



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

LEANDRO SÁ DO AMARAL

REUTILIZAÇÃO DO VIDRO ÂMBAR COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO
EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Palmas – TO

2019

LEANDRO SÁ DO AMARAL
REUTILIZAÇÃO DO VIDRO ÂMBAR COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO
EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos.

Palmas – TO

2019

Leandro Sá do Amaral

REUTILIZAÇÃO DO VIDRO ÂMBAR COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO
EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ci pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof. Dra Michele Ribeiro Ramos.

Aprovado em: 12/11/2019

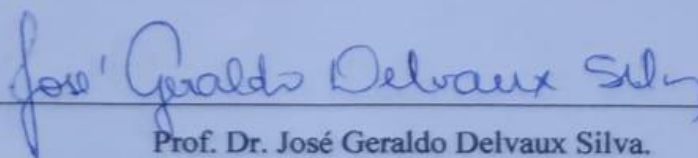
BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Prof. Dra Michele Ribeiro Ramos.
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Me. Murilo de Pádua Marcolini
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Examinador externo

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar me guiando no caminho correto, dando força e coragem para enfrentar todas as barreiras e empecilhos dessa jornada, agradeço ainda por ter me dado o dom da vida e estar me abençoando todos os dias.

Aos meus pais por todo apoio, paciência, carinho, amor e persistência comigo desde o nascimento até este importante momento e a toda a minha família pelas palavras de apoio, pela constante presença e ajuda prestada no percorrer desses anos de faculdade.

A todos os amigos que estiveram ao meu lado no decorrer desses anos que tiveram o dom da paciência em ajudar, e dentre esses amigos não poderia faltar a mais importante que de amiga se tornou minha namorada, pessoa essa que sempre esteve ao meu lado desde o primeiro dia de aula até o presente momento durante todos esses anos de faculdade, pois não teria chegado até o final sem você Giovana Oliveira Frazão.

Agradeço ainda a família da Giovana que se tornaram minha nova família e que tiveram um papel importante nessa reta final prestando todo auxílio possível.

Agradeço ainda a todos os professores do CEULP/ULBRA que contribuíram para a construção do meu conhecimento. E por fim agradeço em especial a Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos por toda orientação, apoio e auxílio prestado.

RESUMO

AMARAL, Leandro. **Reutilização do vidro âmbar como substituto do agregado miúdo em blocos intertravados de concreto**. 2019, 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, 2019.

O presente trabalho visa apresentar e discutir por meio de análise das propriedades mecânicas, a viabilidade técnica do reuso do resíduo de garrafas âmbar como substituto do agregado miúdo por agregado vítreo para confecção de blocos intertravados, proveniente de bares da cidade de Palmas/TO. A utilização do agregado vítreo como substituto do agregado miúdo é uma proposta para minimizar o uso da matéria prima (areia) retirada do meio ambiente. Portanto foram produzidos *pavers* com o intuito de alcançar um F_{ck} de 35 Mpa aos 28 dias conforme determina a NBR 9781:2013, sendo que toda a dosagem dos blocos foi realizada seguindo o método ABCP/ACI. Foram realizadas quatro dosagens, sendo um traço referência (Tr), o qual não continha nenhuma substituição e as outras três dosagens contento substituição, sendo elas por 20%, 40% e 60% de agregado vítreo pelo agregado miúdo. Para os testes de inspeção visual, avaliação dimensional e resistência a compressão foram produzidos 6 blocos de cada traço (Tr, 20%, 40% e 60%) para as idades de 3, 7 e 28 dias de modo que foi realizado os três ensaios utilizando os mesmos blocos, já para o teste de absorção de água foram produzidos apenas 3 blocos de cada traço (Tr, 20%, 40% e 60%) apenas para idade de 28 dias. Para os ensaios de inspeção visual e avaliação dimensional constatou-se que os resultados foram satisfatórios pois todos estavam de acordo com o que rege a NBR 9781:2013, para o ensaio de absorção de água concluiu que também foram satisfatórios os resultados pois de acordo com a NBR 9781:2013 todos os valores individuais foram inferiores a 6 % e todos os valores médios foram inferiores a 7%. Quanto aos testes de compressão axial foi possível verificar que houve uma redução na resistência conforme houvesse mais substituição do agregado miúdo pelo vítreo porem mesmo ocorrendo essa redução os valores ainda apresentaram um resultado satisfatórios devido todas as resistências apresentarem valores acima dos 35 Mpa conforme rege a NBR 9781:2013.

Palavras-chave: Reutilização. *Pavers*. Resistencia a compressão axial. Agregado vítreo. Blocos intertravados. Vidro âmbar. Concreto. Viabilidade técnica.

ABSTRACT

AMARAL, Leandro. **Reuse of amber glass as a substitute for fine aggregate in interlocking concrete blocks.** 2019, 62f. Final Paper (Civil Engineering) - Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA, 2019.

The present work aims to present and discuss by means of mechanical properties analysis, the technical viability of the reuse of amber bottle residue as a substitute of the glassy aggregate for making interlocked blocks from bars in the city of Palmas / TO. The use of vitreous aggregate as a substitute for fine aggregate is a proposal to minimize the use of raw material (sand) removed from the environment. Therefore, *pavers* were produced in order to achieve a 35 Mpa Fck at 28 days, as determined by NBR 9781: 2013, and all block dosing was performed following the ABCP / ACI method. Four dosages were performed, one reference trait (Tr), which contained no substitution and the other three dosages containing substitution, being for 20%, 40% and 60% of vitreous aggregate by minute aggregate. For the visual inspection, dimensional evaluation and compressive strength tests, 6 blocks of each trait (Tr, 20%, 40% and 60%) were produced for ages 3, 7 and 28 days so that the three tests were performed. Using the same blocks, for the water absorption test only 3 blocks of each trait (Tr, 20%, 40% and 60%) were produced only for the age of 28 days. For the visual inspection and dimensional assessment tests it was found that the results were satisfactory as all were in accordance with the rules of NBR 9781: 2013, for the water absorption test concluded that the results were also satisfactory because according to NBR 9781: 2013 all individual values were less than 6% and all mean values were less than 7%. Regarding the axial compression tests it was possible to verify that there was a reduction in the resistance as there was more substitution of the small aggregate by the vitreous. However, even though this reduction occurred, the values still presented a satisfactory result because all the resistances presented values above 35 Mpa, according to the NBR. 9781: 2013.

Key-words: Reuse. Pavers. Resistance to axial compression. Glassy household. Interlocking blocks. Amber glass. Concrete. Technical viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes do pavimento intertravado	23
Figura 2: Movimentação do pavimento intertravado	24
Figura 3: Tipo de pavimento intertravado	25
Figura 4: Tipo 1	25
Figura 5: Tipo 2	25
Figura 6: Tipo 3	26
Figura 7: Tipo 4	26
Figura 8: Fluxograma da confecção e ensaios realizados	28
Figura 9: Coleta do material	29
Figura 10: Quebra dos cascos	30
Figura 11: Moagem das garrafas	30
Figura 12: Peneiramento do agregado vítreo	31
Figura 13: Fator A/C	34
Figura 14: Curva granulométrica	40
Figura 15: Slump traço referencia	45
Figura 16: Inspeção visual	46
Figura 17: Avaliação dimensional	47
Figura 18: Gráfico absorção média de água	49
Figura 19: Gráfico com os valores médios do ensaio de resistência a compressão axial	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência característica a compressão	33
Tabela 2: Valor do desvio padrão em relação ao rigor da dosagem.....	33
Tabela 3: Abatimento do tronco de cone.....	34
Tabela 4: Consumo de água.....	35
Tabela 5: Volume do agregado graúdo.....	35
Tabela 6: Resumo dos resultados	38
Tabela 7: Determinação do tempo de pega	38
Tabela 8: Resumo dos resultados	39
Tabela 9: Composição granulométrica	39
Tabela 10: Massa específica.....	40
Tabela 11: Massa unitária.....	40
Tabela 12: Resumo dos resultados	41
Tabela 13: Composição granulométrica	41
Tabela 14: Curva granulométrica	42
Tabela 15: Massa específica.....	42
Tabela 16: Massa unitária.....	42
Tabela 17: Massa específica.....	43
Tabela 18: Resultados obtidos através da caracterização dos materiais.....	43
Tabela 19: Resultado do passo a passo item 3.5	44
Tabela 20: Tabela contendo traço em volume e traço em massa	44
Tabela 21: Quantitativo	44
Tabela 22: Slump Test.....	45
Tabela 24: Absorção de água traço referência.....	47
Tabela 25: Absorção de água traço com 20% de substituição	48
Tabela 26: Absorção de água traço com 40% de substituição	48
Tabela 27: Absorção de água traço com 60% de substituição	48
Tabela 28: Média de absorção de água.....	49
Tabela 29: Análise de variância do ensaio de absorção de água para diferentes doses de substituição do agregado miúdo pelo vítreo	50
Tabela 30: Resultado médio resistência a compressão axial.....	51
Tabela 31: Análise de variância do ensaio de compressão axial para diferentes doses de substituição do agregado miúdo pelo vítreo	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACI	American Concrete Institute
Abividro	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACREPOM	Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Recicláveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRQ	Conselho Regional de Química
RSU'S	Resíduos sólidos urbanos
Fck	Resistência a compressão característica
Fcj	Resistência a compressão do concreto
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
mm	Milímetro
DMC	Diâmetro Máximo Característico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
CP I	Cimento Portland Comum
CP II	Cimento Portland Composto
CP III	Cimento Portland de Alto-Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V – ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
RS	Cimento Portland Resistente a Sulfatos
BC	Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação
CPB	Cimento Portland Branco
RAA	Reação Álcali-Agregado
RAS	Reação álcali-sílica
RASS	Reação álcali-silicato

RAC	Reação álcali-carbonato
Sd	Desvio padrão
μm	Micrômetro
C.c	Consumo de cimento
C.A	Consumo de água
A/C	Fator água cimento
C.ag	Consumo de agregado graúdo
V.ag	Volume de agregado graúdo
M.u	Massa unitária
ρc	Massa específica do cimento
Cb	Consumo de brita
ρb	Massa específica da brita
Cw	Consumo de água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	12
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU'S)	14
2.2 VIDRO	15
2.3 CONCRETO	17
2.3.1 <i>Cimento Portland</i>	18
2.3.2 <i>Agregado miúdo</i>	19
2.3.3 <i>Agregado graúdo</i>	19
2.3.4 <i>Aditivos</i>	20
2.4 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	21
2.5 BLOCOS INTERTRAVADOS	23
3 METODOLOGIA	27
3.1 DESENHO DO ESTUDO	27
3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	28
3.3 ETAPAS DE PREPARO DAS GARRAFAS	28
3.3.1 <i>Instrumento de coleta</i>	28
3.3.2 <i>Preparo dos materiais</i>	29
3.3.3 <i>Moagem</i>	29
3.3.4 <i>Peneiramento</i>	30
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	31
3.4.1 <i>Cimento</i>	31
3.4.2 <i>Agregado miúdo</i>	32
3.4.3 <i>Agregado graúdo</i>	32
3.4.4 <i>Agregado vítreo</i>	32
3.5 DOSAGEM DO CONCRETO	33
3.6 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	38
4.1.1 <i>Cimento Portland</i>	38

4.1.2 Agregado miúdo	39
4.1.3 Agregado graúdo.....	41
4.1.4 Agregado vítreo	43
4.2 DOSAGEM DO CONCRETO	43
4.3 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	44
4.4 INSPEÇÃO VISUAL	45
4.5 AVALIAÇÃO DIMENSIONAL.....	46
4.6 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	47
4.7 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	50
5 CONCLUSÕES.....	54
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A produção de embalagens de vidro no Brasil é em média 980 mil toneladas por ano, sendo que no processo de produção dessas embalagens é utilizado em torno de 45% de cacos de vidro como matéria prima reciclada, os cacos de vidro utilizados para reciclagem são provenientes de coletas seletiva dos municípios e de refugo nas fabricas. No Brasil em 2010 cerca de 47% das embalagens de vidro foram recicladas, totalizando em média 470 mil toneladas por ano (CEMPRE, 2014).

A reutilização de materiais é uma pratica muito utilizada atualmente, e na área da construção civil vem crescendo aceleradamente, principalmente pela necessidade de substituir materiais que são retirados do ambiente. Na construção civil as matérias primas mais utilizadas como os agregados (areia e brita) não são renováveis, logo o seu uso desenfreado pode ocasionar o esgotamento e comprometer o meio ambiente, sendo assim, à necessidade de propor soluções que possam tornar a construção civil mais sustentável, é uma realidade cada vez mais presente.

Segundo a classificação do CONAMA nº 307 (2002), o vidro se enquadra como resíduos da construção civil, pois é material proveniente de construções, reformas, reparo e demolições de obras do setor. Ainda de acordo com essa resolução o resíduo de vidro está classificado como resíduo de classe B, pois se enquadra como resíduos recicláveis para outras utilizações.

Segundo o site do IBEA (Instituto Brasileiro de engenharia, arquitetura e proteção ambiental), o vidro quando não reciclado e descartado na natureza tem uma vida útil de aproximadamente cinco mil anos (5.000) até desaparecer do meio onde se encontra, ainda segundo o IBEA o vidro representa cerca de 13% do lixo que é produzido, e ainda alguns tipos de vidro podem ser reciclados, como é o caso da garrafa âmbar de 600 ml.

De acordo com Akerman (2013), o vidro sodo-cálcico é o vidro comercial mais comum e barato, responsável por 90% da produção de vidro de todo o planeta. Conforme Barros (2010), os vidros sodo-cálcico são compostos vitrificante, que é introduzido 70% a 72% na forma de areia (sílica); um fundente, carbonato e sulfato (soda), cerca de 14%; um estabilizante, calcário cerca de 10% (óxido); entre vários outros óxidos. Ainda de acordo com Barros (2010), os vidros sodo-cálcico tem uma composição química muito parecida com a da crosta terrestre.

Devido à alta composição de sílica no vidro, propõe-se substituir o agregado miúdo pelo agregado vítreo, pois seria uma maneira de reduzir a utilização de matéria prima (areia) na confecção do concreto e comprovar por meio de ensaios físicos mecânicos a viabilidade técnica dessa substituição.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica da reutilização de garrafas âmbar, na substituição do agregado miúdo no concreto para confecção de blocos intertravados para pavimentação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaio para caracterização dos agregados e calcular traço referência pelo método ABCP/ACI;
- Produzir blocos intertravados com diferentes teores de substituição do agregado miúdo por vidro;
- Avaliar a resistência a compressão, trabalhabilidade e absorção de água dos blocos após a substituição do pó do vidro no concreto;
- Inspeccionar visualmente os blocos intertravados;
- Confrontar os resultados dos blocos do traço referência com o traço que contém substituições.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Gonçalves (2001), a necessidade de buscar meios de reciclagens é para que ocorra uma contribuição com o meio ambiente de forma eficiente e para que se possa aprimorar as características físicas e químicas do concreto, afim de se obter melhores resultados.

Segundo um estudo do Instituto de pesquisa econômica aplicada (IPEA, 2017), a destinação dos resíduos sólidos do Brasil não é realizada de forma correta, pois apenas cerca de 13% de todos os resíduos recebe o processo de destinação adequado de reciclagem, sendo um dos principais motivos para a ineficiência da destinação a falta de informação da população quanto a destinação dos resíduos. Ainda de acordo com uma pesquisa realizada pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre, 2016), mostra que apenas 18% dos municípios brasileiros possuíam um sistema de coleta seletiva funcionando, essa pesquisa foi realizada em 5.570 municípios nos quais apenas 1.055 possuíam a coleta.

Como citado no parágrafo anterior um dos maiores problemas da reciclagem no Brasil hoje se dá pela ineficiência ou ausência da coleta seletiva e pela falta de informações por parte da população. Ainda segundo (Sino Reto, 2001), outro gargalo ainda na reciclagem se dá pela alta tributação sobre o material reciclado, pois apresenta baixo incentivo do governo, como isenção de tributos.

A utilização do vidro no concreto como agregado miúdo apresenta pontos positivos de diferentes pontos de vistas, analisado pela visão ambiental se trata de um material de baixíssimo custo, redução da utilização de matéria prima e por ser um material reciclável que terá uma destinação apropriada, deixando de poluir o meio ambiente; no ponto de vista social, a reciclagem do vidro pode possibilitar a geração novos empregos; pela perspectiva econômica a substituição da areia pelo vidro moído pode ocasionar uma redução economia , e também pela geração de novos empregos; já no setor da construção civil essa reciclagem do vidro para o concreto pode contribuir fisicamente com o ganho de resistência e durabilidade, sendo que o principal interesse do estudo aqui realizado, é avaliar e constatar a possibilidade da substituição do vidro pelo agregado miúdo gerar ganhos na resistência de acordo com o teor de agregado vítreo utilizado na elaboração de blocos intertravados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU'S)

Conforme a NBR 10.004:2004, todo e qualquer resíduo sólido, semi-sólido, lodos de sistemas de tratamento de água provenientes de equipamentos e instalações de controle de poluição, e alguns líquidos específicos, são caracterizados como resíduos sólidos, pois são resultados de atividades domésticas e comerciais dos centros urbanos, são eles atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ainda de acordo com o plano nacional de resíduos sólidos (2011), gases contidos em recipientes são definidos como resíduos sólidos.

Segundo a NBR 10.004:2004, a classificação dos resíduos sólidos deve ser realizada após identificação de sua origem, processo de produção e criação, sua composição e características, para que haja a devida categorização, visto que a classificação ocorre de acordo com a periculosidade do resíduo. Ainda conforme a NBR acima os resíduos são classificados da seguinte forma:

- Classe I (Perigosos) – São os resíduos inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos;
- Classe II (Não perigosos) – São os resíduos que não apresentam riscos à saúde da população ou ao meio onde se encontra, os resíduos da classe II são subdivididos em duas classes, são elas:
 - Classe II A (Não inertes) – São resíduos que apresentam propriedade de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade.
 - Classe II B (Inertes) – São resíduos que não apresentam riscos à saúde da população ou ao meio ambiente inserido.

A lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), tem como um dos principais objetivos disponibilizar diretrizes que auxiliem no desenvolvimento da cultura de redução da geração de resíduos, manejo e destinação correta, reciclagem e reutilização de materiais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos por se tratar de todos os resíduos sólidos foi um marco no setor pois incentiva o descarte de forma correta interagindo com o poder público, cidadão e iniciativa privada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos busca estimular tecnologias voltadas ao reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos que visam além de evitar a exploração de novos recursos naturais, a possibilidade da oportunidade de crescimento econômico e social, melhorias ambientais e redução de gastos por meio da reciclagem e reutilização dos resíduos.

De acordo com Mota et al. (2009), o destino tomado pelos resíduos é realizado de acordo com sua classificação, sendo assim algumas destinações dos resíduos são:

- Coleta seletiva: É o recolhimento de materiais recicláveis, como papel, plástico, vidro, entre outros. Após uma categorização são vendidos para indústrias de reciclagem ou sucateiros.
- Reciclagem: É o reaproveitamento de materiais, para reutilização como matéria prima para confecção de novos produtos.
- Lixão ou vazadouro: São áreas a céu aberto onde destina a receber os resíduos sem nenhuma forma de planejamento ou medidas de proteção ao meio ambiente e a saúde públicas, locais como esses ainda são muito utilizados.
- Aterros sanitários: Locais para destinação de resíduos onde são aplicados métodos e técnicas sanitárias (impermeabilização do solo, cobertura diária, tratamento de gases e chorume) e outros procedimentos, de modo a evitar danos e riscos à saúde pública e meio ambiente.
- Usinas de compostagens: São locais onde apresentam uma infraestrutura capaz de realizar uma decomposição biológica de materiais orgânicos contidos no lixo.
- Incineração: É um processo de combustão do lixo de modo que esse procedimento não necessita de grandes áreas como é o caso de aterros sanitários, a energia gerada durante o procedimento pode ser utilizada para outros fins, e também possibilitando eliminar resíduos perigosos, porém o controle constante de poluição da emissão de gases e alto custo podem inviabilizar esse procedimento de destinação de resíduos.
- Biogásificação ou metanização: É a digestão anaeróbica de resíduos orgânicos que gera biogás, composto por cerca de 50% a 60% de metano havendo a possibilidade de ser utilizado com combustível.

2.2 VIDRO

Devido o percentual de resíduos de construção civil encontrados nos resíduos sólidos urbanos serem altos, o Conama apresenta a resolução Nº 307 de 2002 para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos sobre os resíduos da construção civil de modo que venha a minimizar os impactos ambientais. Pois segundo sua resolução os resíduos do setor da construção civil são todos e qualquer matéria proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras oriundo do setor. Ainda de acordo com o Art. 3º da resolução do Conama, os restos resultantes de obras possuem uma classificação, onde o vidro se enquadra na Classe B, pois se trata de resíduos com a possibilidade de reuso com outras serventias.

Conforme o site da Cebrace o vidro é definido como uma substancia que apresenta características amorfas, ou seja, que não apresenta forma pré-definida, homogêneas e inorgânicas, pois não apresenta o carbono como principal elemento, alcançado por meio de resfriamento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento contínuo da viscosidade até atingir a condição de rigidez, não ocorrendo a cristalização do vidro. O vidro apresenta como principais qualidades a sua transparência e dureza.

Segundo Akerman (2013), acredita-se que a utilização do vidro pelo homem início por cerca de 75.000 anos, datado próximo da pré-história, porém o vidro utilizado nessa época constituía-se de um vidro natural existente na natureza como mineral, e sua utilização para a época se dava pelo seu poder de corte, característica essa hoje muitas vezes vista como um defeito. O mineral citado acima, ainda segundo Akerman, trata-se de obsidiana, e era esculpido com a finalidade de armas e ferramentas com uma elevada capacidade de corte. O vidro só começou a ser produzido pelo homem em torno de 4.500 anos atrás, antes disso toda a sua utilização era de vidros provenientes da natureza. (Akerman, 2013).

Dessa maneira é possível concluir que o vidro é uma das descobertas que apresenta uma história cheia de mistérios, pois sua utilização vem desde a mais remota antiguidade e que não é possível afirmar com exatidão a sua origem devido falta de dados. Porém foi encontrado objetos vítreos nas necrópoles egípcias, logo se imagina que alguns povos já conseguiam produzir o vidro há pelo menos 4.000 anos antes da Era Cristã (Cebrace).

De acordo com Saintive e Bruni (2008), o vidro poderia ser confeccionado somente com sílica, carbonato de sódio e calor, porém ele seria solúvel na água, entretanto, adicionando cálcio em sua composição ele deixaria de ser solúvel na água e tornaria mais duro. Ainda conforme Saintive e Bruni (2008), ao longo dos últimos 5.000 anos a composição química do vidro teve poucas alterações.

Saintive e Bruni (2008), afirma que o vidro sodo-cálcico é o vidro mais comum usado no mundo, e de acordo com Akerman (2013), vidros sodo-cálcico são utilizados para confecção de embalagens, vidraças, lâmpadas, artigos domésticos e entre outros. Segundo Saintive e Bruni (2008), vidros sodo-cálcicos são compostos de 70% de sílica (SiO_2), 15% de óxido de sódio (Na_2O), 10% de óxido de cálcio (CaO) e 5% de outros óxidos.

Segundo o site do Conselho Regional de Química da IV região (2011), os vidros sodo-cálcicos não apresentam resistência a altas temperaturas, mudanças inesperadas de temperatura e em contato com produtos químicos corrosivos. Os vidros que possuem uma melhor capacidade de resistência as mudanças térmicas e a corrosão química é o borossilicato, esse tipo de vidro deve conter pelo menos cerca de 5% de óxido de boro em sua composição química, o mesmo é muito utilizado em laboratórios, na indústria, em processos químicos, objetos

científicos, lâmpadas de alta potência, utensílios domésticos, painéis e produtos resistentes ao calor.

A confecção do vidro se inicia após todo processo de transporte da matéria prima, classificação dos materiais, pesagem, mistura do material e introdução da massa ao forno, a parte principal da fabricação do vidro são quatro etapas, são elas: fusão, conformação ou moldagem, recozimento e acabamento. Após a massa ir para o forno o vidro sofre o processo de fundição, logo em seguida é o processo de conformação, onde o vidro é moldado por uma máquina muitas vezes utilizando ar, todo esse procedimento é feito em curto tempo devido a alta velocidade do vidro em sair do estado líquido viscoso para o sólido. Alguns tipos específicos de vidros passam pelo processo de recozimento, esse processo se dá por um tratamento químico e resfriamento, após todos esses procedimentos o vidro passa por uma inspeção e transformação, caso sejam decorativos, até a etapa de embalagem.

2.3 CONCRETO

Segundo o Ibracon (2009), o concreto é muito utilizado pela sociedade para execução de obras, pois é possível constatar sua presença em obras como, rodovias, pontes, casas, edifícios, torres de resfriamento em usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento, plataformas de extração petrolífera moveis e em outras diversas obras.

Neville e Brooks (2013), afirma que o concreto é qualquer massa ou produto confeccionado por meio da utilização de um meio cimentante, comumente esse composto é produto da reação entre a água e um cimento hidráulico, já de acordo com o Ibracon (2009), o concreto é uma pedra artificial moldada a partir da imaginação construtiva do homem, pois foi capaz de produzir um material que após o seu processo de endurecimento apresenta resistência parecida a de rochas naturais. Ainda conforme o Ibracon, as duas principais propriedades que faz com que o concreto se destaque é, sua resistência a água, o que o torna diferente de outros materiais como, aço e madeira; e a sua característica plástica, o que possibilita a sua moldagem de acordo com a inventividade e necessidade humana.

Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto pode ser confeccionado com diferentes tipos de cimento e composto por pozolanas, como escória de alto-forno, sílica ativa, cinza volante, adições minerais, aditivos, agregados de concreto reciclado, fibras e polímeros. Ainda de acordo com o autor os concretos podem ser aquecidos, auto-clavados, tratados a vácuo, curados a vapor, prensados, vibrados por impactos, extrudados e projetados.

Ines Battagin, superintendente do CB-18 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) afirma que, “o concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e

gráudos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento”.

2.3.1 Cimento Portland

A atribuição do nome cimento Portland se deve pela sua semelhança em cor e propriedades de durabilidade e solidez em seu estado endurecido com a pedra Portland. O cimento Portland surgiu pelo inglês Joseph Aspdin em 1824 e é confeccionado essencialmente da combinação de um material cálcico, como calcário ou giz, sílica, e a alumina encontrada em argilas e folhelhos (Neville e Brooks, 2013).

O processo de fabricação do cimento Portland se inicia com a moagem das matérias primas cruas até obter-se um pó extremamente fino e realizar a mistura em proporções predeterminadas e queima-las em um forno rotativo com uma temperatura aproximada de 1400 °C, durante o processo de queima no forno, ocorre sintetização do material e fusão parcial na forma de clínquer, logo após o material é resfriado e recebe uma quantidade predeterminada de gipsita (sulfato de cálcio), para finalizar o processo de produção o material é moído novamente até alcançar uma fina granulometria (Neville e Brooks, 2013).

Já de acordo com o Ibracon (2009), o cimento Portland conhecido hoje não é o mesmo produzido pelo inglês Joseph Aspdin, pois os fornos de Joseph eram precários para conseguirem obter clínquer e por não ter definido na patente a proporção da mistura.

No Brasil de acordo com o Ibracon (2009), existe oito opções de cimento disponíveis para a construção civil, são eles:

- CP I (Cimento Portland comum I) – Não apresenta nenhuma adição em sua composição, exceto gesso.
- CP II (Cimento Portland comum II) – Apresenta adição de escoria, pozolana ou fíler em pequenas proporções em sua composição.
- CP III (Cimento Portland de alto-forno III) – Pode conter escória de alto-forno variando de 35% a 70% em sua composição.
- CP IV (Cimento Portland pozolânico) – Contém pozolana variando de 15% a 50 % em sua composição.
- CP V (Cimento Portland de alta resistência inicial) – Contém uma dosagem específica de calcário e argila na produção de clínquer e pela moagem mais fina do cimento.
- CP RS (Cimento Portland resistente a sulfatos) – É recomendado sua utilização em obras em ambientes agressivos.
- CP BC (Cimento Portland de baixo calor de hidratação) – Possui propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto.

- CP B (Cimento Portland branco) – Cimento com coloração diferente da coloração natural cinza, sua obtenção ocorre devido baixos teores de óxido de ferro e manganês, e condições mais extremas de resfriamento.

2.3.2 Agregado miúdo

A principal característica do agregado miúdo é a sua granulometria, e se faz necessário conhecer para que se possa atingir o nível de qualidade ideal e necessário do concreto, pois é o conhecimento dessa característica que irá auxiliar no processo de confecção do concreto.

De acordo com a NBR 7211:2005 o agregado miúdo é caracterizado de acordo com sua granulometria, pois para ser agregado miúdo é necessário que os grãos passem pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e fique retido na peneira de abertura de malha de 150 µm, essa determinação da granulometria do agregado ocorre através do ensaio de determinação da composição granulométrica regido pela NBR NM 248, seguindo as especificações de peneira predeterminadas pela NBR NM ISO 3310-1.

Segundo a CEFET (2004), o módulo de finura do agregado miúdo (areia) é:

- Areia grossa – Apresenta módulo de finura entre 3,35 e 4,05;
- Areia média – Apresenta módulo de finura entre 2,40 e 3,35;
- Areia fina – Apresenta módulo de finura entre 1,97 e 2,40;
- Areia muito fina – módulo de finura menor que 1,97.

Bauer (2011), afirma que durabilidade, trabalhabilidade e resistência a compressão são as qualidades relevantes do concreto que se relacionam aos agregados miúdos. O agregado necessita ser inerte para que não ocorra reações do concreto com agentes externos e nem com o aço das armaduras, dessa maneira garantido a durabilidade do concreto com uma longa vida útil, já a trabalhabilidade do concreto depende muito do formato dos grãos, além do fator A/C e a resistência a compressão do concreto pode ser diferente de acordo com a granulometria de cada agregado, pois concreto que apresente um alto índice de teor de finos pode ocasionar um elevado índice de vazios.

2.3.3 Agregado graúdo

De acordo com a NBR 7211:2005 o agregado graúdo é caracterizado de acordo com sua granulometria, pois para ser agregado graúdo é necessário que os grãos passem pela peneira com abertura de malha de 75 mm e fique retido na peneira de abertura de malha de 4,75 mm, essa determinação da granulometria do agregado ocorre através do ensaio de determinação da composição granulométrica regido pela NBR NM 248, seguindo as especificações de peneira predeterminadas pela NBR NM ISO 3310-1.

Segundo a CEFET (2004), os agregados graúdos são, seixo rolado, pedra britada ou pedregulho natural, oriundo de britamento de rochas estáveis, com material passante na peneira 4,8 mm sendo no máximo de 15%.

Conforme o Departamento nacional de produção mineral (2012), os agregados como brita e cascalho são materiais preparados pela indústria de extração mineral, e após todo o procedimento realizado por esse setor a matéria prima apresenta características como dimensões; propriedades físicas, químicas e tecnologias adequadas para serem utilizadas na construção civil como agregado graúdo.

Os agregados graúdos podem apresentar grãos com diferentes formas, pois os seixos rolados apresentam na sua grande maioria superfícies arredondadas, já a pedra britada pode apresentar formas angulares de arestas vivas com lados mais ou menos planos. Essa característica apresenta grande relevância em relação a qualidade dos concretos, por essa razão as melhores formas é a que seja mais próxima de esfera para seixos rolados, e para pedra britada cubo com três dimensões da mesma proporção (CEFET, 2004),

Segundo a CEFET (2004), a classificação dos agregados graúdos ocorre de acordo com o tamanho das partículas, os tamanhos mais empregados na construção civil são:

- Brita 0 – 4,8 mm a 9,5 mm;
- Brita 1 – 9,5 mm a 19 mm;
- Brita 2 – 19 mm a 38 mm;
- Brita 3 – 23 mm a 50 mm.

2.3.4 Aditivos

O Instituto Brasileiro de impermeabilização (2014), defini aditivo como produtos químicos que são utilizados na confecção do concreto ou argamassa, que são acrescentados antes ou durante o processo de preparo do concreto. A utilização desses compostos tem como objetivo a melhoria das características do concreto no estrado fresco e no estado endurecido. Já de acordo com a NBR 11768:1992, aditivo são compostos adicionados em quantidade pequenas nos concretos de cimento Portland que possibilitam alterar suas propriedades, de modo que melhore o concreto de acordo com a necessidade de utilização.

Segundo o Instituto Brasileiro de impermeabilização (2014), a utilização de aditivos químicos se faz necessário em determinados casos pois atuam de forma constante nas propriedades reológicas do concreto e alteram suas reações de hidratação do cimento, visto que alteram na viscosidade, atuam na retenção de água, melhoram a trabalhabilidade, aceleram ou retardam o tempo de pega, melhora a resistência a ação do congelamento, reduz fissuras

térmicas, reduz as consequências da reação álcali-agregado, ataque por sulfatos e corrosão a armadura, além de outras propriedades.

De acordo com o Instituto Brasileiro de impermeabilização (2014), os aditivos são classificados de acordo com a NBR 11768:2011, são eles:

- Aditivo redutor de água / plastificante;
- Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo I;
- Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo II;
- Aditivo incorporador de ar (AI);
- Aditivo acelerador de pega (AP);
- Aditivo acelerador de resistência (AR);
- Aditivo retardador de pega (RP);
- Aditivos polifuncionais / multifuncionais;
- Hiperplastificantes.

2.4 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Segundo Gomes (2008), as primeiras obras afetadas pela reação álcali-agregado que se tem informação, foi de pontes e pavimentos em Califórnia nos Estados Unidos nos anos entre 1920 e 1930. Devido a qualidade, os materiais utilizados, dos projetos adotados e as construções serem consideradas adequadas, não conseguiram encontrar explicações para a elevada quantidade de fissuras encontradas nessas obras. Ainda de acordo com Gomes (2008), Stanton em 1940 foi o primeiro a propor que os problemas fossem devido a utilização de agregados de opala e do chert, pois devido o processo de hidratação do cimento esses agregados geravam soluções concentradas de álcalis.

Após os casos de reação álcali-agregado (RAA) constatados nos Estados Unidos, países como Austrália e Nova Zelândia na década de 40 constataram casos de RAA, e logo em seguida outros diversos países diagnosticaram como reação álcali-agregado casos de expansão e fissuramento em formato de malhas em diversas obras de engenharia, principalmente em barragens, Gomes (2008).

De acordo com Gomes (2008), as reações álcali-agregado (RAA) é um fenômeno que ocorre em argamassas ou concretos, essa reação pode resultar da combinação dos álcalis do cimento, ligado diretamente com as matérias primas utilizadas no processo de confecção do concreto. A reação álcali-agregado (RAA) ocorre entre os íons hidroxila (OH^-) gerado no processo de hidratação do cimento, em conjunto com os álcalis, óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) proveniente do cimento ou de fontes diferentes e alguns tipos de agregados.

De acordo com Neto e Barreto (2013), em uma publicação no Congresso internacional sobre patologia e recuperação de estruturas, os autores definem a reação álcali-agregado como sendo um fenômeno que acontece quando alguns minerais que constituem os agregados reagem quimicamente com os álcalis muitas vezes proveniente do cimento, de modo que essa reação gera um gel hidroscópico que com a presença de umidade pode vir a ocasionar aparecimento de fissuras e até trincas no concreto, fazendo com que comprometa sua estabilidade dimensional, sua durabilidade e até sua capacidade portante.

As principais consequências das reações álcali-agregados segundo Gomes (2008), é a expansão do concreto ou argamassas, o que gera fissuras na face com distribuição aleatória, que muitas vezes pode ter forma de malha ou de mapa, resultando na perda de resistência, durabilidade e elasticidade do concreto ou argamassa.

Segundo a literatura atualmente as reações álcali-agregados são classificadas em três, sua classificação ocorre de acordo com a sua composição mineralógica dos agregados utilizados no concreto (Tiecher, 2006). De acordo com o Ibracon (2016), as três variedades da reação álcali-agregado são:

- Reação álcali-sílica: Essa reação é mais comum de acontecer do que a reação álcali-silicato e álcali-carbonato, e também a reação mais rápida de se desenvolver. Ocorre quando os álcalis oriundos principalmente da pasta de cimento reagem com a sílica reativa do agregado, ocasionando o desenvolvimento de gel hidroscópico expansivo.
- Reação álcali-silicato: É uma reação bastante semelhante a reação álcali-sílica, porém essa reação ocorre devido a ação dos silicatos dos agregados e apresenta comportamento mais lento que a reação álcali-sílica. Nessa reação ocorre a formação de gel hidroscópico expansivo como na anterior.
- Reação álcali-carbonato: Essa reação é a mais rara de ocorrer entre as reações álcali-agregado. Não é o desenvolvimento de gel hidroscópico expansivo ocasionado pela expansão das rochas carbonáticas em decorrência do ataque dos álcalis.

De acordo com o Ibracon (2016), as condições mais propícias para desencadeamento da reação são, agregados reativos ou potencialmente reativos; álcalis principalmente provenientes da pasta de cimento; umidade suficiente, ou seja, contato direto com água ou umidade relativa acima de 80%; elevadas temperaturas; e elevado consumo de cimento. Ainda segundo o autor, as ações preventivas e inibidoras das reações álcali-agregado são, se possível evitar utilizar agregados com potencial reativo; limitar o teor de álcalis solúveis no concreto; proteger a estrutura para que não haja contato com o lençol freático; reduzir a relação água/cimento;

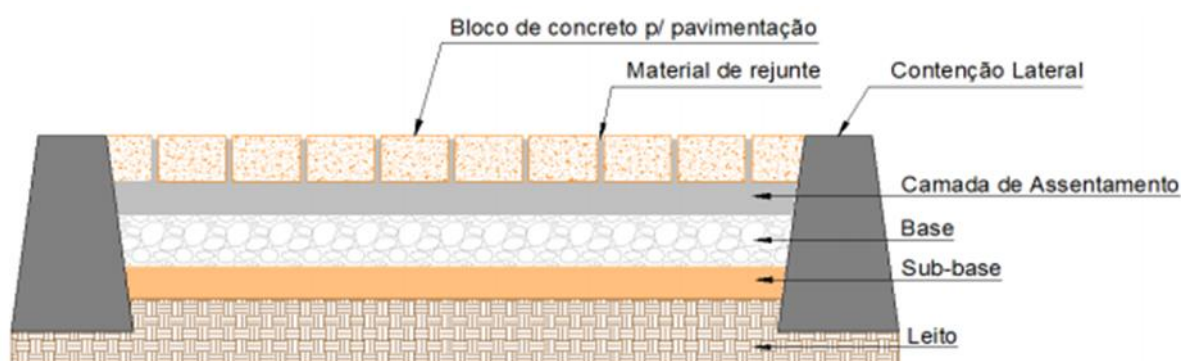
reduzir o consumo de cimento; utilizar de forma criteriosa aditivos como superplastificantes e redutores de água; usar cimento com baixo calor de hidratação; entre outras medidas.

2.5 BLOCOS INTERTRAVADOS

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), a utilização de intertravados para pavimentação tem como origem o uso de pavimentos revestidos com pedras realizados há quase 5.000 anos A.C. esse tipo de pavimento também foi muito utilizado desde 2.000 A.C. pelos romanos. Houve uma evolução considerável nesse tipo de pavimento, inicialmente para o emprego de pedras talhadas, o que resultou no tão conhecido paralelepípedo, mas devido ao trabalhoso processo de confecção artesanal do paralelepípedo e o pouco conforto de rolamento que esse tipo de pavimento oferece, houve a necessidade de desenvolver melhores pavimentos e como resultado da necessidade de melhorias surgiu as peças de concretos pré-fabricadas. Logo após a segunda guerra mundial, a confecção dos blocos intertravados começou a ser produzido em larga escala por grandes fabricas na Alemanha, tendo sua utilização bastante propagada na década de 70, quando chegou ao Brasil.

Na elaboração do caderno técnico das composições para pavimento intertravado (2017), a caixa define pavimento intertravado como sendo um pavimento flexível no qual é composto por uma camada de base ou base e sub-base, logo em seguida vem uma camada de revestimento constituída por peças de concreto que fica assenta sobre uma camada de areia ou pó de pedra, utiliza-se material de rejunte para selar as juntas entre os blocos intertravados e há uma travação por contenção lateral. Esses tipos de pavimento possuem função de resistir e distribuir as tensões aplicadas sobre eles. Na figura 1 abaixo é apresentando a estrutura de um pavimento com blocos intertravados:

Figura 1: Componentes do pavimento intertravado



Fonte: Caixa (2016)

Segundo Fioriti (2007), os blocos utilizados para pavimentos podem ser chamados de *pavers* ou pavimento intertravado de concreto. Segundo o autor, os blocos intertravados são

blocos pré-fabricados de concreto maciço, que possibilita pavimentar uma determinada superfície, pois possuem resistência a movimentos de deslocamento individual e é o que o caracteriza como sendo intertravado, pois é essa possibilidade de intertravamento entre as peças que gera resistência a deslocamentos na vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação as outras peças. Na figura 2 abaixo é apresentado imagens dos deslocamentos verticais, horizontais e de giração:

Figura 2: Movimentação do pavimento intertravado



Fonte: ABCP (2010)

De acordo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), pavimento intertravados apresentam três tipos básicos de formatos, são eles:

- TIPO 1: Apresentam formas retangulares, possuem facilidade tanto na sua confecção quanto ao assentamento em obra e também diversas possibilidades de construção de detalhes nos pavimentos. Suas dimensões costumam ser, 200 mm de comprimento por 100 mm de largura e as faces laterais podem apresentar características retas, poliédricas ou curvilíneas.
- TIPO 2: Esse tipo de bloco possui dimensões usualmente de 200 mm de comprimento por 100 mm de largura, sendo sua característica principal o seu formato em “I” e podendo somente ser montando em fileiras travadas.
- TIPO 3: O terceiro tipo de bloco apresenta como característica não ser possível ser apanhado com uma mão só devido ao seu peso e tamanho, como dimensões de pelo menos 200 mm por 200 mm.

Ainda segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), além das diversas possibilidades de cores e formas os blocos ainda permitem vários tipos de arranjos no momento do assentamento, sendo algumas possibilidades: espinha de peixe, fileira, reto, trama entre outras possibilidades.

Na figura 3 abaixo é apresentado os três tipos de blocos segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP):

Figura 3: Tipo de pavimento intertravado

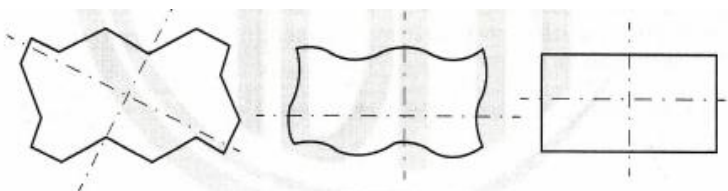


Fonte: ABCP (2010)

De acordo com a ABNT NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio, os blocos intertravados podem ser produzidos em diversos formatos, são eles:

- TIPO 1: Possuem formato próximo ao retangular, os blocos se arranjam entre si nos quatro lados e apresentam relação comprimento/largura igual a dois. Na figura 4 abaixo é apresentando algumas possíveis formas:

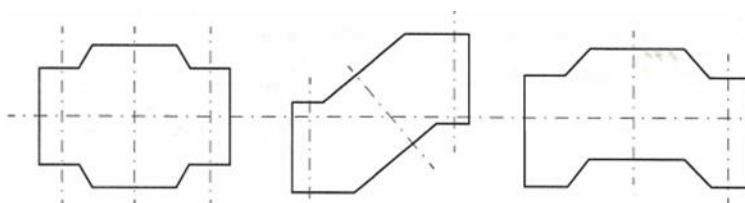
Figura 4: Tipo 1



Fonte: ABNT NBR 9781:2013

- TIPO 2: Blocos que possuem formato único, são assentados apenas em fileiras e possuem formato diferente do retangular. Na figura 5 abaixo é apresentando algumas possíveis formas:

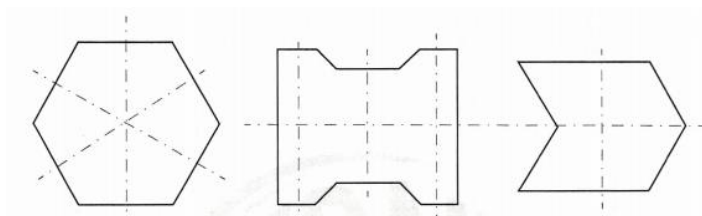
Figura 5: Tipo 2



Fonte: ABNT NBR 9781:2013

- TIPO 3: As características dos blocos desse tipo é possuir peso superior a 4 Kg e possuem formas geométricas características como, trapézios, triedros, hexágonos entre outros formatos. Na figura 6 abaixo é apresentando algumas possíveis formas:

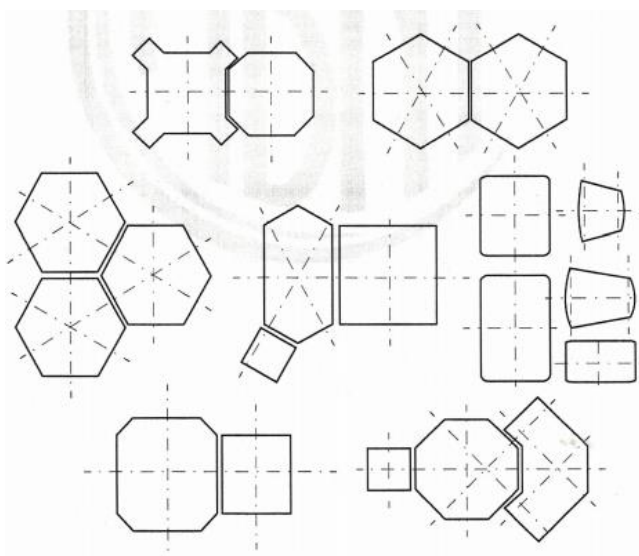
Figura 6: Tipo 3



Fonte: ABNT NBR 9781:2013

- TIPO 4: Podem utilizar um ou mais padrões de assentamento sendo um conjunto de blocos de diferentes tamanhos ou uma peça única com juntas falsas. Na figura 7 abaixo é apresentando algumas possíveis formas:

Figura 7: Tipo 4



Fonte: ABNT NBR 9781:2013

Segundo ABCP (2010), o processo de fabricação dos blocos intertravados industrialmente se dá pela moldagem dos *pavers* utilizando vibroprensas para que ocorra compactação elevada das peças de modo que proporcione um ganho na resistência mecânica e na durabilidade, após o procedimento de moldagem dos blocos as peças precisam passar por um processo de cura na câmara úmida, pois, esse procedimento garante uma melhor hidratação do cimento e uma menor absorção de água da peça que não pode ser superior a 6%. Os blocos devem passar por um período de cerca de 24 horas de cura na câmara úmida e a cura final dependendo de algumas condições industriais ficam de 7 a 28 dias no pátio.

3 METODOLOGIA

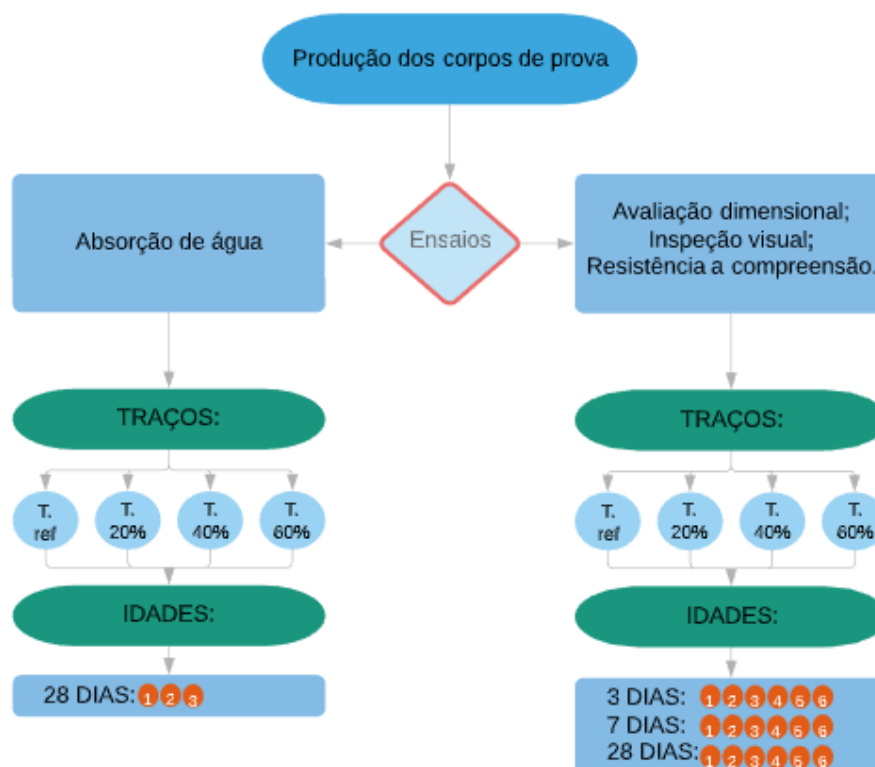
3.1 DESENHO DO ESTUDO

O trabalho proposto, apresenta características metodológicas de pesquisa aplicada, exploratória, experimental e laboratorial. O mesmo ainda apresenta características ambientais já que tem como proposta reciclar garrafas âmbar de 600 mL, levando em consideração que muitas não são reutilizáveis pela própria fabricante, gerando grande quantidade de garrafas sem o descarte em locais adequados.

A pesquisa ainda possui caráter quali-quantitativo, pois busca avaliar a qualidade dos blocos intertravados por meio de ensaios especificados pela norma NBR 9781:2013 - peças de concreto para pavimentação - especificação e métodos de ensaio. Os ensaios que foram realizados foi o de inspeção visual, avaliação dimensional, absorção de água e resistência a compressão, possibilitando avaliar cada traço de acordo com cada teor de agregado miúdo substituído por vidro.

Para a realização de todos os ensaios listados no parágrafo anterior, foi necessário confeccionar 84 blocos intertravados. Foram realizadas quatro dosagens, sendo um traço referência (Tr), o qual não continha nenhuma substituição e as outras três dosagens com substituição, sendo elas por 20%, 40% e 60% de agregado vítreo pelo agregado miúdo. Para os testes de inspeção visual, avaliação dimensional e resistência a compressão foram produzidos 6 blocos de cada traço (Tr, 20%, 40% e 60%) para as idades de 3, 7 e 28 dias de modo que foi realizado os três ensaios utilizando os mesmos blocos totalizando 72 blocos produzidos para os ensaios descritos, já para o teste de absorção de água foram produzidos apenas 3 blocos de cada traço (Tr, 20%, 40% e 60%) apenas para idade de 28 dias, totalizando 12 blocos de intertravados para esse ensaio. Na figura 8 abaixo é apresentado o fluxograma dos ensaios realizados:

Figura 8: Fluxograma da confecção e ensaios realizados



Fonte: Autor (2019)

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Os estudos foram todos realizados no CEULP/ULBRA, no laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento onde foi realizado todo o processo de quebra, moagem e peneiramento do vidro no mês de julho de 2019. E no laboratório de Materiais e Estruturas, onde foi realizado a elaboração dos blocos intertravados, a cura e todos os ensaios pertinentes, no mês de agosto e setembro de 2019. Os materiais utilizados para confecção dos blocos foram todos obtidos na cidade de Palmas-To.

3.3 ETAPAS DE PREPARO DAS GARRAFAS

3.3.1 Instrumento de coleta

As garrafas âmbar de 600 ml foram coletadas em um bar em Palmas-TO, localizado no Plano Diretor Norte da Capital, onde foi encontrado uma grande quantidade de garrafas acumuladas sem destinação apropriada, empilhadas a céu aberto na parte externa do bar.

Para realização do estudo, foi utilizando em torno de 33,00 kg de pó de vidro. Considerando a perda de 20% de material durante o processo de moagem foi utilizado em torno de 90 garrafas de 600 ml, tendo cada garrafa o peso de 440 g. Na figura 9 abaixo é apresentado a coleta das garrafas:

Figura 9: Coleta do material



Fonte: Autor (2019)

3.3.2 Preparo dos materiais

Todo o processo de preparo para utilização das garrafas aconteceu no laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento, onde inicialmente foi colocado as garrafas em um cesto de lixo tipo balde de 150 litros, onde ficaram em torno de um dia de molho para amolecer a sujeira e a cola do rótulo, já que o rótulo era de plástico.

Para limpeza das garrafas foram utilizados uma espátula para despregar os rótulos da garrada e lâ de aço para a limpeza da cola e outras sujeiras presentes. Após todo o processo de limpeza, as mesmas foram colocadas de cabeça para baixo em caixas e deixada no sol para secagem. Na figura 10 abaixo é apresentado o processo de limpeza das garrafas:

Figura 10: Limpeza das garrafas



Fonte: Autor (2019)

3.3.3 Moagem

Após todo o processo de limpeza e secagem das garrafas, iniciou-se o processo de moagem do material. Esse procedimento é feito manualmente com a quebra das garrafas por meio da utilização de uma marreta, de forma que as garrafas foram colocadas em um local específico e com a utilização de óculos, luva e máscara. Foi realizado a quebra dos cascos, gerando cacos de vidro de diferentes tamanhos. Na figura 11 abaixo é apresentado processo de quebra das garrafas:

Figura 11: Quebra dos cascos



Fonte: Autor (2019)

Em seguida iniciou-se a moagem dos cacos de vidro. Utilizando um moinho de bola e as cargas de bola inox. Foi despejado em torno de 8,00 kg de caco de vidro dentro do moinho e colocado para moer duas vezes, sendo cada moagem durando por cerca de 20 minutos, com um intervalo de 5 minutos para descanso do equipamento entre uma moagem e outra, posteriormente o material foi retirado do moinho. Na figura 12 abaixo é apresentado o processo de moagem das garrafas:

Figura 12: Moagem das garrafas



Fonte: Autor (2019)

3.3.4 Peneiramento

Assim que finalizou o processo de moagem foi realizado o peneiramento do material, esse processo é feito de forma manual e com as peneiras disponíveis no laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento.

Para que a curva granulométrica do agregado vítreo fosse semelhante a do agregado miúdo, foi realizado peneiramento com a mesma malha de peneiras da areia, conforme a NBR NM 248:2003. O resíduo de vidro foi peneirado e separado de acordo com a massa proporcional ao da areia em cada peneira. Para que se chegasse a massa retida na série normal, foi utilizado o resultado do ensaio granulométrico do agregado miúdo, onde para cada peneira existe a porcentagem retida. Dessa forma, foi realizado o cálculo de proporção em massa para que a

porcentagem retida da areia e vidro em cada peneira fosse semelhante. Devido a isso, não foi necessário realizar ensaio de granulometria do vidro, pois o peneiramento foi controlado em massa de acordo com os percentuais retidos no ensaio da areia, de modo que a curva granulométrica do agregado vítreo após o processo de moagem e peneiramento encontra-se dentro da zona ótima para sua utilização.

O material retido na peneira 4,75 mm foi levado ao moinho de bolas novamente, fazendo todo o processo de duas moagens de 20 minutos com 5 minutos de descanso entre moagem, novamente por diversas vezes até atingir a quantidade de material necessário para a realização do estudo em questão. Na figura 13 abaixo é apresentado o processo peneiramento do agregado vítreo:

Figura 13: Peneiramento do agregado vítreo



Fonte: Autor (2019)

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste tópico será tratado sobre todos os ensaios para caracterização dos materiais utilizados para elaboração do bloco intertravado, ensaios realizados nos agregados (gráúdo, miúdo e os resíduos vítreos). Esses ensaios foram realizados seguindo todas as especificações técnicas das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.4.1 Cimento

Para a realização dos blocos intertravados foi utilizado o Cimento Portland CP II F-40, este cimento apresente uma maior resistência final. Foi necessário a execução de 3 ensaios, com o intuito de caracterizar o cimento, os ensaios foram:

- Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) - ABNT NBR 11579:1991;
- Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica - ABNT NBR 23:2001;
- Cimento Portland - Determinação do tempo de pega - ABNT NBR NM 65:2003;

3.4.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para o trabalho foi adquirido em um material de construção na região sul de Palmas, próximo ao Ceulp/Ulbra. O agregado em questão (areia), tem classificação nos materiais de construção como areia média (agregado miúdo médio) e apresenta procedência de draga da região de Palmas-TO.

Para a realização dos blocos intertravados foi necessário a execução de 3 ensaios, com o intuito de caracterizar o agregado miúdo, os ensaios foram:

- Agregados - Determinação da composição granulométrica - ABNT NBR NM 248:2003;
- Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica - ABNT NBR 6508:1984;
- Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios - ABNT NBR NM 45:2006;

3.4.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado para o trabalho foi adquirido em um material de construção na região Sul de Palmas, próximo ao Ceulp/Ulbra. O agregado em questão (brita), é classificação como brita 1, sendo brita basáltica.

Para a realização dos blocos intertravados foi necessário a execução de 3 ensaios, com o intuito de caracterizar o agregado graúdo, os ensaios foram:

- Agregados - Determinação da composição granulométrica - ABNT NBR NM 248:2003;
- Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água - ABNT NBR NM 53:2003;
- Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios - ABNT NBR NM 45:2006;

3.4.4 Agregado vítreo

Como já informado no item 3.3.4, não houve necessidade de realizar o ensaio de determinação granulométrica devido o processo de peneiramento ter sido utilizado as peneiras para o controle do tamanho do material, nas malhas 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm seguindo a porcentagem da massa retida acumulada do ensaio de granulometria do agregado miúdo, que se encontra dentro da zona ótima para sua utilização de acordo com a curva granulométrica.

Foi necessário a realização do ensaio de massa específica - ABNT NBR 6508:1984, para que fosse possível conhecer as configurações do vidro e obter mais conhecimento sobre este agregado.

3.5 DOSAGEM DO CONCRETO

Inicialmente para realizar a dosagem do concreto utilizado para confecção dos *pavers* é necessário adotar a resistência característica a compressão que o concreto precisa possuir. Para definir a resistência foi necessário seguir a norma NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio, onde no item 5.4 estabelece a resistência característica à compressão aos 28 dias. Para este trabalho foi utilizado a resistência característica à compressão de 35 Mpa. A seguir será exposto a tabela 1 usada para definir a resistência necessária do bloco intertravado de acordo com o seu uso:

Tabela 1: Resistência característica a compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781:2013

Após definir a resistência necessária do concreto é necessário ainda informações dos agregados e do cimento, como massa específica, massa unitária, diâmetro máximo do agregado graúdo e miúdo; módulo de finura; abatimento do tronco de cone (*Slump-Test*) e desvio padrão. Todo o procedimento de dosagem foi realizado de acordo com o método ABCP/ACI.

Após determinar a resistência a compressão e obter todas as informações dos agregados, cimento e abatimento do tronco de cone é necessário determinar o desvio padrão que será utilizado para calcular a resistência de dosagem do concreto. A expressão utilizada para calcular a resistência de dosagem é a seguinte:

$$F_{cj28} = F_{ck} + 1,65 \times S_d$$

A seguir é mostrado a tabela 2 utilizada para determinar o desvio padrão em relação aos critérios de controle de rigor utilizados para realizar a dosagem:

Tabela 2: Valor do desvio padrão em relação ao rigor da dosagem

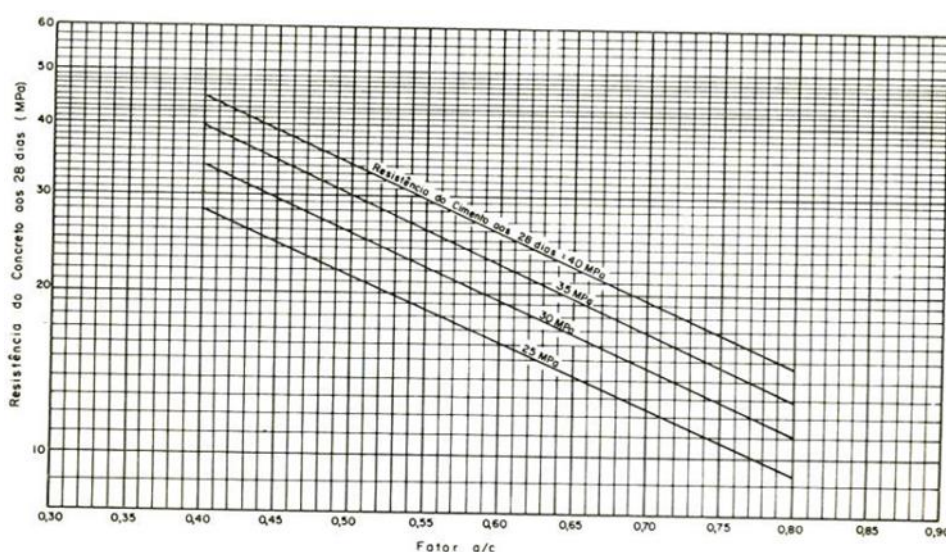
Sd	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: Castro (2016)

Para a elaboração do concreto utilizado nesse trabalho o desvio padrão mais adequado foi o de 4,0, e com o F_{ck} já determinado, foi possível obter o resultado do F_{cj} aos 28 dias sendo de 41,6 Mpa.

O próximo passo da dosagem foi definir o fator água/cimento necessário. A definição do fator água/cimento foi realizado através da análise do ábaco onde foi necessário observar a resistência do concreto aos 28 dias (reta vertical) e a resistência do cimento aos 28 dias (reta inclinada), sendo que no ponto onde as duas retas se tocarem e com o auxílio de uma régua colocando-a no ponto e analisando verticalmente até a base do ábaco foi possível constatar o fator A/C. Na figura 14 abaixo é apresentando o ábaco em questão:

Figura 14: Fator A/C



Fonte: Castro (2016)

O próximo passo da dosagem foi definir o abatimento do concreto de acordo com seu uso. A seguir é apresentando a tabela 3 utilizada para escolha do slump mais ideal:

Tabela 3: Abatimento do tronco de cone

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes da vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

* Pode ser aumentada em 25 mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração.

Fonte: ACI 211 (1991)

Desse modo como o traço é para pavimentos intertravados, o slump inicial escolhido foi de 75 mm, porém de acordo com o seu uso o mesmo pode ser aumentado em 25 mm, então decidiu para elaboração dos cálculos adotar um slump de 100 mm \pm 20 mm.

Com o slump já definido e sabendo o diâmetro máximo característico do agregado graúdo foi possível obter o consumo aproximado de água. Será apresentado a seguir a tabela 4 em relação ao consumo de água:

Tabela 4: Consumo de água

Abatimento	Água (L/m³ de concreto para o ϕ máximo indicado do agregado)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Sem ar incorporado								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Ar aprisionado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Com ar incorporado								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Teor recomendável total de ar em função do grau de exposição								
Exposição fraca (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: ACI 211 (1991)

Logo após definir o consumo aproximado de água, se fez necessário determinar o consumo do cimento que é realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$C.c = \frac{C.A}{A/C}$$

Onde:

C.c – Consumo de cimento

C.A – Consumo de água

A/C – Fator água cimento

O próximo passo necessário foi determinar o consumo de agregado graúdo em m³, de forma que foi analisado o diâmetro máximo característico do agregado graúdo e o módulo de finura do agregado miúdo para determinar o consumo de agregado graúdo. A seguir a tabela 5 em relação ao volume do agregado graúdo:

Tabela 5: Volume do agregado graúdo

ϕ máximo	Volume de agregado graúdo / unid. de volume do concreto									
	Módulo de finura da areia									
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: ACI 211 (1991)

Após localizar o volume do agregado graúdo na tabela, foi necessário calcular o consumo do agregado graúdo de acordo com a seguinte expressão:

$$C_{ag} = V_{ag} \times M_u$$

Onde:

C_{ag} – Consumo de agregado graúdo

V_{ag} – Volume de agregado graúdo

M_u – Massa unitária

Logo em seguida utilizando todos os valores encontrados foi realizado o cálculo para determinar o volume areia, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_w \right)$$

Onde:

V_a - Volume absoluto de areia

C – Consumo de cimento

ρ_c – Massa específica do cimento

C_b – Consumo de brita

ρ_b – Massa específica da brita

C_w – Consumo de água

Para finalizar a dosagem se fez necessário determinar o consumo do agregado miúdo, que foi realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$C_{am} = V_{am} \times \rho_m$$

Onde:

C_{am} – Consumo de agregado miúdo

V_{am} – Volume de agregado miúdo

ρ_m – Massa agregado miúdo

3.6 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

A produção de todos os *pavers* utilizados nesse trabalho foram realizados seguindo a NBR 9781:2013 - peças de concreto para pavimentação - especificação e métodos de ensaio. Os corpos de provas foram moldados utilizando formas com a seguinte dimensões: 200 mm x 100 mm x 60 mm, de modo que foram produzidos para as idades de 3, 7 e 28 dias de acordo com as porcentagens de substituição do agregado miúdo.

Antes de dar início a produção dos blocos intertravados foi necessário limpar e untar com óleo todas as formas para facilitar a desforma e evitar o risco de algum bloco ficar preso dentro da forma e em seguida foi pesado cada material de acordo com cada traço. Para confeccionar os corpos de prova utilizou-se uma betoneira para produção do concreto e para realizar o ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump-Test*) foi necessária uma placa metálica, haste para adensamento do concreto e uma régua para medir o abatimento do concreto.

Após todo o procedimento de separação e pesagem dos materiais e preparação dos equipamentos necessários deu-se início a produção do concreto, seguindo uma ordem de despejo do material dentro da betoneira. Inicialmente foi adicionado na betoneira metade da água necessária junto com todo agregado graúdo e ligou a betoneira por aproximadamente 40 segundos; em seguida foi adicionado o cimento e deixou a betoneira ligada por mais cerca de 60 segundos; seguidamente foi adicionado o restante da água e todo o agregado miúdo no caso do traço referência e nos traços que haviam substituição de uma parcela do agregado miúdo houve a adição do agregado miúdo e do agregado vítreo, logo depois deixou a betoneira funcionando por aproximadamente 10 minutos até que o concreto ficasse homogêneo.

Com o concreto já confeccionado foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone para averiguar a consistência do concreto, logo em seguida era iniciado o procedimento de moldagem dos blocos intertravados por meio das formas de *pavers*, após a moldagem dos blocos de cada traço foi realizada a vibração de cada forma no agitador mecânico de agregado graúdo por aproximadamente 60 segundos simulando uma mesa vibratória, em seguida foi retirado as formas do agitador e regularizado a parte superior das formas com a utilização de uma colher de pedreiro e uma desempenadeira.

Após todo o procedimento de montagem dos blocos intertravados foi necessário esperar cerca de 24 horas para poder realizar a desforma de todos os blocos. Após 24 horas de espera foi possível realizar a desforma de todos os *pavers* e utilizando um giz de cera escrever em cima de cada bloco a sua porcentagem afim de discriminar cada bloco em relação a sua substituição de modo que não houvesse mistura dos blocos, pois os mesmos foram colocados na câmara úmida onde ficaram submersos na água durante todo os dias necessários para suas respectivas curas de acordo com a idade que seriam rompidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste tópico será apresentado todos os resultados obtidos por meio de ensaios de caracterização dos materiais utilizados no concreto, os ensaios foram realizados no cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e agregado vítreo, sendo assim por meio dessa caracterização dos materiais foi possível realizar uma dosagem mais ideal do concreto.

4.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a produção de todos os blocos intertravados foi o CP II F- 40 da marca GOIÁS, cimento este que apresenta secagem rápida e resistência inicial e final mais elevado. Os ensaios executados para caracterização do cimento foi o de massa específica, módulo de finura e início e fim de pega, todos de acordo com suas respectivas normas estabelecidas pela NBR.

A seguir é apresentado a tabela 6 resumo com os resultados obtidos de todos os ensaios de caracterização do cimento:

Tabela 6: Resumo dos resultados

ENSAIOS:	Modulo de finura	Massa especifica	Tempo de pega
RESULTADOS:	2,12	3009,00 kg/m³	2 horas e 35 minutos

Fonte: Autor (2019)

De acordo com a ABNT NBR 11579:1991 - Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), o módulo de finura obtido foi de 2,12, sendo o módulo de finura do cimento um valor adimensional.

Segundo a ABNT NBR 23:2001 - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica, a massa específica obtida foi de 3009 Kg/m³, esse valor ainda é o mesmo atestado pela própria fabricante.

Conforme a ABNT NBR NM 65:2003 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega, o tempo de pega do cimento foi de aproximadamente 2 horas e 35 minutos, será exposto a tabela 7 mostrando os resultados obtidos no ensaio:

Tabela 7: Determinação do tempo de pega

NBR 65:2003 - CIMENTO PORTLAND - DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA					
RESULTADOS:	Água (ml)	Mistura pasta	Início pega	Fim pega	Tempo de pega
	130 ml	14:30	16:20	17:05	02h35min

Fonte: Autor (2019)

4.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo (areia) utilizado no trabalho é conhecido como areia média nos comércios da capital e para que fosse possível a caracterização do agregado foi necessária a execução dos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, sendo que antes de realizar os ensaios houve a necessidade de lavar e deixar o agregado na estufa para que fosse retirado toda a humidade.

A seguir é apresentado a tabela 8 resumo com os resultados obtidos de todos os ensaios de caracterização do agregado miúdo:

Tabela 8: Resumo dos resultados

ENSAIOS:	Diâmetro máximo	Módulo de finura	Massa específica	Massa unitária
RESULTADOS:	2,4 mm	2,64	2,65 g/cm³	1611,11 kg/m³

Fonte: Autor (2019)

Seguindo a ABNT NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, foi realizado o ensaio para que fosse possível obter os valores quanto ao módulo de finura, diâmetro máximo característico e para que fosse possível gerar a curva granulométrica do agregado. A seguir apresento a tabela 9 com a composição granulométrica do agregado miúdo com os resultados do ensaio:

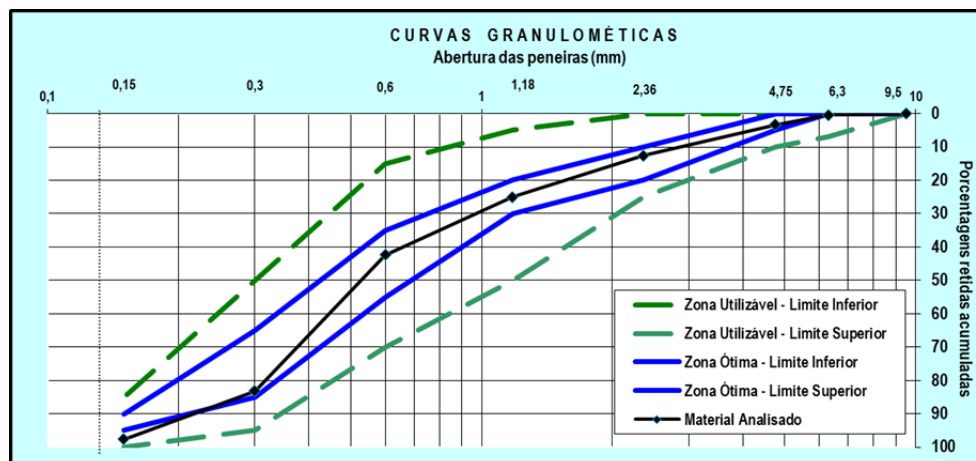
Tabela 9: Composição granulométrica

ABNT NBR NM 248:2003 - AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA						
Abertura da malha das peneiras (mm)	1º AMOSTRAGEM		2º AMOSTRAGEM		% Retido	% Retido
	Massa retida (g)	% Retido	Massa retida (g)	% Retido	Média	Acumulado
6,3	1,7	0,3%	2,1	0,4%	0,4%	0,4%
4,75	14	2,8%	15,5	3,1%	2,9%	3,3%
2,36	53,3	10,6%	40	8,0%	9,3%	12,6%
1,18	66,2	13,4%	57	11,4%	12,4%	25,0%
0,6	88,6	17,7%	84,8	17,1%	17,4%	42,4%
0,3	202,6	40,4%	205,3	41,0%	40,7%	83,1%
0,15	64,6	12,9%	81	16,2%	14,5%	97,7%
Fundo	9	1,8%	14,3	2,9%	2,3%	100,0%
Massa total:	500	100,0%	500	100,0%	100,0%	
Diâmetro Máximo:		2,4 mm		Módulo de Finura:		2,64

Fonte: Autor (2019)

Logo após a realização do ensaio e o preenchimento da tabela de composição granulométrica com seus respectivos valores, foi possível gerar a curva granulométrica do agregado miúdo. Na figura 15 abaixo é apresentado a curva granulométrica do agregado miúdo:

Figura 15: Curva granulométrica



Fonte: Autor (2019)

Seguindo a ABNT NBR 6508:1984 - Determinação da massa específica, foi possível por meio da utilização do picnômetro e balança realizar o ensaio para determinação da massa específica do agregado miúdo. A seguir é apresentado a tabela 10 com os resultados do ensaio:

Tabela 10: Massa específica

ABNT NBR 6508:1984 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA			
Picnômetro	Un.	1	2
Massa Material Seco	(g)	500	500
Volume de água	(cm ³)	200	200
Volume Areia + Água	(cm ³)	389	389
Massa específica	(g/cm ³)	2,65	2,65

Fonte: Autor (2019)

Para obtenção do valor da massa unitária foi utilizado a ABNT NBR NM 45:2006 - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. A seguir é apresentado a tabela 11 com os resultados do ensaio:

Tabela 11: Massa unitária

ABNT NBR NM 45:2006 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA		
Amostra	Volume da padiola (m ³)	Massa unitária (kg/m ³)
Padiola 1	0,001	1580,00
Padiola 2	0,001	1620,00
Padiola 3	0,001	1633,33
Média	-	1611,11

Fonte: Autor (2019)

4.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo que foi utilizado neste trabalho é classificado como brita 1 em diversos comércios da capital. Os ensaios realizados para caracterização do agregado graúdo foram os mesmos utilizados para o agregado miúdo e foi necessário também para esses ensaios lavar e sacar na estufa o agregado graúdo.

A seguir é apresentado a tabela 12 resumo com os resultados obtidos de todos os ensaios de caracterização do agregado graúdo:

Tabela 12: Resumo dos resultados

ENSAIOS:	Diâmetro máximo	Modulo de finura	Massa específica	Massa unitária
RESULTADOS:	19,00 mm	6,95	2,63 g/cm³	1325,55 kg/m³

Fonte: Autor (2019)

Para a realização do ensaio de granulometria foi utilizado a mesma norma que foi usada para a composição granulométrica do miúdo, porém para o agregado graúdo a série de peneiras utilizadas foram as que apresentavam maior abertura, possibilitando a obtenção dos valores do módulo de finura, diâmetro máximo característico e a confecção a curva granulométrica. Na tabela 13 a seguir encontra-se os resultados da composição granulométrica do agregado graúdo:

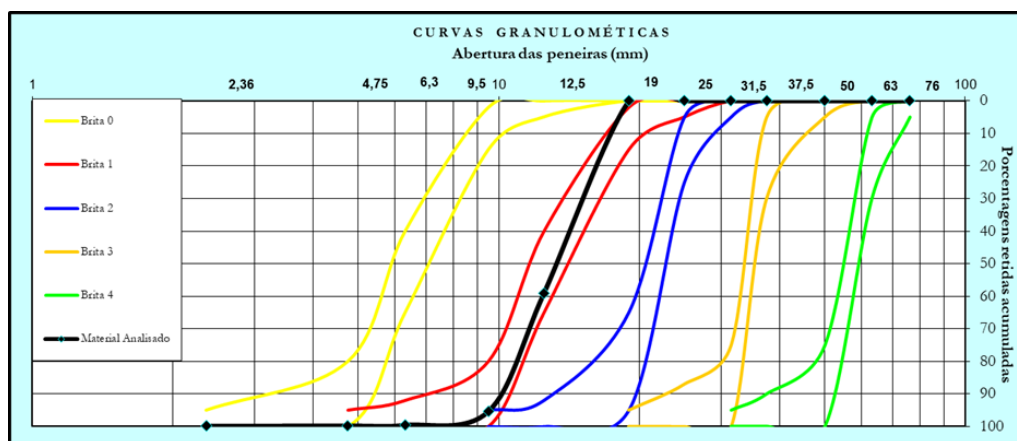
Tabela 13: Composição granulométrica

ABNT NBR NM 248:2003 - AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA						
Abertura da malha das peneiras (mm)	1º AMOSTRAGEM		2º AMOSTRAGEM		% Retido	% Retido
	Massa retida (g)	% Retido	Massa retida (g)	% Retido	Média	Acumulado
19	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2956,1	59,0%	2944,7	58,8%	58,9%	58,9%
9,5	1.776,4	35,7%	1.860,4	37,2%	36,4%	95,3%
6,3	242,5	4,9%	181,3	3,7%	4,3%	99,6%
4,75	13,5	0,3%	7,7	0,2%	0,2%	99,8%
2,36	3,6	0,1%	1,6	0,0%	0,1%	99,9%
1,18	0,7	0,0%	0,4	0,0%	0,0%	99,9%
0,6	0,5	0,0%	0,4	0,0%	0,0%	99,9%
0,3	1,2	0,0%	0,6	0,0%	0,0%	99,9%
0,15	1,7	0,0%	0,9	0,0%	0,0%	99,9%
Fundo	3,8	0,1%	2	0,0%	0,1%	100,0%
Massa total:	5000	100,0%	5000	100,0%	100,0%	
Diâmetro Máximo:		19,00 mm	Módulo de Finura:		6,95	

Fonte: Autor (2019)

A seguir encontra-se a curva granulométrica gerada após a obtenção dos dados da composição granulométrica do agregado graúdo, sendo assim possível analisar a que zona se encontra o material que está sendo utilizado. Na figura 15 abaixo é apresentado a curva granulométrica do agregado graúdo:

Tabela 14: Curva granulométrica



Fonte: Autor (2019)

Da mesma maneira que foi necessário a realização do ensaio de massa específica e massa unitária para a caracterização do agregado miúdo, também se fez necessário a realização dos mesmo para caracterizar o agregado graúdo. A seguir será apresentado a tabela 15 e 16 com os resultados obtido através dos ensaios de massa específica e de massa unitária de acordo com as normas:

Tabela 15: Massa específica

ABNT NBR 6508:1984 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA			
Picnômetro	Un.	1	2
Massa Brita Seca	(g)	250	250
Massa picnômetro com água	(g)	1202,20	1202,20
Massa Brita+ Água	(g)	1357,20	1357,20
Massa específica	(g/cm ³)	2,63	2,63

Fonte: Autor (2019)

Tabela 16: Massa unitária

ABNT NBR NM 45:2006 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA		
Amostra	Volume da padiola (m ³)	Massa unitária (kg/m ³)
Padiola 1	0,001	1310,00
Padiola 2	0,001	1336,66
Padiola 3	0,001	1330,00
Média	-	1325,55

Fonte: Autor (2019)

4.1.4 Agregado vítreo

Como descrito no item 3.4.4 para caracterização do agregado vítreo foi realizado apenas o ensaio de massa específica, pois, a granulometria do agregado está seguindo a mesma do agregado miúdo devido ao peneiramento do agregado vítreo ter sido realizado seguindo as mesmas porcentagens de cada peneira da granulometria do agregado miúdo utilizado no presente trabalho que se encontra dentro da zona ótima para sua utilização.

Seguindo a ABNT NBR 6508:1984 - Determinação da massa específica, foi possível por meio da utilização do picnômetro e balança realizar o ensaio para determinação da massa específica do agregado vítreo. A seguir é apresentado a tabela 17 com os resultados do ensaio:

Tabela 17: Massa específica

ABNT NBR 6508:1984 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA			
Picnômetro	Un.	1	2
Massa Vidro seco	(g)	50	50
Massa picnômetro com água	(g)	625,40	625,40
Massa Vidro+ Água	(g)	655,170	655,364
Massa específica	(g/cm ³)	2,472	2,495
Media da Massa específica	(g/cm ³)	2,484	

Fonte: Autor (2019)

4.2 DOSAGEM DO CONCRETO

A seguir será apresentado a tabela 18 com o resumo dos valores obtidos por meio da caracterização dos materiais que foram utilizados para realizar o cálculo da dosagem do concreto:

Tabela 18: Resultados obtidos através da caracterização dos materiais

FCK:	35,00 MPA
DESVIO PADRÃO (SD):	4,0 MPA
FCJ 28:	41,60 MPA
DMC:	19,00 MM
MASSA ESPECIFICA A. GRAÚDO:	2630,00 kg/m ³
MASSA ESPECIFICA A. MIÚDO:	2650,00 kg/m ³
MASSA ESPECIFICA CIMENTO:	3150,00 kg/m ³
MASSA UNITÁRIA A. GRAÚDO:	1325,00 kg/m ³
MASSA UNITÁRIA A. MIÚDO:	1611,00 kg/m ³
MÓDULO DE FINURA:	2,64

Fonte: Autor (2019)

A seguir será a tabela 19 apresentando os valores obtidos através do passo a passo do cálculo da dosagem descrito no item 3.5:

Tabela 19: Resultado do passo a passo item 3.5

RELAÇÃO A/C:	0,41
CONSUMO DE ÁGUA:	205 LITROS
AR APRISIONADO:	2,50%
CONSUMO A. GRAÚDO:	0,322 M ³
CONSUMO A. MIÚDO:	0,314 M ³

Fonte: Autor (2019)

Após todo o passo a passo de cálculo descrito no item 3.5 foi possível obter os traços em volume e em massa, a seguir é apresentado a tabela 20:

Tabela 20: Tabela contendo traço em volume e traço em massa

TRAÇO EM VOLUME			
CIMENTO	A. MIÚDO	A. GRAUDO	A/C
50	1,032	1,280	0,41
TRAÇO EM MASSA			
CIMENTO	A. MIÚDO	A. GRAUDO	A/C
1	1,663	1,696	0,41

Fonte: Autor (2019)

A seguir será apresentado a tabela 21 contendo a dosagem de cada traço em quilograma (Kg) com suas respectivas substituições utilizadas para confecção dos blocos intertravados:

Tabela 21: Quantitativo

QUANTITATIVO DE MATERIAL UTILIZADO					
TRAÇO	CIMENTO (kg)	A. MIÚDO (kg)	A. GRAÚDO (kg)	A. VÍTREO (kg)	ÁGUA (kg)
T. REFERENCIA	16,91	28,12	28,67	---	6,93
T. COM 20%	16,91	22,50	28,67	5,62	6,93
T. COM 40%	16,91	16,87	28,67	11,25	6,93
T. COM 60%	16,91	11,25	28,67	16,87	6,93

Fonte: Autor (2019)

4.3 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Durante o processo de confecção dos blocos intertravados foi realizado o abatimento do tronco de cone afim de se avaliar o abatimento do concreto de modo que fosse possível verificar a trabalhabilidade do mesmo com as diferentes porcentagens de substituição. Tendo em vista que o abatimento determinado para o concreto foi de 100 mm \pm 20 mm, a seguir será apresentado a tabela 22 contendo os valores obtidos através da realização do ensaio de abatimento do tronco de cone:

Tabela 22: Slump Test

TRAÇO	ABATIMENTO
T. REFERENCIA	82 mm
T. COM 20%	100 mm
T. COM 40%	120 mm
T. COM 60%	140 mm

Fonte: Autor (2019)

Figura 16: Slump traço referencia



Fonte: Autor (2019)

4.4 INSPEÇÃO VISUAL

De acordo com a NBR 9781:2013 os blocos intertravados produzidos devem passar por uma inspeção visual com o objetivo de identificar se há presença de blocos com algum defeito que possa vir a prejudicar o desempenho estrutural, assentamento ou a estética do pavimento. Para a realização dessa inspeção visual se faz necessário analisar algumas peças constituintes de cada lote de blocos intertravados. Segundo a norma os blocos devem possuir aspectos como: arestas regulares, ângulos retos, ausência de rebarbas, ausência de defeitos, ausência de delaminação, ausência de descamação e ser homogêneo. Ainda de acordo com a norma é permitido pequenas variações na coloração dos blocos devido ao seu processo de fabricação ou da variação da matéria-prima.

Segundo a NBR 9781:2013 se faz necessário analisar 6 blocos de cada lote de forma aleatória, sendo assim foram retirados 6 blocos de cada tratamento para serem analisados, totalizando 24 blocos. Foram analisados individualmente cada bloco de forma bastante minuciosa e foi possível constatar que os resultados foram satisfatórios pois independente da substituição e do teor de agregado vítreo utilizado os aspectos físicos se mantiveram iguais em relação aos blocos do traço referência. Na figura 17 abaixo é apresentado um dos blocos que foi inspecionado:

Figura 17: Inspeção visual



Fonte: Autor (2019)

Conforme é possível analisar na imagem acima os blocos intertravados apresentaram uma coloração um pouco escura em certas regiões, porém essa coloração se deu devido a utilização de óleo queimado no procedimento de untar as formas.

4.5 AVALIAÇÃO DIMENSIONAL

Segundo a NBR 9781:2013 para realização do ensaio de avaliação dimensional é necessário avaliar 6 blocos de cada lote de forma aleatória e ainda conforme a norma as peças avaliadas podem possuir variação de apenas ± 3 mm em suas dimensões.

A dimensão dos blocos intertravados escolhido para o presente trabalho foi de 200 mm de comprimento por 100 mm de largura por 60 mm de espessura e devido a quantidade de blocos confeccionados não serem muitos foi possível realizar avaliação dimensional em todos as peças.

O resultado da avaliação dimensional foi bastante satisfatório, pois todos os blocos produzidos estavam dentro das respectivas dimensões independente do traço e da substituição, foi possível constatar variação em alguns blocos apenas em sua espessura, porém essa variação estava dentro do permitido pela norma. Já era esperado que não houvesse nenhuma variação no comprimento e na largura devido as formas utilizadas não apresentarem nenhuma variação nas suas medidas e todas as formas estavam em bom estado de conservação, sendo assim esperado apenas a variação em sua espessura devido as formas não possuírem tampa.

Para realização a avaliação dimensional foi utilizada paquímetro manual com a finalidade de se ter mais precisão nas avaliações. Na figura 18 abaixo é demonstrado como foi realizado a avaliação dimensional dos blocos:

Figura 18: Avaliação dimensional



Fonte: Autor (2019)

4.6 ANALISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Conforme a NBR 9781:2013 os blocos analisados devem apresentar um valor médio de absorção de água menor ou igual a 6%, não sendo aceito nenhum valor individual maior que 7%, pois blocos com absorção acima de 7% podem possuir resistência comprometida, impactando desse modo os usuários. O ensaio em questão tem como principal objetivo analisar o comportamento dos blocos intertravados quando em contato com água em relação a sua capacidade de absorção da água.

Para realização do ensaio de absorção de água foram confeccionados 3 blocos para cada traço que foram analisados aos 28 dias. Inicialmente foi realizado a sua pesagem saturado aos 28 dias, posteriormente foi colocado na estufa por 24 horas com temperatura variando de 105 a 115 °C para que fosse realizado a pesagem com o bloco seco. A baixo será apresentado inicialmente os resultados individuais e posteriormente a média dos resultados obtidos através dos ensaios.

A seguir a tabela 24 demonstra a massa dos três blocos do traço referência utilizados para o ensaio de absorção de água:

Tabela 23: Absorção de água traço referência

ABSORÇÃO DE ÁGUA TRAÇO REFERÊNCIA			
TRAÇO	PESO SATURADO (g)	PESO SECO (g)	ABSORÇÃO (%)
T. REFERENCIA	2,7618	2,6457	4,39%
T. REFERENCIA	2,7967	2,6734	4,61%
T. REFERENCIA	2,8024	2,6825	4,47%

Fonte: Autor (2019)

Como é possível verificar todos os blocos do traço referência apresentaram uma absorção de água inferior a 7%, assim os resultados obtidos são satisfatórios, pois estão dentro do permitido pela norma.

A seguir a tabela 25 demonstra a massa dos três blocos do traço com 20% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo utilizados para o ensaio de absorção de água:

Tabela 24: Absorção de água traço com 20% de substituição

ABSORÇÃO DE ÁGUA TRAÇO COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO			
TRAÇO	PESO SATURADO (g)	PESO SECO (g)	ABSORÇÃO (%)
T. COM 20%	2,7447	2,6145	4,98%
T. COM 20%	2,7475	2,6195	4,89%
T. COM 20%	2,7335	2,6026	5,03%

Fonte: Autor (2019)

Como é possível verificar todos os blocos do traço com 20% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo apresentaram uma maior percentagem de absorção em relação ao traço anterior porem a absorção de água ainda é inferior a 7%, assim os resultados obtidos são satisfatórios pois estão dentro do permitido pela norma.

A seguir a tabela 26 demonstra a massa dos três blocos do traço com 40% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo utilizados para o ensaio de absorção de água:

Tabela 25: Absorção de água traço com 40% de substituição

ABSORÇÃO DE ÁGUA TRAÇO COM 40% DE SUBSTITUIÇÃO			
TRAÇO	PESO SATURADO (g)	PESO SECO (g)	ABSORÇÃO (%)
T. COM 40%	2,7953	2,6482	5,55%
T. COM 40%	2,7807	2,6387	5,38%
T. COM 40%	2,7602	2,6162	5,50%

Fonte: Autor (2019)

Como é possível verificar todos os blocos do traço com 40% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo apresentaram uma maior percentagem de absorção em relação ao traço anterior porem a absorção de água ainda é inferior a 7%, assim os resultados obtidos são satisfatórios pois estão dentro do permitido pela norma.

A seguir a tabela 27 demonstra a massa dos três blocos do traço com 60% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo utilizados para o ensaio de absorção de água:

Tabela 26: Absorção de água traço com 60% de substituição

ABSORÇÃO DE ÁGUA TRAÇO COM 60% DE SUBSTITUIÇÃO			
TRAÇO	PESO SATURADO (g)	PESO SECO (g)	ABSORÇÃO (%)
T. COM 60%	2,7699	2,6183	5,79%
T. COM 60%	2,7812	2,6241	5,99%
T. COM 60%	2,7751	2,6194	5,94%

Fonte: Autor (2019)

Como é possível verificar todos os blocos do traço com 60% de substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo apresentaram uma maior percentagem de absorção em relação ao traço anterior porem a absorção de água ainda é inferior a 7%, assim os resultados obtidos são satisfatórios pois estão dentro do permitido pela norma.

A seguir a tabela 28 demonstra o valor médio da absorção em relação a cada traço:

Tabela 27: Média de absorção de água

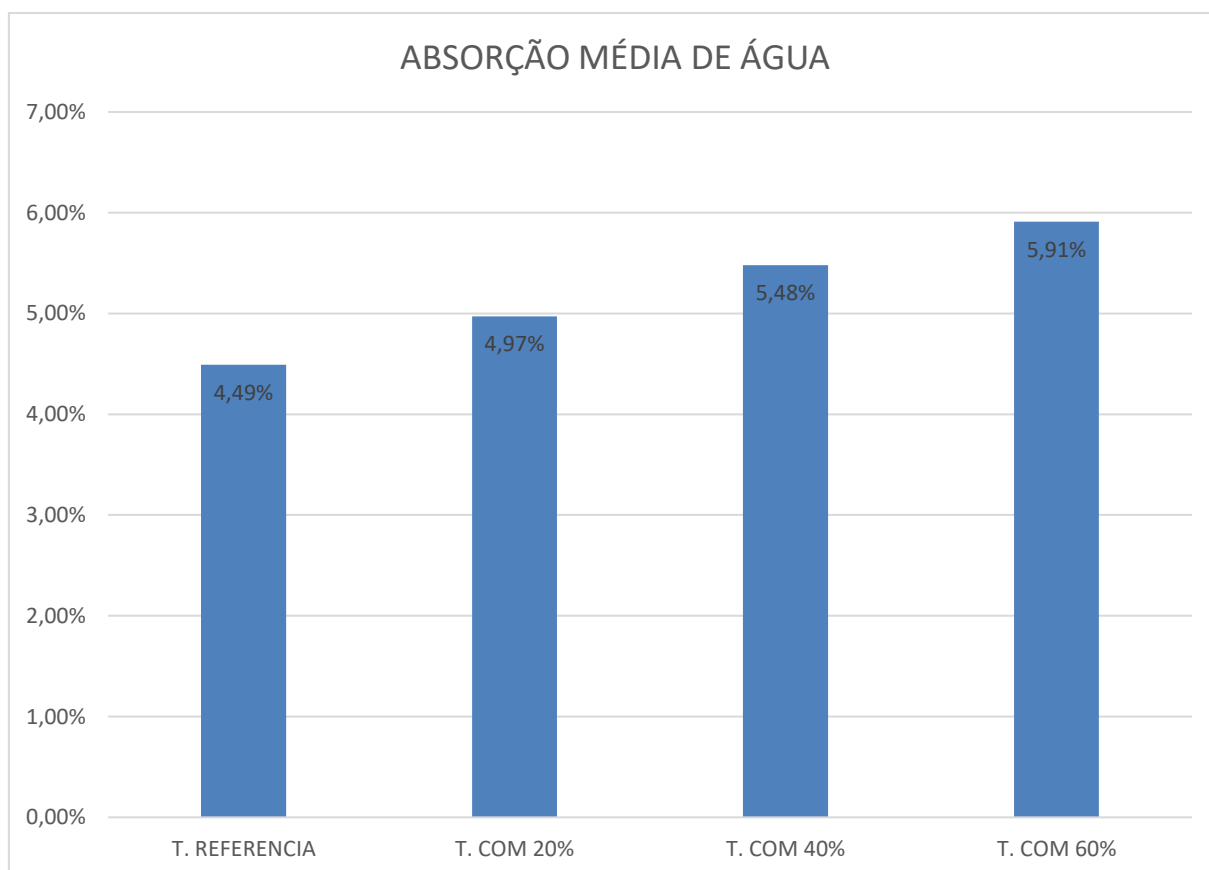
MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS TRAÇOS				
TRAÇO	Nº DE AMOSTRAS	PESO SATURADO MÉDIO (g)	PESO SECO MÉDIO (g)	ABSORÇÃO (%)
T. REFERENCIA	3	2,7870	2,6672	4,49%
T. COM 20%	3	2,7419	2,6122	4,97%
T. COM 40%	3	2,7787	2,6344	5,48%
T. COM 60%	3	2,7754	2,6206	5,91%

Fonte: Autor (2019)

Foi possível constatar que a substituição do agregado miúdo por agregado vítreo fez com que o bloco intertravado ficasse mais permeável, o resultado pode ser considerado satisfatório pois por mais que tenha ocorrido uma maior absorção de água nos blocos com substituição e essa absorção se mostrou gradativa de acordo com o aumento da substituição os valores obtidos ainda se encontram inferior a 6% como estabelece a NBR 9781:2013.

Na figura 19 abaixo é apresentado o gráfico referente aos resultados sobre a tabela de média de absorção de água dos traços:

Figura 19: Gráfico absorção média de água



Fonte: Autor (2019)

A seguir será apresentado a tabela 29 com os resultados do tratamento estatístico da análise da absorção de água dos blocos intertravado aos 28 dias:

Tabela 28: Análise de variância do ensaio de absorção de água para diferentes doses de substituição do agregado miúdo pelo vítreo*

	IDADE	28 dias
p>F	Dose (D)	0,0001*
	CV %	2,00
	DOSE	
	TRAÇO REFERENCIA (MPa)	4,49 a
	TRAÇO COM 20% (MPa)	4,96 b
	TRAÇO COM 40% (MPa)	5,47 c
	TRAÇO COM 60% (MPa)	5,90 d

ns - não significativo; * significativo a 5% respectivamente pelo Teste F da análise de variância. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2019)

Para a realização da análise estatística iniciou-se realizando a análise univariada (ANOVA), onde o programa faz diversas combinações e gera resultado mostrando se as doses são diferentes ou não, quando os resultados são diferentes é necessário realizar o teste de Tukey, onde o programa testa toda e qualquer diferença entre as médias do tratamento.

Foi possível constatar aos 28 dias com o ensaio de absorção de água que estatisticamente nenhum traço é igual, sendo que o traço com menor absorção de água foi o traço referência, logo o traço que apresenta melhor resultado. Mesmo que nenhum traço tenha apresentado a mesma absorção de água estatisticamente pode considerar que os resultados foram satisfatórios pois todos estão de acordo com a absorção mínima que determina a norma

4.7 ANALISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

De acordo com a NBR 9781:2013 na tabela 2 é especificado a resistência característica a compressão que os blocos intertravados para pavimentação devem aguentar, onde para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha os blocos devem suportar uma carga maior ou igual 35 Mpa e para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados devem suportar uma superior ou igual a 50 Mpa.

Os blocos são submetidos ao teste de resistência a compressão com a finalidade de avaliar a sua capacidade de suportar a uma determinar carga. No presente trabalho foi pré-estabelecido que as idades de rompimento seriam de 03, 07 e 28 dias pois de acordo com a NBR 6118:2014 no item 12.3.3, a evolução da resistência em relação a idade deve ser obtida através de ensaios executados com tal finalidade, porém, na ausência desses ensaios por meio de expressões matemáticas compostas na norma é possível obter estimativas aproximadas da

porcentagem de resistência a compressão em relação a idade da peça de concreto, onde aproximadamente peças produzidas com CP II aos 3 dias apresentam cerca de 60 % da resistência, peças com 7 dias apresentam cerca de 78% de resistência, peças com 14 dias apresentam cerca de 90% da resistência e peças aos 28 dias apresentam 100% da resistência.

Através desses valores apresentados acima chegou-se à conclusão que seria mais relevante apresentar os valores de resistência a compressão em idades que apresentassem mais variação nos resultados. Para realização dos ensaios de resistência a compressão axial foram utilizados 6 blocos intertravados para cada idade de acordo com cada substituição, totalizando assim 72 blocos de concreto confeccionados para a execução do ensaio em questão.

De acordo com a NBR 9781:2013 os resultados obtidos após o ensaio de resistência a compressão devem ser multiplicados pelo fator p que é determinado na norma de acordo com a tabela A.1, onde o fator multiplicativo varia de acordo com a espessura nominal da peça. De acordo com a norma blocos intertravados com espessura nominal de 60 mm devem ser multiplicados por 0,95 (fator multiplicativo p).

A seguir é apresentando a tabela 30 com a média dos valores obtidos através do ensaio de resistência a compressão axial:

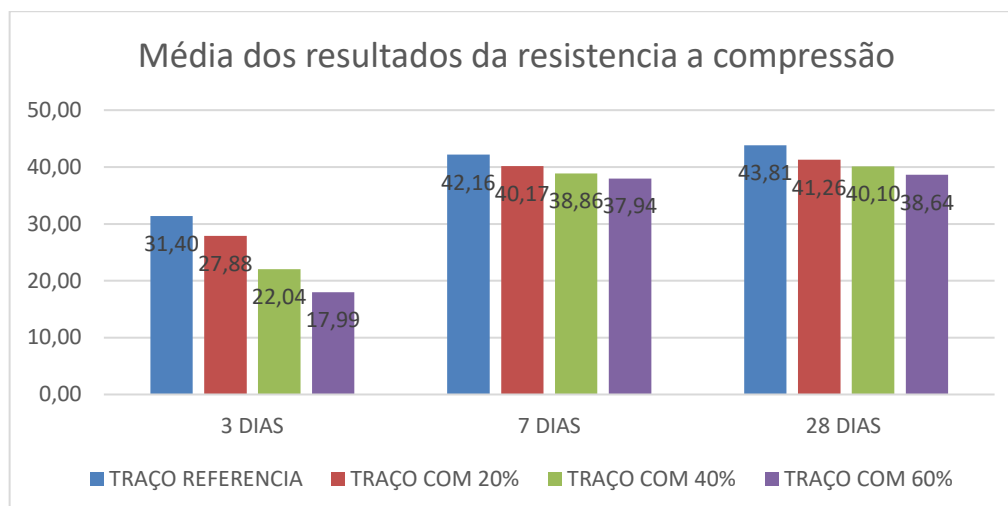
Tabela 29: Resultado médio resistência a compressão axial

MÉDIA DOS RESULTADOS DA RESISTENCIA A COMPRESSÃO DE ACORDO COM A IDADE				
TRAÇO	Nº DE AMOSTRAS	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
TRAÇO REFERENCIA (MPa)	6	31,40	42,16	43,81
TRAÇO COM 20% (MPa)	6	27,88	40,17	41,26
TRAÇO COM 40% (MPa)	6	22,04	38,86	40,10
TRAÇO COM 60% (MPa)	6	17,99	37,94	38,64

Fonte: Autor (2019)

Na figura 20 abaixo é apresentado o gráfico com os resultados da tabela com a média dos valores obtidos através do ensaio de resistência a compressão axial:

Figura 20: Gráfico com os valores médios do ensaio de resistência a compressão axial



Fonte: Autor (2019)

Conforme é possível ser analisado na tabela e no gráfico os valores obtidos aos 28 dias são satisfatórios, pois a norma NBR 9781:2013 exige que aos 28 dias os blocos apresentem uma resistência superior ou igual a 35 Mpa. Também foi possível analisar que quando maior foi a substituição do agregado miúdo pelo agregado vítreo mais baixa ficou a resistência, mas os valores obtidos ainda se encontram acima dos 35 Mpa.

É possível constatar que essa elevada resistência aos 28 dias dos traços com substituições pode ser devido ao método de peneiramento que foi realizado, pois todo o peneiramento foi realizado de modo que em cada malha de peneira ficasse retido a quantidade ideal para que no final todo o agregado vítreo estivesse seguindo a curva granulométrica da areia, dentro da zona ótima para sua utilização.

A seguir será apresentado a tabela 31 com os resultados do tratamento estatístico da análise da resistência a compressão axial dos blocos intertravados:

Tabela 30: Análise de variância do ensaio de compressão axial para diferentes doses de substituição do agregado miúdo pelo vítreo*

	IDADE	3 dias	7 dias	28 dias
p>F	Dose (D)	0,0001*	0,0007*	0,0001*
	CV %	15,2	3,54	2,04
	DOSE			
	TRAÇO REFERENCIA (MPa)	31,40 a	42,16 a	43,81 a
	TRAÇO COM 20% (MPa)	27,85 ab	40,17 ab	41,26 b
	TRAÇO COM 40% (MPa)	22,04 bc	38,83 b	40,10 b
	TRAÇO COM 60% (MPa)	17,98 c	37,94 b	38,63 c

ns - não significativo; * significativo a 5% respectivamente pelo Teste F da análise de variância. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2019)

Para a realização da análise estatística iniciou-se realizando a análise univariada (ANOVA), onde o programa faz diversas combinações e gera resultado mostrando se as doses são diferentes ou não, quando os resultados são diferentes é necessário realizar o teste de Tukey, onde o programa testa toda e qualquer diferença entre as médias do tratamento.

Como é possível analisar na tabela 30 aos 3 dias o traço com 20% de substituição demonstra que os valores são estatisticamente iguais ao traço referência e ao traço com 40% de substituição, já o traço com 40% de substituição demonstra que os valores são estatisticamente iguais ao traço com 20% de substituição e ao traço com 60% de substituição, desse modo todos os resultados da resistência a compressão ao 3 dia mostram que os blocos apresentam a mesma capacidade de tolerância de carga sobre sua superfície.

Aos 7 dias o traço com 20% de substituição demonstra que os valores são estatisticamente iguais ao traço referência e ao traço com 40% e 60% de substituição, desse modo é possível constatar que o traço referência apresenta maior capacidade de resistência a compressão que o traço de 40% e 60% de substituição, porém apresenta a mesma capacidade de resistência que os blocos do traço de 20% de substituição.

Já aos 28 dias os resultados obtidos demonstram que o traço referência apresenta capacidade de resistência superior aos traços com substituição, sendo que o traço de 20% e 40% são estatisticamente iguais, o que quer dizer que apresentam a mesma capacidade de resistência, e o traço com 60% de substituição é o que apresenta menor resistência a compressão comparado aos demais traços.

Por fim é possível constatar aos 28 dias que mesmo que a análise estatística demonstre que a substituição do agregado vítreo pelo miúdo não apresente nenhum resultado estatisticamente igual ao traço referência, isso significa dizer que, aos 28 dias nenhum traço obteve a mesma resistência a compressão que o traço referência. É possível constatar que o resultado ainda foi satisfatório, pois todos os traços apresentaram uma resistência superior ao que preconiza a NBR 9781:2013 que estabelece como resistência mínima aos 28 dias um F_{ck} superior ou igual a 35 Mpa.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise quanto a resistência a compressão axial, absorção de água, avaliação dimensional e inspeção visual de modo que fosse possível averiguar o comportamento do concreto para blocos intertravados quando substituído o agregado miúdo por agregado vítreo, para isso foram confeccionados blocos com diferentes traços.

Todos os resultados obtidos por meio dos ensaios, alcançaram resultados conforme estabelece a NBR 9781:2013, por mais que os valores obtidos por meio de análises estatísticas demonstrassem que aos 28 dias o ensaio de resistência a compressão e absorção de água não foram estatisticamente iguais o traço referência em relação aos demais traços.

Nos testes de inspeção visual e avaliação dimensional foi constatado que a substituição dos agregados não provocou nenhuma alteração nos blocos quanto as suas dimensões e não havia a presença de defeitos na peça que poderia vir a comprometer o desempenho estrutural dos *pavers*, sendo que ao final desses testes foi possível constatar que todos estavam dentro do que rege a NBR 9781:2013.

Com o ensaio de resistência a compressão axial verificou-se a resistência dos diferentes traços aos 28 dias, de modo que foi constatado que por mais que os traços em que se houve uma maior porcentagem de substituição a resistência era menor e que todos os traços obtiveram resultados inferiores ao traço referência, todos os traços alcançaram uma resistência maior do que é estabelecido em norma, sendo assim possibilitando seu uso.

Quanto ao ensaio de absorção de água notou-se que quanto maior foi a substituição do agregado, maior foi a absorção da água, o que poderia vir a impactar na resistência da peça. Porém mesmo com o aumento da absorção os resultados obtidos foram todos dentro do que a norma estipula.

A substituição do agregado miúdo por agregado vítreo para confecção de blocos intertravados pode ser vantajosa para todas as possíveis substituições, pois por mais que os traços com as mais elevadas substituições afetaram no desempenho e na absorção de água, todos apresentaram valores superiores ao que preconiza a NBR 9781:2013, sendo assim possível a sua utilização.

Por fim foi possível averiguar com o presente trabalho a viabilidade técnica da substituição de um agregado pelo outro, pois obteve-se resultados satisfatórios, de modo que venha a contribuir com o meio ambiente pela redução de matérias primas para confecção do concreto e possibilitando mais um meio de destinação de garrafas de vidro que seriam descartadas sem finalidade nenhuma que agora podem ser utilizadas na construção civil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Sugere-se estudos com proporções superiores à do presente trabalho, chegando até 100% de substituição;
- Sugere-se realização de ensaios álcali-sílica;
- Sugere-se estudos com proporções com menores intervalos de substituições;
- Sugere-se estudos para analisar a viabilidade económica.

REFERÊNCIAS

Governo federal ministério do meio ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**, 2011. Disponível em:

<https://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>.

Acesso em: 09 set. 2019.

MOTA, ALMEIDA, ALENCAR, CURI. **Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual**. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/21942/14313>>. Acesso em:

28 ago. 2019.

RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 22 set. 2019.

CEBRACE. **A história do vidro**, 2015. Disponível em:

<<https://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/a-historia-do-vidro>>. Acesso em: 05 set. 2019.

AKERMAN, Mauro. **Introdução ao vidro e sua produção**, 2013. Disponível em:

<<http://www.certeve.ufscar.br/documentos/arquivos/introducao-ao-vidro>>. Acesso em: 20 set. 2019.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção**, 2009. Disponível em:

<<https://pt.slideshare.net/juniorgestao/materiais-de-construcao-volume-2-bauer-5-edio>>. Acesso em: 12 set. 2019.

Conselho Regional de Química 4ª Região. **Vidro**, 2011. Disponível em:<<https://www.crq4.org.br/vidroquimicaviva>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

IBRACON. **CONCRETO: material construtivo mais consumido no mundo**, 2009. Disponível em:

<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 05 set. 2019.

BROOKS, NEVILLE. **Tecnologia do concreto**, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=cqY5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR4&dq=defini%C3%A7%C3%A3o+de+concreto&ots=RWtJxCwyVX&sig=n9oVqiNmK_kiq_haDoE1vwKCc#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 set. 2019.

NEVILLE, Adams. **Propriedades do concreto**. 5ª edição. São Paulo: Editora Bookman, 2016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=dYOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=definição+de+concreto&ots=lajKUsNzQD&sig=j1sVR7kLqNwn9xdWRFUkObyXp4c#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. v.1. Uberlândia, MG. LTC. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/materiais-de-construcao-falcao-bauer-vol-1-5a-ed-p-25/4905887/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

ROMANO, Cezar. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. 2012. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012>>. Acesso em: 22 set. 2019.

Instituto Brasileiro de Impermeabilização. Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central. 1ª edição. São Paulo. Disponível em: <<http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2019.

GOMES, Eduardo. **Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali-agregado – A experiência do Recife**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pernambuco – Recife, 2008. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/35/1/dissertacao_eduardo_alves.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

BARRETO, GOMES. **Uma discussão sobre a reação álcali-agregado (RAA), seu mecanismo e os fatores que a influenciam.** IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas. João Pessoa – Pernambuco, 2013. Disponível em: <http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1_037.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.

IBRACON. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: Saiba como prevenir e como avaliar, modelar e reparar estruturas de concreto afetadas,** 2016. Disponível em: <http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista83.pdf>. Acesso em: 01 set. 2019.

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto alegre, 2006. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/f973/c61e2a9c9a9344fcd37daca946cc42c319e0.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2019.

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2019.

CAIXA. **Cadernos técnicos de composições para: Pavimento intertravado,** 2017. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_INTERTRAVADO_v004.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.

ALCÂNTARA, Paloma. **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru – Pernambuco, 2015. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/ppgecam/images/documentos/Dissertacoes/dissertao-final-alcantara-2015.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2019.

RIGHI, et al. **Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas**. Engenharia Estudo e Pesquisa. v. 11 - n. 2 - p. 28-35, 2011. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/4331133-Efeitos-da-substituicao-de-areia-por-vidro-moido-no-comportamento-de-concretos-em-elevadas-temperaturas.html>> Acesso em : 09 set. 2019.

CASTRO, Moema. **Dosagem Experimento do Concreto – Método ABCP/ACI**. Universidade Paulista, 2016. Disponível em: <https://moemacastro.weebly.com/uploads/5/7/9/8/57985191/mcc_2016-2_aula-06_-_dosagem_de_concreto_abcp-aci.pdf> Acesso em: 25 set. 2019.

CEMPRE. **Consórcio Empresarial para a Reciclagem**, 2014. Disponível em: <www.cempre.org.br> Acesso em: 20 set. 2019

NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (nº200). Rio de Janeiro, 1991.

NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

