e medidas das matérias primas para cada tratamento

Tratamento	Areia	Pedrisco	Cimento	Água	Pó de vidro
Tratamento 1	22,68 kg	19,55 kg	5,27 kg	0,540 litros	-
Tratamento 2	20,41 kg	19,55 kg	5,27 kg	0,540 litros	1,33 kg
Tratamento 3	18,14 kg	19,55 kg	5,27 kg	0,540 litros	2,66 kg
Tratamento 4	15,87 kg	19,55 kg	5,27 kg	0,540 litros	3,99 kg

Utilizou-se uma betoneira (Figura 9) para fazer a mistura dos componentes de acordo com o respectivo tratamento. A cada mistura a betoneira era lavada, evitando contaminação com misturas diferentes de pó de vidro.



Figura 9 – Betoneira utilizada na mistura dos componentes

Após a mistura dos componentes, a massa cimentícia formada foi colocada em formas, e posteriormente, as formas foram dispostas sobre uma mesa vibratória para que a massa ficasse bem distribuída na forma (Figura 10). O excesso de massa sobre a forma era retirado com o auxílio de uma desempenadeira.



Figura 10 – Mesa vibratória

Os corpos de prova foram separados de acordo com a porcentagem de pó de vidro que possuíam, cada grupo ganhou uma etiqueta com os valores estipulados das porcentagens para evitar que fossem misturados (Figura11). Para o processo de cura os corpos de prova permaneceram expostos ao sol por um período de sete dias.



Figura 11 – Grupos etiquetados com os valores das porcentagens correspondentes

4.3 TESTES

As propriedades dos artefatos obtidos (corpos de prova) foram avaliadas por meio de testes de inspeção visual, resistência característica à compressão e absorção de água, conforme recomendações da NBR 9781:2013, que apresenta diretrizes para ensaios de peças de concreto para pavimentação.

Os testes de inspeção visual e resistência à compressão foram realizados nas dependências da empresa do Grupo SR, localizada no município de Itaipulândia, Paraná, no dia 30 de outubro de 2014. O teste de absorção de água foi realizado no Laboratório L32, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, no dia 27 de outubro de 2014.

Os dados obtidos durante a condução dos testes foram submetidos à análise estatística que contemplou a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, para a comparação das médias dos tratamentos, sendo que, para isso foi utilizado o programa estatístico Sisvar. Para a análise estatística considerou-se um nível de significância de 5%.

4.3.1 Inspeção Visual

Este teste foi realizado para identificar peças defeituosas que possam afetar o assentamento, o desempenho estrutural e estético do artefato. Foram analisados se os corpos de prova apresentavam aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, se os mesmos eram livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

4.3.2 Resistência Característica à Compressão

Este teste consistiu em submeter os corpos de prova na máquina de ensaio de compressão de marca Contenco, modelo I-3001-C digital (Figura 12a). Porém, antes de submeter os corpos de prova à máquina, foi realizada a medição dos mesmos com auxílio de um paquímetro, bem como, a saturação em água à aproximadamente 23°C, por 36 horas.

A máquina de ensaio de compressão era do tipo hidráulica com acionamento manual, com capacidade para 100 toneladas. O equipamento começou a exercer a carga sobre o corpo de prova (Figura 12b) até que ele se rompesse. Depois de rompido (Figura 12c), foi feita a leitura no equipamento que registra o pico máximo de carga em quilo grama força (kgf).

De acordo com a norma NBR 9781:2013, a resistência à compressão da peça, expressa em megapascais (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p, valor tabulado que é em função da altura da peça, sendo para tal usada equação (1):

$$f_{pk} = \frac{N}{mm^2} * p \dots\dots\dots (1)$$

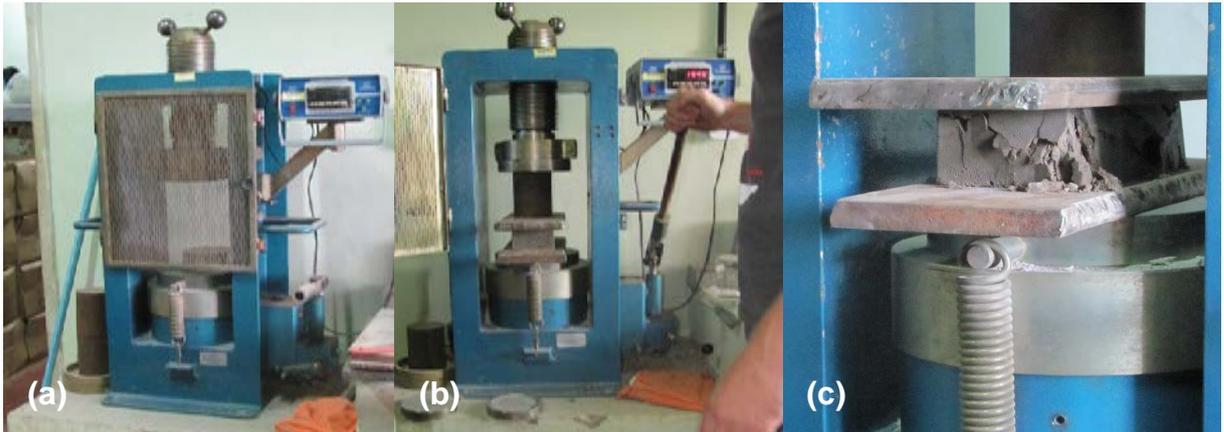


Figura 12 – Etapas do teste de compressão. a) máquina, b) teste, c) ruptura do corpo de prova

4.3.3 Absorção de Água

Para realização deste teste, os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas à temperatura de 23°C (Figura 13a) e pesados individualmente, para obter-se a massa saturada (Figura 13b). Após a pesagem, os corpos de prova foram colocados em estufa de circulação de ar marca Biopar, modelo - 252 AT, à 110°C por 12 horas (Figura 13c), sendo posteriormente pesados a cada duas horas, até que em duas determinações sucessivas não se registrasse diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior.

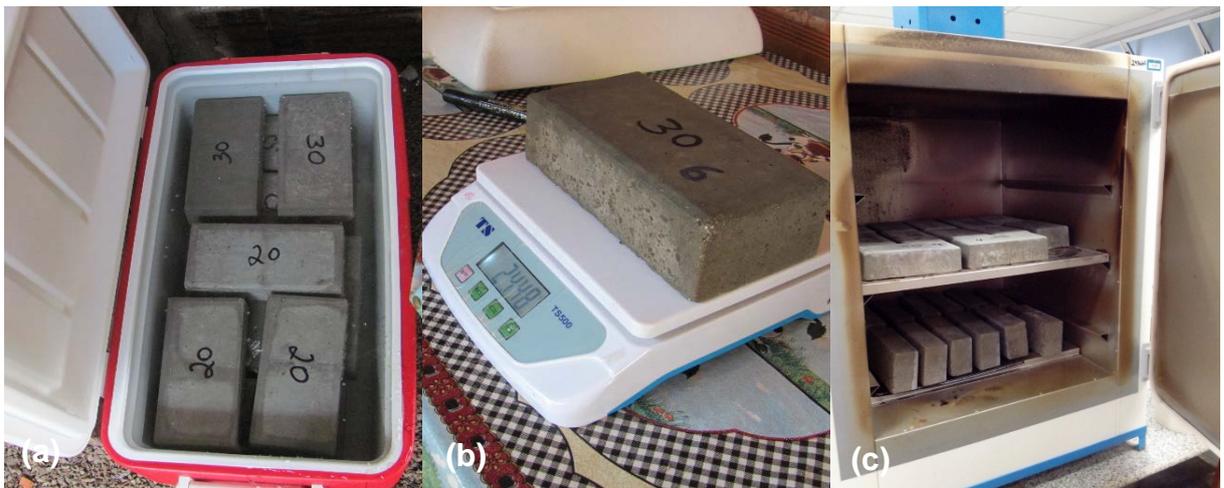


Figura 13 – Etapas do teste de absorção de água. a) submersão em água, b) pesagem, c) secagem em estufa

Depois de secos em estufa os corpos de prova foram pesados individualmente, obtendo-se assim, a massa seca. Com os valores das massas dos

corpos de prova úmidos e dos corpos de prova secos, determinaram-se os valores em porcentagem de absorção de água, sendo para tal, usada a equação (2):

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \dots\dots\dots (2)$$

Sendo, A = Absorção de Água, m_1 = Peso da massa seca e m_2 = Peso da massa saturada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta os valores médios dos resultados obtidos nos testes realizados, fazendo uma análise dos mesmos com objetivo de avaliar a influência do pó de vidro como agregado na massa cimentícia para fabricação de paver.

5.1 ANÁLISE DE INSPEÇÃO VISUAL

Segundo a NBR 9781:2013, as peças devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

Foram separados 6 corpos de prova de cada tratamento para realização da inspeção visual, sendo 4 tratamentos, no total 24 corpos de prova foram inspecionados. Cada corpo de prova foi observado individualmente, sendo que, todos os aspectos mencionados anteriormente foram inspecionados atentamente.

Os resultados para esta análise foram satisfatórios, pois com a adição do pó de vidro como agregado, independente da porcentagem utilizada (10%, 20% ou 30%), não se teve alterações nos aspectos físicos dos corpos de prova (Figura 14).



Figura 14 – Inspeção visual dos corpos de prova

5.2 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os testes de resistência à compressão realizados com os corpos de prova tinham como objetivo avaliar se os mesmos suportavam a aplicação de determinada carga sobre sua superfície.

Segundo a NBR 9781:2013, a resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação, deve suportar um peso maior ou igual a 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e um peso maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

Os corpos de prova foram submetidos ao teste de resistência à compressão com 10 dias. A norma preconiza a realização do teste com 28 dias. Para testes com corpos de prova com menor período de cura, os resultados devem atingir ao menos 80% do valor recomendado pela norma, ou seja, 28 MPa.

Para este teste foram utilizados 6 corpos de prova para cada tratamento, sendo um total de 24 corpos de prova. Os resultados médios obtidos nos testes para a verificação da resistência a compressão são apresentados na Tabela 5 e na Figura 15.

Tabela 5 – Dados referentes ao teste de resistência à compressão

Tratamentos	Nº de amostras	Carga de ruptura newtons (N)	Área de carregamento (mm²)
Testemunha	6	180.001,06	20000
10% Pó de Vidro	6	146.331,56	20000
20% Pó de Vidro	6	215.108,87	20000
30% Pó de Vidro	6	153.964,41	20000

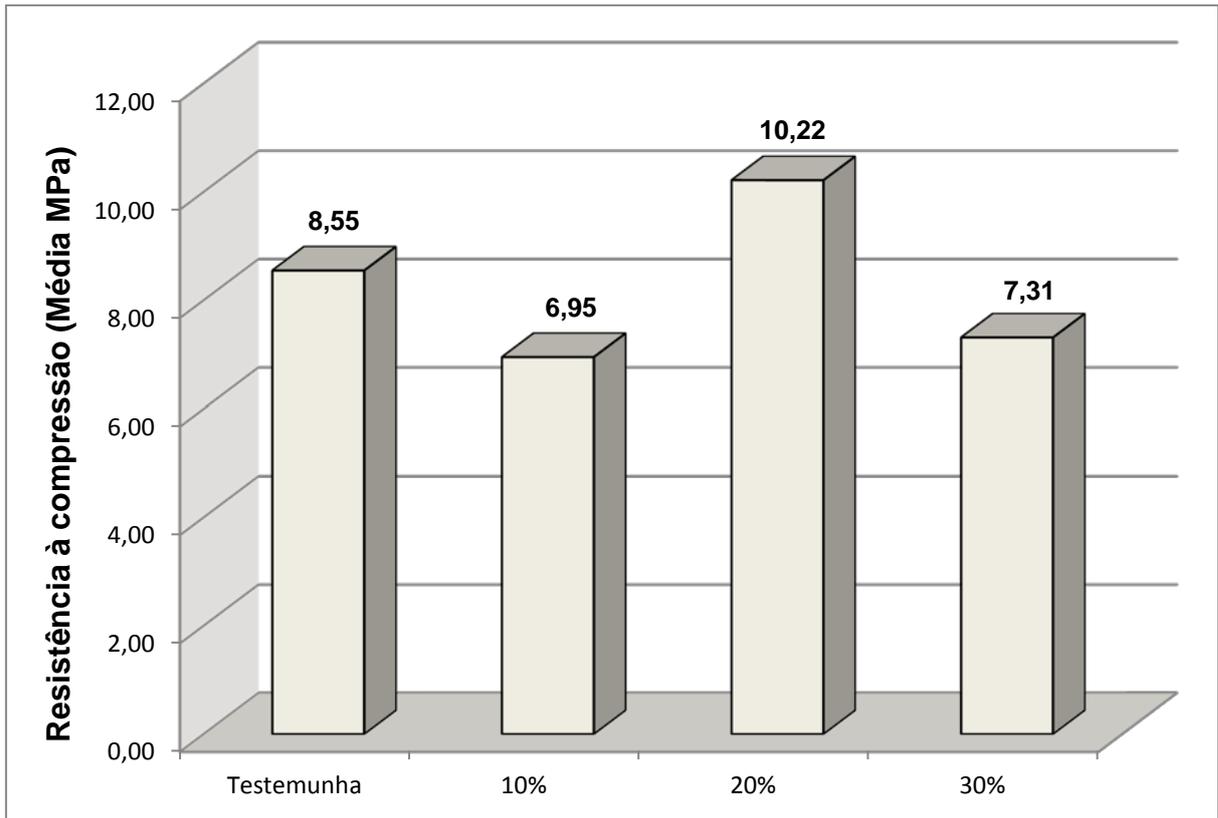


Figura 15 – Resistência média à compressão por tratamento

Em relação à análise estatística, os resultados da análise de variância (ANOVA), considerando um nível de significância de 5%, podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância para os resultados de resistência à compressão

FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab
TRATAMENTO	3	39,19	13,06	44,63	2,78
Erro	20	5,86	0,29		
Total corrigido	23	45,05			

De acordo com resultados apresentados na Tabela 6, pode-se observar que o valor de F calculado é 44,63, sendo maior que o valor de F tabulado (2,78), assim, considera-se que, as médias de resistência à compressão são estatisticamente diferentes para os tratamentos. Logo, procedeu-se o teste de Tukey, para comparação das médias (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios de resistência à compressão de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Valor recomendado NBR 9781:2013 (MPa)
Testemunha	8,55 b	0,59	6,90	28
10% Pó de Vidro	6,95 a	0,33	3,85	
20% Pó de Vidro	10,22 c	0,73	8,53	
30% Pó de Vidro	7,31 a	0,41	4,79	

Pelo teste de Tukey, conclui-se que as médias dos tratamentos 10% de pó de vidro e 30% de pó de vidro (6,95 e 7,31 MPa, respectivamente), são estatisticamente iguais, ou seja, apresentam a mesma capacidade de suporte de carga sobre sua superfície. Já, as médias da testemunha (8,55 MPa) e do tratamento 20% de pó de vidro (10,22 MPa) diferenciam-se das demais. O tratamento que apresentou o melhor resultado, estatisticamente, em termos de resistência à compressão, foi o de 20% de pó de vidro.

Ainda, quanto aos valores do coeficiente de variação (Tabela 7), pode-se perceber que o valor máximo foi de 8,53% (20% de pó de vidro), o que indica que os resultados obtidos nos testes de resistência à compressão apresentam baixa variabilidade, pois os valores de CV para os tratamentos são inferiores a 10%. Os valores do desvio padrão também foram baixos, indicando da mesma forma, baixa variabilidade dos resultados (MUCELIN, 2006).

Em termos comparativos, os resultados obtidos demonstram que nenhum dos tratamentos atingiu o valor de resistência à compressão recomendado pela norma NBR 9781:2013 (Tabela 8). Desse modo, pavers construídos com as porcentagens de pó de vidro utilizadas (10%, 20% e 30%) podem apresentar defeitos com tráfego intenso, não sendo recomendada a comercialização dos mesmos. Destaca-se que, como o tratamento testemunha apresentou o valor de 8,55 MPa, a proporção composicional da massa cimentícia utilizada como referência para os testes pode não ser a indicada.

5.3 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O teste de absorção de água tem por finalidade simular o comportamento dos pavers expostos à condição climática de precipitação, lavagem ou qualquer outro fator que submeta os mesmos a condição de saturação por água.

De acordo com a NBR 9781:2013, os pavers devem apresentar absorção de água com valor médio ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%. Assim, a não conformidade indica que o paver absorve água acima do limite máximo permitido pela norma, reduzindo a resistência e ocasionando riscos aos usuários.

Para este teste foram utilizados 6 corpos de prova para cada tratamento, totalizando 24 corpos de prova. Os resultados médios obtidos nos testes de absorção de água são apresentados na Tabela 8 e na Figura 16.

Tabela 8 – Dados referentes ao teste de absorção de água

Tratamentos	Nº de amostras	Peso úmido médio (gramas)	Peso seco médio (gramas)
Referência	6	2564	2364
10% Pó de Vidro	6	2474	2234
20% Pó de Vidro	6	2456	2204
30% Pó de Vidro	6	2443,5	2163,5

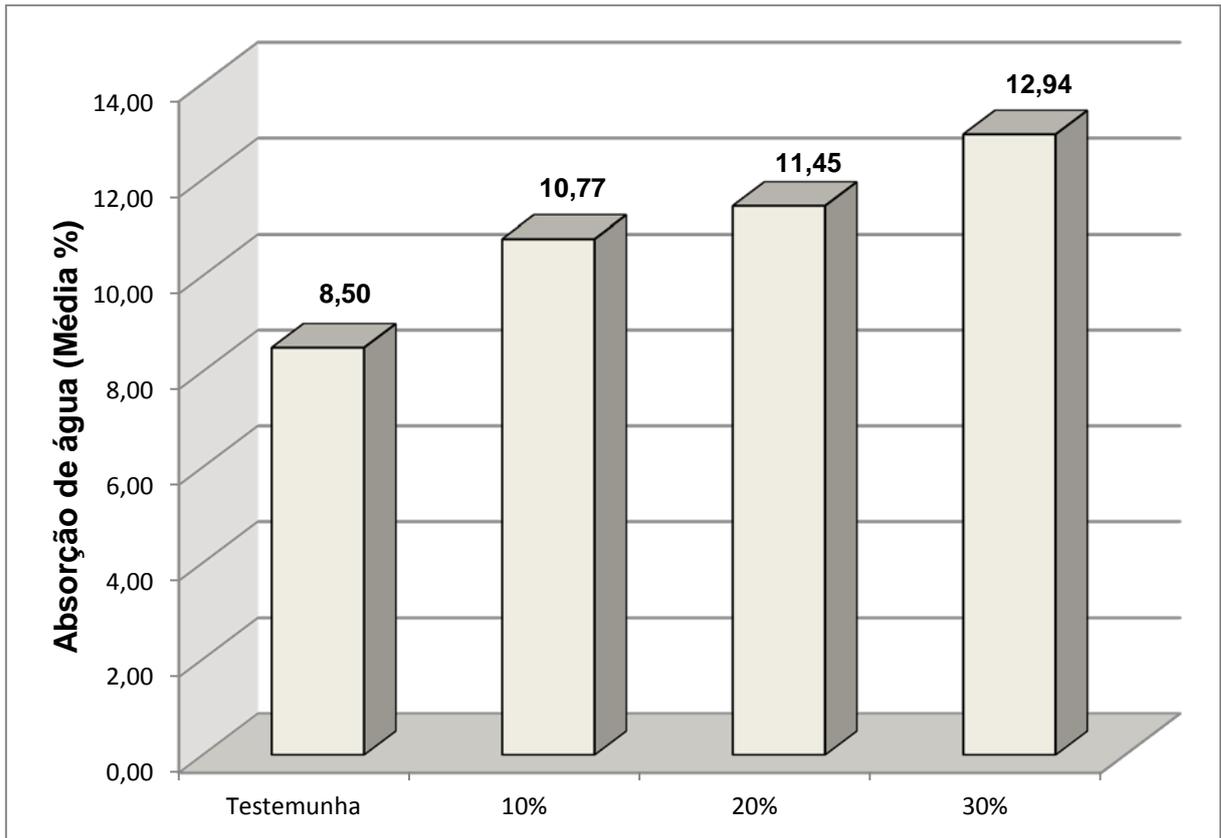


Figura 16 – Média de absorção de água por tratamento

Os resultados da análise de variância (ANOVA) podem ser visualizados na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de Variância para os resultados de absorção de água

FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab
TRATAMENTO	3	61,67	20,56	240,09	2,78
Erro	20	1,71	0,08		
Total corrigido	23	63,38			

De acordo com resultados apresentados na Tabela 9, pode-se observar que o valor de F calculado é 240,09, e que o valor de F tabulado é 2,78, assim, F calculado é maior que F tabulado, ao nível de significância de 5%, logo considera-se que, as médias de absorção de água são estatisticamente diferentes para os tratamentos.

Como ocorreu diferença significativa, realizou-se o Teste de Tukey, para comparação das médias, sendo que os resultados podem ser visualizados na Tabela 10.

Pelo teste de Tukey, conclui-se que as médias dos tratamentos (testemunha, 10%, 20% e 30% pó de vidro) são estatisticamente diferentes entre si, ou seja, nenhum dos tratamentos apresentou o mesmo comportamento quanto à absorção de água, sendo que, o tratamento 30% pó de vidro, apresentou a maior porcentagem de absorção (12,95%), o que indica uma maior saturação. Ainda, observa-se que, a absorção de água tende a aumentar com a adição do pó de vidro à massa cimentícia.

Tabela 10 – Valores médios de absorção de água de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Absorção média de água (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Valor recomendado NBR 9781:2013 (%)
Testemunha	8,49 a	0,26	3,06	
10% Pó de Vidro	10,76 b	0,27	2,51	Máximo 7%
20% Pó de Vidro	11,45 c	0,25	2,18	
30% Pó de Vidro	12,95 d	0,37	2,85	

Observando-se os valores do coeficiente de variação (CV), apresentados na Tabela 10, pode-se perceber que, os resultados obtidos nos testes de absorção de água apresentam baixa variabilidade, uma vez que, os valores de CV são inferiores a 10%. Os valores do desvio padrão também foram baixos, indicando da mesma forma, baixa variabilidade dos resultados (MUCELIN, 2006).

Em termos comparativos, os resultados obtidos (Tabela 10) demonstram que nenhum dos tratamentos atingiu a porcentagem de absorção de água recomendada pela norma NBR 9781:2013 (máximo 7%). Destaca-se que, como o tratamento testemunha apresentou uma porcentagem de 8,49%, a proporção composicional da massa cimentícia utilizada como referência para os testes pode não ser a indicada.

Em relação aos demais tratamentos, com adição de pó de vidro, já se esperava o aumento da absorção de água, pois ao longo do estudo, durante o preparo do pó de vidro, teve-se dificuldade para obter um material livre de umidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à inspeção visual, todos os corpos de prova dos tratamentos avaliados estavam de acordo com a norma NBR 9781:2013, não apresentando deformações, rebarbas ou esfrelamento. Também não houve variação em suas dimensões, as arestas permaneceram regulares e os ângulos retos.

Quanto ao teste de resistência à compressão, os resultados indicaram que independente do tratamento avaliado, os corpos de prova não apresentaram conformidade com a norma, sendo que estes não tem a resistência apropriada para a pavimentação intertravada de tráfego intenso.

Já no teste de absorção de água verificou-se que, conforme o aumento do porcentual de adição de pó de vidro a massa cimentícia, a porcentagem de absorção de água torna-se maior, sendo que os resultados obtidos não atendem o valor recomendado pela norma, afetando assim suas propriedades estruturais, e qualificando estes como impróprios.

Apesar dos resultados insatisfatórios obtidos nos testes de resistência à compressão e absorção de água, a incorporação do pó de vidro à massa cimentícia para fabricação de pavers, pode ser destacada por ser uma alternativa a destinação adequada deste resíduo. Dessa forma, o encaminhamento do pó de vidro da empresa geradora a uma empresa da região oeste do Paraná para agregar ao paver, seria um fator positivo do estudo.

Como sugestão para estudos posteriores, um fator que deveria ser observado, é o tempo de cura dos corpos de prova para os testes recomendados pela norma. Outra sugestão é em relação à proporção composicional dos corpos de prova, pois os resultados obtidos neste estudo foram insatisfatórios até mesmo para o tratamento utilizado como referência. Além disso, pode-se avaliar a utilização de outras proporções de matéria prima na composição da massa cimentícia, ou avaliar a influência da granulometria nas propriedades dos pavers, no intuito de obter-se os valores recomendados pela norma.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Paula Lima. **Aspectos da Sustentabilidade**: Estudo de Bloco para Vedação Produzido a Partir de Resíduos da Construção Civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Arquitetura). Universidade Fumec. Belo Horizonte: 2009.

ÂNGULO, Sergio C.; ZORDAN, Sergio E.; JOHN, Vanderley M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Seminário do Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo – SP, 2011. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 20 Jan. 2014, 22:10.

ANTUNES, Nicolae H. V; RODRIGUES, Roque R; FAGANELLO, Adriana M. P; FILLA, Julio C; BARDELLA, Paulo S. **Produção de blocos de concreto e pavers utilizando agregados reciclados**. 2011. 5 f. Disponível em: <http://www.unifil.br/portal/arquivos/publicacoes/paginas/2011/12/400533_publipg.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2014, 19:30.

ANUÁRIO pini da construção. São Paulo: Pini, 2011. 86 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS. **Panorama Vidreiro 2013**, São Paulo, n. 486, jun. 2013. Disponível em: <http://www.abra Vidro.org.br/encarte_panorama2013.asp>. Acesso em: 18 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:2013**. Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. **Reciclagem de Vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro>>. Acesso em 07 ago. 2014, 19:45.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.justicaeleitoral.jus.br/arquivos/lei-12-305-2010-pnrs/view>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

CARVALHO, Denise B. A. **Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2010. Disponível em: <http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3862>. Acesso em: 04 Ago. 2014, 15:37.

CEMPRE. (Compromisso empresarial para reciclagem). **Vidros - O Mercado para Reciclagem**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php>. Acesso em: 02 out 2014. 09:42.

COSTA, Ayrton V; GUMIERI, Adriana. G; BRANDÃO, P. R. G. Piso intertravado produzido com rejeito de sinterfeed. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais**, São Paulo, vol. 7, nº. 2, abr. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S198341952014000200004&script=sci_arttext>. Acesso em: 13 ago. 2014.

DIAS, Marcos, V. F.; Panorama da indústria de artefatos de concreto, cimento e fibrocimento no Estado do Paraná. **Minerais do Paraná**, Curitiba, 2008, 111p. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/ARTEFTAOS_relatorio%20Final.pdf >. Acesso em: 14 set. 2014.

DIAS, Guilherme G; CRUZ, Thiago M. de Sá. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Vítreos, (PGIRV)**. Belo Horizonte, nov. 2009. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoes/2010/vidros.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2014, 21:51.

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. 202 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <http://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=ptBR&user=S9YV1kYAAAAJ&citation_for_view=S9YV1kYAAAAJ:_kc_bZDykSQC>. Acesso em: 10 mar. 2014, 21:10.

FRANÇA, Rosiléa Garcia; RUARO, Édina Cristina Rodrigues. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v.14, n.6, p. 2191-2197, Dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000600026&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 17 set. 2014.

GARÉ, José Carlos. **Contribuições da construção civil brasileira para o desenvolvimento sustentável**. 2011. 164f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Administração, Universidade Municipal de São Caetano do Sul, São Caetano do Sul, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.uscs.edu.br/handle/123456789/252>>. Acesso em: 11 ago. 2014.

GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F.; SILVA, A. G. P. da. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 320, Dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000400018>. Acesso em 18 ago. 2014.

GODINHO, Dalter P. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente construído e patrimônio sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MMMD8PDDFY/disserta__o_dalter.pdf?sequence=1>. Acesso em: 08 Ago. 2014, 14:18.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v.17, n. 6, Jun. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232012000600014&lng=pt&nrm=iso&lng=pt>. Acesso em: 29 mai. 2014, 15:23.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Relatório da Situação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná 2012**. Curitiba, 2012, 51p. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Diagnostico_RSU_2012_VERSAO_FINALcomMAPAS.pdf>. Acesso em: 23 out. 2014, 23:54.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010, 219p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 25 out. 2014, 15:23.

LINO, Hélio F.C. **A indústria de reciclagem e a questão ambiental**. 2011. 291 f. Tese (Doutorado em História Econômica) - Programa de Pós Graduação em História do Departamento da Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8137/tde-27102011085538/publico/2011_HelioFranciscoCorreaLino.%20pdf>. Acesso em: 20 ago. 2014, 23:56.

LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P; NETO, E. B. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro moído como agregado fino. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 320, dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132005000400003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 02 jun. 2014, 14:23.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, América do Norte, v.1, n.3, dez. 2008. Disponível em: <<http://www.unicesumar.edu.br/pesquisa/periodicos/index.php/rama/article/view/850/663>>. Acesso em: 04 mar. 2014, 15:10.

LUZ, A. P.; RIBEIRO S. Uso de pó de vidro como fundente para produção de grês porcelanato. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, mar. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762008000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 jun. 2014, 21:30.

MARQUES, Fernando Rodrigues. Gás natural, inovação e economia de baixo carbono. **Revista Business School São Paulo**, São Paulo, v. 7, n. 3, mar. 2012. Disponível em: <<http://www.revistabsp.com.br/edicao-marco-2012/2012/03/28/gas-natural-inovacao-e-economia-de-baixo-carbono/>>. Acesso em: 18 ago. 2014.

MATOS, Ana Mafalda. **Estudo de Argamassa com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moído**. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2010.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 674 p. IBRACON, São Paulo, 2008.

MONTANO, Paulo F.; BASTOS, Hugo B. A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 38, p. 265-290. 2013. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3807.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2014.

MUCELIN, Carlos A. **Estatística elementar e experimental aplicada às tecnologias**. 2. Ed. Medianeira: Valério, 2006.

MUCELIN, Carlos A; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 111-124, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a08v20n1.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2014, 16:02.

NASCIMENTO, José W. B. *et al.* Blocos de concreto para construção modular de silos cilíndricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, Supl. 0, p.991–998, Nov/Dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141543662009000700023&script=sci_arttext>. Acesso em: 06 ago. 2014.

OLIVEIRA, João Carlos de. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Geotecnia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/5509>>. Acesso em: 11 ago. 2014.

RIBEIRO, Rafaela. **Como e porquê separar o lixo?**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porqu%C3%AA-separar-o-lixo>>. Acesso em: 22 out. 2014.

ROSÁRIO, Thaís do; TORRESCASANA, Carlos E. N. **Tijolo de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto**. 2011. 15 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2011. Disponível em: <<http://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1508.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2014, 23:15.

SALATA, Robinson. **Programa de incentivo à destinação correta do vidro**. 2008. 334 f. Tese (Doutorado - Área de Concentração: Design e Arquitetura) -Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-16072010-102544/pt-br.php>>. Acesso em: 20 ago. 2014, 22:34.

SANTOS, Amélia S. F. *et al.* Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 14, n. 5, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v14n5/23062.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2014.

SEMA Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Kit resíduos – Versão verde: desperdício zero**. 2. ed. Curitiba, 2009. 278 p.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 2007. 2 Ed.

SILVA, Ângelo J. C. e; BARBOSA, Fred R; MOTA, João M. F; CARVALHO, João R. de; **Utilização de vidro reciclado para produção de concreto verde em Fernando de Noronha**, Vitória, 2011. Disponível em: <http://www.vieiramota.com.br/artigo_revisado_%20elecs2011.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2014, 14:35.

VALÉRIO, Diogo; SILVA, Taís C. da; COHEN, Claude. **Redução da geração de resíduos sólidos: uma abordagem econômica**. 2008. 17 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal Fluminense, 2008. Disponível em: < <http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807211417570-.pdf>>. Acesso em: 03 Ago. 2014, 16:08.