

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**DANIELA CARLA SALAZAR FERREIRA
LARISSA PEREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM
O USO DE MATERIAL RECICLADO CERÂMICO**

**CARATINGA
2019**

**DANIELA CARLA SALAZAR FERREIRA
LARISSA PEREIRA DA SILVA**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM
O USO DE MATERIAL RECICLADO CERÂMICO**

**Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Engenharia das Faculdades
DOCTUM de Caratinga, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Material de
construção**

**Professor Orientador: Thales Leandro
de Moura**

CARATINGA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM O USO DE MATERIAL RECICLADO CERÂMICO, elaborado pelo(s) aluno(s) DANIELA CARLA SALAZAR FERREIRA e LARISSA PEREIRA DA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 09/07/2019


THALES MOURA

Prof. Orientador


JOÃO MOREIRA

Prof. Avaliador 1


LEANDRO SOUZA

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

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

(Romanos 11:36)

Primeiramente agradeço a Deus, por não me deixar em desânimo diante das dificuldades e por sempre estar ao meu lado, protegendo e guiando.

Aos meus pais que estão sempre ao meu lado. Meu pai, José, que tanto trabalhou e se esforçou para nos dar o melhor. Minha mãe, Maria, que mesmo não estando presente entre nós em espírito, incentivando que acreditássemos, sempre. Sem o carinho e amor de vocês não me tornaria quem sou hoje. Agradeço também as minhas irmãs Camila e Marcia, pelo apoio e Carinho.

Ao Thiago e ao Murilo pela compreensão pelas minhas ausências ao longo desses anos.

A Faculdade Doctum de Caratinga e ao Corpo Docente pelo incentivo, oportunidade de crescimento e realização profissional.

Ao professor Thales pelas orientações neste TCC que me fez refletir e aprender com os equívocos.

A Larissa, companheira de estudos, uma das maiores incentivadoras deste projeto.

Enfim, a todos os amigos e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste sonho.

Daniela Carla Salazar Ferreira

AGRADECIMENTOS

“[...]O Senhor e a minha força o meu cântico”.

(Êxodo 15. 2)

Primeiramente quero agradecer a Deus por me proporcionar esse momento ímpar, nele encontrei forças e direção segura. Pude perceber sua mão a me guiar nestes 5 anos de trajetória universitária, como em toda minha vida.

Aos meus, amados pais, Gildo e Eni, pelo amor e carinho ofertados a mim. Foi com a dedicação e o esforço deles que cheguei até aqui.

Não poderia me furtar em agradecer aos meus irmãos: Kelly Cristina, Lilian Cristina e William Pereira; e toda minha família que uniram-se a mim deste desafio acadêmico com orações e suplicas a DEUS pelo meu sucesso.

Ao meu amado esposo Marcelo pela compreensão e companhia, sempre incentivando-me com palavras e ações. Pelas orações e gestos de carinho e amor.

A Faculdade Doctum de Caratinga pelo respeito, ensino e dedicação conjunta com os professores (Mestres) pelo exímio comprometimento com a transmissão do conhecimento. Especialmente, ao professor e orientador Thales pelas cobranças e sugestões que nos fizeram ir além dos livros didáticos e enfrentar nossos medos de não conseguir.

E aos meus amigos, colegas de curso e a todos que conhecemos pelo caminho e sempre farão parte desta indescritível experiência de vitória.

Larissa Pereira da Silva

RESUMO

Com o aumento das construções que foram edificadas com materiais impermeáveis é possível observar o aumento descontrolado de barreiras entre as águas das chuvas e a função do solo de absorvê-las. Esta pesquisa buscou trabalhar as características para a produção de concreto permeável com material reciclado e analisar a resistência à tração na flexão, absorção de água, índice de vazios, massa específica seca e saturada do concreto e a vazão como solicitado em normas específicas. Para a produção do concreto foram usados dois tipos diferentes de agregados graúdos brita 0 e material cerâmico reciclado (RCC) obtendo diferentes resultados, o concreto produzido com a brita 0 foi satisfatório em todas os testes e atendeu todas as exigências da norma, já o concreto permeável misto feito com 25% de material cerâmico reciclado e 75% de brita 0 não apresentou resultados suficientes no teste de resistência à tração na flexão, ao contrário dos demais teste que foram melhores com o material reciclado.

Palavras chaves: Concreto Permeável. Material Cerâmico Reciclado. Resistência.

ABSTRACT

With the increase of constructions that were built with impervious materials to a possible increase of the power of barriers between waters and a function of the soil to absorb. This search sought to work with features to a production of concrete material with recycled and flexural analysis in the flexion, absorption of the water, index of voids, mass dry and saturated matter of the concrete and the flow the specified in normal standards. For the production of high gross substrates 0 and recycled ceramic material (RCC) obtaining results compared, the product was produced with gravel 0 was satisfactory in all tests and met all the requirements of the standard, as the mixed permeable concrete made with 25% of recycled ceramic material and 75% crushed stone 0 did not compare to the results that did not undergo any tensile strength test in flexion, contrary to what was done with the recycled material.

Key words: Permeable Concrete. Recycled Ceramic Material. Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Revestimento permeável com placa de concreto_____	24
Figura 2	Pavimento com revestimento com concreto vazado_____	25
Figura 3	Pavimento de bloco intertravado poroso_____	25
Figura 4	Pavimentação de concreto permeável moldado no local_____	26
Figura 5	Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Total, Parcial e Sem infiltração_____	27
Figura 6	Cimento Montes Claro_____	30
Figura 7	Brita zero_____	30
Figura 8	Material cerâmico (RCC)_____	31
Figura 9	Molde do <i>Slump Teste</i> _____	32
Figura 10	75% de Brita Zero e 25% de material cerâmico reciclado na betoneira_____	34
Figura 11	Concreto permeável com agregados mistos (Brita zero e material reciclado) após o preparo na betoneira_____	35
Figura 12	Formas para o molde do concreto_____	37
Figura 13	Moldando o concreto na forma prismáticas_____	37
Figura 14	Concreto adicionado ao molde quadrado_____	37
Figura 15	Formas com agregado reciclado_____	38
Figura 16	Peças de concreto permeável em Cura (28 dias)_____	38
Figura 17	Esquema da aplicação em teste de tração na prensa hidráulica Manual_____	39
Figura 18	Concreto na linha definida: respeita a extremidade (2,5cm) linha de ruptura ($l/3$)_____	40
Figura 19	Bloco prismático no aparelho_____	40
Figura 20	Blocos rompidos após o teste de resistência de tração na flexão com agregado cerâmico (RCC)_____	41
Figura 21	Blocos rompidos após o teste resistência de tração na flexão com brita 0_____	41
Figura 22	Teste de permeabilidade_____	45
Figura 23	Cronometrando a percolação_____	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proporção do material	32
Tabela 2: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova	36
Tabela 3: Determinação da massa de água para ensaio	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Ensaio de resistência a tração a flexão com 28 dias de brita 0	47
Quadro 2: Ensaio de resistência a tração na flexão com 28 dias de brita 0 + componente cerâmico (RCC)	48
Quadro 3: Dados para os ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca	49
Quadro 4: Resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada para brita 0	49
Quadro 5: Resultado de média e desvio padrão de brita 0	49
Quadro 6: Ensaio realizado 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)	50
Quadro 7: Resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada para brita 0 + componente cerâmico (RCC)	50
Quadro 8: Resultado de média e desvio padrão de 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)	51
Quadro 9: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas	51
Quadro 10: Coeficiente de permeabilidade com o 75% de brita 0 +25% de componente cerâmico (RCC) em placas	52
Quadro 11: Vazão da placa de concreto permeável de brita 0	52
Quadro 12: Vazão da placa de concreto permeável de 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Distância entre 1/3 e a Fissura

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

b – Largura do corpo de prova

C – Fator de conversão de unidade do sistema

°C – *Celsius*

d – Diâmetro Interno do Corpo de Prova

d' – Altura do Corpo de Prova

d'' – Diâmetro do Corpo de Prova

EPA – Environmental Protection Agency

F_{ctd} – Resistência a Tração na Flexão

FDC – Faculdade Doctum de Caratinga

Força – Força Máxima

h – Horas

k – Coeficiente de Permeabilidade

Kg – Quilograma

ℓ – Litro

l' – Distância entre Apoios

M – Metro

m/s – Metros por Segundo

m' – Massa de Água

MG – Minas Gerais

M_i – Massa de Corpo de Prova Imerso

min – Minuto

mm – Milímetro

MPa – Megapascal

M_s – Massa Seca

M_{sat} – Massa Saturada

N – Newton

N° – Número

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

P – *Força aplicada*

PVC – Poli Cloreto de Vinila

Q_v – *Vasão volumétrica*

s – Segundo

t – Tempo

T_{nf} – *Tonelada Força*

v – Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura do Trabalho	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Impermeabilização de vias públicas: um problema a ser considerado	17
2.2	Breve histórico da utilização do concreto permeável ao redor do mundo	18
2.3	Caraterísticas do material	19
2.4	Tipos de agregado	19
2.4.1	Pedriscos (Brita Zero)	20
2.4.2	Cinza de madeira	20
2.4.3	Areia media	20
2.4.4	Agregado de material cerâmico reciclado	21
2.5	Estacionamentos, áreas de transito leve de Veículo e concreto permeável	23
2.6	Tipos de revestimento	24
2.6.1	Sistemas de infiltração	26

2.7	Vantagens e desvantagens do concreto permeável	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	Materiais disponíveis à confecção do concreto permeável em laboratório	30
3.2	Dosagem do concreto com brita 0	32
3.2.1	<i>Slump test</i>	32
3.2.2	Preparação da amostra do concreto brita 0	33
3.2.3	Preparação da amostra do concreto com material cerâmico reciclado (RCC)	34
3.3	Moldagem do corpo de prova e adensamento	35
3.3.1	Teste de resistência de tração na flexão	38
3.3.2	Ensaio de Absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca	41
3.3.3	Ensaio do coeficiente de permeabilidade	23
3.3.4	Método de vazão	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Resultado do ensaio de resistência a tração na flexão	47
4.2	Resultado do ensaio de absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca	48
4.3	Resultado do ensaio de permeabilidade	51
4.4	Vazão volumétrica do concreto permeável	52
5	CONCLUSÃO	54
5.1	Conclusão	54
5.2	Recomendações	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com o crescente aumento da urbanização (edificações, ruas e calçadas, construídas com materiais impermeáveis), é possível observar o aumento descontrolado de barreiras entre as águas das chuvas e a função do solo de absorvê-las.

Antes, a água que infiltrava em vários pontos no solo chegava até os rios ou córregos lentamente e o pouco restante escoava de maneira ordenada. Agora, no entanto, é possível notar que isso ocorre de modo bastante desordenado devido à impermeabilidade da atual pavimentação asfáltica, ocasionando sobrecarga da rede pública de drenagem e dos corpos hídricos que a recebem (HÖLTZ, 2011).

Inundações e deslizamentos, que antes eram vistos de maneira esporádica, de acordo com o comportamento natural do ciclo d'água, passaram a ocorrer de maneira desenfreada. Tudo isso ocasionado pela falta de planejamento urbano, frutos da ação humana. Assim, ações que vislumbram a recuperação da capacidade de infiltração do solo são de fundamental importância para o gerenciamento das inundações (TUCCI, 2008).

Nesta perspectiva, tem-se o concreto permeável como alternativa para reduzir as cheias a partir da origem do problema. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) o material representa uma solução viável, também reconhecido como a Melhor Prática de Gestão das Águas Pluviais por facilitar o escoamento fazendo com que o ciclo hidrológico funcione novamente. O produto oferece a possibilidade de utilização ambientalmente responsável, reduzindo os custos de construção em vários tipos de projeto (HUFFMAN, 2005).

No Brasil, o manejo do concreto permeável ainda é pouco difundido. Pouco se sabe sobre os métodos de produção e instalação, o que sugere a necessidade de pesquisas quanto ao melhor traço a ser utilizado, visando resultados consistentes de permeabilidade. A rápida percolação da água da chuva para o lençol freático seria facilitada, associado ao baixo índice de desgaste do material (SCHWETZ et al, 2015).

Diante do exposto, o presente estudo busca responder algumas questões centrais, tais como: Qual a qualidade de absorção proporcionada pelo concreto

permeável em diferentes materiais? Qual a melhor proporção de material reciclado que se pode sugerir para a fabricação deste concreto?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo é criar um concreto permeável adicionando materiais alternativos, buscando atender as exigências especificadas pela (ABNT) NBR 16416: 2015, utilizando um traço para diferentes materiais sendo o primeiro 100% de brita 0 e o segundo misto com 75% de brita 0 e 25% de material cerâmico de resíduos da construção civil (RCC), no propósito de analisar a sua resistência.

1.2.2 Objetivos Específicos

De maneira descritiva, esta pesquisa estabelece das seguintes ações:

- ✓ Efetuar levantamento bibliográfico, nos diferentes meios de pesquisa (revistas científicas, livro, sites de busca na internet entre outros) com vistas a analisar as possibilidades de uso e confecção do concreto permeável;
- ✓ Estabelecer o traço dos dois agregados promovendo análise comparativa entre eles.
- ✓ Confeccionar os traços de concreto permeável utilizando-se do primeiro à base de brita zero (100%) e outro com brita zero (75%) adicionando Resíduo Cerâmico de Construção (RCC, 25% - tijolos triturados) para que se possa comparar os dois traçados;
- ✓ Analisar as características dos materiais obtidos na utilização dos agregados brita zero e RCC;
- ✓ Analisar a resistência de tração na flexão do concreto produzido, adotando como procedimentos a norma ABNT NBR 16416: 2015.
- ✓ Realizar o teste de coeficiente de permeabilidade no bloco de acordo com a norma ABNT NBR 16416: 2015.
- ✓ Realizar os testes de absorção de água, índice de vazios, massa específica seca e saturada de acordo com a norma ABNT NBR 9778: 2009.

1.3 Justificativa

Em tempos modernos vemos o crescimento urbano que por muita das vezes não há planejamento, com isso a construção civil precisa estar voltada para o lado sustentável já que vivemos a necessidade de se criar ou construir algo novo pensando em nosso futuro não deixando de pensar no custo benefício, comprometendo assim o meio ambiente.

O concreto permeável, de acordo com Virgillis (2013) e Ramos (2018), se apresenta como meio alternativo aos sistemas antiquados de impermeabilização do solo, além de ser uma solução para problemas de mobilidade urbana.

O sistema de concreto permeável faz que a água passe por uma camada formada por agregados com granulometria aberta a conseqüente formação de espaços vazios, mantendo-a numa área permeável do terreno para facilitar a absorção d'água pelos lenções freáticos, ou por algum sistema de escoamento devidamente instalado (VIRGILLIS, 2013).

Assim, esse trabalho busca estudar a utilização do concreto permeável como meio alternativo ao atual modelo impermeável com vistas ao desenvolvimento de técnicas sustentáveis ao facilitar a percolação da água no solo, diminuindo a incidência de enchentes e outros desastres naturais, permanecendo como fonte de pesquisa científico-metodológica a outros profissionais da construção civil.

1.4 Estruturas do trabalho

Para facilitar a leitura, compreensão e a descrição dos fatos, esta monografia encontra-se dividida em capítulos, conforme brevemente apresentado a seguir.

Na Introdução, capítulo I, buscaram descrever uma apresentação geral do trabalho, a fim de que o leitor compreendesse o tema a ser explorado e o que se pretendeu pesquisar, pela importância do assunto e sua viabilidade enquanto objeto de estudo na área de planejamento urbano.

O capítulo II traz o referencial teórico que é a base interpretativa do trabalho. Nele, contém um breve relato histórico do que se fala a respeito de concreto permeável no Brasil e no mundo. Uma descrição sobre o seu surgimento, manejo, formas de utilização recomendados por pesquisas recentes e normas. Assim, pretende abordar e facilitar a discussão dos resultados a posterior.

O Capítulo 3 – Metodologia – apresenta o andamento da pesquisa pela NBR 16416: 2015 que estabelece parâmetros para a utilização de concretos permeáveis, descrevendo requisitos e procedimentos. A base de análise crítica foram os estudos de Gil (2008) que define esta pesquisa como exploratória por priorizar a busca por comparações conceituais adequadamente.

O Capítulo 4 – Resultados e Discussões – aponta, de maneira consistente, os manejos da proposta e, conseqüentemente, os resultados encontrados. As tabelas trazem de forma ordenada as implicações que fundamentam as discussões propostas no Capítulo anterior. As ações desenvolvidas permitiram o diálogo da prática com a teoria. Neste sentido, facilitou a compreensão dos assuntos e o “*pôr a mão na massa*”, agregando conhecimento científico e respostas às perguntas iniciais deste projeto.

No Capítulo 5, foi reservado as considerações e conclusões finais. Trazendo uma breve formulação do que foi possível ser analisado na prática do trabalho de conclusão do curso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Impermeabilização de vias públicas: um problema a ser considerado

Com a ampliação do espaço ocupado pelo ser humano, bem como pela transformação em seu modo de pensar, agir e expressar suas necessidades em meio ao ambiente em que vivem, surgiu os grandes centros urbanos que – não necessariamente – precisaria estar à margem de algum rio. Daí por diante, as abundantes chuvas poderiam ser vistas em certo aspecto como causadora de problemas tais como: acúmulo de doença, enchentes indesejadas, transtorno a locomoção, entre outros (RAMOS, 2018, pág. 10).

Dentre as soluções apresentadas a permeabilidade do solo, junto a sistemas hídricos de filtragem das águas da chuva conhecida como Sistema Clássico de Drenagem, este método consiste, basicamente da

[...] utilização de condutos preferencialmente subterrâneos funcionando por gravidade [...], dispositivos de micro drenagem que efetuam o transporte superficial das águas na rua (sarjetas), sua captação (bocas de lobo) até os sistemas de macrodrenagem constituídos de canais abertos ou galerias (VIRGILIIS, 2013, pág. 10).

De acordo com autores sobre o tema, o escoamento das enxurradas por vias de captação é insuficiente, a baixa percolação das águas pelo solo devido ao efeito impermeabilizante do asfalto, além da falta de planejamento para habitação nas cidades, tem sido a causa de prejuízos e transtornos trazidos pelas constantes inundações (TUCCI, 2003; TUCCI, 2008; VIRGILIIS, 2013; RAMOS, 2018).

O volume que escoava lentamente no solo e ficava retido pela vegetação e em depressões, passa a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções que com o tempo deixam de comportar os volumes anteriormente projetados [...] A falta de planejamento e regulamentação é sentida em praticamente todas as cidades de médio e grande porte do país [...] O poder público passa a investir parte significativa de seu orçamento para proteger uma parcela da cidade que sofre devido à imprevisibilidade da ocupação do solo (VILLANUEVA, 1997 apud VIRGILLIIS, 2013, pág. 15).

Existe, portanto, a necessidade de pensar e desenvolver práticas mais eficazes cujo intuito seja restaurar o ciclo natural da água permitindo maior sustentabilidade na utilização de recursos, dos mais diversos tipos.

Como resposta a este sistema Clássico, Virgiliis (2013) aponta os Sistemas Alternativos ou Compensatórios de Drenagem que, em suma,

Buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e preservação ambiental [...], pois, consideram o impacto da urbanização de forma geral, buscando compensar sistematicamente os seus efeitos (VIRGILIIS, 2013, pág. 10).

No entanto, medidas como a utilização de estruturas de concreto permeável que devidamente instaladas tendem a armazenar um volume considerável da água do solo e, de maneira lenta e gradual, liberá-la no solo – facilitando o ciclo das águas – sem degradar o solo. Diminuindo a incidência de enchentes e alagamentos.

2.2 Breve histórico da utilização do concreto permeável ao redor do mundo

Com o fim da 2ª Guerra Mundial, próximo dos anos 50, iniciou-se a reconstrução das cidades na Europa. A pavimentação pretendida eram blocos de pedra. No entanto, pela escassez de matéria-prima, muitas indústrias passaram a desenvolver tecnologias de produção de blocos de concreto que oferecessem baixo custo de produção, facilidade de transporte e características essenciais de: resistência, abrasividade e aderência (Smith, 1999; *in* PINTO, 2009, pág. 49).

Posteriormente, Alemanha, França, Suécia, Estados Unidos, África do Sul, Inglaterra, Japão, Austrália e Nova Zelândia se destacaram com as pesquisas de utilização de concreto permeável. Estudos que permitiram aprimorar desde manejos de uso, traço, clarificação (estética), granulidade entre outras.

No Brasil, esta forma de aplicação do concreto ainda é pouco estudada. A partir de 2007, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) vem desenvolvendo estudos nesta área como uma alternativa a problemas com a impermeabilização dos solos nos grandes centros urbanos. Em 2009 a Universidade de São Paulo desenvolveu um projeto promissor de pesquisa no qual 1600m² foi asfaltado, “de um lado, com asfalto permeável e de outro com blocos de concreto intertravados de concreto poroso, demonstrando a capacidade de absorção destes com relação ao primeiro, e contribuindo para o desenvolvimento da tecnologia de concreto poroso” (TETRACON, 2015).

O resultado destas intervenções, além da abertura do campo de pesquisa sobre os manejos com o concreto permeável, foi à aprovação da Norma Brasileira (ABNT NBR 16416: 2015) – Pavimentos Permeáveis de Concreto: requisitos e procedimentos – que passou a assegurar este tipo de concreto e a incentivar seu uso em todo o país.

Hoje este material tem sido aplicado em áreas de fluxo leve de veículos e pessoas, tais como: áreas de esporte, estacionamentos, ciclovias, condomínios entre outros. O que sugere uma medida válida.

2.3 Características do material

Composto por material granular – a base de brita e ligante (Cimento Portland CP) – geralmente com algum aditivo que torne melhor seu desempenho em termos de durabilidade e resistência, o pavimento ou concreto permeável “é caracterizado por possuir elevada porosidade e boa drenabilidade, dependendo da sua composição” (BATEZINI, 2013, pág. 25). Sobre sua aplicação, importa dizer, que é feita sobre uma camada de brita – em formato irregular – cuja função é a acumular água vazada pelo concreto que posteriormente será subtraída pelo solo até o leito do rio (Holtz, 2011). O terreno a ser aplicado deve ser considerado quanto a sua capacidade de permeabilidade. Sendo preciso, caso detectado, agentes corretivos ou adaptações antes da aplicação da camada de brita e – por fim – da colocação do concreto permeável (BATEZINI, 2013).

Em pesquisa realizada sobre a resistência mecânica e permeabilidade de concreto permeável com adição de agregados miúdos, Fagundes et al (2016) apontam que a incorporação desses materiais ao traçado – em baixos teores – melhoram a qualidade do produto a ser aplicado em zona de tráfego leve de veículos, auxiliando na drenagem urbana.

2.4 Tipos de agregado

Pensando um pouco mais sobre os conteúdos da mistura adequada à utilização do produto, quanto ao Concreto permeável estrutural Ramos (2018) e Batezini (2013), explica que ele apresenta

[...] elevada resistência mecânica e baixa permeabilidade, sendo caracterizado pela adição de materiais de granulometria reduzida na mistura. Este tipo pode ser utilizado em estacionamentos, ruas e avenidas que possuam tráfego de veículos pesados (BATEZINI, 2013, pág. 27; *apud* RAMOS, 2018, pág. 21).

Assim, é importante denominar alguns dos principais agregados à mistura desse tipo de concreto para que lhe ofereça maior resistência e durabilidade sem que perca sua porosidade essencial:

2.4.1 Pedriscos (Brita Zero)

Sendo este o principal agregado à elaboração do concreto permeável, os pedriscos permitem a formação de vazios em grande quantidade quando da secagem do material (RAMOS, 2018).

É por meio deles que a água torrencial será absorvida para a camada interna de drenagem – também composto por brita zero.

2.4.2 Cinza de madeira

Este produto passou a ser utilizado devido a questões de sustentabilidade. Geralmente descartados em área de aterro sanitário pelas indústrias madeireiras. A cinza de madeira mantém características de permeabilidade aliadas a baixa variação de resistência (BENNACK, 2016).

A utilidade da Cinza como agregado

[...] vêm se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos, já que o destino final da cinza, geralmente se dá em custo de transporte e aterro. Uma alternativa apresentada para reduzir o impacto ambiental causado pela geração deste resíduo [...] (RAMOS, 2018, pág. 32).

Há que se analisar, portanto, a qualidade do produto como aditivo ao traço do concreto permeável, pelo seu potencial de trabalhabilidade adequadas e – até mesmo – substitutivas de insumos como área e oferecer qualidade no produto final. Reduzindo custos com a obra;

2.4.3 Areia média

A areia preferida para o traço do concreto permeável, de acordo com algumas pesquisas, é a areia média devido ao seu teor encorpado e pela presença de detritos que auxiliam na formação de vazios (RAMOS, 2018; BENNACK, 2016; BATEZINI, 2013).

Neste contexto, os mesmos autores orientam para que as quantidades utilizadas sejam exaustivamente testadas em laboratório para que se defina o melhor traço (FAGUNDES et al, 2016). Portanto, o tipo de agregado e as proporções dependerão do cuidadoso olhar do profissional sobre vazão e resistência do material pretendida.

2.4.4 Agregados de material cerâmico reciclado (RCC)

Analisando a necessidade de implementar diretrizes para a redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil, a Resolução n° 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. No Art. 2º desta Resolução, os resíduos da construção civil são todos aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. Os geradores são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem tais resíduos.

No Art. 3º da Resolução n° 307/2002 do CONAMA, os resíduos da construção civil são classificados conforme o descrito abaixo:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução n° 469/2015).

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução n° 431/11).

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução n° 348/04).

Os resíduos cerâmicos, objeto de análise deste trabalho, pertencem a Classe A da Resolução e podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

A ABNT NBR 15116:2004, que dispõe sobre os requisitos para utilização de agregados reciclados de RCD em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, define agregado reciclado como um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação, infraestrutura ou outras obras de engenharia. Esta norma ainda classifica os agregados em dois tipos: agregado reciclado de concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90%; e agregado reciclado misto (ARM), cujo teor de fragmentos é menor que 90%.

A dificuldade de aplicação está no controle da variabilidade das características físicas ou na presença de impurezas e contaminantes embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (ÂNGULO et al, 2001 apud SOUZA et al, 1999; JOHN, 2000). Mesmo que o agregado atenda os limites definidos pela ABNT NBR 15116: 2004 e não exista o risco de desempenho, a presença de pequenos pedaços de papel ou madeira pode ser suficiente para que determinada construtora deixe de consumir o agregado reciclado (MIRANDA et al, 2009). No Brasil, Lucena (2005) constatou que os resíduos de construção civil são compostos, principalmente, de tijolos, areias e argamassas (em torno de 80%). Numa menor proporção foram encontrados ainda restos de concreto (9%), pedras (6%), cerâmica (3%), gesso (2%) e madeira (1%). A Figura 3 apresenta a composição do resíduo estudado.

O material usado foi proveniente de uma obra de reforma de uma casa em um bairro em Caratinga – MG e é constituído apenas por resíduos cerâmicos de construção. O estudo de um material mais homogêneo amplia as possibilidades de aplicação do resíduo por permitir um melhor entendimento das propriedades do material reciclado.

Desta forma, estudos sobre permeabilidade do solo e fluxo de veículos, ou pessoas, disponíveis em determinada área, se fazem necessários para o processo de aplicação do produto de maneira qualitativa.

2.5 Estacionamentos, áreas de trânsito leve de veículos e concreto permeável

O sistema clássico de drenagem hídrica – bem como o asfalto impermeabilizante – tem trazido prejuízos dos mais diversos para a população urbana. Alagamentos, degradação ambiental e aumento do calor atmosférico com alteração no clima são alguns dos malefícios que se pode recordar.

Existe um amplo campo para a utilização do concreto permeável como pavimento alternativo àquele sistema tradicional, especialmente no que diz respeito a áreas de trânsito leve de veículos ou fluxo de pessoas, locais como: ruas de condomínio, calçadas, e estacionamentos.

A crítica ainda persistente em relação ao tipo de manejo do concreto se deve a formação de vazios e seu alto índice de porosidade. Tal fato se apresenta ao mercado dando a ideia de fragilidade e não resistência do produto. Quanto a isso, no entanto, Tennis et al (2004) afirmam que

o pavimento de concreto permeável pode atingir resistências superiores a 20,5 MPa¹ à compressão e 3,5 MPa à flexão [...] esses valores de resistência são mais do que suficientes para 'suportar as cargas provenientes do tráfego leve de veículos e altas cargas por eixo de caminhões (TENNIS et al 2004; *apud* CASTRO, 2015, pág. 27).

Para Virgiliis (2009), a utilização deste material como pavimento asfáltico já tem sido utilizado inclusive em rodovias de grande fluxo de veículos, como a Rod. Presidente Dutra (Bahia) e Rod. dos Imigrantes (São Paulo).

A utilização do concreto permeável em áreas de fluxo de veículos leves demonstra boa aceitação da base científica, sua aplicação reduz o escoamento superficial, a água planeja e o ruído de contato dos pneus dos carros, principais causadores das problemáticas já mencionadas.

Porém, Castro (2015) também orienta para que “o traço do concreto permeável tenha um rigor maior em relação à composição do traço do concreto simples, para assim atingir o propósito necessário”. Em especial quanto a dois fatores essenciais: a relação água/cimento/agregado e o procedimento de compactação (BATEZINI, 2013, pág. 28).

¹ MPa – É unidade de medida de pressão, definida como Mega Pascal. Assim, a unidade de grandeza Mega indica potência e Pascal indica pressão em newton. Juntas as unidades medem a resistência do concreto

No primeiro caso, a quanti-qualidade de água e de agregados adicionados ao cimento definirá aspectos de resistência e permeabilidade do concreto. Nesta relação, o produto deve apresentar brilho sem que haja excesso de líquido ao redor. O segundo fator essencial está relacionado ao fato de que o concreto deve apresentar-se firme o suficiente para não desmanchar quando compactado. Após a confecção e colocação do concreto permeável em áreas de trânsito de pessoas e veículos, o tempo de liberação do tráfego dependerá do processo de cura do concreto que, em média é de 14 dias (CASTRO, 2015).

2.6 Tipos de revestimento

De acordo com a norma ABNT NBR 16416: 2015 o revestimento permeável com placas de concreto alcança sua aplicabilidade por meio da própria placa, permitindo que a água seja absorvida pelos seus vazios e drenando seu lençol freático, por parecer um Inter travamento não pode ser comparado, pois a área da ocupação individual da placa é maior e o mecanismo de esforço não são os mesmos (figura 1).

Figura 1: Revestimento Permeável com placas de concreto



Fonte: ABNT NBR 16416: 2015

Revestimento de peças de concreto com áreas vazadas – a percolação ocorre pelas suas áreas vazadas, a configuração da forma faz com que o bloco seja todo vazado por onde a água possa permear pela parte interna. A figura 2 demonstra como é este tipo de pavimentação. De acordo com Virgiliis (2009) os blocos de concreto vazados, são blocos Inter travado com aberturas que dão possibilidade do preenchimento com o solo, agregados ou vegetação.

Figura 2: Pavimento com revestimento em concreto vazado



Fonte: Acessado em SB Pavimentos (2015)

Revestimento de peças de concreto permeável: é um dos revestimentos que tem a capacidade de drenar a água por si mesmo devido ao grande índice de vazios, a infiltração e por meio de seus poros, diminuindo assim o escoamento superficial (figura 3).

Figura 3: Pavimento de bloco Inter travado poroso



Fonte: Acessado em Rio Forte Soluções de Concreto (2015)

Há também o revestimento com o concreto permeável moldado no local, com o mesmo procedimento das placas, a percolação da água ocorrerá pelo concreto, segundo a norma da ABNT NBR 16416: 2015, de acordo com a (Figura 4).

Figura 4: Pavimentação de concreto permeável moldado no local



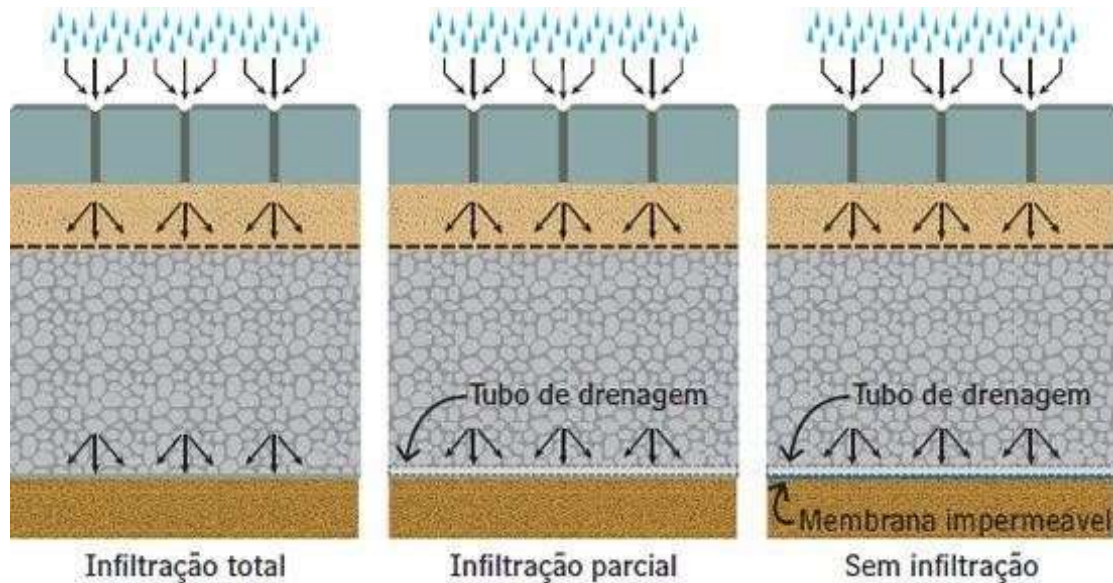
Fonte: Adaptado da Lopes (2011)

2.6.1 Sistemas de infiltração

A ABNT NBR 16416: 2015 afirma que há três tipos diferentes em relação à infiltração da água locada ou acopladas. A escolha do sistema de infiltração depende do tipo de solo e do projeto. Deve-se classificar o sistema de infiltração das seguintes formas (ABNT NBR 16416: 2015):

- ✓ Infiltração total: Toda a água precipita alcança o subleito e se infiltra conforme na (figura 5).
- ✓ A infiltração parcial: alcança o subleito e se infiltra por água que fica um tempo armazenada na estrutura, sendo depois removida conforme (a figura 6).
- ✓ Infiltração nula: neste sistema água fica armazenada e não infiltra no subleito, sendo depois removido pelo dreno conforme a (figura 7).

Figura 5: Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Total, Parcial e sem infiltração



Fonte: google.image.com

2.7 Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Pinto (2011) apresenta alguns benefícios e desvantagens dos pavimentos permeáveis, a seguir contemos:

I. Vantagens:

- ✓ Na qualidade das águas há uma melhora nas que são infiltradas ou nas escoadas pelos sistemas de drenagem;
- ✓ Diminui o escoamento superficial, realizando o amortecimento nos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração na bacia onde tem o dispositivo instalado;
- ✓ Para a pavimentação porosa em noites chuvosas promove ofuscamento reduzido, comparando-o com o concreto convencional mais usado
(Lopes, 2011, apud Schuler, 1987);
- ✓ Reabastece o lençol freático;
- ✓ Controla a erosão do solo;
- ✓ Filtragem de poluentes;
- ✓ Custos similares ao do pavimento convencional;

II. Desvantagens

- ✓ Necessário fazer inspeções regulares verificando a eficiência dos pavimentos;
- ✓ Necessidade de mão de obra qualificada para a execução da obra, tendo a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;
- ✓ Manutenção periódica;
- ✓ Para o caso de entupimento tanto da camada superficial quanto a estrutura reservatória, sendo o ajuste do pavimento é difícil e cara (Collins et al. 2007);
- ✓ Possibilidade de contaminação no lençol freático.

3 METODOLOGIA

Este estudo tem como foco a abordagem quantitativa dos procedimentos de utilização do concreto permeável em áreas de trânsito leve, a partir de ensaios realizados em laboratório.

Para isso, adotou-se o modelo de análise proposto por Gil (2008) que permite classificar a pesquisa como sendo de cunho exploratório e descritivo. Exploratória por se tratar de confrontar e ampliar a bibliografia já existente através do estudo prático de fabricação do concreto permeável a partir do referencial amplamente debatido nesta pesquisa. De modo complementar, a análise descritiva dos fatos encontrados facilita a exposição dos resultados de forma simples e ordenada, proporcionando maior clareza das ideias a serem debatidas.

Tendo como base o que recomenda as normativas brasileiras (ABNTs), procurou-se calcular os parâmetros para fabricação das peças de concreto permeável, especialmente quanto aos testes para caracterização de resistência e permeabilidade em laboratório, utilizando-se da ABNT NBR 16416: 2015 e seu *anexo A (normativo)* como base exploratória.

As normas ABNT NBR 27: 2001, ABNT NBR 248: 2003, ABNT NBR 5739: 2007, ABNT NBR 12142: 2010 e ABNT NBR 5738: 2015, foram usadas para a escolha dos agregados utilizados na confecção/moldagem dos blocos de concreto, por oferecerem um escopo teórico suficiente para a definição de granulometria, adensamento e análise dos aspectos de tração na flexão dos corpos de prova.

Por sua vez, as normativas ABNT NBR 9778: 2009 e 12655:2015 auxiliaram na definição do traçado desejado, com indicação de: dosagem, preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto permeável em sua forma ideal ao manejo pretendido neste estudo. Tais normativas permitem ensaios de controle e de consistência em seu estado fresco, conhecida como *Slump Test*.

Com base nos estudos já realizados em laboratórios também elaborados por Silva & Souza (2017) foi possível estabelecer – em contraste com as normativas – ações técnicas eficazes sobre dosagem dos materiais e preparação do concreto.

3.1 Materiais disponíveis à confecção do concreto permeável em laboratório

Como matéria prima para a confecção do traçado foi utilizado o Cimento Portland – CP-III 40-RS – por estar em conformidade com o que prevê a ABNT NBR 5735: 1992, sendo empregado o cimento da marca Montes Claros (*vide* figura 6).

Figura 6: Cimento Montes Claros



Fonte: google.image.com 12/05/2019

A brita, conhecida como basalto de origem ígnea, amplamente encontrada no Brasil é considerado agregado primordial na fabricação de concretos dos diversos tipos na construção civil. Para este estudo, portanto, optou-se por utilizar a brita 0 (4,5 a 9mm de diâmetro) conforme a figura 9, abaixo.

Figura 7: Brita Zero



Fonte: Acervo dos autores

No propósito de análise optou se por confeccionar, outro traço utilizando 75% da brita 0 com 25% do material cerâmico de resíduos na construção civil (RCC) como mostrado na figura 8.

Figura 8: material cerâmico de resíduos da construção (RCC)



Fonte: Acervo dos autores

Como solvente da mistura, adicionou se água potável comum disponível. O preparo do concreto foi realizado por meio dos seguintes instrumentos:

- ✓ Betoneira elétrica (Marca CSM, CS 145) com capacidade para 145L, para maior homogeneidade da mistura;
- ✓ Balança de precisão, elétrica, com capacidade para 50kg de forma a facilitar a dosagem dos produtos;
- ✓ 2 baldes com disposição para 20L;
- ✓ Um copo de medição Becker para 1L ou Kg;
- ✓ Recipientes para moldura do concreto;
- ✓ Carrinho de Mão para transporte;
- ✓ Peneira 9,5mm;
- ✓ 1 Concha para manejo.

Realizando o procedimento em três camadas, para cada camada sendo aplicados doze golpes em pontos diferentes, logo após o procedimento realizado planando a superfície do cone, foram retirados lentamente no ângulo de 90°, gastando de cada ensaio aproximadamente 10 s a 15 s, conferindo após a retirada o abatimento. Devido o concreto permeável ser mais sólido, apresenta diferença no ensaio em relação ao concreto convencional.

3.2.2 Preparação da amostra do concreto brita 0

A concretagem, para confecção da amostra utilizando brita zero, teve como parâmetro o traço proposto empiricamente por Silva e Souza (2017) 1:3:5:0;34; em consonância com a ABNT NBR 16416: 2015, foi preciso moldar os corpos de prova na forma prismática com a seguinte dimensão: 10cm x 10cm x 40 cm. Os ensaios foram realizados seguindo a metodologia prevista na ABNT NBR 12142: 2010.

Assim, o primeiro procedimento ditado foi passar a brita 0 na peneira para reduzir o pó. Depois, cada componente da mistura foi pesado e reservados em recipientes individuais. Antes de iniciar a mistura, foi realizada a checagem da betoneira, verificando se havia resíduos prejudiciais à confecção dos corpos de prova. A mesma foi umidificada e, por fim, os materiais foram sendo colocados um a um na seguinte ordem:

- ✓ Agregado graúdo a brita 0.
- ✓ Após, umedeceu com metade da água a ser usada.
- ✓ Acrescentou se o cimento por completo.
- ✓ Em seguida o restante da água lentamente adicionado.
- ✓ Variando uma mistura em 5 a 8 minutos.

Considerando os dados da (tabela 1) para as amostras foram gastos na primeira dosagem: 21 kg de cimento, 73,5 kg de brita zero e 7,14 L de água, apresentando-se com aspecto de densidade satisfatória, mesmo no estado fresco demonstra boa liga com os agregados, mantendo a porosidade.

3.2.3 Preparação da amostra do concreto com material cerâmico reciclado (RCC)

O material cerâmico (RCC) foi triturado manualmente buscando reduzi-lo ao tamanho de 4,5mm a 9mm, para então ser peneirado. Esse procedimento visou reduzir o agregado para aumentar a possibilidade de se conseguir vazios necessários ao concreto e uma percolação desejada da água. Notou se que a quantidade de água estipulada no traço foi usada mais não foi necessária para ligar os materiais sendo assim optou se por aumentar a quantidade de água na mistura. Chegando a um bom adensamento observou se que foi usado o dobro de água.

- ✓ Foi inserida a 75% de brita 0 (figura 7) e 25% de material cerâmico (figura 8).
- ✓ Após umedece com a metade da água a ser usada.
- ✓ Acrescentou se o cimento por completo.
- ✓ Em seguida o restante da água lentamente foi adicionado.
- ✓ Variando uma mistura em 5 minutos de acordo com a (figura 10) e (figura 11)

Figura 10: 75% de Brita Zero e 25% de material cerâmico reciclado na betoneira



Fonte: Acervo dos autores

Figura 11: Concreto permeável com agregados mistos (Brita zero e material reciclado) após o preparo na betoneira



Fonte: Acervo dos autores

3.3 Moldagem do corpo de prova e adensamento

A avaliação do concreto permeável se deu a partir da moldagem dos corpos de prova cilíndricos, prismáticos e quadrados conforme a norma ABNT NBR 5738: 2015, segundo a norma descreve, as dimensões básicas para estar moldando os corpos de prova. Em busca de se obter um bom resultado nos ensaios que podem vir a ser usados, devem estar usando formas metálicas ou um material que seja fácil para desmoldar, que mantenham as extremidades ou superfícies lisas. Deixando a parte superior do molde aberta que permitirá a facilidade de desmoldar, sem que haja algum dano ao corpo de prova.

Deve-se usar para facilitar o abatimento do concreto uma haste metálica, na forma cilíndrica que constituem de superfícies lisas, com média de 14 mm à 18 mm de diâmetro, seu comprimento variando de 600 mm a 800 mm, para um melhor adensamento (ABNT NBR 5738: 2015).

A tabela 2, abaixo, demonstra a quantidade de camadas exigidas na preparação dos moldes, conforme a norma citada acima. Antes de começar a colocar o concreto dentro dos corpos de provas devem estar sendo lubrificadas as superfícies internas com um óleo ou outro lubrificante que não afeta no cimento Portland. De acordo com a norma ABNT NBR 16416: 2015 para cada concreto produzido foram necessários 6 corpos de prova prismáticos, com 10 cm de largura, 10 cm de altura e 40 cm de comprimento; 1 corpo de prova quadrado com 30 cm de comprimento por 30 cm de largura e 10 cm de altura e 3 corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Tabela 2 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para o adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior o mais próximo.

c No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5738: 2015

Por orientação da norma ABNT NBR 9778: 2005, os corpos de prova cilíndricos foram desmoldados 24h após terem sido adensados no molde e passaram pelos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica após 28 dias de cura. Os prismáticos foram desmoldados 48h depois e ficou com 28 dias de cura, para o teste da tração na flexão e os corpos de prova quadrados desenformados com 48 horas e o teste de permeabilidade feito após os 28 dias. As etapas podem ser observadas nas figuras (12, 13, 14, 15, e 16).

Figura 12: fôrmas prismáticas e quadradas



Fonte: Acervo dos autores

Figura 13: Concreto adicionado aos moldes prismáticos



Fonte: Acervo dos autores

Figura 14: concreto adicionado ao molde quadrado



Fonte: Acervo dos autores

Figura 15: formas com o agregado reciclado



Fonte: Acervo dos autores

Figura 16: Peças de concreto permeável em Cura (28 dias)



Fonte: Acervo dos autores

3.3.1 Testes de resistência de tração na flexão

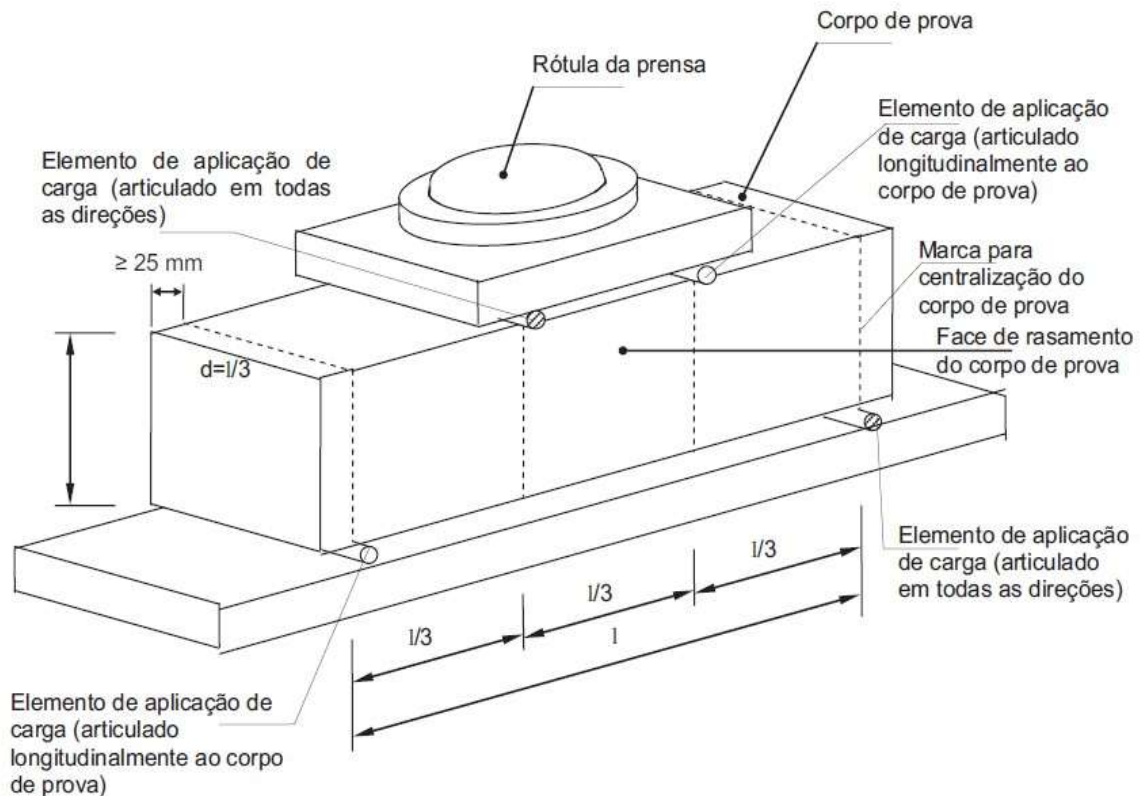
O ensaio consiste em medir a capacidade de resistência à tração do concreto permeável. Seguindo o procedimento determinado na ABNT NBR 12142: 2010, foi realizado o teste de resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos. Foram testados, ao todo, 6 blocos de cada mistura.

Com base, portanto, na pesquisa realizada por Silva & Souza (2017) priorizou-se a utilização das seguintes ferramentas, neste ensaio: Prensa Hidráulica Manual com capacidade de 100 toneladas força, modelo I-3001C; Blocos de concreto permeável; Plataforma metálica pertinente ao ensaio de na flexão.

Para tanto, no aparelho o bloco é centralizado na plataforma e inserido na prensa, obedecendo aplicação das hastes de aplicação de força em distâncias predeterminadas: respeitou-se o espaço entre as extremidades de 2,5 cm (25mm)

para hastes inferiores e por linhas imaginárias os elementos de aplicação de força superiores foram centralizados de maneira que o bloco estaria fracionado a 1/3 de distância para cada elemento, permitindo o paralelismo entre os planos verticais e nas distancias entre eles assegurando a aplicação da força perpendicularmente às faces superior e inferior do corpo de prova, como pode ser visualizada na figura 17 abaixo.

Figura 17 - Esquema de aplicação do Teste de tração na Prensa Hidráulica Manual.



Adaptação da ABNT NBR 12142: 2010

Para o cálculo da resistência da tração na flexão foi considerada a fórmula disponível na ABNT NBR 12142: 2010, sendo a seguinte:

$$f_{c,t,f} = F \cdot l / b \cdot d^2 \quad (1)$$

Caso a ruptura tiver o corrido fora do terço médio ou igual a 5% de l , conforme (figura 18, 19, 20 e 21) abaixo, o cálculo deveria ser realizado pela expressão:

$$f_{c,t,f} = 3F \cdot a / b \cdot d^2 \quad (2)$$

Portanto, é preciso caracterizar que:

$f_{c,t,f}$ é a resistência à tração na flexão, *Megapascals (MPa)*;

F é a força máxima resistida pelo corpo de prova, é dada em *Newtons (N)*;

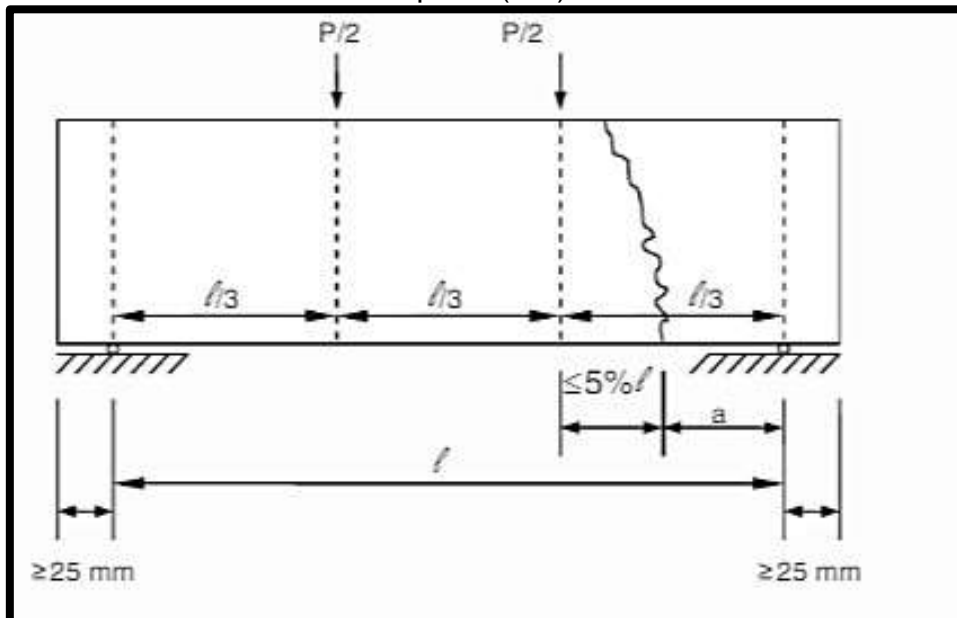
l é a dimensão do vão entre os apoios, expressa em *milímetros (mm)*;

b é a largura média do corpo de prova, expressa em *milímetros (mm)*;

d é a altura do corpo de prova, usada em *milímetros (mm)*;

a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em *milímetros (mm)*.

Figura 18: Concreto na linha definida: respeita a extremidade (2,5cm) linha de ruptura ($l/3$)



Fonte: Adaptação de ABNT NBR 12142: 2010

Figura 19: Bloco prismático no aparelho



Fonte: Acervo dos autores

Figura 20: Blocos rompidos após o teste de resistência de tração na flexão com agregado cerâmico (RCC)



Fonte: Acervo dos autores

Figura 21: Blocos rompidos após o teste resistência de tração na flexão com brita 0



Fonte: Acervo dos autores

3.3.2 Ensaios de Absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca

Diante do fato de que estruturas de concreto sem revestimento estão expostas a ação de agentes agressivos que tendem a deteriorar o material, tal como: gás carbônico existente no ar; ou elementos sulfurosos de uma rede de esgoto; ou mesmo a água do mar, por exemplo; e que quanto mais poroso for o concreto maior a probabilidade de prejuízo a integridade do material, com base nos parâmetros

estabelecidos e descritos pela norma ABNT NBR 9778 (1987; alterada em 2005 e corrigida em 2009) buscou-se determinar o índice de vazios existentes no concreto moldado para esta pesquisa, com vistas a análise da absorção da água por imersão e determinar massa específica dos moldes em seu estado enrijecido.

Este ensaio realizou-se colocando os moldes cilíndricos em estufa para secagem durante 72 h em temperatura de 105°C. Ao fim desse período, foi aferida a massa do concreto seco (M_s), com balança hidrostática de precisão. O bloco foi colocado em imersão por igual período de 72h a uma temperatura de 23°C, aproximadamente. Após saturada, a amostra, foi colocada num recipiente com água e em fogo alto chegando a ebulição do líquido após 20 minutos. Permanecendo por 5h contínuas, a água evaporada era repostada pelas pesquisadoras. Terminado o procedimento, e deixando resfriar naturalmente, determinou-se a massa de imersão em balança hidrostática (M_i). Em seguida, recolhido o excesso de líquido com pano, novamente foi realizada a pesagem e determinada a massa de saturação (M_{sat}).

Para medir o índice de Absorção (A), foi utilizada a seguinte expressão matemática:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_{sat} Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

M_s Massa da amostra seca em estufa;

Para determinar o Índice de Vazios (I_v) dos corpos de prova, foi realizado o cálculo do volume dos poros permeáveis a partir do valor equacionado do elemento imerso em água conforme procedimento da segunda etapa, relatada anteriormente.

Para tal, lançou-se mão da expressão a seguir:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

M_i Massa da amostra saturada imersa em água após fervura;

A partir dos dados obtidos com a experiência, conforme determinação da norma 16416: 2015, é exigido calcular a massa específica dos corpos de prova, em seus estados seco e imerso para, por fim, ser possível determinar a massa

específica real (P_r) da amostra – que relaciona a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis (ABNT NBR 9778: 2005).

Assim, deve-se determinar a massa específica da amostra seca (P_s), buscando a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros impermeáveis, a partir da seguinte expressão algébrica:

$$P_s = \frac{M_s}{M_{sat}-M_i} (g/cm^3) \quad (5)$$

Onde:

g/cm^3 Trata-se de gramas por centímetro cúbico;

Para a massa específica da amostra saturada (P_{sat}), o que muda é o dividendo, com intuito de se obter a relação entre massa do material saturado e o volume total da amostra – incluindo os poros permeáveis e impermeáveis, descrevendo-se, portanto:

$$P_s = \frac{M_{sat}}{M_{sat}-M_i} (g/cm^3) \quad (6)$$

Por fim, para se aferir a massa específica real da amostra (P_r), adota-se a seguinte algoritmo:

$$P_r = \frac{M_s}{M_s-M_i} (g/cm^3) \quad (7)$$

3.3.3 Ensaio do coeficiente de permeabilidade

De acordo com o anexo A da ABNT NBR 16416: 2015, “este método de ensaio tem o objetivo de medir o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável”, neste caso em laboratório. Tido como essencial na preparação do concreto a ser utilizado como pavimentação, o teste auxilia na definição de qualidade de absorção da água da chuva pelo concreto. Foi utilizado:

- ✓ Água limpa;
- ✓ Massa de calafetar;
- ✓ Cronômetro;
- ✓ Balde com capacidade de armazenamento de até 20L
- ✓ Balança de precisão;
- ✓ Anel de infiltração (poli cloreto de vinila – PVC) no formato cilíndrico com diâmetro de 300 mm, com o mínimo 50 mm de altura, marcado com duas linhas na parte interna uma a 10 mm e outra a 15 mm.

Para início dos testes, foi retirada a maior quantidade possível de impurezas da superfície dos corpos de prova, usou-se vassoura comum como instrumento de limpeza. As placas de concreto testadas (uma para cada tipo de mistura) constavam de 300mm x 300mm x 100mm, diametralmente.

Seguindo as orientações desta normativa, o ensaio inicia-se 2 minutos máximos após a molhagem prévia do concreto obedecendo o que determina a tabela abaixo onde a quantidade de água utilizada dependerá do tempo de pré molhagem da peça. Logo, se gastos 30 segundos ou menos, a vazão de água é 18 kg aproximadamente; ou, se o tempo foi superior a 30 segundos para a molhagem prévia, seria utilizado total de 3,6 kg de massa d'água no teste.

Tabela 3 - Determinação da massa de água para ensaio

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (Kg)
≤ 30	18 ± 0,05
> 30	3,6 ± 0,05

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 16416: 2015

A realização seguiu os seguintes passos: com as peças umedecidas, anel de PVC posicionado no local e rejuntado pela massa de vedação, a água foi despejada a uma velocidade na qual a altura d'água no PVC esteja entre os 10 mm a 15 mm (delimitados com marca de pincel), ativando o cronômetro no instante em que a água toca a superfície e desativando-o assim que a superfície subtraiu todo o líquido despejado (ABNT NBR 16416: 2015). De acordo com as figuras 22 e 23.

Figura 22: Teste de permeabilidade



Fonte: Acervo dos autores

Figura 23: Cronometrando a percolação



Fonte: Acervo dos autores

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade (k) utilizou-se da expressão matemática a seguir²:

$$k = \frac{C.m}{(d^2.t)} \quad (8)$$

Onde:

K é o coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora (mm/h);

m é a massa de água infiltrada, em quilogramas (Kg);

d é o diâmetro interno do cilindro (anel ou cano PVC), em milímetros (mm);

t é o tempo necessário para toda a água percolar, em segundos (s); e

C é o fator de conversão de unidade do sistema *SI*, o valor é igual a 4583666000.

3.3.4 Métodos de Vazão

Usa-se para achar a vazão por m² usou-se o método que é muito usado em hidráulica e mecânica dos fluídos, é definido com a relação de tempo e volume. Sempre se usa para unidades de medidas em m³/s, m³/h, l/h ou l/s.

Com o ensaio de percolação citado no item 3.3.3 pode se ter os dados necessários para estar achando a vazão volumétrica de cada concreto. Para estar se realizando os ensaios, foram usadas as mesmas peças para o ensaio de percolação.

Um meio mais simples de estar calculando a vazão volumétrica é a seguinte:

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (9)$$

Q_v é vazão volumétrica l/h, l/s, m³/h e m³/s;

V é o volume em l ou Kg;

t é o valor em relação a tempo s,h e min.

² de acordo com *American Society for Testing and Materials – ASTM C 1701 – Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*, na maioria das vezes conhecido como o método de ensaio *in situ*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo descreve os resultados obtidos pelos ensaios realizados sendo expostos na seguinte sequência.

4.1 Resultados do ensaio de resistência a tração na flexão

De acordo com o procedimento de realização do corpo de prova, respeitando o número de abatimento e o processo de cura, o procedimento de realização do ensaio de tração na flexão, as fórmulas, os parâmetros citados no capítulo 3, foram realizados 12 corpos de provas prismáticos sendo eles das seguintes dimensões 100 mm de altura, 100 mm de largura e 400 mm de comprimento.

No quadro 1 temos os dados do ensaio realizado aos 28 dias de cura do concreto permeável sendo usado em sua composição como agregado a brita 0, testes feitos com 6 corpos de prova prismáticos, com resistência média de 3,93 Mpa e desvio padrão de 1,06998.

Quadro 1: Ensaio de resistência a tração a flexão com 28 dias de brita 0

ENSAIO DE TRAÇÃO A FLEXÃO - 28 dias										
<i>Quantidade de Material</i>	<i>AGREGADOS</i>	<i>CORPO DE PROVA</i>	<i>PESO DO CORPO DE PROVA (Kg)</i>	<i>Tensão de Ruptura (N)</i>	<i>Dimensão Entre os Apoios l (mm)</i>	<i>Largura do Corpo de Prova b (mm)</i>	<i>Altura do Corpo de Prova d (mm)</i>	<i>fct,f (MPa)</i>	<i>fct,f Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
6	Brita 0	C1	8,04	11.081,51	350	400	100	3,878	3,93	1,06998
		C2	7,85	11.473,78	350	400	100	4,015		
		C3	8,0	7.158,85	350	400	100	2,505		
		C4	8,19	13.435,11	350	400	100	4,70		
		C5	8,23	15.984,84	350	400	100	4,795		
		C6	7,53	10.591,18	350	400	100	3,70		

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 2 temos o ensaio realizado aos 28 dias de cura do concreto permeável sendo usado em sua composição como agregado graúdo 25% de componente cerâmico (RCC) e 75% brita 0, foram usados seis corpos de prova prismáticos para a realização do teste de resistência de tração na flexão tendo como resistência media 0,735 Mpa e desvio padrão de 0,18474.

Quadro 2: Ensaio de resistência a tração na flexão com 28 dias de brita 0 + componente cerâmico (RCC)

ENSAIO DE TRAÇÃO A FLEXÃO - 28 dias										
<i>Quantidade de Material</i>	<i>AGREGADOS</i>	<i>CORPO DE PROVA</i>	<i>PESO DO CORPO DE PROVA (Kg)</i>	<i>Tensão de Ruptura (N)</i>	<i>Dimensão Entre os Apoios l (mm)</i>	<i>Largura do Corpo de Prova b (mm)</i>	<i>Altura do Corpo de Prova d (mm)</i>	<i>fct,f (MPa)</i>	<i>fct,f Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
6	Brita 0 + Componente cerâmico (RCC)	CE1	6,58	2.647,8	350	100	100	0,926	0,735	0,18474
		CE2	6,65	1.471	350	100	100	0,514		
		CE3	6,74	2.353,6	350	100	100	0,823		
		CE4	6,60	2.059,4	350	100	100	0,720		
		CE5	6,71	1.863,26	350	100	100	0,652		
		CE6	6,30	2.255,39	350	100	100	0,782		

Fonte: Acervo dos autores

Ao fim dos testes com os resultados acima descritos observou se que os resultados das resistências com o concreto permeável produzido com 100% de brita 0 atendeu a exigência da norma de resultados ≥ 2 Mpa para concreto moldado no local para tráfegos leves. Já para a mistura de agregado 25% de componente cerâmico e 75% de brita 0 não obteve resultados que atendessem a exigência da norma.

4.2 Resultados do ensaio de absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca

De acordo com a norma ABNT NBR 9778: 2009 respeitando os métodos de ensaio citados no capítulo 3, obteve-se os resultados com três corpos de provas cilíndricos, para cada mistura, usando os mesmos parâmetros para os dois diferentes tipos de material.

No quadro 3 encontra-se os valores das massas dos corpos de prova, pesadas de acordo com cada determinação para a realização dos cálculos para obter os resultados dos ensaios.

Quadro 3: Dados para os ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica saturada e seca

Brita 0			
N° de Corpos de Provas	Massa Seca M_s (g)	Massa Saturada M_{sat} (g)	Massa Imersa M_i (g)
1	3036,72	3278,15	2275,15
2	2960,13	3205,08	2206,10
3	2830,92	3030,10	2030,01

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 4 temos os resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e massa específica saturada, para concreto com agregado de brita 0.

Quadro 4: Resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada para brita 0

Brita 0				
Corpo de prova	Absorção de água por imersão (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica M_s (g)	Massa Específica M_{sat} (g)
C1	7,95	24,07	3,028	3,268
C2	8,27	24,52	2,963	3,208
C3	7,03	19,91	2,831	3,030

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 5, pode-se depreender os resultados com a média e um desvio padrão para cada situação. Onde as medias dos resultados parar a absorção de agua ficou em 7,75%, para o índice de vazios ficou em 22,83%, a massa específica seca em 2,941 g e a saturada em 3,169 g com a brita 0 como agregado.

Quadro 5: Resultado de média e desvio padrão de brita 0

Média e Desvio Padrão- Brita 0				
Valores	Absorção de água por imersão	Índice de Vazios (%)	Massa Específica M_s (g)	Massa Específica M_{sat} (g)
	(%)			
Média	7,75	22,83	2,941	3,169
Desvio Padrão	0,52561	2,07526	0,08196	0,10107

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 6 temos as massas pesadas especificamente como pedido em norma para o concreto produzido com 75% de agregado de brita 0 e 25% de componente cerâmico (RCC).

Quadro 6: Ensaio realizado 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)

Misto 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)			
Nº de Corpos de Provas	Massa Seca M_s (Kg)	Massa Saturada M_{sat} (Kg)	Massa Imersa M_i (Kg)
1	3540,38	3995,39	2994,37
2	3558,34	4012,28	3012,98
3	4216,85	4617,15	3615,25

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 7 temos os resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e massa específica saturada, para concreto com agregado de brita 0 e componente cerâmico.

Quadro 7: Resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada para brita 0 + componente cerâmico (RCC)

Misto 75% de Brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)				
Corpos de Prova	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica M_s	Massa Específica M_{sat}
CE1	12,85	45,45	3,537	3,991
CE2	12,75	45,42	3,561	4,015
CE3	9,49	39,95	4,209	4,608

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 8 temos os resultados com a média e um desvio padrão para cada situação. Onde as medias dos resultados para a absorção de água ficou em 11,69%, para o índice de vazios ficou em 43,60%, a massa especifica seca em 3,769 g e a saturada em 4,205 g com a brita 0 como agregado.

Quadro 8: Resultado de média e desvio padrão de 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)

Média e Desvio Padrão - 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica M_s	Massa Especifica M_{sat}
Média	11,69	43,60	3,769	4,205
Desvio Padrão	1,56090	2,58569	0,52081	0,28537

Fonte: Acervo dos autores

Através dos resultados obtidos os corpos de prova de concreto com agregados de componente cerâmico em 25% e 75% de brita 0 obteve os melhores resultados para absorção, índice de vazios e massa especifica seca e saturada.

4.3 Resultados do ensaio de permeabilidade

Os ensaios foram realizados com base na ABNT NBR 16416:2015 anexo A, foi possível estar realizando os ensaios com o procedimento descrito no capítulo 3.

O quadro 9 apresenta o coeficiente de permeabilidade para placas de concreto permeável com a composição de brita 0 tendo a dimensão de 300 mm x 300 mm x 100 mm, onde se obteve a média e desvio padrão, conforme estar representado no quadro abaixo.

Quadro 9: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas

Placa de Concreto Permeável - Brita 0							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h)	Média (mm/h)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	300	115	4583666000	7971,59	7864,6	83,12
2	18	300	117	4583666000	7853,32		
3	18	300	115	4583666000	7768,92		

Fonte: Acervo dos autores

Para o concreto permeável com 75% de brita 0 +25% de componente cerâmico (RCC) foi repetido o mesmo procedimento onde se obteve os seguintes resultados demonstrados no quadro 10.

Quadro 10: Coeficiente de permeabilidade com o 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC) em placas

Placa de Concreto Permeável - 75% de brita 0 +25% de componente cerâmico (RCC)							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h)	Média (mm/h)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	300	95	4583666000	9.649,82	9.522,17	424,88
2	18	300	90	4583666000	10.185,92		
3	18	300	105	4583666000	8.730,79		

Fonte: Acervo dos autores

Para o ensaio de coeficiente de permeabilidade os melhores resultados foram alcançados pelo concreto produzido com 25% de componente cerâmico (RCC) como agregado e os outros 75% de brita 0, mostrando-se muito mais permeável que o concreto produzido somente com a brita 0 como agregado.

4.4 Vazões volumétricas do concreto permeável

Os quadros abaixo descrevem a vazão média e o desvio padrão em l/s de cada corpo de prova com 300 mm x 300 mm x 100 mm.

No quadro 11 temos as informações do ensaio feito na placa de concreto com 100% de brita 0 e os resultados de média foi 0,155 l/s e desvio padrão 0,0024.

Quadro 11: Vazão da placa de concreto permeável de brita 0

Placa de concreto - brita 0 - sem Solo					
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão (l/s)	Média de Vazão (l/s)	Desvio Padrão (l/s)
1	18	115	0,157	0,155	0,0024
2	18	117	0,154		
3	18	118	0,156		

Fonte: Acervo dos autores

No quadro 12 as informações dos testes de vazão para o concreto com 75% de Brita 0 e 25% de Componente cerâmico com média de 0,186 l/s e desvio padrão de 0,0673.

Quadro 12: Vazão da placa de concreto permeável de 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC)

Placa de concreto de 75% de brita 0 + 25% de componente cerâmico (RCC) - sem Solo					
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão (l/s)	Média de Vazão (l/s)	Desvio Padrão (l/s)
1	3,6	19	0,189	0,186	0,0673
2	3,6	18	0,200		
3	3,6	21	0,171		

Fonte: Acervo dos autores

Ao fim dos cálculos observa-se que o concreto com agregado reciclado obteve os melhores resultados de vazão. Pela variação de granulometria e uso de materiais diferentes o concreto ficou mais poroso, fazendo com que a água infiltrasse mais rápido.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusão

Os traços usados nos ensaios, para o teste de tração na flexão, foram satisfatórios na brita 0, assim servindo para ser implantados em áreas de tráfego leve, tal como estacionamento a céu aberto que tem fluxo leve de veículos e pessoas. Já utilizando o mesmo traço para o concreto usando 25% de agregado o componente cerâmico reciclado (RCC), para tração na flexão não foi satisfatório, ainda precisa de reajustes na definição do traço e na proporção do material devido ao seu volume, por ser um material mais leve, quantidades menores são ideais, assim para melhores resultados na resistência de tração na flexão.

A permeabilidade do concreto em brita 0 foi atendido pela norma, já o maior coeficiente de permeabilidade foi com o uso de 25% do componente cerâmico reciclado (RCC) como agregado. Obteve-se um maior percentual de índice de vazios com a adição do material reciclado e a absorção de água também atingiu porcentagens maiores com o uso do mesmo.

Entre todos os resultados o que ressalta é que independente do agregado a função de fazer com que a água retorne ao solo e não escoe superficialmente são atendidos, a aplicação do componente cerâmico (RCC) precisa de alguns ajustes, apesar de ter atendido os testes de coeficiente de permeabilidade, vazão, índice de vazios e absorção, a resistência a tração na flexão não foi alcançada o que não se aplicaria com esse traço ao objetivo do trabalho.

5.2 Recomendações

Recomenda-se para o uso do componente cerâmico (RCC) como agregado juntamente com a brita 0, uma proporção menor do material reciclado para atingir resultados eficientes para a tração na flexão, respeitando as normas e especificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C. et al. *Utilização de pilhas de homogeneização para controle de agregados miúdos de resíduos de construção e demolição reciclados*. In: CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável. Lisboa, 2001, 713- 720p;

BATEZINI, R. *Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos Leves*. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes - Infraestrutura de Transporte) Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2013. Cap. 5;

BENNACK, V. *Análise da viabilidade técnica da reutilização da cinza de madeira em produtos cimentícios*. 2016, 133p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado Santa Catarina UDESC. Joinville, 2016. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/tede/tede/1579>> Acesso em 14, abril, 2019;

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR NM 27: 2001: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório*. Rio de Janeiro, ABNT, 2001;

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

_____. *NBR 5735: 1991: Cimento Portland de alto-forno*. 1 ed. Rio de Janeiro, ABNT, 1991;

_____. *NBR 5738: 2015: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova*, Rio de Janeiro, ABNT, 2015;

_____. *NBR 5739: 2007: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, ABNT, 2007;

_____. *NBR 9778: 2015: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, (1987 ratificada em 2005, novamente corrigida em 2009, e em uso desde), ABNT, 2015;

_____. *NBR 12142: 2010: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010;

_____. *NBR 12655: 2015: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento*. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015;

_____. *NBR 15900-1:2009: Água para amassamento do concreto- Parte1: Requisitos*. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009;

_____. *NBR 16416:2015: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos*. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015;

_____. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 307- Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. 5 de Julho de 2002, 7p. Publicada no DOU nº 136, 17, Julho, 2002, págs. 95-96. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>> Acesso em: 24, Jun. 2019;

CASTRO, L. F. A. *Estudo de traço de concreto permeável de Cimento Portland*. 2015. 57p. Dissertação (monografia Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Santa Cruz do Sul, 2015;

FAGUNDES, C. K.; CADORE J. C. C.; PEDRONI, G. C.; SANTOS, S. *Avaliação da resistência mecânica e permeabilidade de concretos permeáveis com adição de agregado miúdo*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2016, Foz do Iguaçu, Brasil, 2016.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008;

HÖLTZ, F. C. *Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental*. 2011. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, Porto Alegre, 2011;

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000, 113p. Dissertação (Doutorado em Livre Docência em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000;

PINTO, L. L. C. A. *O desenvolvimento de pavimentos permeáveis como medida mitigatória de impermeabilização do solo urbano*. 2011, 255p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária): Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. ed. ver. São Paulo, 2011;

RAMOS, G. M. *Análise das propriedades do concreto permeável com adição de agregado miúdo e resíduo (cinza de madeira)*. 2018, 90p. Dissertação (monografia, em Engenharia Civil de Infraestrutura) Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2018;

SCHWETZ, P.; LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P.; FERREIRA, L. Z.; LINHARES, V.; PARISOTO, M. *Concreto permeável: otimização do traço do concreto permeável para pavimentação de fluxo leve*. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DA PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO – CONPAT Lisboa, 2015. Disponível em:< https://www.researchgate.net/publication/279513221_Concreto_permeavel_otimizacao_do_traco_para_pavimentacao_de_fluxo_leve> Acesso em 10, Mar., 2019;

SILVA, J. S.; SOUZA, R. R. *Análise quantitativa das propriedades de compressão, tração na flexão, vazão e percolação do concreto permeável produzido com diferentes agregados*. 2017, 145p. Dissertação (monografia de Graduação em

Engenharia Civil e Tecnologia do Concreto) Faculdades Doctum de Caratinga-FDC, 2017;

SOUZA, U.E.L. et al.,1999, *Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito*. In: Simpósio Nacional – Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: A Quebra do Mito, São Paulo, 1999;

TETRACON. I. E.. Saiba mais sobre como surgiu o concreto permeável (e suas principais vantagens para a humanidade). TETRACON, 2015. Disponível em: <<https://tetraconind.com.br/>>_Acesso em 10, Mar., 2019;

TUCCI, C. E. M. *Águas urbanas- Desenvolvimento urbano*. 2008. 15 f. Artigo- Curso de Engenharia civil, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2008;

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: PRONEX-CNPq, 2003. 150 p.;

VIRGILIIS, A. L. C. *Procedimento de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Pisos de Cheias*. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2009. Cap. 8.