



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JAIANA DE ARAÚJO PINHEIRO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE
PAVIMENTAÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE VIDRO

CARAÚBAS

2024

JAIANA DE ARAÚJO PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE
PAVIMENTAÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos
Santos Júnior

CARAÚBAS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

PP654 Pinheiro, Jaiana de Araújo.
a Avaliação do desempenho da resistência mecânica
de pavimentação de pisos intertravados com
incorporação de resíduos de vidro / Jaiana de
Araújo Pinheiro. - 2024.
42 f. : il.

Orientador: Gilvan Bezerra dos Santos Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Pré-Moldado. 2. Mobilidade Urbana. 3. Piso
Intertravado. 4. Pó de Vidro. 5. Reciclagem. I.
Júnior, Gilvan Bezerra dos Santos, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JAIANA DE ARAÚJO PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE
PAVIMENTAÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Engenheira Civil.

Defendida em: 19 / 04 / 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GILVAN BEZERRA DOS SANTOS JUNIOR
Data: 19/04/2024 18:16:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
GLAUCO FONSECA HENRIQUES
Data: 19/04/2024 19:14:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Glauco Fonsêca Henriques (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
EDNA LUCIA DA ROCHA LINHARES
Data: 19/04/2024 19:53:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares (UFERSA)
Membro Examinador

Antônio Ibiratan de Araújo (In Memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor e sentido para o qual corre o rio de toda a vida.

Agradeço aos meus pais, João Batista Pinheiro e Ana Cristina de Araújo Pinheiro, apoio em todos os momentos. Agradeço a minha avó Teresinha Augusta de França, por ser presença ativa em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a empresa Estrela Pré-moldados por todo apoio no fornecimento de maquinário e material para a produção do material, em especial na pessoa de Andro Makos Linhares.

Agradeço Orientador Gilvan Bezerra por toda a paciência, troca de experiência e apoio nas idas e vindas na elaboração desse estudo.

Agradeço a Banca Examinadora pelas primorosas contribuições e observações.

Agradeço a minha amiga Yascara Klícia.

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

RESUMO

A construção civil é uma atividade multidisciplinar, que se destaca no desenvolvimento econômico, social e ambiental. Além disso, é um setor que utiliza como matéria prima grandes quantidades de recursos naturais, tornando-se o maior gerador de resíduos sólidos. Existem vários estudos sobre a incorporação de resíduos sólidos aos materiais de construção com o intuito de propiciar uma destinação adequada ao mesmo, sem causar danos ao meio ambiente e podendo ainda melhorar as propriedades dos materiais.

Resolveu-se analisar a viabilidade técnica do resíduo de vidro como opção de substituição do agregado miúdo na produção de pisos intertravados. Dessa forma, buscou-se obter novas aplicações para o resíduo reduzindo o descarte e mitigando a extração dos recursos naturais cada vez mais escassos, oferecendo uma alternativa para o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente.

O vidro foi triturado e moído, obtendo a granulometria do agregado miúdo, utilizando como base o traço empregado pela empresa Estrela Pré Moldado. Foram realizados dois traços de concreto, o primeiro foi confeccionado com o traço base, sem adição parcial do pó de vidro, adotado como referência. No segundo traço realizou-se a substituição parcial de 20% do agregado miúdo pelo pó de vidro. Verificou-se vários tipos de curas. Em seguida, analisando os resultados da resistência à compressão observou-se que a maior resistência foi no traço que tinha o vidro como agregado e cura na estufa com variação de temperatura 60°C a 180°C e a cura ao ar livre (23°C a 35°). Pode-se perceber que a junção do pó de vidro como agregado e da cura térmica potencializa a resistência dos pisos intertravados.

Palavras-chave: Pré-moldado. Mobilidade Urbana. Piso Intertravado. Pó de Vidro. Reciclagem.

ABSTRACT

Civil construction is a multidisciplinary activity, which stands out in economic, social and environmental development. Furthermore, it is a sector that uses large quantities of natural resources as raw materials, making it the largest generator of solid waste. There are several studies on the incorporation of solid waste into construction materials with the aim of providing an appropriate destination for it, without causing damage to the environment and being able to improve the properties of the materials. It was decided to analyze the technical feasibility of waste glass as an option for replacing fine aggregate in the production of interlocking floors. In this way, we sought to obtain new applications for waste by reducing disposal and mitigating the extraction of increasingly scarce natural resources, offering an alternative for sustainable development and environmental preservation. The glass was crushed and ground, obtaining the particle size of the fine aggregate, using as a basis the mixture used by the company Estrela Pré Moldado. Two concrete mixes were made, the first was made with the base mix, without partial addition of glass powder, adopted as a reference. In the second batch, 20% of the fine aggregate was partially replaced by glass powder. There were several types of cures. Then, analyzing the results of compressive strength, it was observed that the greatest resistance was in the mix that had glass as an aggregate and cured in the oven with a temperature variation of 60°C to 180°C and cured in open air (23° C to 35°). It can be seen that the combination of glass powder as aggregate and thermal curing enhances the resistance of interlocking floors.

Key Words: Concrete. Residue. Interlocked Floor. Glass Powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Garrafas após lavagem e secagem.....	20
Figura 2	–	Primeira etapa da trituração	20
Figura 3	–	Vidro após a primeira trituração	20
Figura 4	–	Vidro após segunda trituração	20
Figura 5	–	Liquidificador para moagem.....	21
Figura 6	–	Após a moagem final	21
Figura 7	–	Cimento Portland	22
Figura 8	–	Bag Big Cimento CPV ARI	22
Figura 9	–	Areia Lavada	23
Figura 10	–	Areia utilizada no traço	23
Figura 11	–	Pó de brita granítico	24
Figura 12	–	Pó utilizado no traço	24
Figura 13	–	Preparo da massa	26
Figura 14	–	Pavers prontos	26
Figura 15	–	Traço 1 após moldagem	26
Figura 16	–	Traço 3 após moldagem	26
Figura 17	–	Corpos de prova ao ar livre por 8 dias	27
Figura 18	–	Rompimento dos 8 dias produzido	27
Figura 19	–	REF-CS e CPV-CS na cura submerso na água	30
Figura 20	–	REF-CE e CPV-CE cura na estufa	32
Figura 21	–	REF-CE e CPV-CES cura na estufa e submersa	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Composição Granulométrica do Pó de Vidro	21
Gráfico 2	–	Composição Granulométrica da Areia	24
Gráfico 3	–	Composição Granulométrica do Pó de Brita	25
Gráfico 4	–	Ganho de Resistência ao Longo do Tempo REF-CA verso CPV-CA	29
Gráfico 5	–	CPV-CS e REF-CS	31
Gráfico 6	–	CPV-CE e REF-CE.....	33
Gráfico 7	–	CPV-CES e REF-CES	35
Gráfico 8	–	CPV-CES-CE e REF-CES-CE	36
Gráfico 9	–	Todas as curas com 16 dias REF e CPV	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Ensaio Físico	23
Tabela 2	–	Determinação da resistência à Compressão REF-CA com 11 dias	27
Tabela 3	–	Determinação da resistência à Compressão CPV-CA com 11 dias	28
Tabela 4	–	Determinação da resistência à Compressão REF-CA com 16 dias	28
Tabela 5	–	Determinação da resistência à Compressão CPV-CA com 16 dias.....	29
Tabela 6	–	Determinação da resistência à Compressão REF-CS com 16 dias	30
Tabela 7	–	Determinação da resistência à Compressão CPV-CS com 16 dias.....	30
Tabela 8	–	Determinação da resistência à Compressão REF-CE com 16 dias	32
Tabela 9	–	Determinação da resistência à Compressão CPV-CE com 16 dias.....	32
Tabela 10	–	Determinação da resistência à Compressão REF-CES com 16 dias	34
Tabela 11	–	Determinação da resistência à Compressão CPV-CES com 16 dias.....	34
Tabela 12	–	Determinação da resistência à Compressão T1CES-E com 16 dias.....	35
Tabela 13	–	Determinação da resistência à Compressão T3CES-E20% com 16 dias.....	36
Tabela 14	–	Variação das resistências em porcentagem	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivo específico.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Concreto	16
2.2	Vidro	16
2.3	Resíduos sólidos	17
2.4	Resíduos sólidos na Construção Civil.....	18
2.5	Vidro no desenvolvimento sustentável.....	18
3	METODOLOGIA	19
3.1	Elaboração do pó de vidro	19
3.1.1	Pó de vidro	19
4	RESULTADOS	21
4.1	Manuseio dos agregados	21
4.1.1	Caracterização dos materiais	21
4.1.2	Pó de vidro	21
4.1.3	Cimento Portland	22
4.1.4	Areia	23
4.1.5	Pó de brita granítico	24
4.2	Resultados obtidos na moldagem dos pisos intertravados	25
4.2.1	Dosagem do traço e fabricação	25
4.2.2	Resultados	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade multidisciplinar, que se destaca no desenvolvimento econômico, social e ambiental. Além disso, é um setor que utiliza como matéria prima grandes quantidades de recursos naturais, tornando-se o maior gerador de resíduos sólidos. O aumento do consumo global de materiais de construção resultou em emissões igualmente extensas de poluentes e resíduos. Os custos ambientais dos materiais de construção ocorrem ao longo das atividades da sua cadeia de valor, desde a extração até a fabricação e tratamento após a demolição (Huang et al., 2020). Porém, a indústria da construção civil pode ser um grande consumidor desses resíduos sólidos, dado a necessidade de reaproveitamento de seus rejeitos gerados, os quais podem ser reutilizados na própria indústria, como por exemplo incorporando em compósitos cimentícios (concretos e argamassas). O interesse na reutilização dos resíduos tem sido mundial, com a criação de leis ambientais rigorosas e fiscalizações referentes ao descarte dos mesmos. Assim, pode-se conscientizar da importância de reutilização dos resíduos de forma correta e diminuir os gastos com os aterros. Desse modo, a indústria da construção civil pode propiciar essas vantagens econômicas e ambientais para a sociedade.

Existem vários estudos sobre a incorporação de resíduos sólidos aos materiais de construção com o intuito de propiciar uma destinação adequada ao mesmo, sem causar danos ao meio ambiente e podendo ainda melhorar as propriedades dos materiais, assim como Ribeiro et al, 2016 e Macedo, 2021, com estudos científicos no reaproveitamento do pó de pedra e da sheelita na substituição do agregado areia. A garrafa de vidro é um produto 100% reciclável, passível de retorno ao ciclo da cadeia produtiva, no entanto, a aplicação da chamada logística reversa, estabelecida na Lei 12.305/2010, ainda enfrenta dificuldades na sua aplicação. Portanto, grande parte deste material que poderia ser reciclado ou reutilizado não são coletados e acabam sendo descartados nos aterros sanitários.

O vidro possui na sua composição a areia (sílica), carbonato de sódio (barrilha), calcário e óxido de minerais diversos. Tais propriedades conduzem a muitas aplicações (portas, fechamento de vãos, janelas, lâmpadas, garrafas, frascos, monitores, lentes, fibra ótica, lentes, etc.), sendo estudado em diversas produções acadêmicas distintas. Em algumas pesquisas científicas, visando a mitigação da extração das matérias primas naturais e a diminuição dos resíduos sólidos, adicionou-se resíduos de vidro em materiais cimentícios como concreto e argamassa, substituindo parcialmente o cimento ou a areia fina. Benatti, 2016 confirma que a substituição do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído, que a substituição de até 20%

de areia por resíduo de vidro no concreto apresenta resultados superiores de desempenho, de acordo com os testes realizados

Dada a importância do assunto relatado, resolveu-se analisar a adição de resíduo de vidro na produção de piso intertravado de 6cm de altura, na substituição parcial da areia. Dessa forma, buscou-se obter novas aplicações para o resíduo reduzindo o descarte e mitigando a extração dos recursos naturais cada vez mais escassos, oferecendo uma alternativa para o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é a análise da viabilidade técnica do resíduo de vidro como opção de substituição do agregado miúdo na produção de pisos intertravados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Análise da granulometria do vidro moído para substituição do agregado miúdo;
- Avaliar a influência da adição do vidro moído como agregado na resistência à compressão de piso intertravado;
- Estudar outras formas de cura para potencializar a utilização do vidro moído em peças de concreto para pavimentação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

Segundo Neville (2013), o concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Sendo composto por cimento, água agregado miúdo e agregado graúdo e aditivos, formando uma massa homogenea, com uma boa distribuição granulométrica, preenchendo todos os vazios.

Vários fatores influenciam na qualidade do concreto, como a qualidade dos insumos, as dosagens corretas, a manipulação adequada e o cuidado com a cura. Sendo a cura, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto. (Unicamp,2002)

O concreto sendo um material importante na construção civil, como existindo vários tipos como afirma Lara (2013): concreto bombeável, concreto armado, concreto protendido, concreto leve, concreto pesado, concreto rolado, concreto de alta resistência e outros. Devido o seu alto nível de resistência, os vários tipos de concreto se aplicam em diferentes utilidades na construção civil, desta fundação, estrutural, lajes, paredes, nivelamento de pisos, pré-fabricados, pré-moldados e etc.

Os pisos intertravados de concreto é um sistema de pavimentação que surgiu na Europa do pós-guerra e foi introduzido no Brasil na década de 1970. As diversas possibilidades de cores e formatos viabilizam o assentamento deste tipo de pavimento em: praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões, indústrias e rodovias (Fioritil et al, 2010). Sendo o piso intertravado fabricado e um material bastante estudado cientificamente por sua composição, como por Silva (2017) e Silva et al (2020).

2.3 Vidro

O vidro é um material produzido com matérias primas naturais como areia e calcário. Sendo muito utilizado desde 4000 a.C.. Segundo Akerman:

“Os povos que disputam a primazia da invenção do vidro são os fenícios e os egípcios. Os fenícios contam que, ao voltarem a pátria, do Egito, pararam em Sidom. Chegados às margens do rio Belus, pousaram os sacos que traziam às costas, que estavam cheios de trona. A trona é

carbonato de sódio natural, que eles usavam para tingir lã. Acenderam o fogo com lenha, e empregaram os pedaços mais grossos de trona para neles apoiar os vasos onde deveriam cozer os animais caçados. Depois comeram e deitaram-se; adormeceram e deixaram o fogo aceso. Quando despertaram, ao amanhecer, em lugar das pedras de trona encontraram blocos brilhantes e transparentes, que pareciam enormes pedras preciosas.” (Akerman,2020)

Inicialmente o vidro era produzido artesanalmente e com pouca utilidade, mas com a modernização da indústria e novos conhecimentos foram surgindo vários tipos de vidros e suas produções passaram a ser em grande escala. De acordo o último levantamento da Associação Brasileira das Indústrias de Vidros (ABIVIDRO,2022), são produzidos mais de 8,6 bilhões de vidro por ano no Brasil.

De acordo com Bauer (2008), no século XX, as pesquisas das propriedades físicas e químicas possibilitaram novos tipos de vidros e novas indústrias, como por exemplo: vidros temperados, vidros laminados, fibras de vidro, fibra ótica e vidro cerâmico. Com o surgimento de novos tipos de vidros e com a alta produção, consequentemente, cresceu o número de resíduos sólidos do mesmo. De acordo com a ABIVIDRO (2022), somente 25,80% do vidro dos resíduos de vidros são reciclados no Brasil.

2.2 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos têm sido tema de estudos e debates na gestão ambiental, devido ao descarte incorreto dos rejeitos, gerando um impacto no meio ambiente e na economia. No Brasil existe leis e normas que se aplicam aos resíduos sólidos como por exemplo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Plano de Gerenciamento de Resíduos, dentre outros. Segundo a PNRS, a destinação de resíduos sólidos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos ambientais. Tendo como resíduos sólidos: o papel/papelão, metais, vidro e outras matérias.

Quando os rejeitos dos resíduos do vidro não são descartados corretamente, podem demorar até 5 mil anos para decompôr (Eureciclo,2022). Porém o vidro é um dos poucos resíduos sólidos que é 100% reciclável, podendo ser reaproveitado na fabricação de novos vidros sem perder as suas propriedades. Eureciclo (2022) afirma que a Organização das Nações Unidas fez de 2022 o ano do vidro justamente para destacar a importância tecnológica, econômica, científica e cultural do vidro. Podendo assim afirmar a importância da reciclagem do vidro na utilização como agregado na construção civil:

“Sendo o vidro um material não muito valorizado pela reciclagem, devido ao baixo preço pago por quilo, e por este motivo com grande disponibilidade, há a possibilidade de usá-lo como agregado na produção de concretos, poupando o ambiente do uso de fontes de agregados naturais e da contaminação pelo descarte excessivo de vidro. Essas implicações incentivam o estudo das características físicas e mecânicas de concreto com vidro cominuído como agregado fino.” (Benatti; Anjos, 2016)

2.3 Resíduos sólidos na Construção Civil

O setor da construção civil é um dos grandes geradores de “entulhos”, com distintos tipos de materiais como: tijolo, concreto, solos, metais, tubulações, vidros, plásticos etc. Mas os efeitos negativos da indústria da construção civil vão desde a extração dos recursos naturais até a geração de resíduos, com impactos sanitários e ambientais. Podendo afirmar:

“Os resíduos da construção civil compõem-se basicamente de resíduos difíceis de se degradar ou não degradáveis, o que os tornam diferenciados dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) no quesito de disposição em solo, pois tendem a não ter volume diminuído com o decurso do tempo, esgotando o espaço de disposição com maior rapidez e privando outros usos após o encerramento das atividades” (PNRS,2022).

Sendo a construção civil um grande gerador de resíduos, ela também tem a capacidade de reutilizar direta ou indiretamente os resíduos que produz. Uma das maneiras de reaproveitamento é a utilização dos entulhos de construção na produção de pedrisco, brita e areia. Vários estudos têm sido desenvolvidos para analisar a viabilidade de diferentes resíduos na construção civil, entre eles o vidro, devido a sua durabilidade química, substituindo parcialmente o cimento ou o agregado miúdo (areia), como (López et al,2005); (Barboza et al,2017) e (Benatti et al,2016).

2.4 Vidro no desenvolvimento sustentável

Alguns países como a Austrália já utiliza a reciclagem do vidro como agregado na substituição parcial da areia, entre 10% e 50% (Lopez da et al,2005), para a produção de concreto. No Brasil já existem várias pesquisas científicas com o mesmo objetivo modificando somente os materiais de construção substituídos, aplicando o vidro moído. Benatti e Anjos (2016) afirmam que o vidro incorporado à areia fornece ao concreto boas propriedades mecânicas, podendo ser usado para fins estruturais ou concreto de massa. Segundo Barboza e

Figueiredo (2017) a incorporação dos resíduos vítreos em materiais à base de cimento, contribui para a mitigação dos impactos sociais e ambientais causados pelo descarte deste material em aterros sanitários e “lixões” a céu aberto, já que, com esta aplicação, o descarte em serie reduzido.

O reaproveitamento do vidro como substituição às matérias primas naturais afeta positivamente na diminuição da extração da areia, assim reduzindo os impactos ambientais. Dessa forma, torna-se relevante a análise da incorporação do resíduo de vidro moído como substituto parcial ao agregado miúdo no traço da produção do piso intertravado, podendo assim estudar a sua influência na resistência mecânica no material produzido.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta procedimentos metodológicos que analisou o comportamento da resistência mecânica do piso intertravado com a incorporação parcial, em substituição, do vidro moído como um agregado miúdo artificial. Desta forma, realizou-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica acerca do tema proposto baseando-se em trabalhos anteriores e sobre a diretriz de normas técnicas. Nesta primeira etapa, através de uma pesquisa exploratória, foram feitas análises de trabalhos anteriores com objetivos semelhantes dispondo de várias faixas de substituição do agregado miúdo pelo pó de vidro.

Posteriormente, pode-se realizar a etapa experimental, onde realizou-se a moldagem dos corpos de prova na Estrela Pré Moldado na cidade de Mossoró-RN. Foram produzidos pisos intertravados com os traços dimensionados e o processo de produção de acordo com a NBR 9781/2020. Primeiramente produziu-se o pó de vidro na granulometria desejada e realizou-se a caracterização do mesmo juntamente com os demais insumos. Posteriormente, as amostras dos pisos intertravados foram encaminhados para o Laboratório de Engenharia Civil da UFRSA Caraúbas-RN para os processos de curas. Por fim, realizou-se na Prointest Projetos e Ensaios Laboratoriais, na prensa Hidráulica elétrica classe I de acordo com a norma ABNT NBR 9871/2020 os ensaios de resistência à compressão dos pisos produzidos onde pode analisar a influência do pó de vidro sobre esta propriedade quando utilizado como agregado miúdo artificial, sendo comparada à areia natural. As análises foram feitas em relação ao traço de referência sem o pó de vidro. Ainda nesta etapa, foram investigados os efeitos de diferentes processos de cura em relação a resistência à compressão. Foram testados a cura ao ar livre, cura submersa em temperatura ambiente, cura térmica submersa à 90°, cura térmica na estufa e uma cura térmica híbrida sendo metade submersa à 90° e a outra metade na estufa.

3.1 Elaboração do Pó de Vidro

3.1.1.1 Pó de vidro

Para a confecção do pó de vidro, as garrafas de vidros foram doadas pelos colaboradores da empresa Estrela Pré Moldado localizada na cidade de Mossoró-RN, na forma de resíduos produzidos pelos mesmos. Utilizando a embalagem de garrafa de vidro branca durante todo o experimento. As espessuras dos vidros manuseados variam entre 2, 3 e 4 mm, sendo todos incolor. Após coletado material, as garrafas foram lavadas e retirados os rótulos, assim

removendo as impurezas, e em seguida secas ao ar, conforme ilustrado na Figura 1. Nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 pode-se ver o processo de trituração e moagem, onde foi realizado de maneira rústica e com 3 (três) etapas, sendo triturado por duas vezes manualmente por meio de marreta, e por último passado pelo liquidificador, para ficar com granulometria fina, como mostrado na Figura 6.

Figura 1: Garrafas de vidro após lavagem e secagem.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 2: Primeira etapa da trituração.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 3: Vidro após a primeira trituração.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 4: Vidro após a segunda trituração.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 5: Liquidificador para moagem.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 6: Material após a moagem final.



Fonte: Autor próprio (2023)

4 RESULTADOS

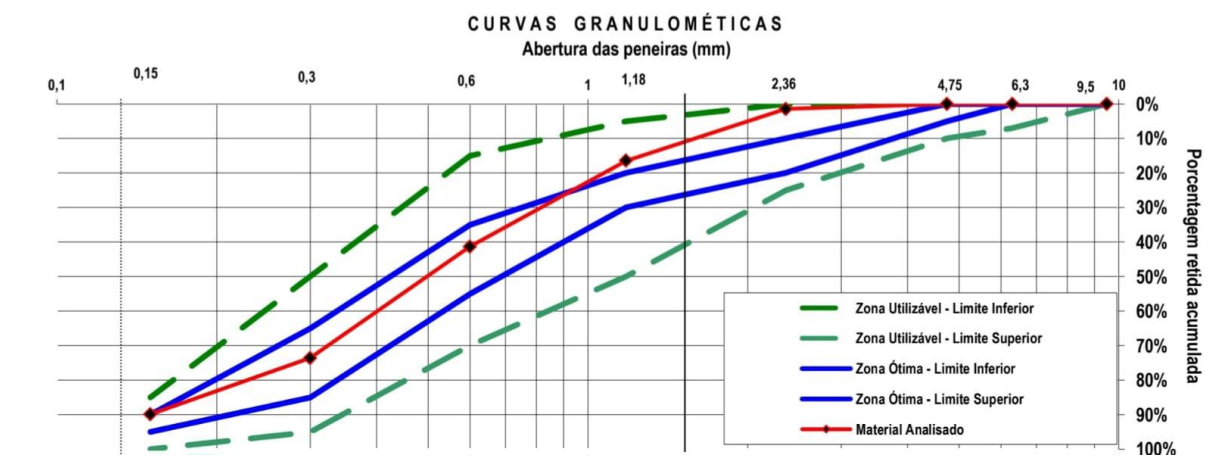
4.1 Manuseio dos Agregados

4.1.1 Caracterização dos materiais

4.1.1.1 Pó de vidro

As etapas descritas sobre a trituração e a moagem do vidro, foram fundamentais para se obter frações tamanho de partícula mais fino do vidro, conforme recomendado para a produção das peças de pavimento. Após o tratamento do agregado reciclado, fez-se a análise granulométrica do mesmo.

Gráfico 1: Composição Granulométrica do Pó de Vidro



Fonte: Prointest, 2023

De acordo com a NBR 7217:2003 pode-se analisar no Gráfico 1 que as cores verdes representam o limite superior e inferior da Zona Utilizável, as cores azuis caracterizam os limites superior e inferior da Zona Ótima, a linha de cor vermelha representa a granulometria do agregado miúdo artificial (pó de vidro), considerando neste caso o material entre a Zona Utilizável e a Zona Ótima, classificando-se como dentro da Zona Utilizável.

4.1.1.2 Cimento Portland

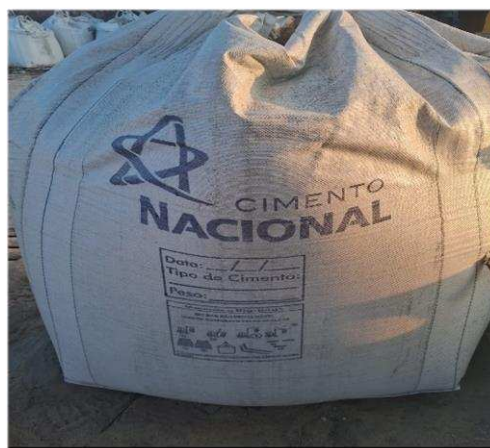
O cimento utilizado na produção do concreto foi o Portland, apresentando o estado de pó fino como pode ser ver na Figura 7, denominado MAX PERFORMANCE CP V – ARI BIG BAG, (Figura 8), de fabricação da empresa Cimento Nacional, localizado em Pitimbu – PB.

Figura 7: Cimento Portland.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 8: Bag Big Cimento CP V ARI.



Fonte: Autor próprio (2023)

O cimento CPV – ARI, trata-se de um cimento especial, possuindo alta resistência inicial, assim permitindo melhor desempenho e produtividade, facilitando a desforma das peças produzidas na área de pré-moldado. Tabela 1 fornece os dados de caracterização fornecidas pelo fabricante.

Tabela 1: Caracterização do cimento

Ensaio	Metodologia	Und.	Desv. Pad.	Resultado
Área Específica (Blaine)	NBR 16372	cm ² /g	88	4,468
Massa Específica	NBR 16605	g/cm ³	0,00	3,05
Finura peneira 75	NBR 11579	%	0,02	0,04
Finura peneira 45	NBR 9802/85	%	0,09	0,58

Fonte: Cimento Nacional, 2023

4.1.1.3 Areia

A areia empregada na produção dos intertravados foi fornecida pela empresa Metro Cúbico, como pode-se ver nas Figuras 9 e 10, extraída na jazida localizada na cidade Russas – CE. Antes de ser utilizado no traço, o agregado miúdo foi peneirado e também avaliado no ensaio da granulometria.

Figura 9: Armazenamento da areia.



Fonte: Autor próprio (2023)

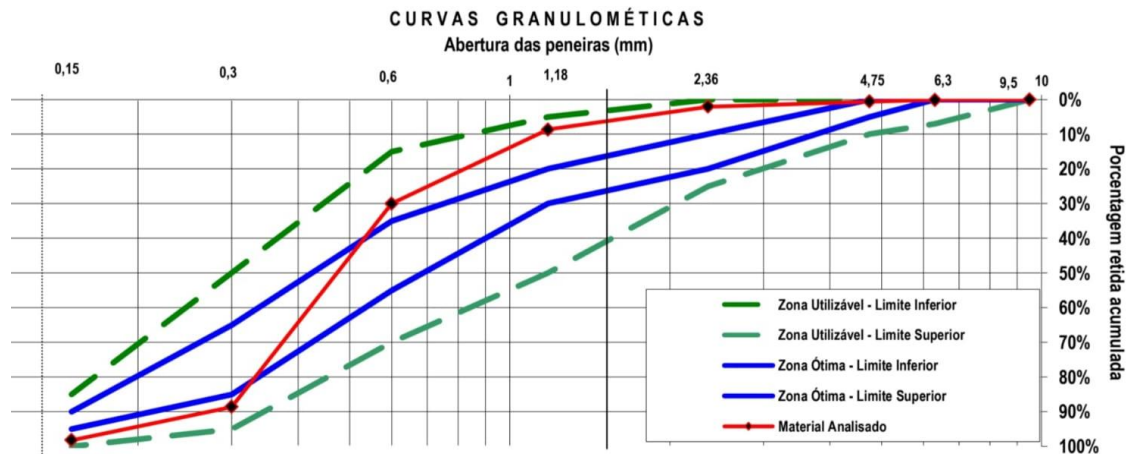
Figura 10: Areia utilizada no traço.



Fonte: Autor próprio (2023)

Foram realizados ensaios granulométricos de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 7217:2005, pode-se verificar no Gráfico 2 que as Zonas de classificação identicamente a composição granulométrica do pó de vidro, onde a curva da areia se encontra entre a Zona Utilizável e a Zona Ótima, estando classificada como Zona Utilizável.

Gráfico 2: Composição Granulométrica da Areia



Fonte: Prointest, 2023

4.1.1.4 Pó de Brita Granítico

O pó de brita granítico, também sendo um agregado miúdo, obtido pela britagem da rocha, utilizado no traço na interação da mistura com a sílica, acarretando na diminuição dos vazios no concreto e resultando um aumento na resistência. O Agregado fornecido pela empresa Areia e Brita (Figura 11 e 12), foi extraído na jazida localizada na cidade de Upanema – RN. Como todos os agregados, o pó de brita também passou por ensaio de granulometria.

Figura 11: Armazenamento do pó de brita granítico.



Fonte: Autor próprio (2023)

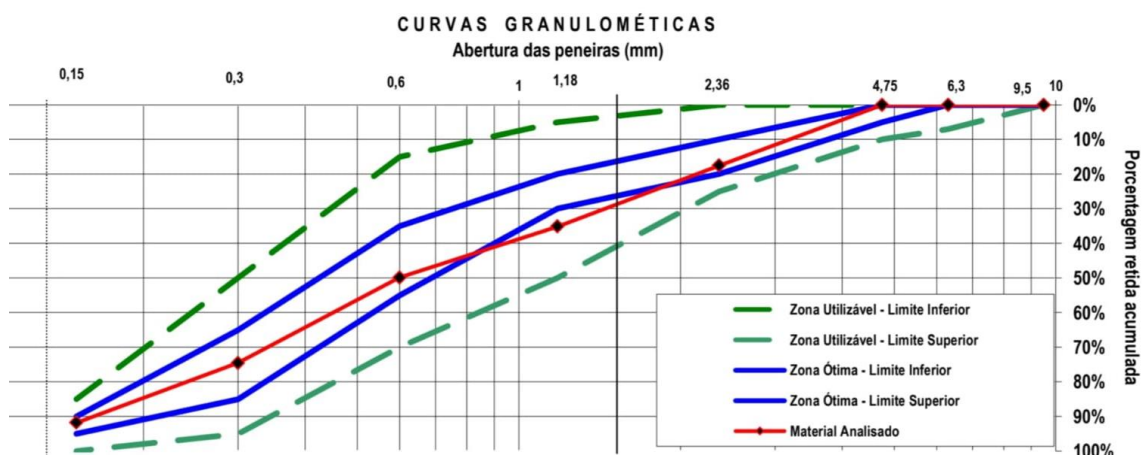
Figura 12: Pó utilizado no traço.



Fonte: Autor próprio (2023)

Pode-se observar no Gráfico 3 as curvas que representam as Zonas de classificação e que o material se encontra entre a Zona Útilizável e a Zona Ótima, estando classificada como Zona Útilizável, sendo a dimensão máxima de 4,75mm.

Gráfico 3: Composição Granulométrica do Pó de Brita



4.2 Resultados obtidos na Moldagem dos Pisos Intertravados

4.2.1 Dosagem do Traço

Utilizou-se como base para o ensaio o traço 25MPa utilizado pela empresa Estrela Pré Moldado, já dimensionado pelo engenheiro responsável técnico da mesma, traço adotado 1,39:2,64:1,83:0,56 para as medidas, usou-se latas de 18 litros e sem a adição do aditivo.

4.2.2 Resultados

Foram realizados dois traços de concreto, sendo o primeiro confeccionado com o traço base sem adição parcial do pó de vidro, denominado referência (REF). O segundo traço segue o conceito do trabalho de Benatti (2016), onde avaliou-se a substituição parcial da areia de 10, 20, 30 e 50%, obtendo o melhor resultado com 20%. Devido a quantidade de material disponível, neste estudo foi utilizado a substituição parcial de 20% do agregado miúdo pelo pó de vidro, denominado concreto com pó de vidro (CPV).

Conforme mostra a Figura 13, no preparo do concreto, adicionou-se a areia, pó de brita, pó de vidro e o cimento sequencialmente até obter uma mistura dos agregados em um misturador com capacidade de 230litros. Em seguida, o material foi disposto no molde matriz com oito fôrmas prismáticas de 20x10x06cm, onde foi compactado com pressão 2200bar e vibração de cinco segundos por enchimento, para melhor adensamento. Os moldes dos pisos

intertravados foram preparados em conformidade a ABNT NBR 5738:2015. Para cada traço foram confeccionados cinquenta e seis corpos de prova (CP), conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 13: Preparo da massa.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 14: Piso intertravado prontos.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 15: Traço de referência após moldagem.



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 16: Traço com CPV após moldagem.



Fonte: Autor próprio (2023)

Os corpos de prova ficaram onze dias expostos ao ar livre, com a variação de temperatura 23°C a 35°C, após a produção (Figura 17), onde após tal período foram retirados cinco CPVs do traço REF e cinco CPVs do traço CPV para verificar a resistência à compressão nos primeiros dias, conforme ilustrado na Figura 18. Em seguida, os outros CPVs foram distribuídos para curas distintas, cura ao ar livre (CA), cura submersa em temperatura ambiente (CS), cura térmica submersa à 90° (CES), cura térmica na estufa (CE) e uma cura térmica híbrida sendo metade submersa à 90° e a outra metade na estufa (CES-CE).

Figura 17: Corpos de prova ao ar livre por 11



Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 18: Rompimento após 11 dias de



Fonte: Autor próprio (2023)

Logo abaixo nas Tabelas 2 e 3, pode-se observar uma diferença nas resistências à compressão iniciais nos corpos de provas dos traços REF e CPV. Como dito anteriormente os CPVs estavam com 11 dias na cura ao ar livre (entre 23°C a 35°C), podendo-se verificar que o traço REF teve uma resistência maior inicialmente 11,12MPa e CPV 9,10MPa.

Tabela 2: Determinação da Resistência à Compressão REF com 11 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1	REF-CA	11	9,19	60.723,90	10,89
2			7,28	71.416,80	11,29
3			6,57	64.451,70	11,17
4			7,92	77.695,20	10,81
5			7,05	69.160,50	11,46
Resistência Média MPa					11,12

Fonte: Autor próprio (2023)

Tabela 3: Determinação da Resistência a Compressão CPV-CA com 11 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1			4,52	44.341,20	8,76

2	CPV-CA	11	8,60	84.366,00	7,96
3			5,10	50.031,00	9,20
4			5,82	57.094,20	9,74
5			6,10	59.841,00	9,85
Resistência Média MPa					9,10

Fonte: Autor próprio (2023)

Para avaliar a resposta dos diferentes processos de cura inicialmente realizou-se o ensaio de resistência à compressão com o material curado ao ar livre após dezesseis dias de moldados. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 4 e 5, com a média 13,80MPa para a cura REF-CA e 13,47MPa para a cura CPV-CA.

Tabela 4: Determinação da Resistência a Compressão REF-CA com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1	REF-CA	16	8,96	87.897,60	14,16
2			8,16	80.049,60	13,94
3			8,21	80.540,10	13,98
4			10,81	106.046,10	12,91
5			8,64	84.758,40	14,27
6			7,54	73.967,40	13,52
Resistência Média MPa					13,80

Fonte: Autor próprio (2023)

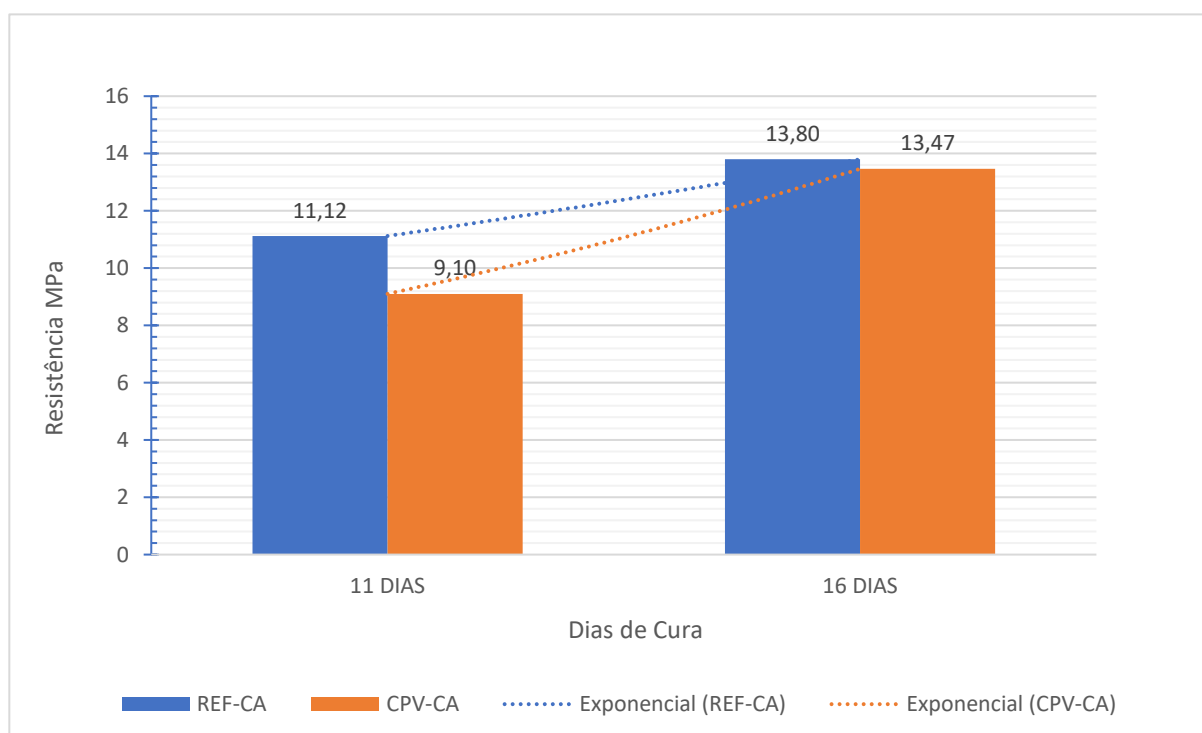
Tabela 5: Determinação da Resistência a Compressão CPV-CA com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1	CPV-CA	16	8,13	79.755,30	13,66
2			8,88	87.112,80	13,61
3			7,35	72.103,50	13,07
4			9,33	91.527,30	13,27
5			8,68	85.150,80	13,76
Resistência Média MPa					13,47

Fonte: Autor próprio (2023)

Verifica-se que ambos os lotes continuaram a aumentando a resistência de forma contínua mesmo estando na cura ao ar livre. Nota-se também que o CPV-CA obtém um aumento maior na sua resistência, mesmo sendo uma pequena diferença em comparação ao REF-CA (Gráfico 4).

Gráfico 4: Ganho de resistência ao longo do tempo de cura REF-CA e CPV-CA.



Fonte: Autor próprio (2023)

Para os corpos de prova submetidos a cura submersa em temperatura ambiente (CS) (Figura 19) realizou-se o ensaio de resistência à compressão com dezesseis dias conforme pode

ser observado nas Tabelas 6 e 7. Onde as amostras do REF-CS tiveram uma resistência de 11,63MPa e o CPV-CS 12,93MPa.

Figura 19: Traços REF-CS e CPV-CS na cura submerso a água.



Fonte: Autor próprio (2023)

Tabela 6: Determinação da Resistência a Compressão REF-CS com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1	REF-CS	16	8,21	80.540,10	11,60
2			6,84	67.100,40	11,75
3			8,50	83.385,00	11,38
4			6,31	61.901,10	11,35
5			7,26	71.220,60	12,07
Resistência Média MPa					11,63

Fonte: Autor próprio (2023)

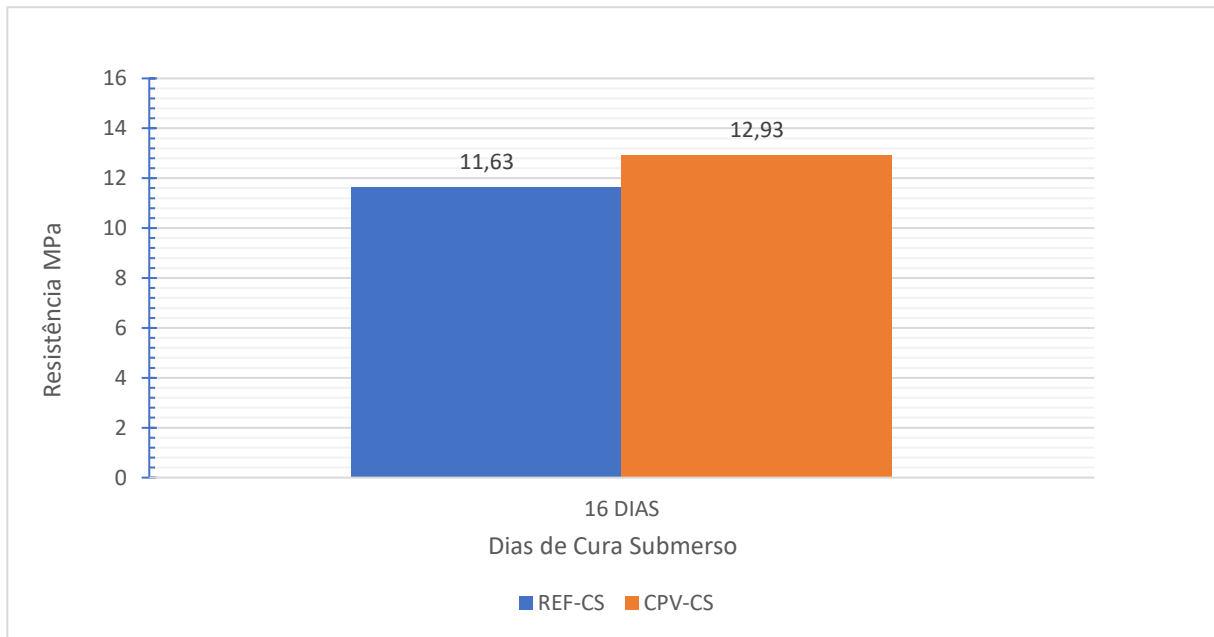
Tabela 7: Determinação da Resistência a Compressão CPV-CS com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência Característica (MPa)
1	CPV-CS	16	8,02	78.676,20	13,56
2			10,63	104.280,30	12,25
3			6,26	61.410,60	12,23
4			7,91	77.597,10	13,48
5			9,47	92.900,70	13,13
Resistência Média MPa					12,93

Fonte: Autor próprio (2023)

Verifica-se que os moldes que ficaram na cura submersa a água também tiveram um aumento contínuo na resistência à compressão, porém sendo um aumento mais lento em comparação aos moldes REF-CA e CPV-CA que ficaram na cura ao ar livre.

Gráfico 5: CPV-CS e REF-CS.



Fonte: Autor próprio (2023)

Em relação aos corpos de prova submetidos a cura térmica na estufa (CE), onde inicialmente empregou-se uma temperatura inicial de 60°C aumentando-a gradativamente até 180° após 24h (Figura 20), pode-se notar pelas Tabelas 8 e 9 que o traço REF-CE teve a menor na resistência à compressão 8,78MPa e o traço CPV-CE continuou aumentando a resistência à compressão até 15,27MPa.

Figura 20: Traços REF-CE e CPV-CE cura na estufa



Fonte: Autor próprio (2023)

Tabela 8: Determinação da Resistência a Compressão REF-CE com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1	REF-CE	16	9,85	96.628,50	8,57
2			8,82	86.524,20	9,47
3			1,25	12.262,50	6,35
4			7,38	72.397,80	10,72
Resistência Média MPa					8,78

Fonte: Autor próprio (2023)

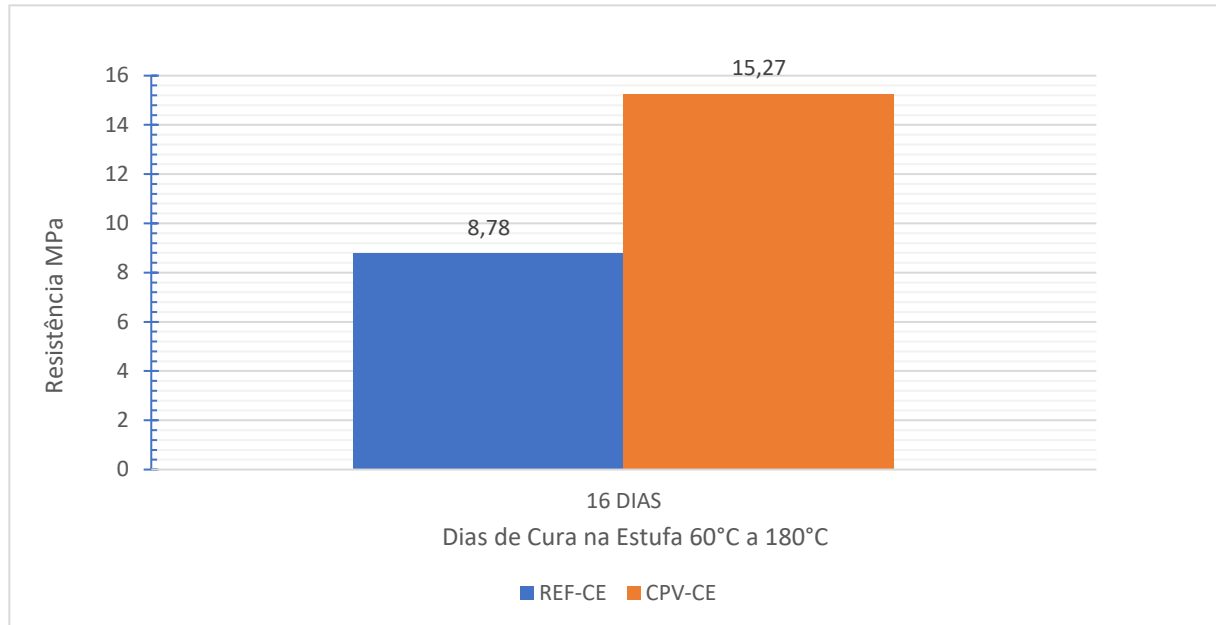
Tabela 9: Determinação da Resistência a Compressão CPV-CE com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1	CPV-CE	16	7,51	73.673,10	14,30
2			9,61	94.274,10	15,88
3			11,27	110.558,70	14,80
4			10,46	102.612,60	15,41
5			9,77	95.843,70	15,94
Resistência Média MPa					15,27

Fonte: Autor próprio (2023)

Podendo-se notar que na cura na Estufa, a amostra CPV-CE teve um resultado melhor e mais acelerado comparando ao REF-CE, como pode-se ver no Gráfico 6.

Gráfico 6: CPV-CE e REF-CE.



Fonte: Autor próprio (2023)

Os corpos de prova que foram submetidos a cura térmica submersa à 90° após os onze dias na cura ao ar livre foram colocados na estufa e submersos em água com temperatura de 90° por 5 dias, assim sobre influência do calor e da umidade (Figura 21).

Figura 21: Traços REF-CES e CPV-CES cura na estufa e submersa a água



Fonte: Autor próprio (2023)

Tabela 10: Determinação da Resistência a Compressão REF-CES com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1	REF-CES	16	9,87	96.824,70	13,13
2			9,75	95.647,50	13,23
3			6,90	67.689,00	12,68
4			8,06	79.068,60	13,69
Resistência Média MPA					13,18

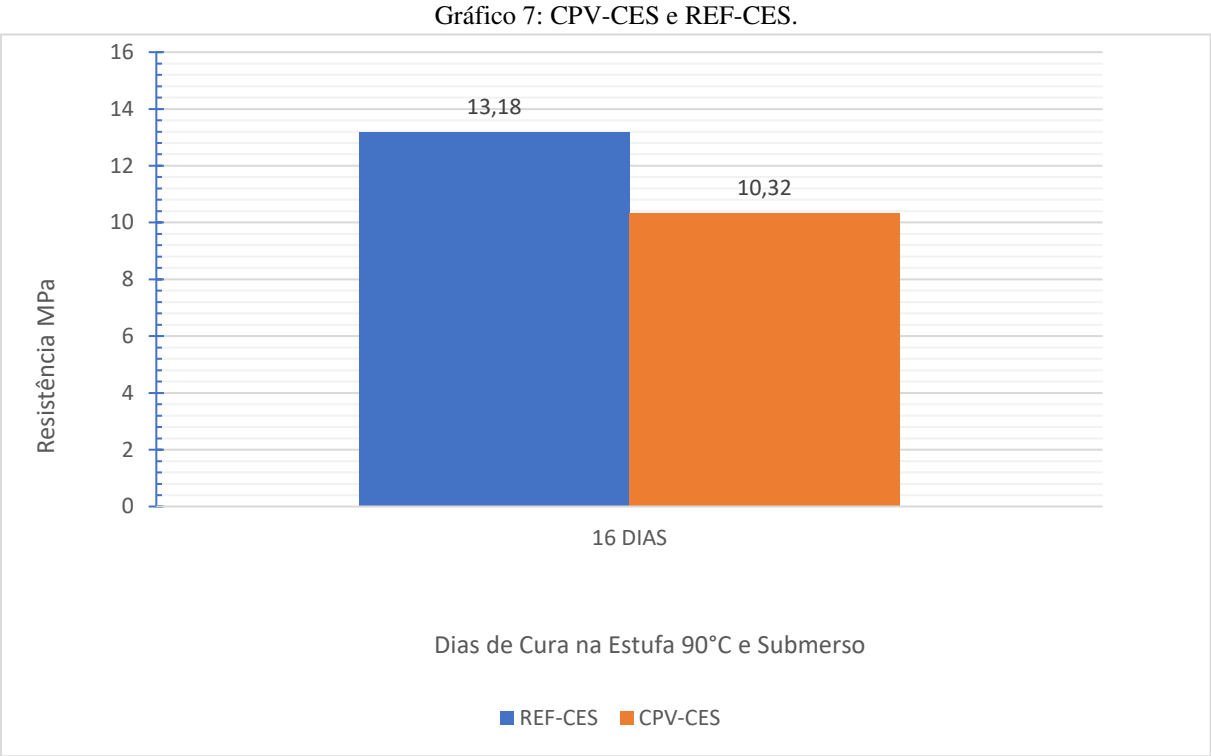
Fonte: Autor próprio (2023)

Tabela 11: Determinação da Resistência a Compressão CPV-CES com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1	CPV- CES	16	5,93	58.173,30	10,50
2			7,53	73.869,30	10,58
3			6,35	62.293,50	10,82
4			5,34	52.385,40	10,05
5			8,78	86.131,80	9,64
Resistência Média MPa					10,32

Fonte: Autor próprio (2023)

Nessas amostras obteve aumento da resistência à compressão, no REF-CES 13,18MPa e o CPV- CES 10,32MPa, destacando-se o traço sem adição de pó de vidro, como pode ser analisado nas Tabelas 10 e 11 e no Gráfico 7.



Fonte: Autor próprio (2023)

Os corpos de prova REF-CES-CE e CPV-CES-CE que foram submetidos a cura térmica híbrida sendo submerso e à 90°C na estufa, assim sobre influência do calor e da umidade. Nessas amostras continuaram aumentando a resistência à compressão REF-CES-CE 12,38MPa e 12,21MPa (Tabela 12 e 13).

Tabela 12: Determinação da Resistência a Compressão REF-CES-CE com 16 dias.

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1	REF-CES-CE	16	7,83	76.812,30	12,55
2			8,01	78.578,10	12,36
3			7,31	71.711,10	12,24
4			8,85	86.818,50	13,69
Resistência Média MPa					12,38

Fonte: Autor próprio (2023)

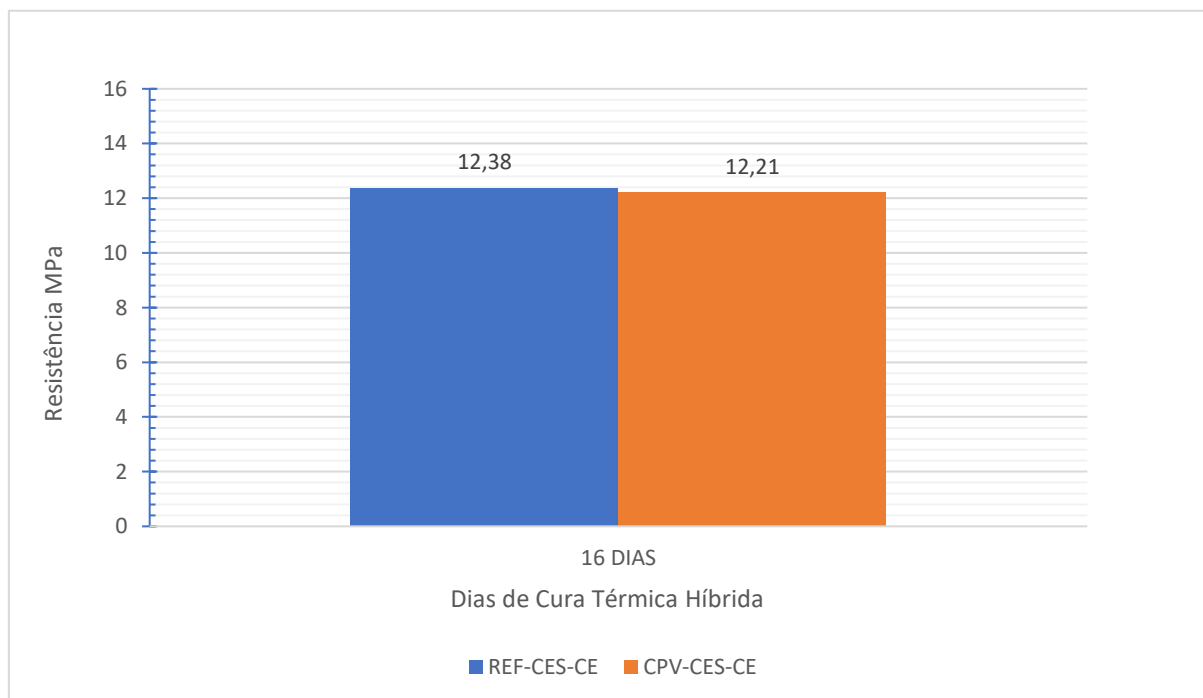
Tabela 13: Determinação da Resistência à Compressão CPV-CES-CE com 16 dias

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Cargas (Ton)	Cargas Ruptura (N)	Resistência (MPa)
1			7,21	70.730,10	12,11
2	CPV-	16	8,26	81.030,60	12,00
3	CES-CE		7,58	74.359,80	12,51
Resistência Média MPa					12,21

Fonte: Autor próprio (2023)

Observando-se no Gráfico 8, que os resultados a resistência a compressão das amostras REF-CES-CS e o CPV-CES-CS foram similares e com aumento contínuo.

Gráfico 8: CPV-CES-CE e REF-CES-CE.



Fonte: Autor próprio (2023)

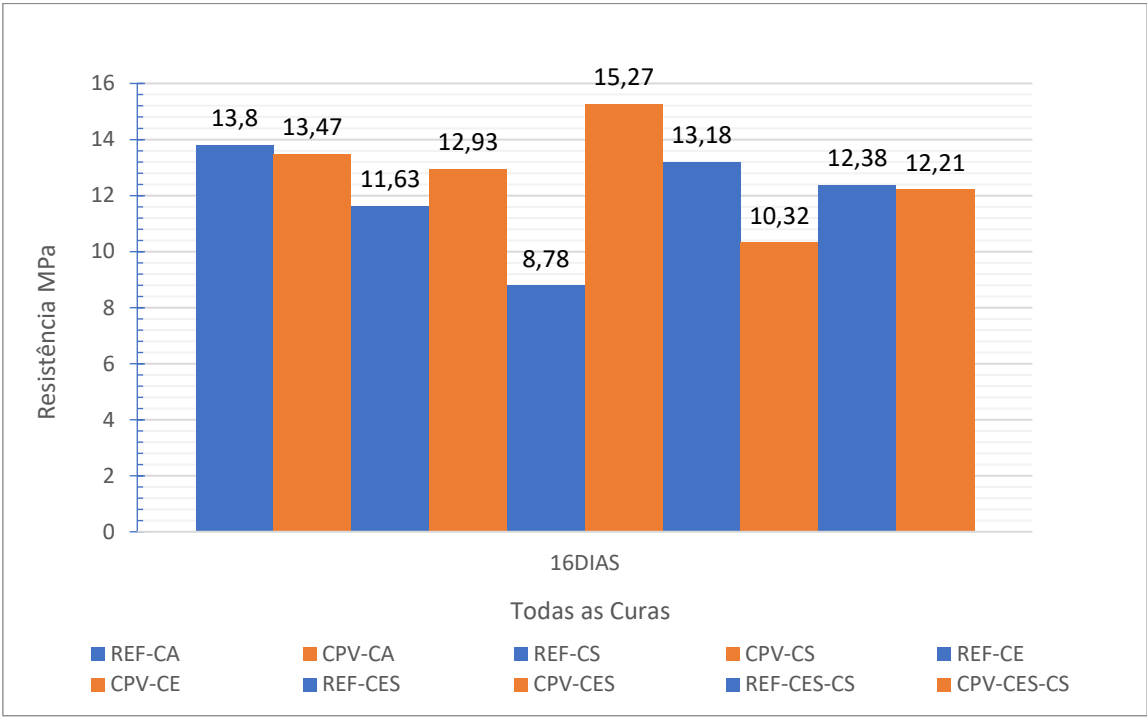
Na Tabela 14 e no Gráfico 9, pode-se analisar os resultados mais se destacaram, um aumento considerado de 67% na resistência à compressão no CPV-CE, que sofre influência do calor térmico entre 60°C até 180°C e o CPV-CA com aumento de 48% que sofre ação do calor natural do Município de Caraúbas-RN (23°C até 35°C).

Tabela 14: Variação das resistências em porcentagem

Série	ID. Lote	Idade CP'S	Resistência (MPa)	Aumento (%)
1	CPV-CA	11 dias	9,10	0
2	CPV-CA	16 dias	13,47	48
3	CPV-CS	16 dias	12,93	42
4	CPV-CE	16 dias	15,27	67
5	CPV-CES	16 dias	10,32	13
5	CPV-CES-CE	16 dias	12,21	34

Autor: Próprio autor (2023)

Gráfico 9: Todas as curas com 16 dias REF e CPV.



Fonte: Autor próprio (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analizou-se a granulometria do pó de vidro, obtendo resultado considerativo em relação ao tamanho das partículas, a maior dimensão do grão foi de 2,36mm, classificando-se em agregado miúdo artificial e ficando no parâmetro da Zona Utilizável.

Os CPVs modelados para a substituição parcial do agregado miúdo, apresentaram resultados positivos, mostrando-se ser viável a utilização do pó de vidro na massa do concreto para a produção de piso intertravados, ocorrendo um crescimento contínuo da resistência ao longo do tempo dos dias de cura, mesmo com a variação dos tipos de curas.

A cura estufa e submerso (CPV-CES) sofreu influência do calor e da umidade, obtendo-se o menor resultado da resistência. As resistências à compressão chegaram a ser similares ao traço usado como referência nas curas ao ar livre (CA), com temperatura local da cidade de Caraúbas-RN variando entre 23°C e 35°C, e a cura térmica hídrica e na estufa a 90° (CPV-CES-CE). podendo se observar na Tabela 14 que os melhores resultados da utilização do pó de vidro são com a cura ao ar livre (CA) e após os 11 dias passando para a cura térmica na estufa (CPV-CE), onde inicialmente empregou-se uma temperatura inicial de 60°C aumentando-a gradativamente até 180° após 24h.

Destacando-se que os CPV's que sofreram maior influência do calor, sendo o calor ao ar livre (23°C a 35°C) e o calor da estufa, foram os que atingiram os melhores resultados a resistências à compressão.

Observou-se também que nos Pisos Intertravados produzidos com o pó de vidro houve uma maior absorção de água, assim sendo necessário acrescentar mais água no traço, para obter a pega da massa de concreto.

Conclui-se que a junção do pó de vidro no concreto é viável a substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de vidro, podendo produzir pavers para calçamento, sendo fácil dosar um concreto com a resistência necessária, além de estar utilizando um material reciclado e diminuindo a degradação ambiental, por meio da extração de materiais naturais. Podendo ser estudado futuramente as curas com 28 dias, analisar mais as curas com temperatura térmicas (estufa e com lona preta) avaliando a temperatura ótima para os pavers atingirem a resistência à compressão mais rápida.

REFERÊNCIAS

Akerman, Mauro. "Natureza, estrutura e propriedades do vidro." *Publicação técnica. Centro técnico de elaboração do vidro. Saint-Gobain, Vidros-Brasil* (2000): 16.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: NBR 9781. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação de composição granulométrica dos agregados. NBR 7217. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, Coordenador: L.A. Falcão. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 538 p.

Barboza, Christian Souza, and Gabriela Sarti Figueiredo. "PRODUÇÃO DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL A PARTIR DO PROCESSAMENTO DE MATERIAIS VÍTREOS.", 2017.

BENATTI, Larissa Barbieri; ANJOS, Maximiliano dos. Reciclagem do vidro como alternativa para concreto. Simpósio Nacional de Gerenciamento de Cidades: IV SNGC, São Paulo, v. 1, n. , p. 764-774, 2016.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

EURECICLO. Reciclagem do vidro: Desafios, oportunidades e iniciativas. 2022. Disponível em: <https://info.eureciclo.com.br/hubfs/Conteudos/ebook-reciclagem-do-vidro.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

FIORITI, C.F., INO, A., AKASAKI, J.L., "Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus", *Acta Scientiarum Technology*, v.32, n.3, pp. 237-244, Nov. 2010.

HUANG, B. et al. A life cycle thinking framework to mitigate the environmental impact of building materials. *One earth* (Cambridge, Mass.), v. 3, n. 5, p. 564–573, 2020.

LARA, L. A. M. **Materiais de Construção**. Ouro Preto-MG: e-Tec Brasil, 2013

López, D. A., C. A. P. de Azevedo, and E. Barbosa Neto. "Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino." *Cerâmica* 51 (2005): 318-324.

MACEDO, Jeandson Wilck Nogueira de. Argamassa de revestimento Produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2021.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do Concreto - 2ed.** [s.l.] Bookman Editora, 2013.

RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes; BRANCO, Marcos Patrik Vieira; JUNIOR, Marcos de Oliveira Valin; ALMEIDA, Éder Sousa de. Estudo da substituição da areia pelo pó de pedra como agregado miúdo em argamassa. *Anais do 4º Encontro em Engenharia de Edificação e Ambiental*, 2016.

SILVA, B. C. L. DA; GACHET, L. A.; LINTZ, R. C. C. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, p. e-12897, 2020.

SILVA, F. M. DA et al. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 1, p. e11778, 2017.

UNICAMP. Disponível em:

<<https://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2024.