

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DAUANY WICZNOVSKI

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO**

FRANCISCO BELTRÃO - PR

2019

DAUANY WICZNOVSKI

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO**

Projeto referente ao Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da UTFPR, Campus Francisco Beltrão.

Orientador: Prof. MSc. Wagner da Silveira

FRANCISCO BELTRÃO - PR

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS NA FABRICAÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO**

por

Dauany Wicznovski

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 16:40 horas, do dia 25 de novembro de 2019, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

Wagner da Silveira

(Presidente da Banca)

Marlise Schoenhals

(Membro da Banca)

Izadora Consalter Pereira

(Membro da Banca)

Denise Andréia Szymczak

(Professora Responsável pelo TCC)

Wagner de Aguiar

(Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental)

“A folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus e minha família. A Deus por ter me iluminado e a família por me apoiar e fortalecer em meus objetivos.

Ao meu orientador Prof. MSc. Wagner da Silveira por todo ensinamento durante essa caminhada, esse mérito não é só meu, é de todos nós.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos vão a todos os professores que tive nestes longos anos, obrigada por todas as aulas ministradas, obrigada por cada ensinamento.

A você meu orientador, Wagner da Silveira, obrigada por todos os ensinamentos tanto como orientador como professor, e também por todo apoio e compreensão neste último ano.

A professora Izadora Consalter Pereira, por toda ajuda e tempo disponibilizado para auxiliar-me neste trabalho.

A Professora Marlise Schoenhals, por todo conhecimento repassado nestes anos e por estar fazendo parte desta banca.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, por deixar o Laboratório de Engenharia Civil a nossa disposição para a realização das análises solicitadas.

Obrigada mãe por ser meu porto seguro e estar ao meu lado sempre, por enfrentar laboratórios comigo, e principalmente por nunca me deixar desistir.

Obrigada a minha namorada por me ajudar em tudo, desde o início me apoiando e estando presente, não medindo esforços para me ajudar, e pode ter certeza que um pouco dessa conquista também é sua.

Ao meu pai, meu mestre de obras por me ajudar colocando a mão na massa contribuindo na realização e na concretização do projeto.

Enfim, obrigada a cada um que de uma forma ou de outra, contribuiu na realização desse projeto, que me acompanhou fazendo parte dessa etapa.

Muito obrigada mesmo, e estamos juntos, sempre!

RESUMO

WICZNOVSKI, Dauany. **Incorporação de Resíduos Vítreos na Fabricação de Blocos de Concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão 2019.

Atualmente o crescimento populacional vem avançando de forma gradativa, aliado a este fator, é possível notar significativos problemas ambientais, que ocorrem devido à necessidade de ampliações e construções. Desta forma, conseqüentemente há aumento gradativo na geração de resíduos sólidos. Em decorrência, nota-se acúmulo de resíduos em lixões e aterros controlados, locais inapropriados para destinação final, além da desvalorização dos resíduos pela ausência da ocorrência dos processos de tratamento, como a reciclagem. Isso vem afetando de forma significativa o meio ambiente causando impactos negativos. O acúmulo de resíduos causa não somente a poluição atmosférica como também a poluição de solos e aquíferos. Deste modo, compreende-se que o vidro é um produto 100% reciclável, e sabe-se que no setor de construção civil, a demanda por areia é constante, sendo assim cada vez mais a retira dos rios. Neste trabalho foi avaliada a obtenção de blocos de concreto no setor da construção civil utilizando resíduos de pó de vidro como resíduo alternativo à utilização da areia. A partir disso, foram criados corpos de provas e posteriormente submetidos a testes com intuito de analisar o comportamento do vidro presente. Utilizou-se cimento da marca Votaram, areia média e fina, pó de pedra, vidro moído (pó de vidro) e água. A princípio foram produzidos três modelos de blocos, sendo o primeiro do modelo convencional, este apresentou apenas a mistura normal, sem acréscimo do pó de vidro. No segundo modelo de amostras, foram criados corpos de prova com adição de 10% de pó de vidro no lugar da areia fina, e por fim, o terceiro modelo com adição de 20% de pó de vidro. Foram realizados testes de resistência à compressão, absorção de água e análise de calor. Nos testes de resistência a compressão obteve-se maior resultado em N/m² - MPa (Mega Pascals) na qual, a partir dos resultados obtidos, a terceira amostra com 20% de pó de vidro mostrou-se mais resistente ao suportar maior carga até seu rompimento. Nos testes de absorção de água, os dois modelos com adição de pó de vidro se enquadraram dentro da normativa vigente, absorvendo em média 5,3% de água. Já no teste de calor, os diferentes tipos de amostras foram submetidas a temperatura de 100°C, esta análise não apresentou influência significativa da presença do pó de vidro. A partir dos testes realizados, os modelos produzidos mostraram-se eficazes, exceto o teste de resistência a compressão o qual não atingiu os padrões exigidos pela legislação. A partir do trabalho e análises realizadas, somente as análises de absorção de água atingiram os padrões estabelecidos pela norma, o que não torna os blocos indicados para utilização na pavimentação de vias.

Palavras-chaves: Meio Ambiente, Resíduos sólidos, Reciclagem, Vidro, Bloco de concreto.

ABSTRACT

WICZNOVSKI, Dauany. **Incorporation of vitreous waste in the manufacture of concrete blocks.** Course Conclusion Paper (undergraduate) - Bachelor of Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná, Francisco Beltrão 2019.

Currently population growth has been progressing gradually, coupled with this factor, it is possible to notice significant environmental problems, which occur due to the need for expansion and construction. Therefore, there is a gradual increase in solid waste generation. As a result, there is accumulation of waste in controlled dumps and landfills, inappropriate places for final disposal, in addition to the devaluation of waste due to the absence of treatment processes, such as recycling. This has been significantly affecting the environment causing negative impacts. Waste accumulation causes not only atmospheric pollution but also soil and aquifer pollution. Thus, it is understood that the glass is a 100% recyclable product, and it is known that in the construction sector, the demand for this material is constant, thus increasingly removing them from rivers. In this work the use of glass in civil construction was evaluated as an alternative waste to the use of sand. From this, specimens were created and subsequently subjected to tests to analyze the behavior of the glass present. Voted brand cement, medium and fine sand, stone dust, ground glass (glass dust) and water were used. At first three block models were produced, being the first of the conventional model, this one presented only the normal mixture, without the addition of the glass dust. In the second sample model, specimens were created with the addition of 10% glass dust instead of fine sand, and finally the third model with the addition of 20% glass dust. Compressive strength, water absorption and heat analysis tests were analyzed. In the compressive strength tests, a higher N/m^2 - MPa (Mega Pascais) result was obtained, in which, from the results obtained, the third sample with 20% glass dust was more resistant to bear higher load until its rupture. In water absorption tests the two models with the addition of glass dust were in accordance with current regulations, absorbing on average 5.3% of water. In the heat test, the different types of samples were submitted to a temperature of $100^{\circ}C$, this analysis showed no significant influence of the presence of the glass dust. From the tests performed, the models produced proved effective, except the compressive strength test which did not meet the standards required by the legislation. From the work and analyzes performed, only the water absorption analyzes reached the standards established by the standard, which does not make the blocks indicated for use in road paving.

Keywords: Environment, Solid waste, Recycling, Glass, Concrete block.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cimento Votoran	26
Figura 2 - Pedrisco utilizado como agregado graúdo	27
Figura 3 -Pó de vidro e peneira utilizada com diâmetro de 2 mm	27
Figura 4 - Areias utilizadas como agregados miúdos	28
Figura 5 – Moldes para corpos de prova	29
Figura 6 - Betoneira utilizada.....	30
Figura 7 - Moldes de PVC com massa cimentícia	30
Figura 8 - Corpos de prova após desenformados	31
Figura 9 - Prensa do ensaio de compressão com corpo de prova pós ensaio	31
Figura 10 - Corpos de prova em imersão em água.....	32
Figura 11 - balança digital.....	33
Figura 12 - Estufa utilizada	33
Figura 13 - Pontos de aferição de temperatura.....	34
Figura 14 - Termômetro digital.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Locais para destinação dos resíduos sólidos	17
Tabela 2 - Características dos principais materiais recicláveis	18
Tabela 3 - Composição do vidro	19
Tabela 4 - Procedimentos gerais recomendados para a manutenção de pavimentos intertravados de concreto	24
Tabela 5 - Amostras confeccionadas e dimensionamento dos materiais.	29
Tabela 6 - Testes de resistência a compressão com 14 dias de cura.	35
Tabela 7 - Testes a compressão com 28 dias de cura (completa).....	36
Tabela 8 - Peso de cada corpo de prova e porcentagem de absorção de água.	38

SUMÁRIO:

SUMÁRIO:	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	16
3.3 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	16
3.4 RECICLAGEM	17
3.5 VIDRO.....	19
3.5.1 História do Vidro	20
3.6 AREIA.....	21
3.7 CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE.....	21
3.7.1 Uso de agregados.....	22
3.7.2 Fabricação de paver	22
3.8 MÉTODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	24
3.8.1 Transferência de calor por condução	25
3.8.2 Transferência de calor por convecção	25
3.8.3 Transferência de calor por radiação	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS NA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	26
4.1.1 Cimento.....	26
4.1.2 Agregado graúdo.....	27
4.1.3 Pó de vidro	27
4.1.4 Areia 28	
4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	28
4.3 TESTES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	31
4.4 ANÁLISES DE ABSORÇÃO EM ÁGUA.....	32
4.5 ANÁLISES DE CALOR.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	35
5.2 ANÁLISES DE ABSORÇÃO EM ÁGUA.....	37
5.3 ANÁLISE DE CALOR.....	39
6 CONCLUSÕES	41

REFERÊNCIAS..... 42

1 INTRODUÇÃO

Em muitas cidades brasileiras até o momento não existe um destino adequado para a quantidade de resíduos, os quais são gerados diariamente, nem mesmo incentivos ao potencial de reciclagem, a qual sacie de forma total a demanda de reciclagem esperado. Com isso, o acúmulo e a superlotação dos lixões e aterros são indiscutíveis. Dessa forma, muitos resíduos que não são reciclados, poderiam ter um destino totalmente inverso o qual resultaria na reutilização no cotidiano das pessoas (ABRELPE, 2017).

A ideia de produzir objetos ou equipamentos que provenham da reciclagem se faz cada vez mais presente no século XXI, com isso, utilizar como matéria prima o vidro para resultar em imóveis, alavancando a economia de forma ecológica, se torna um tema mais atual e relevante na sociedade.

Sabe-se que o vidro em conjunto com cimento e areia pode-se ter como resultado um material resistente, quanto à resistência a rachaduras, impermeabilidade e absorção e perda de calor. Dessa forma, uniram-se os três elementos para criação de um paver ecológico, tornando possível contribuir com o meio ambiente e de modo geral melhorar a qualidade de vida da população.

Vale ressaltar o problema de escassez da areia no mundo, a qual se faz presente em grandes quantidades na produção de blocos de concreto. A areia pode ser extraída de duas maneiras, através de dragas retiradas nos leitos dos rios, como também através da mineração. Mesmo sabendo que a areia leva anos para se refazer no solo, a sua extração ainda é extremamente alta, um fato bastante preocupante para o mercado da construção, pois areias como de deserto e dunas não podem ser utilizadas para o mesmo fim, devido a presença de granulometrias impróprias. Portanto, a criação de amostras de blocos de concreto, além de influenciar na reciclagem e reaproveitar 100% o vidro, reduz altamente a quantidade de areia utilizada (POOR, 2018).

Contudo, a utilização de componentes de concreto vem crescendo em todo o mundo, 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).

Deste modo, o presente estudo teve como finalidade, analisar as características tecnológicas de componentes no concreto, feitos à base de cimento Votoran e como um dos agregados miúdos de resíduos vítreos. Assim, a partir deste estudo verificou-se a viabilidade

de reduzir o uso de matérias primas, utilizadas normalmente no processo convencional de fabricação dos pavers, com intuito de não alterar as características do mesmo.

Neste contexto, a reciclagem encontra-se ligada ao crescimento populacional, sendo temas relevantes neste estudo, pois são atividades que se encontram em constante crescimento na atualidade. Nesta análise, o foco da reciclagem é o vidro, por ser um material muito utilizado no cotidiano e por apresentar uma proporção de reaproveitamento, e por saber que seu processo natural de decomposição é longo, levando milhares de anos para sua completa decomposição na natureza.

Em relação à construção civil, um dos produtos que está sendo bastante usado é o paver, para calçadas, ruas e praças. A utilização do paver é uma opção viável e caracteriza-se por ser um material de fácil manutenção, o qual facilita a infiltração de água, sendo possível instalá-lo de várias maneiras, obtendo uma ótima aparência visual.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade de fabricação de pavers de concreto intertravados com a adição de diferentes proporções de vidro moído em substituição à utilização de areia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fabricar corpos de prova de concreto, com diferentes proporções de vidro moído;
- Avaliar a resistência mecânica a partir de ensaios de resistência a compressão;
- Avaliar a absorção de água dos corpos de provas;
- Analisar a perda de calor dos corpos de provas;
- Verificar a possibilidade da fabricação de blocos de concreto utilizando pó de vidro como agregado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduo sólido é definido 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 semissólido, 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).

Diante da progressiva expansão populacional e conseqüente aumento na geração de resíduos sólidos, surgiu a preocupação de destinação correta para essas grandes quantidades, estas que podem resultar de diversas atividades, industriais, domésticas, hospitalares, comerciais e agrícolas (BRASIL, 2004).

No ano de 2017, cerca de 29 milhões de toneladas (correspondente a 40,9% do total gerado), foram dispostos em lixões e aterros controlados, ou seja, estes montantes de resíduos sólidos urbanos foram destinados incorretamente. Estes métodos de destinação final são inapropriados, pois não possuem nenhuma medida de proteção para o meio ambiente ocasionando danos, impactos ambientais e à saúde pública, além de desvalorização dos resíduos (ABRELPE, 2017).

Segundo CEMPRE (2019) (Compromisso Empresarial para Reciclagem), uma pesquisa realizada pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica) mostrou que todo o material destinado para lixões e aterros e que poderiam ser reciclados ou aproveitados, geram uma perda de R\$ 8 bilhões por ano. Outro aspecto bastante relevante é o consumo de recursos naturais de forma desenfreada. Deste modo, a reciclagem seria uma ótima opção para que estes recursos não fossem consumidos além de contribuir na preservação do mesmo.

A Organização da Saúde define resíduo como “qualquer coisa que seu proprietário não quer mais em um determinado momento, e que não possui valor comercial”. Entretanto, com essa definição pode-se concluir que o resíduo sólido segregado na sua origem, ou seja, nas residências e empresas, e destinados à reciclagem, não pode ser considerado como material sem qualquer utilidade e sim, matéria prima (GABIALTI, 2019).

Segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10.004, de 30 de novembro de 2004, resíduos nos estados sólidos e semissólidos, resulta de atividades de origem doméstica, industrial, comercial, agrícola, se serviços de varrição, hospitalar, construção civil, entre outros. Ou seja, a geração de resíduos é inevitável, podendo de forma consciente ser reduzida e até mesmo reutilizada. Vários tipos de resíduos podem apresentar periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podendo apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Ao tratar-se de impactos ambientais, sabe-se que existem impactos tanto positivos quanto negativos, porém a elevada geração de resíduos sólidos no mundo vem agravando de forma negativa, isso se deve a prática de disposição inadequada destes resíduos. Muitas dessas práticas de descartes irregulares provocam a contaminação de corpos d'água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores causadores de doenças, entre outros. Somando também de forma negativa a poluição visual, mau odor e contaminação do meio ambiente (MUCELIN; BELLINI, 2008, p.113).

No Brasil é dever do Poder público o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos nas cidades. Os serviços de coleta, manejo, limpeza pública e destinação final adequada, podem custar até 20% do orçamento das prefeituras (IBGE, 2008, p. 59).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), 61,2% das prestadoras de serviços são vinculadas diretamente com a administração pública, 34,5% empresas de regime pública ou terceirizada, e 4,3% de outros vínculos empregatícios. De acordo com a pesquisa, mais de 56% dos municípios possuem empresas privadas atuando no setor, o que indica uma tendência na terceirização dos serviços prestados. Em destaque fica o estado do Rio Grande do Sul com aproximadamente 60,2%, Santa Catarina assume a segunda posição com 55,3% e por último o Paraná, com 51,7%.

O problema ambiental gerado pelo resíduo sólido vem enfrentando dificuldades e pouca solução, pois, cerca de 82% das cidades brasileiras não apresentam ou não prestam um serviço de coleta onde prevê a segregação dos resíduos na fonte (RIBEIRO, 2012).

3.3 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O conhecimento sobre a composição dos resíduos sólidos, tanto qualitativa como

quantitativamente é de suma importância, pois é a base para a definição do acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final a serem empregadas corretamente a esses resíduos visando à diminuição dos impactos ambientais que estes podem provocar (VALÉRIO; SILVA; COHEN, 2008, p.5).

Segundo França e Ruaro (2009, p. 2193), no Brasil, os resíduos sólidos podem ser destinados para lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Os locais de destinação ambientalmente apropriados para os rejeitos são os aterros sanitários. A Tabela 1 apresenta uma descrição detalhada de cada método de destinação.

Tabela 1 - Locais para destinação dos resíduos sólidos

Destino	Descrição
Lixões	Método mais utilizado, não há separação dos resíduos sólidos, o acondicionamento é precário, os resíduos são alocados a céu aberto, contaminando o ambiente, sendo atrativa a presença de pessoas e animais no local.
Aterro controlado	Área na qual é implementada uma medida mínima de controle ambiental, como: isolamento, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra, controle de entrada de resíduos, entre outras.
Aterro sanitário	É a disposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua cobertura diária. Uma vez depositados, os resíduos sólidos se degradam naturalmente por via biológica até a mineração da matéria biodegradável, em condição fundamentalmente anaeróbia.

Fonte: França e Ruaro (2009, p.2193).

3.4 RECICLAGEM

Reciclagem, segundo a PNRS, pode-se classificar como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação novos produtos” (BRASIL, 2010).

Para França e Ruaro (2009, p. 2193), reciclagem é um processo de tratamento do resíduo sólido anterior a destinação final. Desta forma, procura-se reutilizar e reduzir ao máximo a geração de resíduos, diminuindo a pressão sobre os aterros sanitários.

Para ABRE (Associação Brasileira de Embalagens), a reciclagem nada mais é que uma atividade industrial que processa matéria-prima transformando-a em outra matéria-prima, com maior valor agregado gerando um novo produto. Visando a reciclagem de maneira econômica, a mesma gera emprego e renda a partir da recuperação desses resíduos já utilizados. Além disso, o Programa Brasileiro de Reciclagem (PBR) tem como objetivo estimular a reciclagem para que ela se torne mais abrangente e efetiva, aumentando visivelmente os índices já atingidos no Brasil.

Portanto, a reciclagem é de extrema importância, pois o processo produtivo dos materiais consome muitos recursos naturais, os quais são esgotáveis e muitos podem demorar décadas para se decompor na natureza, conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Características dos principais materiais recicláveis

Material	Preservação	Tempo de decomposição
Lata de alumínio	5.000 kg minério	100 a 500 anos
Garrafa PET	Milhares de litros de petróleo	200 a 450 anos
Embalagem longa-vida	Corte de 20 árvores	1 a 3 meses
Papel branco	Corte de 20 árvores	1 a 3 meses
Papelão	Corte de 20 árvores	1 a 3 meses
Vidro incolor	1.300 kg areia	4000 anos

Fonte: Departamento de limpeza urbana (LIMPURB), Associação de Empresas de Limpeza Urbana (ABRELPE).

Para que haja preservação e conservação do meio ambiente a reciclagem se torna importantíssima, pois irá reduzir de forma significativa o uso dos recursos naturais não renováveis do planeta, satisfazendo as necessidades da população atual, sem comprometer as gerações futuras (LUCAS; BENATTI, 2008, p. 415).

A reciclagem vem tomando grandes proporções e destaque no setor industrial, ganhando força nos últimos anos com investimentos para estimular o retorno da embalagem de vidro descartável como matéria-prima. Sabe-se que, com um quilo cascos de vidro é possível produzir um quilo de vidro novo, com perda zero e sem poluição para o meio ambiente. A prática da reciclagem permite poupar matérias-primas naturais, barrilha, calcário, areia entre outros (ABIVIDRO, 2014).

Os produtos vítreos são 100% reaproveitáveis, ou seja, por meio da reutilização como

o reenvasamento de garrafas, ou até mesmo na sua reciclagem e fabricação de novos produtos de vidro (GODINHO; HOLANDA; SILVA, 2005, p. 419).

Sabe-se que a reutilização do vidro consome menos energia, emissão reduzida de ruídos e particulados de CO₂, contribuindo de forma positiva na preservação do meio ambiente. Assim como menor geração e descarte de resíduos sólidos, diminuindo custos das prefeituras com coletas urbanas, e aumentando a vida útil dos aterros sanitários, pois estes possuem certa capacidade e prazo até sua desativação (ABIVIDRO, 2014).

3.5 VIDRO

O vidro como resíduo reciclável e material de estudo desse trabalho, pode ser definido como o produto amorfo resultante da fusão e posterior solidificação de uma mistura de materiais inorgânicos. As matérias-primas mais comuns são sílica, barrilha, calcário e alumina, conforme apresentado na Tabela 3. Estes óxidos têm pontos de fusão bastante elevados, por isso são necessárias temperaturas da ordem de 1.600°C para obter o vidro fundido. Para atingir essas temperaturas a indústria utiliza fornos de revérbero, os quais usam como fontes combustíveis líquidos ou gasosos para o aquecimento (BNDES, 2019).

Tabela 3 - Composição do vidro

Material	%
Sílica (SiO ₂)	74
Óxido de Sódio	12
Alumina (Al ₂ O ₃)	2
Óxido de Cálcio (CaO)	9
Óxido de Magnésio (MgO)	2
Óxido de Potássio (K ₂ O)	1

Fonte: Abividro.

Conforme mencionado, o vidro é um material 100% reciclável. Sua produção a partir do próprio vidro consome menos energia e emite menos resíduos particulados de CO₂. Cada tonelada reciclada poupa 1,3 kg de areia. O tempo de decomposição desse resíduo é longo. Sua reciclagem e coleta geram postos de trabalhos, principalmente para as populações de baixa renda (TEIXEIRA, 2010).

Estima-se que o consumo per capita de vidro no Brasil, gira aproximadamente em 12kg/hab/ano, sendo inferior as médias dos Estados Unidos e da União Europeia. Todavia, tudo leva a crer que a demanda deverá crescer ainda mais nesse setor, principalmente devido à aceleração da produção industrial, dados de 2006 (BNDES, 2019).

3.5.1 História do Vidro

O vidro era manuseado por egípcios, sírios, assírios, babilônios, romanos e gregos, mesmo não se tendo uma referência concreta em relação à data o que se tem. Muitos autores atribuem à descoberta acidental aos navegadores fenícios. Já outros contestam, indicando povos mesopotâmicos e egípcios que já dominavam técnicas para fabricação de vidro, há cerca de 5 mil anos (SALATA, 2008, p. 146).

O surgimento do vidro plano ocorreu entre os anos 500 a 600 D.C., obtido através de uma técnica utilizada até o século XIX, onde consistia em soprar uma esfera e expandi-la por rotação em forno. Posteriormente, em 1200 D.C. foi descoberto o método de sopro de cilindros, onde a ação simultânea do sopro e da força de rotação formava um cilindro côncavo, que era cortado em um forno de recozimento e depois estendido para formar vidro plano (LINO, 2011, p. 217).

Entretanto, foi somente após a revolução industrial que a produção em grande escala se tornou possível, através dos avanços tecnológicos foi o que possibilitou a descoberta dos processos de folha estirada e de flutuação, o que foi revolucionário para o setor (LINO, 2011, p. 217).

3.5.1.1 Processo produtivo

Para Marques (2012, p.3), as fases de fabricação exigem um perfeito controle da temperatura, até mesmo na pós-fabricação, favorecendo o uso do gás-natural, sendo aplicado nos principais equipamentos do setor, como fornos de fusão, de temperatura, queima e linha de choque térmico.

Após o processo de produção do vidro, o mesmo pode ser comercializado diretamente com o consumidor final, através de grandes empresas, distribuidores, lojas e vidraçarias, abrangendo um público em geral. O vidro pode ser adquirido em propriedades específicas, ou utilizado em sua forma tradicional de fabricação (MONTANO; BASTOS, 2013, p. 270).

3.6 AREIA

A areia é resultante da fragmentação de rochas como quartzo, basalto, calcário, sílica, granito e gnaiss, podendo ser classificada como um agregado miúdo. O tipo de areia utilizada na construção civil é composto principalmente por quartzo, mas pode haver variação dependendo do tipo de rocha a qual é originada, como: feldspato, mica, magnética, entre outros (PRACONSTRUIR, 2019).

Por sua vez, a areia natural, ou lavada, é a mais utilizada em obras. Ela é extraída dos leitos dos rios através de dragas de sucção. As dragas bombeiam a água contendo areia, onde o material sólido é separado da água devido à diferença de densidade. Feito isso a areia é transportada para a comercialização e separada conforme suas granulações, sendo elas, finas, médias e grossas (PRACONSTRUIR, 2019).

Além disso, existe também a extração de areia natural em minas, pelo método de cava seca. Neste caso, a extração é realizada através da escavação em locais onde houve acúmulo de areia por anos. Essa areia retirada passa por peneiramento para separação de pedras e vegetação, onde possa posteriormente ser separada por granulações para comercialização (PRACONSTRUIR, 2019).

Devido sua granulação e quantidade de sal, as areias de praias e dunas não são utilizadas na construção civil. O sal prejudica a fabricação de concretos e argamassas, pois impossibilita que a secagem ocorra de forma correta (PRACONSTRUIR, 2019).

Com isso, a produção de areia natural é um processo lento, sabe-se que a mesma é frequentemente colhida em um ritmo mais rápido do que é reabastecida. Conseqüentemente problemas de escassez são acarretados, tornando-se uma preocupação mundial (POOR, 2018).

Portanto, torna-se essencial um gerenciamento cuidadoso quanto à extração compulsória da areia, pois se sabe que é uma parte essencial no desenvolvimento econômico global e do crescimento sustentável. Estudos relatam que sem uma ação imediata, impactos dessa iminente crise serão sentidos em breve (BROWN, 2019).

3.7 CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE

O setor da construção civil além de gerar resíduos sólidos é alto consumidor de recursos naturais. Com a grande preocupação no segmento de transformação do meio ambiente, este setor torna-se cada vez mais preocupante, as práticas e procedimentos na construção sustentável, trouxeram outra realidade no setor, caracterizadas pelo uso racional dos recursos naturais, tornando-se visíveis nos processos de gestão (GARÉ 2011, p. 19).

Os resíduos sólidos gerados durante os processos de construção e demolição causam inúmeros problemas socioambientais quando não dispostos de forma adequada, como 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. É possível atribuir a reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil e usar os agregados gerados para pavimentação, confecção de concretos, argamassas, blocos e outros, tornando assim a reutilização destes resíduos, auxiliando positivamente quanto à superlotação dos lixões e aterros (OLIVEIRA 2007, p. 1).

3.7.1 Uso de agregados

Os agregados são adicionados com a intenção de melhorar as características dos concretos e com intuito de diminuir a quantidade de materiais destinados aos aterros. A reutilização do vidro no Brasil é pouco vista, pois os aterros como destinação destes resíduos ainda é uma forma economicamente viável em vista da reciclagem, manuseio e geração da nova matéria prima. Já em outros países como na Austrália, o vidro foi estudado e utilizam-no moído proveniente do lixo em concretos para a construção (LÓPEZ; AZEVEDO; NETO, 2005, p. 3).

3.7.2 Fabricação de paver

Para que haja um processo de fabricação de qualidade, desde a entrega dos materiais até a cura dos blocos, é necessário um controle rigoroso. O cimento após ser entregue deve ser armazenado em silos e logo liberado para uso. Após este procedimento, tem-se a etapa da mistura para adquirir o traço desejado, sendo a proporção entre água, cimento e agregados (ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO, 2011, p.86).

Uma grande característica que exerce influência direta no concreto, é a granulometria do agregado utilizado, pois a quantidade de água varia conforme a granulometria. Quanto menor, mais água se utiliza para envolver os grãos, porém nunca em excesso, pois esta pode prejudicar a trabalhabilidade, moldagem e cura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p.77).

Para Antunes et al. (2011, p. 2), existem pelo menos três processos básicos de fabricação, sendo o mais utilizado a partir de vibro prensas. Já o segundo processo se denomina como processo dormido, em que o material é posto em formas permanecendo pelo

menos 24 horas. Porém, é mais lento e de menor produtividade, mas produz peças com melhor acabamento. O terceiro processo, chamado de concreto virado, utiliza uma mistura mais seca do que a utilizada nos outros processos, após a moldagem a mistura é desenformada e alocada sobre uma superfície horizontal onde se dá início ao processo de cura. Sendo assim, os processos mais indicados são do tipo “dormido” e “virado”.

Após o processo de fabricação os produtos são empilhados em locais de pouco fluxo, e em seguida plastificados com um filme de polipropileno. Antes de serem vendidos aos consumidores, os produtos são levados até uma câmara a vapor, com temperatura média de 80°C e umidade a 100%, para acelerar o processo de cura. Os produtos permanecem na câmara a vapor por um período de aproximadamente 12 horas, até atingir resistência adequada. Com isso, é realizado o controle tecnológico após dois dias em alguns blocos sortidos de cada lote, e repetido depois de 28 dias que é o período de cura total destes (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.

Segundo Fioriti (2007, p. 2), a vida útil do pavimento intertravado, pode ser de até 25 anos, desde que haja projetos apropriados, sejam blocos de boa qualidade e que os mesmos estejam muito bem assentados.

O assentamento do paver deve ser feito diretamente sobre um fino colchão de areia ou pó-de-pedra (entre 4 a 7 cm). O travamento das peças ocorre através do preenchimento das juntas com areia fina, atribuindo capacidade de transmissão lateral das cargas entre as unidades, tornando este tipo de pavimento ideal para qualquer tipo de obra de pavimentação. Estes possuem maior durabilidade, características de drenagem natural e permeabilidade, resistência à abrasão e anti-derrapagem, aproveitamento cerca de 30% da iluminação natural e tendo uma redução de até 4°C da temperatura ambiente, isso quando comparado com o pavimento asfáltico (DIAS, 2008, p. 46).

Existem formatos diferenciados e com diferentes propriedades estéticas como, por exemplo, diferentes cores, isso se dá através da adição de pigmentos aos blocos pré-moldados, para que obtenham a cor desejada. Pode-se atribuir cores como, vermelho, ocre, preto e marrom, através da adição de óxido de ferro, a cor verde através do cromo e azul pelo cobalto, tendo em vista que estes são os pigmentos mais utilizados na coloração dos blocos (CARVALHO, 2011, p. 36).

3.7.2.1 Manutenção

Para Carvalho (2011, p. 40), a manutenção dos pavimentos é bastante simples, não necessita de mão-de-obra especializada e se for realizada periodicamente evita-se a necessidade de reforços estruturais ou reconstruções. Na Tabela 4 são apresentadas recomendações para manutenção dos pavimentos intertravados.

Tabela 4 - Procedimentos gerais recomendados para a manutenção de pavimentos intertravados de concreto

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 reposição de peças trincadas ou deslocadas.
Recomposição do pavimento	Quando houver desgaste do revestimento, para que ele possa ser restaurado apenas com a troca da face do bloco.

Fonte: Carvalho (2011, p. 41).

Para Godinho (2009, p. 67), os defeitos superficiais e degradações, que consistem no aparecimento de fissuras, desgastes, quebra dos blocos, afundamento, ondulações e depressão, são os principais problemas relacionados com a falta de manutenção ou manutenção incorreta.

3.8 MÉTODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Admite-se que a transferência de calor ocorre por três modos (ou mecanismos) distintos, cuja caracterização é feita a partir de modelos baseados nas leis de Stefan-Boltzmann, de resfriamento de Newton e de Fourier; que tratam da condução, convecção e radiação. É importante ressaltar que, em sistemas físicos reais, os três mecanismos de transferência de calor estão presentes (INCROPERA, 2008).

3.8.1 Transferência de calor por condução

A transferência de calor é uma energia térmica que se propaga devido às diferenças de temperaturas no espaço, sendo sempre da maior para a menor (molécula a molécula). Não existe movimento na condução, e para que haja propagação do calor o meio deve estar em regime estacionário, isto é, para os estados, sólido líquido e gasoso. Na transferência de calor por condução, ocorrem as interações das partículas, onde, as mais energéticas transferem energia para as menos energéticas (INCROPERA, 2008).

De acordo com Bergaman (2015), o cientista Francês Fourier propôs a equação chamada Lei de Condução de Fourier para definir a condutividade, e o mesmo afirma que temperaturas mais elevadas agregam maiores energias moleculares, o que estão relacionadas com o movimento das moléculas.

3.8.2 Transferência de calor por convecção

Essa transmissão de calor ocorre entre um corpo sólido e um fluido em movimento, podendo o corpo fluído ser líquida ou gasosa. A convecção pode ser tanto natural como forçada, e acredita-se ser natural quando o movimento do fluído ocorre devido a variações de seu peso específico (densidade). Já na forçada o movimento do fluido é provocado por uma bomba, no caso de um líquido, ou por um ventilador, no caso de um fluído gasoso (RODRIGUES, 2017).

Segundo Çengel (2012), se o fluido é forçado a fluir sobre a superfície, por meios externos, como bomba, ventilador, ou vento, denomina-se convecção forçada. Se o movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, denomina-se convecção natural.

3.8.3 Transferência de calor por radiação

A transferência de calor por radiação se difere dos outros métodos, devido ao seu processo ocorrer por meio de ondas eletromagnéticas, e não necessitar de um meio para transporte, sendo assim, propagando-se em todas as direções, inclusive no vácuo (DIAS, 2009).

Para este autor a emissão de energia ocorre além das ondas eletromagnéticas, constituído por parte do espectro eletromagnético, como também por meio da emissão de fótons, que é absorvida pela vizinhança, isso se denomina radiação térmica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os locais estabelecidos para o desenvolvimento do trabalho e realização das análises foram a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão (UTFPR-FB) e Campus Pato Branco (UTFPR-PB).

4.1 MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS NA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As matérias primas utilizadas na mistura da massa de concreto para a confecção dos corpos de prova foram: cimento, pó de pedra (pedrisco) definido como agregado graúdo, como agregados miúdos utilizaram-se pó de vidro e areia, sendo a areia utilizada em 50% fina e 50% média, e água para a mistura e agitação.

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo Votoran, caracterizado como um cimento Premium, com secagem 3 vezes mais rápida e 20% mais resistência. Este cimento pode ser facilmente obtido em lojas de materiais de construção para venda e comercialização.

Figura 1 - Cimento Votoran



Fonte: Votorantim cimentos.

4.1.2 Agregado graúdo

O pedrisco utilizado como agregado graúdo, possuía granulometrias de 4 à 8,5mm. Podendo também ser adquirido em lojas de materiais de construção (Figura 2).

Figura 2 - Pedrisco utilizado como agregado graúdo



Fonte: Pedreira Lageado.

4.1.3 Pó de vidro

O pó de vidro utilizado nos testes (Figura 3) foi adquirido na empresa Mafessoni Retifica de Motores, situada na cidade de Francisco Beltrão. O material foi obtido moído, sendo necessário apenas o peneiramento para a separação das granulometrias, o qual foi de 2 mm de diâmetro.

Figura 3 -Pó de vidro e peneira utilizada com diâmetro de 2 mm



Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Areia

Foram utilizadas areias de diferentes granulometrias, sendo considerada fina de granulometrias entre 0,06 e 0,2mm. A areia média caracteriza-se pela granulometria entre 0,2 e 0,6mm, conforme apresentadas na (Figura 4).

Figura 4 - Areias utilizadas como agregados miúdos



Fonte: Chico D`areia.

4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados na cidade Francisco Beltrão PR, no dia 06 de setembro de 2019. O processo foi acompanhado por um mestre de obras, que acompanhou e auxiliou no dimensionamento dos materiais utilizados.

Foram adaptados canos de PVC com altura de 20 cm por 10 cm de diâmetro, tamanho o qual foi usado para a confecção de corpos de prova de acordo com a NBR 5738:2015, conforme demonstrado pela Figura 5. A parte inferior dos canos de PVC foram selados com lacres para não ocorrer escoamento do material, uma vez que o material apresenta fluidez.

Figura 5 – Moldes para corpos de prova



Fonte: Autoria própria.

Após a adaptação para a confecção dos corpos de prova, foi dimensionada a quantidade de material a ser utilizado para cada modelo de blocos de provas. Deste modo, foram confeccionadas 18 unidades de cada modelo.

- Amostra 1 – Massa cimentícia convencional sem adição de pó de vidro;
- Amostra 2 – Massa cimentícia com substituição de 10% de pó de vidro na areia fina.
- Amostra 3 – Massa cimentícia com substituição de 20% de pó de vidro na areia fina.

Após a definição da quantidade de matéria prima necessária para a confecção dos corpos de prova para cada modelo de amostra, calculou-se a quantidade de pó de vidro a ser incorporada (Tabela 5).

Tabela 5 - Amostras confeccionadas e dimensionamento dos materiais.

Amostra	Água	Areia fina	Areia média	Cimento	Pedrisco	Pó de Vidro
Convencional	4,2 litros	11,8 kg	11,8kg	11,7 kg	35,1 kg	---
Amostra 1	4,2 litros	10,62 kg	11,8kg	11,7 kg	35,1 kg	1,18 kg
Amostra 2	4,2 litros	9,44 kg	11,8kg	11,7 kg	35,1 kg	2,36 kg

Fonte: Autoria própria.

Para a etapa de preparo do cimento, contou-se com o auxílio de uma betoneira (Figura 6), a qual teve como principal função a homogeneização dos materiais. Após cada mistura a betoneira foi lavada com água corrente, evitando assim a mistura de materiais nos próximos procedimentos.

Figura 6 - Betoneira utilizada



Fonte: Autoria própria.

Após a mistura dos materiais e a massa de cimento formada, as mesmas foram colocadas nas formas conforme apresentado na Figura 7. Foram utilizados canos de PVC com vedação na parte inferior, constituídos de plásticos de 10 mm, com alta resistência ao calor, e lacres para que não houvesse escape da massa cimentícia.

Figura 7 - Moldes de PVC com massa cimentícia



Fonte: Autoria própria.

Foram confeccionadas 18 amostras para cada modelo, totalizando 54 corpos de prova. Os mesmos foram separados de acordo com a porcentagem de pó de vidro utilizada no processo de produção dos blocos. Após 36 horas, os corpos de prova foram desformados (Figura 8), e expostos em lugar aberto por um período de 28 dias para sua cura, sendo

realizada a manutenção constante, umidificando-os três vezes ao dia.

Figura 8 - Corpos de prova após desenformados



Fonte: Autoria própria.

4.3 TESTES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os corpos de prova obtidos foram avaliados por meio de testes de compressão. Para esta fase de avaliação, utilizou-se uma prensa com capacidade de 200 toneladas (Figura 9) no laboratório de Engenharia Civil da UTFPR campus de Pato Branco.

Figura 9 - Prensa do ensaio de compressão com corpo de prova pós ensaio



Fonte: Autoria própria.

Os blocos foram submetidos a análise de resistência a compressão em duas etapas de cura, sendo realizado com 14 e 28 dias. Somando 6 blocos de cada amostra, (amostras sem

resíduo vítreo, com 10% de resíduo vítreo e com 20% de resíduo vítreo), totalizando 18 amostras por teste.

Para realização do cálculo de resistência a compressão, a seguinte equação foi utilizada:

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

Em que:

F_c = Resistência à compressão em N/m² e/ou Mega Pascal;

F = Força máxima alcançada em newtons;

D = Diâmetro do corpo de prova em milímetros.

4.4 ANÁLISES DE ABSORÇÃO EM ÁGUA

Para as análises de absorção de água, primeiramente cada corpo de prova em seu estágio seco, foi pesado e posteriormente colocado 3 amostras de cada modelo totalmente imerso em água por 24 horas, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova em imersão em água



Fonte: Autoria própria.

Para as pesagens antes e após a imersão foi utilizado uma Balança Eletrônica Digital de Alta Precisão com capacidade de 40 kg (Figura 11).

Figura 11 - balança digital



Fonte: Imagem ilustrativa. Link: https://http2.mlstatic.com/balanca-digital-eletrnica-bivolt-40kg-alta-preciso-D_NQ_NP_743206-MLB31845893397_082019-F.jpg

Para calcular a porcentagem em água foi utilizado a seguinte equação:

$$\text{Absorção} = \frac{m2 - m1}{m1} * 100$$

Em que:

m1 = massa seca (kg)

m2 = massa úmida (kg)

4.5 ANÁLISES DE CALOR

As análises foram realizadas no Laboratório de Águas e efluentes localizado na UTFPR-FB, no qual se utilizou a estufa (Figura 12) na temperatura de 100°C, as análises foram realizadas unitariamente em três corpos de prova de cada modelo confeccionado.

Figura 12 - Estufa utilizada



Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova foram submetidos por um período de 10 minutos a 100 °C. Os mesmos foram analisados a cada dois minutos após a retirada para aferir o comportamento referente à perda de calor de cada amostra. Os pontos de medição eram quatro dimensões do bloco (tampa, cima, meio e baixo) conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Pontos de aferição de temperatura



Fonte: Autoria própria.

O equipamento utilizado para análise da temperatura foi um Termômetro Digital Infravermelho com Mira Laser (-50° A 550° C), conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Termômetro digital.



Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Primeiramente, após 14 dias da confecção dos corpos de prova, precisamente dia 20 de setembro de 2019, foram realizados testes de resistência à compressão. Pode-se dizer que estes corpos de prova apresentavam 50% de cura, tendo em vista que a cura completa segundo a norma ABNT NBR 9781:2013 são de 28 dias.

Tabela 6 - Testes de resistência a compressão com 14 dias de cura.

Convencional	Amostra 1 - 10%	Amostra 2 - 20%
12,85 N/m ² - MPa	9,97 N/m ² - MPa	12,21 N/m ² - MPa
12,95 N/m ² - MPa	10 N/m ² - MPa	11,43 N/m ² - MPa
12,71 N/m ² - MPa	11,4 N/m ² - MPa	12,85 N/m ² - MPa
14,4 N/m ² - MPa	12,98 N/m ² - MPa	11,62 N/m ² - MPa
11,99 N/m ² - MPa	10,86 N/m ² - MPa	12,47 N/m ² - MPa
10,79 N/m ² - MPa	11,14 N/m ² - MPa	12,79 N/m ² - MPa

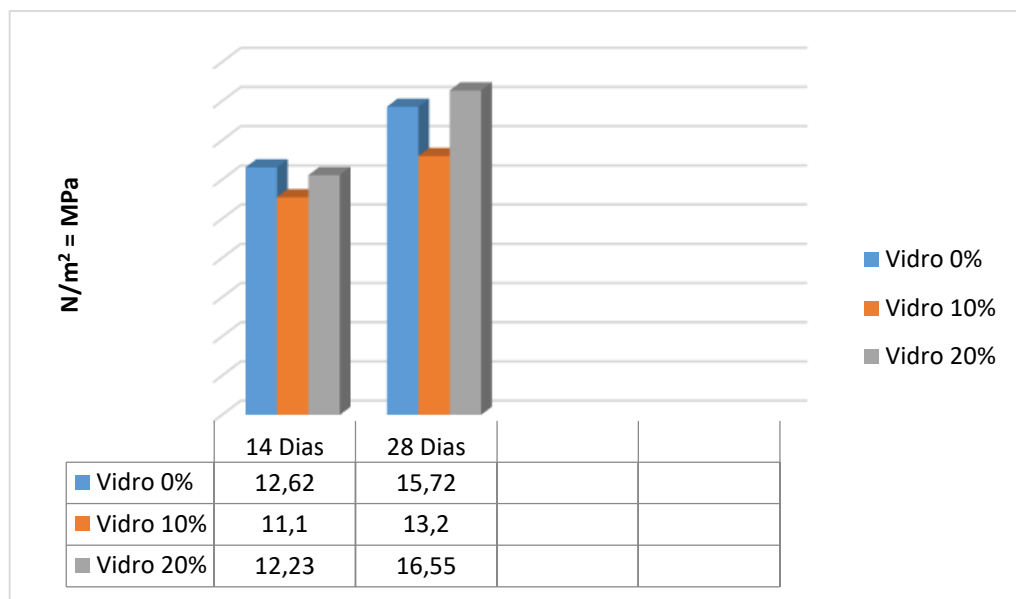
Fonte: Autoria própria.

No dia 04 de outubro de 2019, foi submetida a última análise de resistência a compressão em mais 18 corpos de prova, onde os mesmos se encontravam com 28 dias de cura.

Tabela 7 - Testes a compressão com 28 dias de cura (completa).

Convencional	Amostra 1 - 10%	Amostra 2 - 20%
15,51 N/m ² - MPa	12,04 N/m ² - MPa	15,45 N/m ² - MPa
16,73 N/m ² - MPa	12,69 N/m ² - MPa	16,18 N/m ² - MPa
16,81 N/m ² - MPa	13,42 N/m ² - MPa	16,81 N/m ² - MPa
14,48 N/m ² - MPa	13,96 N/m ² - MPa	19,26 N/m ² - MPa
15,77 N/m ² - MPa	13,42 N/m ² - MPa	15,74 N/m ² - MPa
15,03 N/m ² - MPa	13,58 N/m ² - MPa	15,87 N/m ² - MPa

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1 - Resultados da análise de resistência a compressão em N/m² = MPa

Fonte: Autoria própria.

Os testes de resistência às compressões realizadas com os corpos de prova, tinham como principal objetivo a análise da carga de ruptura que os mesmos suportariam. Segundo a NBR 9781:2013, a resistência à compressão, deve suportar um peso maior ou igual a 35 N/m² - MPa para tráfego de pedestres e veículos leves. A mesma recomenda a utilização de 6 amostras de cada modelo para análise, o que foi seguido durante todas as análises realizadas.

Com isso, obteve-se aos 28 dias (após cura completa) a resistência à compressão foi maior, porém, mesmo assim não atendendo os parâmetros da normativa vigente.

Nas análises realizadas por Lodi, Gambin e Weit (2014), os testes de compressão foram efetuados com 10 dias de cura, neste período de tempo o resultado deve atingir 80% do valor exigido pela norma vigente o qual seria 28 N/m² - MPa. Entretanto, o resultado obtido foi de 10,22 N/m² - MPa, não atingindo o requisito mínimo da norma. Já o presente trabalho obteve com 14 dias de cura um resultado de 12,62 N/m² - MPa em corpo de prova sem adição de pó de vidro. Dessa forma ambas as análises não apresentaram resultados significantes perante a norma.

Sabe-se que a resistência do corpo de prova está relacionada com seu grau de compactação, pois quanto menos vazios presentes maiores será a resistência à compressão. Outro ponto importante na resistência do corpo de prova é o pó de pedra utilizado, pois quanto menor sua granulometria, menor será o espaçamento, tornando assim o bloco também com maior resistência a compressão. De forma geral, a adição do pó de vidro nos blocos confeccionados não alterou a resistência à compressão, com isso, a substituição por este resíduo no lugar da areia representa economia e uma atitude ecologicamente correta, pois se evita o descarte do vidro, podendo reaproveita-lo inteiramente.

Desta forma, os blocos criados e submetidos às análises não atingiram os padrões, apresentando uma resistência de aproximadamente 60% da mínima exigida, com isso, os corpos de provas não são indicados, pois estes não apresentaram viabilidade exigida pela norma NBR 9781:2013.

5.2 ANÁLISES DE ABSORÇÃO EM ÁGUA

Este teste tem por finalidade simular o comportamento dos pavers expostos em diferentes condições climáticas, com diferentes precipitações, ou a qualquer outro meio que submeta estes a 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.

Quanto aos dados obtidos antes e após a imersão em água, estes são apresentados na Tabela 8.

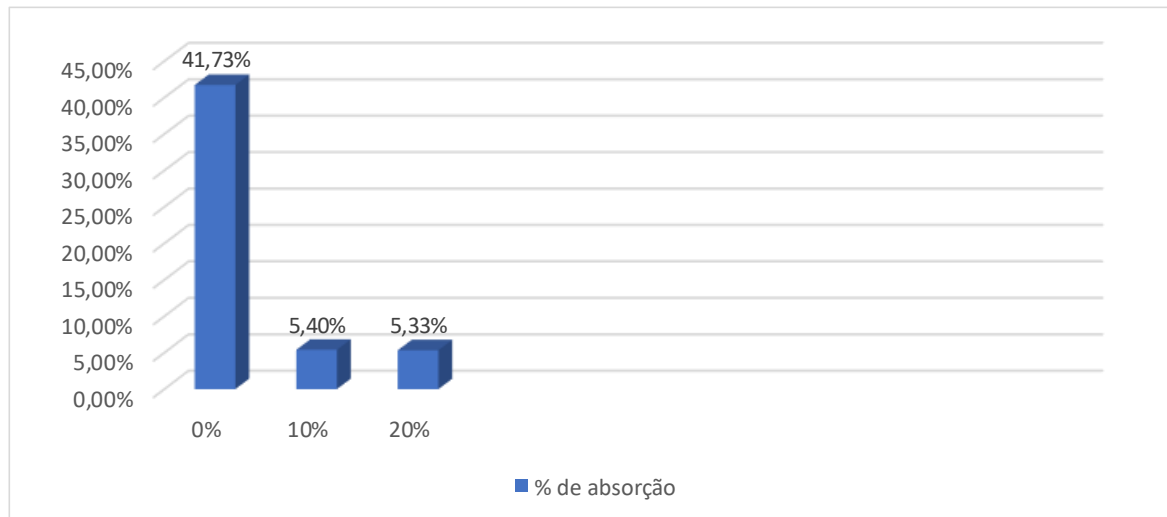
Tabela 8 - Peso de cada corpo de prova e porcentagem de absorção de água.

Incorporação Vítrea	Peso seco (kg)	Peso úmido (kg)	% de absorção
0%	2,275	3,450	43.2%
0%	2,275	3,450	42.2%
0%	2,140	3,310	39.8%
10%	2,970	3,140	5,7%
10%	2,965	3,120	5,2%
10%	2,890	3,045	5,3%
20%	3,025	3,185	5,3%
20%	2,895	3,050	5,3%
20%	2,965	3,125	5.4%

Fonte: Autoria própria.

Após a coleta de dados tornou-se possível à análise de quanto cada modelo absorveu, com isso foi possível calcular a média conforme cada modelo de amostra (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Média de porcentagem de absorção obtido por modelo de amostras



Fonte: Autoria própria.

Com os presentes resultados, nota-se que dentro dos padrões de aceitação da norma ABNT NBR 9781:2013, provou-se que tanto as amostras com 10% e 20% de adição do pó de vidro foram satisfatórias, já os corpos de prova do modelo convencional, obtiveram alta absorção não atendendo os padrões de aceitação.

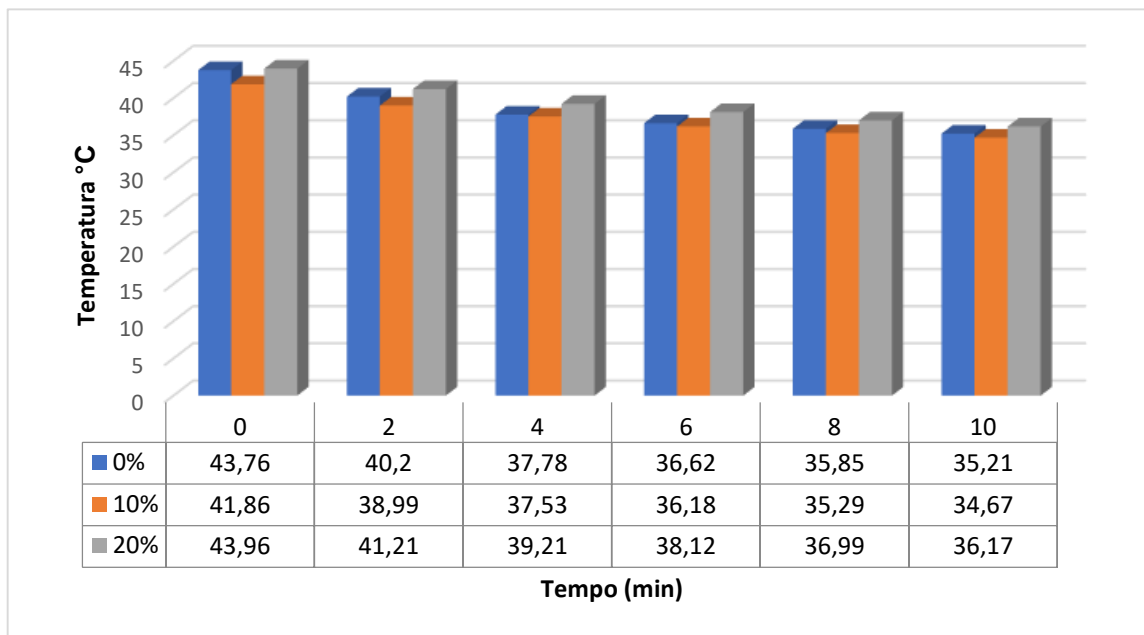
Os resultados obtidos no presente estudo não corroboram com as análises de absorção de água apresentadas por Lodi, Gambin e Weit (2014), devido suas amostras apresentarem

maior porcentagem de absorção de água, não alcançando os parâmetros exigidos pela norma vigente. Os resíduos vítreos e o pó de pedra utilizados podem ter influenciado diretamente, pois a granulometria de ambos possui interferência nos resultados. Em relação aos cimentos utilizados mesmo de marcas distintas, ambos apresentaram características similares, principalmente em relação à resistência a secagem que é 3 vezes mais rápido que o utilizado na construção civil.

5.3 ANÁLISE DE CALOR

O teste teve como principal objetivo, a visualização da influência do vidro nos corpos de prova quando submetidos a temperaturas de 100°C por 10 minutos, conforme apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Análise a 100°C durante 10 minutos



Fonte: Autoria própria.

Comparando as amostras com diferentes proporções de pó de vidro, observou-se que a amostra com 10% de adição de pó de vidro apresentou maior perda de calor no decorrer das análises, comparadas com as demais. Porém, todas as amostras obtiveram propriedades térmicas semelhantes.

A utilização do vidro não obteve influência significativa na presente análise de calor submetida. Vale ressaltar que dificilmente temperaturas acima de 100°C serão alcançadas no

meio onde o paver será alocado. Pois, as temperaturas médias anuais, no Brasil, variam de 6°C a 38°C segundo o INMET (2018).

6 CONCLUSÕES

A utilização do pó de vidro como agregado miúdo foi uma proposta de reciclagem e reaproveitamento do vidro, visando obter impactos positivos no meio ambiente. Este agregado foi substituído em proporções diferentes no lugar da areia fina na fabricação da massa cimentícia para os corpos de prova, os quais foram fabricados e testados para fabricação de pavimentação intertravada de tráfego intenso.

Em relação aos testes de resistência a compressão, os quais foram feitos em duas etapas de cura, ambos não tiveram resultados satisfatórios, não obtendo os requisitos exigidos de acordo com a norma NBR 9781:2013, os quais não apresentaram resistência apropriada para pavimentação de tráfego intenso.

Quanto aos testes de absorção de água, os dois modelos de amostras com adição de pó de vidro em 10% e 20%, apresentaram resultados satisfatórios de acordo com a norma, onde seu requisito de absorção se enquadrou em \leq a 7% de absorção no período de 24 horas.

Como dificilmente uma carga irá se aquecer a mais que 100°C, concluiu-se que não houve influência significativa do vidro quando submetidas às amostras nesta determinada temperatura. Ambas as amostras se mostraram constantes em relação à absorção e perda de calor.

Em relação à viabilidade de fabricação de concretos com adição de vidro moído (pó), levando em consideração os 3 tipos de análises realizadas, a única que atendeu os parâmetros normativos foi a análise de absorção de água, mostrando que o vidro teve influência significativa quando comparado as amostras convencionais, as quais mostraram poder de grande absorção. Nos testes de resistência a compressão os resultados não foram satisfatórios, tornando-os inviáveis para uso de pavimentação e tráfegos intensos. Em relação à análise de perda de calor, o vidro não mostrou influência direta, podendo não se concluir o efeito do mesmo. Fica para sugestões de trabalhos futuros, a adição em maior porcentagem de vidro em cada amostra para este tipo de análise.

Outras sugestões que podem ser citadas é analisar em outras proporções o pó de vidro, estipular mais testes com maior tempo para as análises de resistência a compressão e variar as temperaturas. Pode-se também testar com outras matérias primas, como por exemplo, o lodo de estação, resíduos de pneus, resíduos recicláveis, entre outros. Tendo sempre como seguimento a norma contingente com intuito de cumprimento aos seus parâmetros mínimos exigidos.

REFERÊNCIAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – classificação: NBR-10004**. Rio de Janeiro: 2004, 63p.
- ABIVIDRO. **Associação Brasileira Das Indústrias De Vidro**. Disponível em: <https://abividro.org.br/> Acesso em: 12 de maio 2019.
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Ed. Especial 15 anos. São Paulo, 2018.
- ANTUNES, N. H. V; RODRIGUES, R. R; FAGANELLO, A. M. P; FILLA, J. C; BARDELLA, Paulo S. **Produção de blocos de concreto e pavers utilizando agregados reciclados**. 2011. 5 f. Disponível em: <https://docplayer.com.br/7363835-Producao-de-blocos-de-concreto-e-pavers-utilizando-agregados-reciclados-resumo.html>. Acesso em: 23 de agosto, 2019.
- 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: <https://abravidro.org.br/mercado/panorama-abravidro/>. Acesso em: 23 de agosto, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. **Reciclagem**. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/reciclagem/>. Acesso em: 18 de maio 2019.
- 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: <https://abividro.org.br/reciclagem-abividro/beneficios-da-reciclagem-do-vidro/>. Acesso em 12 de agosto, 2019.
- BERGMAN, T. L. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- BNDES. **O banco nacional do desenvolvimento. Rio de Janeiro**. (RJ). (2019). Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>. Acesso em: 17 de maio, 2019.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, agosto. 2010. Disponível em: <http://www.justicaeleitoral.jus.br/arquivos/lei-12-305-2010-pnrs/view>. Acesso em: 30 de agosto, 2019.
- BROWN, G. **A global sand shortage could cause damaging effects to our rapidly urbanizing world**, 2019. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/global-sand-shortage-could-cause-damaging-effects-2018-12>. Acesso em: 25 de maio 2019.
- CARVALHO, D. 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: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4295/3385.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 de agosto, 2019.
- CEMPRE. (Compromisso empresarial para reciclagem). **Vidros - O Mercado para Reciclagem**. Disponível em <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em: 02 de outubro, 2019.

CEMPRE, **Review 2015**. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

ÇENGEL, Y. A. *et al.* **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

Chico D`areia construções. Disponível em: <https://www.chicodareia.com.br/blog/3-tipos-de-areias-e-suas-funcionalidades>. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

DIAS, L. R. S. **Operações que envolvem transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

DIAS, M. 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/REL_FIM_ARTEFT_AOS_BAK_211108.pdf. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

FIORITI, C. 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: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27092007-184727/pt-br.php>. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

FRANÇA, R. G; RUARO, É. C. R. 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?pid=S1413-81232009000600026&script=sci_abstract&tlng=pt . Acesso em: 12 de agosto, 2019.

GARÉ, J. C. **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/bitstream/123456789/252/2/Dissertacao_PPGA-USCS_JOS%C3%89%20CARLOS%20GAR%C3%89.pdf. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

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?pid=S0366-69132005000400018&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em 15 de setembro, 2019.

GODINHO, D. 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: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MMMD-8PDFFY>. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

INCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

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: 15 outubro, 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperatura média anual**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima%2Fpage&page=anomaliaTempMediaAnual&fbclid=IwAR33UeK18pRHxTAJrGNEywhzHRxI0zZjiDMpSOcVibB66sVIVBKK9conzCM>. Acesso em: 14 de novembro, 2019.

LINO, H. 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: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8137/tde-27102011-085538/pt-br.php>. Acesso em: 30 de agosto, 2019.

LODI, A. L. G; GAMBIN, G. R; WEIT, M. L. **Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada**. Universidade Tecnológica do Paraná UTFPR. Medianeira. Paraná. 2014.

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/pdf/ce/v51n320/29526.pdf>. Acesso em 15 de outubro, 2019.

LUCAS, D; BENATTI, C. 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: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Res%C3%ADuos-Industriais-para-a-Produ%C3%A7%C3%A3o-de-Artefatos-Ciment%C3%ADcios-e-Argilosos-Empregados-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil.pdf>. Acesso em: 20 de setembro, 2019.

MARQUES, F. R. Proposta de um modelo de geração de valor para as empresas distribuidoras de gás natural canalizado em uma economia de baixo carbono. *Revista de administração IMED*. (2012). Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/raimed/article/view/462>. Acesso em: 15 de outubro, 2019.

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

MONTANO, P. F.; BASTOS, H. B. A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas. **BNDDES Setorial**, n. 38, p. 265-290. 2013. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4801>. Acesso em: 02 de outubro, 2019.

MUCELIN, C. A; BELLINI, A. 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: 02 de outubro, 2019.

OLIVEIRA, J. C. **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: 25 de outubro, 2019.

PRACONSTRUIR. **Areia para Construção**. Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://praconstruir.com.br/materiais-de-construcao/areia>. Acesso em: 06 de junho, 2019.

Pedreira Lageado. Disponível em: <https://www.pedreiralageado.com.br/produtos/po-de-pedra/>. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

POOR, W. **Why Sand Scarcity Is About More Than ‘Running Out’ Of Sand**, 2018. Disponível em: <https://www.theverge.com/science/2018/9/4/17797394/sand-microscope-grains-scarcity-construction-industry-concrete>. Acesso em: 25 de maio 2019.

RIBEIRO, R. **Porquê separar o lixo?** Brasília, 2012. Disponível em: <http://cgconcessoes.com.br/como-e-porque-separar-o-lixo/>. Acesso em: 02 de outubro, 2019.

RODRIGUES, E. **Processos de Transmissão de Calor**, 2017. Disponível em: http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf. Acesso em: 15 de junho, 2019.

SALATA, R. **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: 02 de outubro 2019.

TEIXEIRA, E. B. **Reciclagem Do Lixo Como Instrumento De Educação Ambiental**. Rio de Janeiro, 2010.

Votorantim cimentos. Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/>. Acesso em: 15 de setembro, 2019.

VALÉRIO, D; SILVA, T. C; COHEN. **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: https://www.researchgate.net/publication/241752147_Reducacao_da_geracao_de_residuos_solidos_uma_abordagem_economica. Acesso em: 02 de outubro, 2019.