



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

URANDI GRATÃO

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO  
GRAÚDO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
(RCC) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, HIDRÁULICAS  
E FÍSICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL

RIBEIRÃO PRETO  
2023

URANDI GRATÃO

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO  
GRAÚDO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
(RCC) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, HIDRÁULICAS  
E FÍSICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini

Coorientador: Prof. Dr. Lisandro Simão

Ribeirão Preto

2023

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

G771i      GRATÃO, Urandi, 1972-  
Influência da variabilidade da composição do agregado graúdo  
proveniente de resíduos de construção civil (RCC) nas propriedades  
mecânicas, hidráulicas e físicas do concreto permeável / Urandi Gratão. –  
Ribeirão Preto, 2023.  
167 f. : il. color.

Orientador: Prof.º Dr.º Murilo Daniel de Mello Innocentini.

Tese (Doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP,  
Doutorado em Tecnologia Ambiental, 2023.

1. Construção civil - resíduos. 2. Lixo - reaproveitamento.  
3. Pavimentos. 4. Cimento. II. Título.

CDD 628

## URANDI GRATÃO

### “INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, HIDRÁULICAS E FÍSICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL”

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 28 de fevereiro de 2023

Resultado: APROVADO

#### BANCA EXAMINADORA

MURILO DANIEL DE MELLO  
INNOCENTINI:10290211808

Assinado de forma digital por MURILO DANIEL  
DE MELLO INNOCENTINI:10290211808  
Dados: 2023.03.14 09:54:40 -03'00'

Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini  
Presidente/Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Profa. Dra. Isadora Alves Lovo Ismail.  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Documento assinado digitalmente  
ISADORA ALVES LOVO ISMAIL  
Data: 16/03/2023 18:08:54-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Eduardo Formigoni  
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP

Carlos E Formigoni  
Digitally signed by Carlos E Formigoni  
DN: cn=Carlos E Formigoni, o=UNAERP, ou=CPG, email=carlos.formigoni@gmail.com, c=BR  
Date: 2023.03.15 16:00:23 -03'00'

Profa. Dra. Ana Paula Moreno Trigo Gregui  
IFSP - VOTUPORANGA

Documento assinado digitalmente  
ANA PAULA MORENO TRIGO GREGUI  
Data: 16/03/2023 16:59:51-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Fabiano Raupp Pereira  
UNESC

Documento assinado digitalmente  
FABIANO RAUPP PEREIRA  
Data: 16/03/2023 09:23:12-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Ribeirão Preto  
2023

*Dedico esse trabalho aos amores da minha vida,  
pela compreensão, incentivo e paciência:  
Pricilla e a pequena Isis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e saúde nestes tempos de pandemia para conseguir finalizar mais uma etapa de minha vida profissional.

À minha família por todo incentivo, força e paciência nos momentos mais críticos e desafiadores que enfrentei neste período.

Aos professores Dr. Lisandro Simão, Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini e Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite pelas orientações, compreensão e paciência no desenvolvimento da pesquisa.

À empresa Mejan Ambiental pelo fornecimento do resíduo de construção civil beneficiado, em forma de agregado graúdo, para o desenvolvimento da pesquisa, em especial, ao funcionário da empresa o senhor Fábio Henrique Pupim pelo auxílio nas coletas das amostras.

Aos técnicos de laboratório do IFSP/Câmpus Votuporanga, Ivan Lazaretti Campos e Verônica Santos Quierote, pelo suporte, apoio e dedicação na realização dos ensaios e confecção de equipamentos.

Aos amigos e colegas de trabalho pelo incentivo e apoio no desenvolvimento desta pesquisa, em especial a profa. Dra. Ana Paula Moreno Trigo Gregui e ao prof. Me. Domício Moreira da Silva Júnior.

À Sika Brasil S.A. pelo fornecimento, como doação, do aditivo superplastificante como forma de incentivo a pesquisa brasileira.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto por auxiliarem na minha formação.

À Superintendência de Água, Esgotos e Meio Ambiente de Votuporanga (SAEV Ambiental) por informações prestadas sobre os resíduos sólidos do município e material fornecido para a montagem do permeâmetro.

*O ser humano é parte da natureza, e sua guerra contra a natureza é inevitavelmente uma guerra contra si mesmo.  
(Rachel Carson, bióloga e conservacionista americana)*

## RESUMO

A construção civil é uma área de grande importância e influência no desenvolvimento das cidades, contribuindo para o seu crescimento físico e geração de emprego e renda. Porém, como toda atividade econômica, a construção civil traz consigo efeitos muitas vezes nocivos à saúde pública e ao meio ambiente por utilizar recursos naturais em grande quantidade, consumir muita energia, poluir o ar, o solo, as águas superficiais e subterrâneas, além de gerar resíduos. A variabilidade na composição dos resíduos de construção civil é realidade e fator limitante para aceitação e utilização em obras civis de uma forma geral, pois a qualidade do agregado define a segurança, confiança e, principalmente, a aceitação pelos profissionais da área de engenharia. Buscando contribuir na minimização dos problemas citados e colocar em prática as recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o presente trabalho tem como premissa verificar a influência da variabilidade das características do agregado graúdo proveniente de resíduos de construção civil (RCC) nas propriedades mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável. Após coleta de doze amostras de RCC ao longo do período de um mês, foram realizados os ensaios de caracterização dos agregados graúdos, sendo observadas diferenças entre os valores dos parâmetros ensaiados nas amostras coletadas e, por meio de uma análise estatística dos dados, ficou evidente existir diferenças estatisticamente significativas entre os parâmetros analisados. Utilizando análise visual verificam-se diferenças na composição das amostras nos quais os limites inferiores e superiores para cada material foram: cimento (45,15% e 55,08%); rocha (13,17% e 27,10%); cerâmico (18,50% e 37,01%) e outros (0,89% e 4,27%). Confeccionaram-se corpos de prova com agregado graúdo natural e de RCC, sem mistura dos agregados, para análise das propriedades do concreto permeável. A variabilidade nas características do agregado graúdo de RCC influenciou nas propriedades mecânicas, físicas e hidráulica do concreto permeável com reduções entre os valores máximos e mínimos nos concretos produzidos com agregados de RCC chegando a 50,20% na resistência à compressão axial; 61,86% na resistência à tração na flexão; 18,10% na absorção de água; 13,23% no índice de vazios e 26,21% no coeficiente de permeabilidade.

**Palavras-chave:** Resíduo de construção civil. Reciclagem. Pavimento permeável. Caracterização. Cimento.

## ABSTRACT

Civil construction is an area of great importance and influence in the development of cities, contributing not only for their physical expansion, but also for job creation and growth. However, like any other economic activity, civil construction often has negative effects on public health and the environment because it uses natural resources in large quantities, consumes a lot of energy, pollutes the air, soil, surface water and groundwater, in addition to generate waste. The variability in the composition of construction waste is a reality and a limiting factor for acceptance and use in civil works in general, as the quality of the aggregate defines safety, trust and, above all, acceptance by engineering professionals. Seeking to contribute to the minimization of the problems mentioned and to put into practice the recommendations of the National Policy on Solid Waste, the present work has premises such as verifying the influence of the variability of the characteristics of the coarse aggregate originating from civil construction waste (CCW) in the mechanical, physical properties and hydraulics of pervious concrete. After collecting twelve samples of CCW over a period of one month, characterization tests of the coarse aggregates were carried out, with a difference being observed between the values of the parameters tested in the collected samples and, through a statistical analysis of the data, it was evident there are statistically significant differences between the analyzed parameters. Using the visual analysis, a difference was verified in the composition of the samples in which the lower and upper limits for each material were: cement (45.15% and 55.08%); rock (13.17% and 27.10%); ceramics (18.50% and 37.01%) and others (0.89% and 4.27%). Test specimens were made with natural coarse aggregate and RCC, without mixing the aggregates, for analysis of the properties of pervious concrete. The variability in the characteristics of the CCW coarse aggregate influenced the mechanical, physical and hydraulic properties of the pervious concrete with reductions between the maximum and minimum values in the concrete produced with RCC aggregates reaching 50.20% in the compressive strength; 61.86% in traction in flexion strength; 18.10% in water absorption; 13.23% in voids ratio and 26.21% in permeability coefficient.

**Keywords:** Civil construction waste. Recycling. Pervious pavement. Characterization. Cement.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Revestimento de concreto permeável .....	21
Figura 2- Ensaio de compressão axial .....	25
Figura 3- Ensaio de tração à flexão .....	26
Figura 4- Permeômetro de carga variável.....	27
Figura 5- Ensaio de determinação de massa específica do concreto fresco .....	28
Figura 6- Procedimentos para determinação da absorção de água e índice de vazios .....	29
Figura 7- Seção típica do pavimento permeável .....	30
Figura 8- Revestimento com peças de concreto permeável .....	36
Figura 9- Revestimento com placas de concreto permeável .....	37
Figura 10- Revestimento em concreto permeável moldado no local .....	37
Figura 11- Relação da condutividade térmica com a porosidade total do concreto permeável	38
Figura 12- Pontos de retiradas de amostras de agregado de RCC em pilha.....	49
Figura 13- Artefatos de concreto produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto/SP .....	53
Figura 14- Processo de amostragem do RCC e caracterização dos materiais (Etapa 1) .....	56
Figura 15- Testes preliminares (Etapa 2) .....	57
Figura 16- Ensaio preliminares (Etapa 3) .....	57
Figura 17- Ensaio no concreto permeável (Etapa 4).....	58
Figura 18- Transporte utilizando caçamba e triagem manual dos resíduos .....	59
Figura 19- Etapas de produção de agregado de RCC na usina em estudo: a) entrada/alimentador do equipamento; b) esteira separando solo do RCC; c) segunda triagem manual e d) britador despejando resíduos nas peneiras.....	60
Figura 20- Detalhes da coleta de RCC na usina: a) pilha de RCC na saída do equipamento; b) local das coletas (pilha formada pelo RCC), c) detalhe de uma amostra e d) amostra acondicionada para transporte .....	61
Figura 21- Amostras coletadas: a) AR 01 – 05/10; b) AR 02 – 07/10; c) AR 03 – 09/10; d) AR 04 – 13/10; e) AR 05 – 14/10; f) AR 06 – 16/10; g) AR 07 – 19/10; h) AR 08 – 21/10; i) AR 09 – 23/10; j) AR 10 – 26/10; k) AR 11 – 28/10 e l) AR 12 – 30/10 .....	62
Figura 22- Amostra espalhada no piso do laboratório e misturada manualmente.....	63
Figura 23- Parcelas das amostras diárias para obtenção da amostra composta e o acondicionamento final.....	63

Figura 24- Pesagem do material e a peneira de abertura 4,8 mm.....	64
Figura 25- Lavagem das amostras em água corrente e secagem em estufa .....	65
Figura 26- Procedimentos para ensaio de granulometria do agregado graúdo.....	67
Figura 27- Procedimentos para realização do ensaio de massa específica e absorção de água	68
Figura 28- Procedimentos para ensaio de massa unitária compactada.....	69
Figura 29- Procedimentos para ensaio de massa unitária solta .....	69
Figura 30- Procedimentos para ensaio de massa específica do cimento .....	71
Figura 31- Análise táctil de coesão do concreto permeável .....	73
Figura 32- Formas metálicas cilíndricas.....	74
Figura 33- Forma cilíndrica e a haste padronizada.....	75
Figura 34- Forma cilíndrica e soquete Proctor .....	75
Figura 35- Corpos de prova imersos em tanque com água e cal .....	76
Figura 36- Corpos de prova capeados com gesso.....	76
Figura 37- Corpos de prova capeados com argamassa de cimento .....	77
Figura 38- Equipamento de retífica e corpo de prova de RCC retificado .....	77
Figura 39- Ensaio de compressão axial dos corpos de prova .....	78
Figura 40- Análise táctil da coesão do concreto.....	80
Figura 41- Corpos de prova moldados em formas cilíndricas.....	80
Figura 42- Os corpos de prova desenformados e colocados dentro de tanque com água (cura úmida).....	81
Figura 43- Equipamento de retífica e corpo de prova antes e após passar pela retífica.....	82
Figura 44- Corpo de prova sendo ensaiado por compressão axial .....	83
Figura 45- Corpos de prova de concreto permeável secando na estufa.....	83
Figura 46- Medida da massa em imersão em água do corpo de prova.....	84
Figura 47- Permeâmetro de carga variável.....	84
Figura 48- Colocação do plástico filme de PVC em volta do corpo de prova .....	85
Figura 49- Aplicação de silicone entre a parede do tubo e o corpo de prova.....	85
Figura 50- Bolhas de ar na superfície livre de água .....	86
Figura 51- Procedimentos para preparo do concreto permeável .....	87
Figura 52- Equipamentos e procedimentos para o ensaio do <i>Slump test</i> .....	88
Figura 53- Procedimentos para a determinação da massa específica do concreto fresco .....	89
Figura 54- Moldagem dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos com haste padronizada	89
Figura 55- Corpos de prova desenformados, identificados e colocados em câmara úmida.....	90

Figura 56- Equipamento de retífica e detalhe de corpos de prova cilíndricos antes e após retificação .....	90
Figura 57- Corpo de prova sendo medido com paquímetro e ensaiado à compressão axial na prensa.....	91
Figura 58- Corpo de prova sendo medido com paquímetro e marcações para auxiliarem no posicionamento na prensa.....	92
Figura 59- Prensa após o ensaio de tração na flexão e detalhe corpo de prova rompido .....	92
Figura 60- Medidas do diâmetro e comprimento dos corpos de prova .....	93
Figura 61- Colocação de plástico filme de PVC em volta dos corpos de prova .....	94
Figura 62- Peças do permeâmetro e aplicação de silicone entre o tubo e o corpo de prova ....	94
Figura 63- Detalhe do tubo de PVC com mostrador de acrílico e a luva de correr com anel ..	95
Figura 64- Permeâmetro de carga variável e detalhe do mostrador de acrílico .....	95
Figura 65- Corpos de prova na estufa e a determinação da massa seca na balança .....	96
Figura 66- Corpos de prova imersos em água e levados a ebulição.....	96
Figura 67- Corpos de prova em resfriamento e determinação das massas imersa e saturada ..	97
Figura 68- Resultado gráfico do ensaio de composição do agregado de RCC utilizando análise visual.....	98
Figura 69- Resultados do ensaio de composição do agregado de RCC por análise visual .....	99
Figura 70- Curvas granulométricas médias dos agregados estudados .....	101
Figura 71- Comparação granulométrica das médias das amostras coletadas de RCC com a amostra AR 13 .....	103
Figura 72- Resistência média à compressão.....	114
Figura 73- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio à compressão axial ao longo do tempo .....	117
Figura 74- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de compressão axial aos 28 dias no concreto permeável.....	122
Figura 75- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de tração na flexão aos 28 dias no concreto permeável.....	126
Figura 76- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de coeficiente de permeabilidade no concreto permeável.....	129
Figura 77- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de absorção de água no concreto permeável.....	133
Figura 78- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de índice de vazios no concreto permeável.....	136

Figura 79- Regressão linear entre a resposta da resistência à compressão e a massa específica do agregado de RCC.....	138
Figura 80- Regressão linear entre a resposta da absorção de água do concreto permeável e a absorção de água do agregado de RCC .....	139
Figura 81- Regressão linear entre a resposta da absorção de água do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC.....	140
Figura 82- Regressão linear entre a resposta do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC .....	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faixas de consumo de materiais para concreto permeável.....	22
Tabela 2- Proporções de mistura dos materiais para produção de concreto permeável .....	23
Tabela 3- Especificações do material da sub-base e/ou base para construção de pavimento permeável.....	32
Tabela 4- Distribuição granulométrica para o material da sub-base e/ou base para construção de pavimento permeável.....	32
Tabela 5- Especificações do material da camada de assentamento para construção de pavimento permeável.....	33
Tabela 6- Especificações do material de rejuntamento .....	33
Tabela 7- Recomendação para a distribuição granulométrica do material de rejuntamento....	33
Tabela 8- Resistência mecânica e espessura mínima para revestimento permeável .....	34
Tabela 9- Determinação do coeficiente de permeabilidade.....	35
Tabela 10- Geração e taxa de recuperação de RCC em diversos países .....	44
Tabela 11- Estimativa de geração de resíduos da construção civil .....	45
Tabela 12- Quantidade mínima da amostra de ensaio (em massa).....	49
Tabela 13- Requisitos dos agregados totais reciclados e compostos para uso em produtos cimentícios.....	50
Tabela 14- Recomendações dos agregados totais reciclados e compostos para uso em materiais cimentícios .....	51
Tabela 15- As misturas ensaiadas e os resultados de ISC e expansibilidade .....	55
Tabela 16- Dosagem adotada inicialmente do concreto permeável .....	72
Tabela 17- Porcentagens dos grupos obtidos pela análise visual das amostras dos resíduos.	100
Tabela 18- Resultados do ensaio de granulometria (valores médios) .....	101
Tabela 19- Comparação da porcentagem retida e acumulada nas diferentes aberturas das peneiras entre as médias das amostras coletadas e a amostra AR 13 .....	103
Tabela 20- Resultados do ensaio de absorção de água dos agregados .....	104
Tabela 21- Resultados do ensaio de massa específica dos agregados.....	104
Tabela 22- Resultado da ANOVA para massa específica com e sem o agregado natural ....	106
Tabela 23- Resultado da ANOVA para absorção de água com e sem o agregado natural ....	106
Tabela 24- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias das massas específicas, após o teste de Tukey.....	107

Tabela 25- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da absorção de água, após o teste de Tukey.....	107
Tabela 26- Resultados do ensaio de massa unitária solta dos agregados .....	108
Tabela 27- Resultado da ANOVA para massa unitária solta com e sem o agregado natural	109
Tabela 28- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da massa unitária solta, após o teste de Tukey.....	110
Tabela 29- Resultados do ensaio de massa unitária compactada dos agregados.....	111
Tabela 30- Resultado da ANOVA para massa unitária compactada com e sem o agregado natural .....	111
Tabela 31- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da massa unitária compactada, após o teste de Tukey .....	112
Tabela 32- Massa específica do cimento determinada em laboratório.....	113
Tabela 33- Resistência à compressão para diferentes tipos de tratamento superficial e adensamento .....	113
Tabela 34- Dosagem final do concreto permeável .....	115
Tabela 35- Determinação da massa específica do concreto fresco .....	116
Tabela 36- Resistência a compressão axial com 7 e 28 dias .....	117
Tabela 37- Resultados do ensaio de absorção de água e índice de vazios .....	118
Tabela 38- Resultados do ensaio do coeficiente de permeabilidade .....	119
Tabela 39- Consumo dos materiais e parâmetros utilizados na mistura final do concreto permeável.....	119
Tabela 40- Resultados do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	120
Tabela 41- Resultados do ensaio de massa específica do concreto fresco .....	121
Tabela 42- Resultados do ensaio de compressão axial a 28 dias.....	122
Tabela 43- Resultado da ANOVA para compressão axial com e sem o agregado natural ....	124
Tabela 44- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da resistência à compressão axial, após o teste de Tukey.....	124
Tabela 45- Resultados do ensaio de tração na flexão a 28 dias.....	125
Tabela 46- Resultado da ANOVA para tração na flexão com e sem o agregado natural .....	127
Tabela 47- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da resistência à tração na flexão, após o teste de Tukey .....	128
Tabela 48- Resultados do ensaio de coeficiente de permeabilidade a 28 dias .....	129
Tabela 49- Resultado da ANOVA para coeficiente de permeabilidade com e sem o agregado natural .....	130

Tabela 50- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias do coeficiente de permeabilidade, após o teste de Tukey .....	131
Tabela 51- Coeficientes de permeabilidades determinados por diferentes autores.....	132
Tabela 52- Resultados do ensaio de absorção de água aos 28 dias .....	132
Tabela 53- Resultado da ANOVA para absorção de água com e sem o agregado natural ....	134
Tabela 54- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da absorção de água, após o teste de Tukey.....	134
Tabela 55- Resultados do ensaio de índice de vazios a 28 dias .....	135
Tabela 56- Resultado da ANOVA para índice de vazios com e sem o agregado natural .....	137
Tabela 57- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias do índice de vazios, após o teste de Tukey .....	137
Tabela A58- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra natural (AN).....	150
Tabela A59- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 01) .....	150
Tabela A60- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 02) .....	150
Tabela A61- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 03) .....	151
Tabela A62- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 04) .....	151
Tabela A63- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 05) .....	151
Tabela A64- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 06) .....	152
Tabela A65- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 07) .....	152
Tabela A66- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 08) .....	152
Tabela A67- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 09) .....	153
Tabela A68- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 10) .....	153

Tabela A69- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 11) .....	153
Tabela A70- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 12) .....	154
Tabela A71- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 13) .....	154
Tabela B72- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra natural (AN).....	155
Tabela B73- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 01) .....	155
Tabela B74- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 02) .....	155
Tabela B75- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 03) .....	156
Tabela B76- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 04) .....	156
Tabela B77- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 05) .....	156
Tabela B78- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 06) .....	156
Tabela B79- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 07) .....	157
Tabela B80- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 08) .....	157
Tabela B81- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 09) .....	157
Tabela B82- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 10) .....	157
Tabela B83- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 11) .....	158
Tabela B84- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 12) .....	158
Tabela B85- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 13) .....	158

Tabela C86- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra natural (AN) .....	159
Tabela C87- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 01).....	159
Tabela C88- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 02).....	160
Tabela C89- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 03).....	160
Tabela C90- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 04).....	161
Tabela C91- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 05).....	161
Tabela C92- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 06).....	162
Tabela C93- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 07).....	162
Tabela C94- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 08).....	163
Tabela C95- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 09).....	163
Tabela C96- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 10).....	164
Tabela C97- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 11).....	164
Tabela C98- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 12).....	165
Tabela C99- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 13).....	165

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Relação água/cimento
ACI	American Concrete Institute (Instituto Americano do Concreto)
AN	Agregado natural basáltico
ANOVA	Análise de variância
AR	Agregado de resíduo
ARCO	Agregado reciclado de concreto
ARCI	Agregado reciclado cimentício
ARM	Agregado reciclado misto
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
CBR	California Bearing Ratio
CP	Corpo de prova
Cu	Coeficiente de uniformidade
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IFSP	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
ISC	Índice de Suporte Califórnia
MF	Módulo de finura do agregado
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PVC	Policloreto de vinila
RCC	Resíduo de Construção Civil
SAEV	Superintendência de Água, Esgotos e Meio Ambiente de Votuporanga
USP	Universidade de São Paulo

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta t$	Intervalo de tempo (s)
$\Theta_{\text{máx}}$	Diâmetro máximo (mm)
$\gamma_{\text{água}}$	Massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ )
$\gamma_b$	Massa específica da brita ( $\text{kg/m}^3$ )
$\gamma_c$	Massa específica do cimento ( $\text{kg/m}^3$ )
$A$	Área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ )
$A_b$	Absorção de água (%)
$a$	Área da seção transversal do tubo vertical ( $\text{cm}^2$ )
$b$	Proporção de agregado no traço
$b_m$	Largura média do corpo de prova (mm)
$C_c$	Consumo de cimento (kg)
$C_u$	Coefficiente de uniformidade
$D_{10}$	Diâmetro do agregado que apenas 10% do material passa no peneiramento (mm)
$D_{60}$	Diâmetro do agregado que 60% do material passa no peneiramento (mm)
$d$	Diâmetro do corpo de prova (mm)
$F$	Força (N)
$f_{ct, sp}$	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)
$f_{ct, f}$	Resistência à tração na flexão (MPa)
$G_1, G_2, G_3$ e $G_4$	Grupos classificados na análise visual dos resíduos
$h_{cp}$	Altura média do corpo de prova (mm)
$h_1$	Nível inicial da água (cm)
$h_2$	Nível final da água (cm)
$I_v$	Índice de vazio (%)
$k$	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)
$L$	Comprimento do corpo de prova (cm)
$l_a$	Dimensão do vão entre os apoios (mm)
$m_a$	Massa em água (kg)
$m_i$	Massa imersa (kg)
$m_r$	Massa do recipiente (kg)
$m_s$	Massa seca (kg)

$m_{\text{sat}}$	Massa saturada (kg)
$N_e$	Número de ensaios
$R$	Relação entre o parâmetro médio do agregado de RCC e do agregado natural
$v$	Volume ( $\text{m}^3$ )
$V_{\text{conc}}$	Volume de concreto ( $\text{m}^3$ )
$V_p$	Volume de poros da mistura ( $\text{m}^3$ )
$x$	Proporção de água no traço

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
3.1	CONCRETO PERMEÁVEL.....	21
3.1.1	Definição.....	21
3.1.2	Dosagem do Concreto Permeável.....	22
3.1.3	Ensaio de Caracterização .....	24
3.1.3.1	Ensaio de compressão axial .....	24
3.1.3.2	Ensaio de tração na flexão .....	25
3.1.3.3	Ensaio do coeficiente de permeabilidade (k).....	26
3.1.3.4	Massa específica do concreto fresco.....	28
3.1.3.5	Absorção de água e índice de vazios .....	29
3.1.4	Requisitos de Projeto para Pavimento Permeável de Concreto.....	30
3.1.4.1	Requisitos gerais.....	30
3.1.4.2	Requisitos para camada de sub-base e/ou base.....	31
3.1.4.3	Requisitos para camada de assentamento .....	32
3.1.4.4	Requisitos para o material de rejuntamento.....	33
3.1.4.5	Requisitos do revestimento permeável .....	34
3.1.5	Aplicações Do Concreto Permeável .....	35
3.1.5.1	Blocos .....	36
3.1.5.2	Placas .....	36
3.1.5.3	Moldado “in loco” .....	37
3.1.5.4	Isolamento térmico .....	38
3.1.6	Vantagens e Desvantagens do Pavimento Permeável .....	39
3.1.7	Manutenção de Pavimentos em Concreto Permeável.....	40
3.2	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	42
3.2.1	Definição.....	43
3.2.2	Volume Produzido .....	43
3.2.3	Características do Agregado de RCC .....	45
3.2.4	Classificação .....	47

3.2.5	Amostragem Segundo a Norma.....	48
3.2.6	Aplicações do RCC.....	50
3.2.6.1	Concreto.....	50
3.2.6.2	Blocos e artefatos diversos .....	52
3.2.6.3	Pavimentação .....	53
3.2.7	Qualidade do Agregado Produzido com RCC.....	55
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
4.1	PROCESSO DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS .....	58
4.1.1	Processo de Amostragem.....	58
4.1.1.1	Localização, triagem e produção .....	58
4.1.1.2	Coleta das amostras .....	60
4.1.1.3	Preparo, identificação e armazenamento das amostras.....	62
4.1.2	Caracterização das Amostras de Agregados e do Cimento .....	64
4.1.2.1	Composição dos agregados graúdos de RCC por análise visual .....	64
4.1.2.2	Análise granulométrica.....	66
4.1.2.3	Massa específica e absorção de água.....	67
4.1.2.4	Massa unitária solta e compactada .....	68
4.1.2.5	Massa específica do cimento .....	70
4.2	TESTES PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO E RCC .....	71
4.2.1	Dosagem .....	72
4.2.2	Processo de Mistura.....	72
4.2.2.1	Concreto permeável sem aditivo .....	72
4.2.2.2	Concreto permeável com aditivo .....	73
4.2.3	Moldagem.....	74
4.2.3.1	Haste metálica padronizada .....	74
4.2.3.2	Soquete de Proctor.....	75
4.2.4	Cura Úmida.....	75
4.2.5	Tratamento Superficial nos Corpos de Prova .....	76
4.2.5.1	Capeamento com gesso.....	76
4.2.5.2	Capeamento com argamassa de cimento .....	77
4.2.5.3	Retífica.....	77
4.2.6	Ensaio de Compressão Axial .....	78

4.3	ENSAIOS PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO.....	78
4.3.1	Dosagem .....	79
4.3.2	Processo de Mistura.....	79
4.3.3	Moldagem.....	80
4.3.4	Massa Específica do Concreto Fresco .....	81
4.3.5	Cura Úmida.....	81
4.3.6	Tratamento Superficial nos Corpos de Prova .....	82
4.3.7	Ensaio no Concreto Permeável .....	82
4.3.7.1	Ensaio de compressão axial .....	82
4.3.7.2	Ensaio de absorção de água e índice de vazios.....	83
4.3.7.3	Ensaio do coeficiente de permeabilidade .....	84
4.4	ENSAIOS NO CONCRETO PERMEÁVEL .....	86
4.4.1	Dosagem .....	86
4.4.2	Processo de Mistura.....	86
4.4.3	Ensaio no Concreto Fresco.....	88
4.4.3.1	Consistência pelo abatimento do tronco de cone ( <i>Slump test</i> ) .....	88
4.4.3.2	Massa específica do concreto fresco.....	88
4.4.4	Moldagem.....	89
4.4.5	Cura úmida.....	90
4.4.6	Tratamento Superficial nos Corpos de Prova .....	90
4.4.7	Ensaio no Concreto Permeável .....	91
4.4.7.1	Ensaio de compressão axial .....	91
4.4.7.2	Ensaio de tração na flexão .....	92
4.4.7.3	Ensaio do coeficiente de permeabilidade (k).....	93
4.4.7.4	Ensaio de absorção de água e índice de vazios.....	96
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .....	97
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>98</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	98
5.1.1	Composição dos Agregados Graúdos de RCC por Análise Visual .....	98
5.1.2	Análise Granulométrica .....	101
5.1.3	Massa Específica e Absorção de Água.....	104
5.1.4	Massa Unitária Solta e Compactada .....	108
5.1.5	Massa Específica do Cimento.....	112

5.2	TESTES PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO E RCC .....	113
5.2.1	Ensaio de Compressão Axial .....	113
5.3	ENSAIOS PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO .....	115
5.3.1	Dosagem .....	115
5.3.2	Massa Específica do Concreto Fresco .....	116
5.3.3	Ensaio de Compressão Axial .....	116
5.3.4	Ensaio de Absorção de Água e Índice de Vazios .....	118
5.3.5	Ensaio do Coeficiente de Permeabilidade .....	118
5.4	ENSAIOS NO CONCRETO PERMEÁVEL .....	119
5.4.1	Dosagem .....	119
5.4.2	Ensaio no Concreto Fresco.....	120
5.4.2.1	Consistência pelo abatimento do tronco de cone ( <i>Slump test</i> ) .....	120
5.4.2.2	Massa específica do concreto fresco.....	120
5.4.3	Ensaio no Concreto Permeável .....	122
5.4.3.1	Ensaio de compressão axial .....	122
5.4.3.2	Ensaio de tração na flexão .....	125
5.4.3.3	Ensaio de permeabilidade .....	128
5.4.3.4	Ensaio de absorção de água e índice de vazios.....	132
5.5	INFLUÊNCIA DO AGREGADO DE RCC NO CONCRETO PERMEÁVEL .	138
5.5.1	Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Mecânica do Concreto Permeável.....	138
5.5.2	Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Física do Concreto Permeável.....	139
5.5.3	Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Hidráulica do Concreto Permeável.....	140
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>142</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>144</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>145</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>150</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>155</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO ADITIVO SIKA .....</b>	<b>166</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de suma importância para o desenvolvimento dos centros urbanos e, também, para o crescimento econômico dos municípios, pois tem papel relevante no mercado de materiais e prestação de serviços, sendo responsável por grande parcela dos empregos gerados. Porém, a construção civil gera quantidade significativa de resíduos e necessita, conforme seu crescimento, cada vez mais de matérias-primas de fontes não renováveis para execução das obras.

Além disso, o crescimento dos centros urbanos aumenta as áreas impermeabilizadas, como, por exemplo, a pavimentação de vias públicas e calçadas. Consequentemente, provocam problemas relacionados à drenagem urbana, elevando o custo de implantação, operação e manutenção destes sistemas aos órgãos públicos.

O problema das enchentes é agravado pela deficiência na gestão da coleta e disposição final dos resíduos sólidos. Em muitas cidades, o resíduo sólido é colocado nas ruas à espera da coleta e quando ocorrem grandes precipitações estes resíduos são carreados, bloqueando o sistema de drenagem e esgoto, aumentando o escoamento superficial. A obstrução do sistema de drenagem é responsável, ainda, pelo aumento das doenças de veiculação hídrica, tais como a leptospirose (COSTA, 2019).

O gerenciamento do enorme volume produzido de resíduos diariamente e do sistema de drenagem urbana são grandes desafios das administrações municipais e concessionárias. A disposição irregular dos Resíduos de Construção Civil (RCC) em áreas inadequadas gera um problema ao meio urbano e causa degradação ambiental, podendo até servir de locais para proliferação de vetores de doenças, provocando a redução de eficiência nos sistemas de drenagem. A maioria dos municípios não está estruturada para gerenciar estes problemas e, por isso, o impacto causado ao meio ambiente e a necessidade de soluções urgentes têm levado administradores municipais a buscarem alternativas viáveis para minimizar os efeitos nocivos destes resíduos.

Uma alternativa viável, tanto na área ambiental como na econômica, é a reciclagem dos resíduos da construção como forma de atenuar os impactos provocados pelos mesmos ao meio ambiente, utilizando-os como agregados na produção de concreto permeável, pois além de fornecer destinação final adequada aos resíduos, diminuir a quantidade de RCC em aterros, incentivar a utilização de material reciclado na construção civil e reduzir a

quantidade de matéria-prima extraída da natureza, também fornece retorno financeiro na comercialização deste material. Além disso, a utilização de concreto permeável na pavimentação de praças e passeios aumenta a quantidade de águas pluviais infiltradas no solo, facilitando a recarga dos aquíferos e diminuindo o volume a ser transportado pelos sistemas de micro e macrodrenagens (sistema de drenagem urbana).

Um dos benefícios ambientais referentes à implantação do pavimento permeável é o baixo impacto no local, uma vez que a sua capacidade permeável reduz o efeito da pavimentação no ciclo natural das águas, com potencial de redução do escoamento superficial, a depender do nível de porosidade do sistema (BATEZINI, 2019).

Neste trabalho, o agregado utilizado para fabricação do concreto permeável é proveniente dos resíduos da construção civil de uma usina de beneficiamento na cidade de Votuporanga/SP e, como o agregado graúdo (brita 0) de RCC é comercializado atualmente a R\$ 28,00/m<sup>3</sup> e o mesmo agregado de basalto possui um valor médio de R\$ 180,50/m<sup>3</sup> no referido município, os custos de produção deste concreto podem ser reduzidos, tornando-o mais competitivo no comércio local e representando uma alternativa ambientalmente adequada para a sociedade.

Vale ressaltar que a proposta da pesquisa atende algumas das premissas da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), como exemplo: "o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico" e "não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos".

A reciclagem dos resíduos de construção como agregado contribui para que o Brasil alcance os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular, a ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis, que preconiza, entre outros aspectos, o gerenciamento dos resíduos municipais.

Devido ao processo de produção de algumas usinas que fornecem agregados proveniente de RCC, caso da usina em estudo, o material fornecido é muito heterogêneo na sua composição (mistura de concreto, cerâmica vermelha e branca - não polida e vidrados, rochas, solo, madeira, plástico, vidro, metais, material orgânico e outros), pois é feita uma triagem manual, nem sempre adequada e eficiente, podendo inviabilizar seu uso e comercialização para fins específicos.

A variabilidade nas características/composição dos resíduos de construção civil é realidade e fator limitante para aceitação e utilização em obras civis de uma forma geral, pois a qualidade do agregado define a segurança, confiança e, principalmente, a aceitação pelos profissionais da área de engenharia.

Muitos trabalhos publicados, como os de Yap *et al.* (2018) e Cominato *et al.* (2022), utilizando este resíduo para preparo de concreto permeável, apresentaram resultados com amostragem simples e/ou com amostra previamente processada (por exemplo, os agregados de RCC coletados foram separados por faixas granulométricas de interesse) antes da utilização, desta forma, não é possível analisar as variações reais na composição do resíduo, sem tratamento, fornecido ao longo do tempo pela usina de beneficiamento e qual(is) consequência(s) para o produto (concreto permeável no presente trabalho) produzido com este material.

Diferente de outros estudos, neste trabalho realizou-se a caracterização de amostras coletadas de agregado graúdo de RCC em diferentes dias de forma a avaliar a sua variabilidade ao longo do tempo na usina de beneficiamento. Portanto, este trabalho teve como premissa analisar a interferência da composição do agregado graúdo proveniente de RCC sobre as características mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável fabricado com este material com a intenção de contribuir para a utilização e aceitação do agregado de RCC nas obras de construção civil.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar a influência da variabilidade da composição do agregado graúdo proveniente de Resíduos de Construção Civil (RCC) nas características mecânicas, hidráulicas e físicas do concreto permeável produzido com este material.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- Estabelecer critérios e realizar a coleta periódica do agregado graúdo de RCC que represente a variabilidade composicional na geração;
- Caracterizar os agregados graúdos de basalto e de RCC no que diz respeito a análise granulométrica, a massa específica, a absorção de água e a massa unitária solta e compactada;
- Caracterizar a composição do agregado graúdo de RCC por análise visual (separar os agregados em fragmentos com pasta de cimento, em fragmentos de rocha, em fragmentos de cerâmica e em fragmentos de materiais de natureza orgânica e de contaminantes);
- Realizar testes e ensaios preliminares no concreto permeável produzido com agregado graúdo basáltico e com agregado graúdo de RCC para ajustes nos procedimentos de preparo e dosagem do concreto permeável;
- Preparar corpos de prova com as diferentes amostras de agregado graúdo;
- Analisar a influência da composição do agregado de RCC sobre os parâmetros mecânicos (compressão axial e tração na flexão), físicos (massa específica do concreto fresco, absorção de água e índice de vazios) e hidráulico (coeficiente de permeabilidade) do concreto permeável.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto é um material largamente utilizado nos canteiros de obra de todo o Brasil e, conseqüentemente, encontra-se uma quantidade significativa de tipos e usos específicos do concreto no setor da construção civil. O concreto permeável é um tipo particular que contraria uma característica muito almejada na maioria dos concretos existentes, que é a impermeabilidade, ou seja, impedir a penetração de água nas peças moldadas em concreto, principalmente, no concreto armado executado com funções estruturais.

##### 3.1.1 Definição

A ABNT NBR-16.416:2015 define concreto permeável como aquele que possui vazios interligados que permitem a percolação da água pela ação da gravidade, Figura 1.

Figura 1- Revestimento de concreto permeável



Fonte: ABCP PR-3 (2016)

O *American Concrete Institute* (ACI, 2010) define concreto permeável como sendo um material de granulometria aberta, com abatimento praticamente igual à zero, confeccionado com cimento Portland, agregado graúdo, pouco ou nenhum agregado miúdo, aditivos e água, proporcionando ao material uma quantidade significativa de vazios interconectados, resultando em um material altamente permeável.

Segundo Batezini (2013) o concreto permeável é composto por ligante hidráulico, agregado de graduação uniforme, água e pouco ou nenhum agregado miúdo. Pode-se utilizar

uma combinação de diferentes tipos de adições e aditivos com a finalidade de melhorar o desempenho e trabalhabilidade do concreto. O concreto permeável possui boa porosidade e tem capacidade de permitir o fluxo de águas pluviais por sua estrutura interna, apresentando uma grande quantidade de vazios (BALBO, 2020).

O concreto permeável é um concreto leve, também chamado de concreto poroso ou piso permeável à água, podendo ser aplicado em estacionamentos expostos, calçadas com pouco tráfego e drenos (YANG, KOU, SONG *et al.*, 2020).

### 3.1.2 Dosagem do Concreto Permeável

Com a ausência de uma metodologia consagrada para a dosagem do concreto permeável, como acontece com os concretos clássicos, existem centros de pesquisa no mundo almejando estabelecer critérios genéricos e universais para a dosagem do concreto permeável, ou seja, atualmente são utilizados critérios racionais nas dosagens experimentais, mas não existe um procedimento padronizado (BALBO, 2020).

Alguns procedimentos e recomendações sobre a dosagem de concreto permeável são apresentados pelo *American Concrete Institute* (ACI, 2010), fornecendo parâmetros quanto às quantidades de materiais para a mistura do concreto permeável, reproduzidos na Tabela 1.

Tabela 1- Faixas de consumo de materiais para concreto permeável

Material ou parâmetro	Faixa
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	270 a 415
Agregado graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	1190 a 1480
Relação água/cimento (massa)	0,27 a 0,34
<u>Relação agregado/cimento (massa)</u>	<u>4,0:1,0 a 4,5:1,0</u>

Fonte: Adaptado de *American Concrete Institute* (ACI, 2010)

De acordo com Batezini (2013), o procedimento de dosagem do concreto permeável para utilização em pavimentos possui ainda um elevado grau de empirismo. Baseado em outros trabalhos, o autor utilizou a proporção (cimento:agregado:água) de 1,00:4,44:0,30, em massa.

Chandrappa e Biligiri (2016) apresentaram diversas pesquisas realizadas sobre concreto permeável entre os anos de 1995 e 2014, em que foram observados consumos de

agregado na faixa de 1400 a 1800 kg/m<sup>3</sup> e relação de agregado/cimento de 4,0:1,0 a 12,0:1,0, com relação água/cimento (A/C) variando entre 0,20 a 0,42, sendo, normalmente, uma faixa mais baixa em relação ao concreto convencional, conforme proporções apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2- Proporções de mistura dos materiais para produção de concreto permeável

Ano	Agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )	Relação agregado-cimento	Relação A/C	Autor
1995	1651,32	412,83	153,57	4,0:1	0,372	<u>Ghaffori e Dutta</u>
	1692,00	376,00	143,25	4,5:1	0,381	
	1740,00	348,00	135,72	5,0:1	0,390	
	1800,00	300,00	125,40	6,0:1	0,418	
2006	1541,93	344,69	105,01	4,47:1	0,300	<u>Crouch et al.</u>
	1620,24	287,15	87,21	5,64:1	0,300	
2009	1820,00	180,00	50,00	10,00:1	0,280	<u>Kevern et al.</u>
	1700,00	260,00	70,00	6,50:1	0,270	
	1620,00	310,00	80,00	5,20:1	0,260	
	1580,00	330,00	90,00	4,78:1	0,270	
	1550,00	360,00	100,00	4,30:1	0,280	
	1510,00	380,00	100,00	3,97:1	0,260	
	1600,00	340,00	80,00	4,70:1	0,240	
	1570,00	330,00	100,00	4,75:1	0,300	
1560,00	330,00	100,00	4,72:1	0,300		
2010	1440,80	320,20	112,10	4,5:1	0,350	<u>Huang et al.</u>
	1486,90	330,40	115,60	4,5:1	0,350	
	1586,90	352,60	123,40	4,5:1	0,350	
2010	1559,00	312,00	103,00	5:1	0,330	<u>Neithalath et al.</u>
	1568,00	314,00	104,00	5:1	0,330	
	1558,00	312,00	103,00	5:1	0,330	
	1524,00	305,00	101,00	5:1	0,330	
	1546,00	309,00	102,00	5:1	0,330	
	1544,00	309,00	102,00	5:1	0,330	
2013	1560,00	367,00	110,10	4,25:1	0,300	<u>Lim et al.</u>
	1560,00	242,00	72,96	6,44:1	0,300	
	1560,00	367,00	73,40	4,25:1	0,200	
	1560,00	367,00	110,10	4,25:1	0,300	
	1560,00	430,00	110,10	3,62:1	0,260	
	1560,00	495,00	148,50	3,15:1	0,300	
2014	1600,00	200,00	70,00	8:1	0,350	<u>Ibrahim et al.</u>
	1800,00	150,00	52,85	12:1	0,350	

Fonte: Adaptado de Chandrappa e Biligiri (2016)

Conforme Costa (2019), os diversos métodos de dosagem e proporção de mistura para o concreto permeável encontrados são baseados em princípios divergentes, porém, com as mesmas variáveis de resposta, ou seja, consumo de água, cimento e agregado,

almejando alcançar o equilíbrio entre a porosidade, resistência, conteúdo de pasta e trabalhabilidade. A autora utilizou uma metodologia de dosagem para o concreto permeável partindo da porosidade desejada para o material e o controle da densidade (concreto permeável pode variar a porosidade de 15% a 35%), chegando aos traços de 1,0:3,5 e 1,0:4,0, com variação da relação A/C entre 0,24 a 0,32 nos ensaios realizados.

### 3.1.3 Ensaios de Caracterização

Neste tópico serão apresentados os principais ensaios realizados em concreto permeável com a finalidade de caracterização do material com relação aos parâmetros mecânicos, hidráulicos e físicos.

#### 3.1.3.1 Ensaio de compressão axial

Os corpos de prova moldados em formas cilíndricas metálicas devem atender ao estabelecido na ABNT NBR-5.738:2016 e os ensaios de compressão axial devem seguir as orientações da ABNT NBR-5.739:2018, conforme etapas descritas resumidamente:

- determinar o diâmetro e a altura do corpo de prova (CP) com exatidão de  $\pm 0,1\text{mm}$ ;
- romper os corpos de prova à compressão em idade especificada, sendo que para 28 dias a tolerância permitida é de 24h;
- antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova devem ser limpas e secas;
- centralizar o corpo de prova no prato inferior;
- aplicar o carregamento de ensaio continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento constante de  $0,45 \pm 0,15 \text{ MPa/s}$  e cessar o carregamento apenas quando houver uma queda de força que indique a ruptura, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Ensaio de compressão axial



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.3.2 Ensaio de tração na flexão

O ensaio de tração na flexão deve obedecer às recomendações da ABNT NBR-12.142:2010, como segue:

- colocar o corpo de prova com seu lado maior paralelo ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios, centrando-os entre eles. No caso de corpos de prova moldados, as faces laterais com relação à posição de moldagem devem ficar em contato com os elementos de aplicação de força e os apoios;
- polir as superfícies de contato do corpo de prova, caso não tenha um contato perfeito entre a superfície do corpo de prova e os apoios;
- dividir a dimensão do vão entre os apoios em três partes iguais, determinando as posições de aplicação das forças no corpo de prova;
- aplicar a força continuamente e sem choque de forma que o aumento de tensão sobre o corpo de prova esteja entre 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min;
- após a realização do ensaio, medir o corpo de prova na sua secção de ruptura para determinar a altura e largura médias com precisão de 1 mm (tirar três medidas para determinação da média).

A Figura 3 ilustra o corpo de prova sendo ensaiado no equipamento.

Figura 3- Ensaio de tração à flexão



Fonte: Costa (2019)

A resistência à tração na flexão deve ser calculada pela Eq. 1:

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot l_a}{b_m \cdot h_{cp}^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$f_{ct,f}$  = resistência à tração na flexão (MPa)

F = força máxima registrada (N)

$l_a$  = dimensão do vão entre os apoios (mm)

$b_m$  = largura média do corpo de prova (mm)

$h_{cp}$  = altura média do corpo de prova (mm)

### 3.1.3.3 Ensaio do coeficiente de permeabilidade (k)

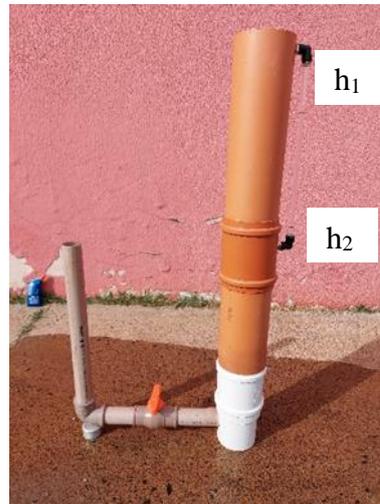
Oliveira (2017) e Costa (2019) utilizaram uma adaptação da ABNT NBR-14.545:2021, que trata da determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, para determinar o coeficiente de permeabilidade para concretos permeáveis, conforme ilustrado na Figura 4.

Os procedimentos para a realização do ensaio são:

- envolver o corpo de prova cilíndrico em uma membrana impermeável para evitar a

- passagem de água entre a parte lateral do corpo de prova e do permeâmetro;
- colocar cuidadosamente o corpo de prova dentro do equipamento;
  - impermeabilizar o espaço entre a parede do tubo do permeâmetro e a superfície superior do corpo de prova (pode ser utilizado silicone ou massa de calafetar);
  - encher o permeâmetro com água deixando o registro aberto para eliminação do ar dentro do corpo de prova;
  - fechar o registro e encher o permeâmetro com água acima do nível inicial ( $h_1$ ) pré-estabelecido;
  - abrir o registro para liberação da água (não é introduzido mais água no decorrer do ensaio);
  - anotar o tempo decorrido para a água percorrer o espaço entre os níveis inicial ( $h_1$ ) e final ( $h_2$ ).

Figura 4- Permeâmetro de carga variável



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a ABNT NBR-14.545:2021, o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) é calculado de acordo com a Eq. 2:

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot \Delta t} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

$k$  = coeficiente de permeabilidade (cm/s)

$a$  = área da seção transversal do tubo vertical ( $\text{cm}^2$ )

$L$  = comprimento do corpo de prova (cm)

$A$  = área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ )

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre os níveis inicial e final (s)

$h_1$  = nível inicial da água na altura 29 cm

$h_2$  = nível final da água na altura 7 cm

#### 3.1.3.4 Massa específica do concreto fresco

O ensaio de massa específica do concreto fresco segue as determinações da ABNT NBR-9.833:2009.

As etapas são realizadas da seguinte forma:

- pesar o recipiente vazio e com volume conhecido ( $\leq 15 \text{ dm}^3$ );
- colocar o concreto em três camadas, sendo aplicados em cada camada 25 golpes com a haste metálica padronizada distribuídos uniformemente sobre toda a superfície, tomando cuidado na primeira camada para não golpear o fundo do recipiente e, nas camadas seguintes, para atravessar no máximo 25 mm da espessura da camada anterior;
- executar o rasamento da superfície após o adensamento;
- efetuar a limpeza e determinar a massa do recipiente com concreto;
- determinar a massa específica do concreto fresco pela relação entre a massa do concreto, subtraindo a massa do recipiente vazio, e o volume do recipiente, Figura 5.

Figura 5- Ensaio de determinação de massa específica do concreto fresco



Fonte: Paula Júnior (2019)

### 3.1.3.5 Absorção de água e índice de vazios

A ABNT NBR-9.778:2009 define índice de vazios ( $I_v$ ) como a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, normatizando os procedimentos para realização do ensaio e determinação deste parâmetro, portanto, será adotado neste trabalho o índice de vazios como o valor de porosidade do material.

O ensaio de absorção de água e índice de vazios segue as orientações da ABNT NBR-9.778:2009, que são:

- colocar o corpo de prova na estufa e mantê-lo à temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por um período de 72 h;
- determinar e registrar a massa seca do corpo de prova ( $m_s$ );
- imergir o corpo de prova em água à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e permanecer durante 72 h nessa condição;
- colocar o corpo de prova em um recipiente cheio de água, que deve ser progressivamente levada à ebulição, a qual deve começar depois de 15 min e antes de 30 min. A ebulição deve ser mantida por um período de 5 h;
- deixar a água esfriar naturalmente até a temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ;
- determinar e registrar a massa em imersão com auxílio de balança hidrostática ( $m_i$ ) e retirar a amostra da água e enxugá-la com pano úmido, registrando sua massa saturada ( $m_{\text{sat}}$ ), Figura 6.

Figura 6- Procedimentos para determinação da absorção de água e índice de vazios



Fonte: Paula Júnior (2019)

Conforme a ABNT NBR-9.778:2009, a absorção de água ( $A_b$ ) e o índice de vazios ( $I_v$ ) são determinados com as equações Eq. 3 e Eq. 4, respectivamente.

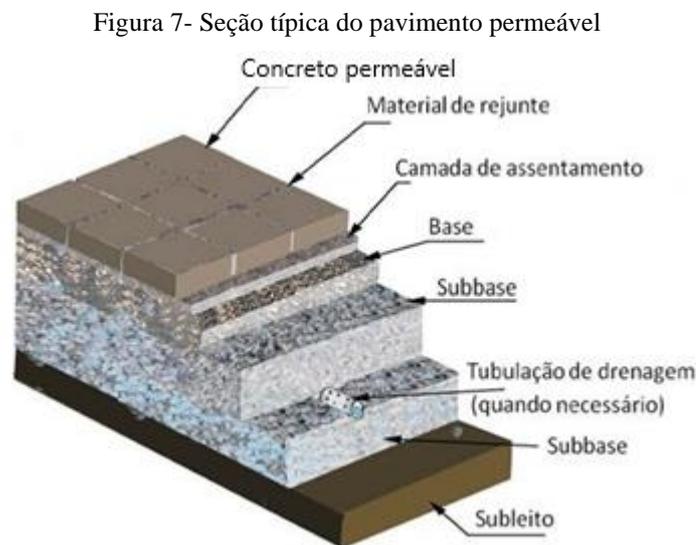
$$A_b = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad \text{Eq. 3}$$

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \cdot 100 \quad \text{Eq. 4}$$

### 3.1.4 Requisitos de Projeto para Pavimento Permeável de Concreto

#### 3.1.4.1 Requisitos gerais

O pavimento permeável apresenta seção típica, conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP PR-2, 2016), ilustrada na Figura 7.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP PR-2, 2016)

A ABNT NBR-16.416:2015 possui requisitos para o projeto de um pavimento permeável como: deve ser considerado o tipo de uso e o local de implantação (definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas devem atender aos dimensionamentos mecânico e hidráulico); o dimensionamento mecânico do pavimento deve utilizar métodos apropriados a cada tipo de revestimento, considerando-se a condição de saturação do solo, no

caso de escolha dos sistemas de infiltração total ou parcial e no dimensionamento da camada de revestimento.

A mesma norma exige algumas informações e atendimento às especificações listadas a seguir:

- Condições de carregamento quanto ao tipo de solicitação (móvel ou estática), frequência, magnitude e configuração à qual o pavimento deve estar sujeito;
- Capacidade de suporte do solo, determinada pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC);
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme normas vigentes;
- Consideração da condição de saturação do solo no caso dos sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático (sendo que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,6 m do nível mais alto do lençol);
- As áreas de contribuição não podem exceder em até cinco vezes as áreas permeáveis do pavimento;
- Declividade máxima de 5 % para as áreas permeáveis;
- Declividade máxima de 20 % para as áreas de contribuição;
- Resistência mecânica mínima do revestimento;
- Massa específica do concreto permeável moldado no local;
- Detalhamento das juntas longitudinais e transversais, quando for o caso, do concreto permeável moldado no local;
- Avaliação do risco de contaminação do lençol freático (distância mínima de 30 m de fontes de captação de água subterrâneas). No caso de risco de contaminação do lençol freático, é recomendada a utilização do sistema sem infiltração no solo.

#### 3.1.4.2 Requisitos para camada de sub-base e/ou base

Conforme a ABNT NBR-16.416:2015, a camada de sub-base e/ou base deve ser composta de materiais pétreos de granulometria aberta e cumprir as especificações contidas na Tabela 3. A distribuição granulométrica recomendada pela norma para o material da sub-base e /ou base está apresentada na Tabela 4.

Tabela 3- Especificações do material da sub-base e/ou base para construção de pavimento permeável

<b>Propriedade</b>	<b>Método</b>	<b>Especificação</b>
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40 %
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32 %
Índice de suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR 9895	≥ 80 %
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2 %

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

Tabela 4- Distribuição granulométrica para o material da sub-base e/ou base para construção de pavimento permeável

<b>Peneira com abertura de malha</b>	<b>Porcentagem retida, em massa (%)</b>	
	<b>Sub-base</b>	<b>Base</b>
75 mm	0	—
63 mm	0 a 10	—
50 mm	30 a 65	—
37,5 mm	85 a 100	0
25 mm	90 a 100	0 a 5
19 mm	95 a 100	0 a 35
12,5 mm	—	40 a 75
4,75 mm	—	90 a 100
2,36 mm	—	95 a 100

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

#### 3.1.4.3 Requisitos para camada de assentamento

A camada de assentamento é utilizada apenas nos projetos de pavimento intertravado permeável ou pavimento com placas de concreto permeáveis, sendo que a camada deve ser uniforme e constante com espessura especificada em projeto, podendo estar entre 20 mm e 60 mm na condição não compactada e com variação máxima permitida da camada de  $\pm 5$  mm em relação à espessura especificada, de acordo com a ABNT NBR-16.416:2015. A norma ainda especifica o material da camada como material pétreo e com granulometria aberta, cumprindo as especificações da Tabela 5, recomendando granulometria entre 1,16 mm e 9,50 mm.

Tabela 5- Especificações do material da camada de assentamento para construção de pavimento permeável

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40 %
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32 %
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2 %
Dimensão máxima característica (D <sub>máx</sub> )	ABNT NBR 7212	9,5 mm

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

#### 3.1.4.4 Requisitos para o material de rejuntamento

Segundo a ABNT NBR-16.416:2015 o material de rejuntamento apenas é aplicado nos revestimentos de pavimentos intertravados permeáveis, pois a percolação de água ocorre pelas juntas ou áreas vazadas entre as peças, sendo que o material utilizado deve ser pétreo de granulometria aberta, preenchendo as juntas ou áreas vazadas até 5 mm abaixo do topo das peças após a compactação e cumprindo as especificações contidas na Tabela 6. A norma recomenda também a distribuição granulométrica conforme a Tabela 7.

Tabela 6- Especificações do material de rejuntamento

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40 %
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32 %
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2 %
Dimensão máxima característica (D <sub>máx</sub> )	ABNT NBR 7212	≤ 1/3 da menor largura da junta ou da área vazada

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

Tabela 7- Recomendação para a distribuição granulométrica do material de rejuntamento

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)
12,5 mm	0
9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

### 3.1.4.5 Requisitos do revestimento permeável

A ABNT NBR-16.416:2015 estabelece especificações para o concreto permeável aplicado como revestimento em pavimento, foco desta pesquisa, como seguem:

- **Resistência mecânica e espessura mínima:** o revestimento permeável deve atender as especificações contidas na Tabela 8.

Tabela 8- Resistência mecânica e espessura mínima para revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestre	60	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestre	60	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestre	60	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestre	60	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100	$\geq 2,0^c$	

Nota a - determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.

Nota b - determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.

Nota c - determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

- **Coefficiente de permeabilidade:** o pavimento permeável deve apresentar coeficiente de permeabilidade maior que  $10^{-3}$  m/s. A Tabela 9 resume as considerações para determinação do coeficiente de permeabilidade em laboratório ou em campo.

Tabela 9- Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento (m/s)
	Local de avaliação Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou vazadas)	Anexo A		
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A*	Anexo A*	$> 10^{-3}$
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local	Anexo A*		

Nota: \* referente ao anexo descrito na norma citada

Fonte: Adaptado ABNT NBR-16.416 (2015)

- **Resistência à tração na flexão do concreto permeável moldado no local:** deve ter sua resistência à tração na flexão ensaiada antes da execução do pavimento, devendo ser moldados corpos de prova prismáticos de 10 cm x 10 cm x 40 cm e ensaiados conforme a ABNT NBR-12.142:2010.
- **Massa específica do concreto moldado no local:** a massa específica do concreto moldado no local deve ser avaliada por método de ensaio conforme a ABNT NBR-9.833:2009 (concreto fresco). Para o concreto fresco, o ensaio deve ser realizado utilizando um recipiente com capacidade de 5 dm<sup>3</sup> e a moldagem deve ser realizada em duas camadas, sendo aplicados 20 golpes por camada, com soquete de 4,5 kg e altura de 45 cm. O valor mínimo da massa específica é de 1.600 kg/m<sup>3</sup>.
- **Inspeção visual e avaliação dimensional:** as peças ou placas de concreto devem ter aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, sem defeitos; espessura com medida mínima igual ou maior que a especificada nesta norma e tolerância dimensional para comprimento, largura e espessura de mais ou menos 3 mm.

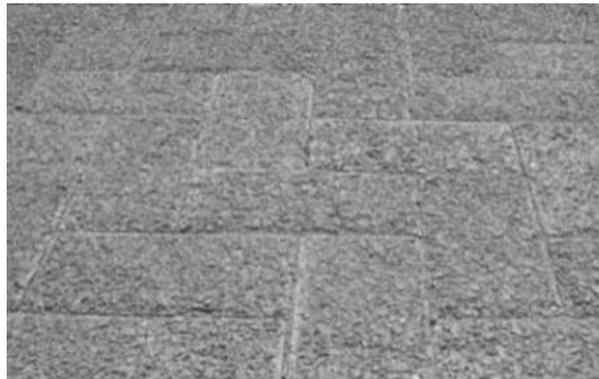
### 3.1.5 Aplicações Do Concreto Permeável

O concreto permeável é aplicado, normalmente, como revestimento de pavimentos, mas existem pesquisas que indicam outras aplicações viáveis para este material como, por exemplo, a utilização para isolamento térmico.

### 3.1.5.1 Blocos

A ABNT NBR-16.416:2015 estabelece que bloco é o revestimento permeável cuja infiltração de água ocorre pela passagem da água através de peças (blocos), Figura 8.

Figura 8- Revestimento com peças de concreto permeável



Fonte: ABNT NBR-16.416 (2015)

Fenocchiaro e Girardi (2017) ensaiaram blocos de concreto permeável produzidos com agregados de RCC com dimensões 100 x 200 x 80 mm, obtendo excelentes resultados quanto a permeabilidade, sendo o valor médio obtido nos ensaios de  $21,0 \times 10^{-3}$  m/s, ou seja, 21 vezes maior que o mínimo recomendado em norma, porém, com resistência a compressão atingindo o valor médio de 10,47 MPa, menor que o recomendado em norma para este tipo de revestimento que é 20 MPa. Apesar da resistência mecânica ter ficado muito abaixo da mínima exigida, o autor destaca que para situações em que as cargas forem baixas, este concreto permeável pode ser utilizado.

### 3.1.5.2 Placas

Conforme a ABNT NBR-16.416:2015, é o pavimento revestido com placas de concreto permeável, cuja percolação da água ocorre pelo concreto da placa, conforme Figura 9. Este tipo de revestimento difere do apresentado em 3.1.5.1 por não apresentar intertravamento entre as peças.

Figura 9- Revestimento com placas de concreto permeável



Fonte: ABNT NBR-16.416 (2015)

Paula Júnior (2019) produziu concreto permeável utilizando agregado graúdo de resíduo de concreto em substituição ao agregado natural, sendo confeccionadas placas quadradas com 750 mm de lado e espessura de 60 mm, conforme requisito mínimo de espessura da norma. O autor obteve os seguintes valores médios para resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade, 2,08 MPa e  $9,0 \times 10^{-3}$  m/s, respectivamente, ou seja, atendem aos requisitos mínimos da norma para revestimento de pavimentos permeáveis para tráfego de pedestres.

### 3.1.5.3 Moldado “in loco”

Ainda de acordo com a ABNT NBR-16.416:2015, é o pavimento revestido com concreto permeável moldado no local, sendo que a percolação de água é através do concreto, Figura 10.

Figura 10- Revestimento em concreto permeável moldado no local



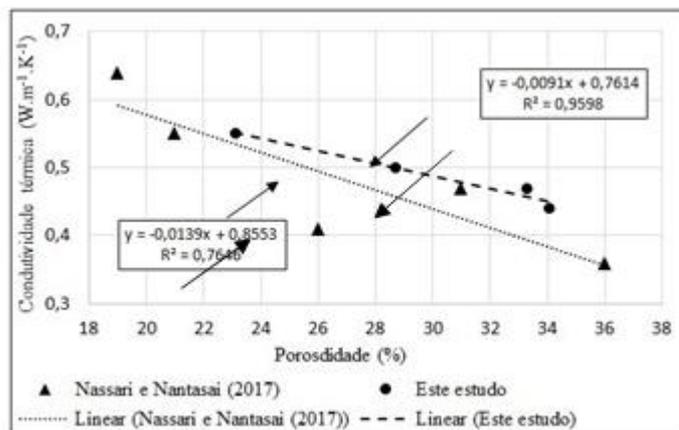
Fonte: ABNT NBR-16.416 (2015)

Furtado *et al.* (2021) desenvolveram e instalaram um modelo de pavimento em concreto permeável moldado no local, sendo que o ensaio realizado em campo apresentou um coeficiente de permeabilidade no valor de  $15,0 \times 10^{-3}$  m/s, ou seja, superior ao mínimo recomendado pela norma. O modelo de pavimento permeável foi eficiente também para a redução do escoamento superficial, pois forneceu coeficiente de escoamento superficial médio de 0,024, o que caracteriza elevada capacidade de infiltração do pavimento. Os autores ressaltam que os resultados obtidos no modelo de pavimento são mais favoráveis à infiltração da água do que os obtidos em outros tipos de pavimentos tradicionalmente usados para esta finalidade, como o pavimento intertravado e o asfalto poroso. Com ensaios realizados, em laboratório, no concreto aplicado ao modelo de pavimento, os autores verificaram que a resistência à tração na flexão foi de 1,72 MPa, portanto, superior ao requisito mínimo da norma que é de 1,0 MPa para tráfego de pedestre.

#### 3.1.5.4 Isolamento térmico

De acordo com Ramos *et al.* (2021), a porosidade e a condutividade térmica do concreto permeável são inversamente proporcionais, sendo a tendência expressa por uma correlação linear vista na Figura 11. Os autores afirmaram que concreto com porosidades entre 23,1% e 34,0% apresentaram bons resultados, ou seja, menor condutividade térmica, sugerindo sua aplicação na construção civil como um material alternativo para fins de conforto térmico.

Figura 11- Relação da condutividade térmica com a porosidade total do concreto permeável



Fonte: Ramos *et al.* (2021)

### 3.1.6 Vantagens e Desvantagens do Pavimento Permeável

Segundo Ciria (1996 *apud* ACIOLI, 2005) os pavimentos permeáveis têm vantagens em relação aos demais sistemas de drenagem, como listados a seguir:

- A infiltração reduz a quantidade de água que entra no sistema de drenagem urbana, reduzindo os riscos de inundação a jusante;
- Os dispositivos de infiltração podem ser utilizados em locais onde não existe rede de drenagem que possa absorver o escoamento do empreendimento;
- Ao controlar o escoamento superficial na fonte, os pavimentos permeáveis reduzem os impactos hidrológicos da urbanização;
- Por não sobrecarregar o sistema de drenagem, evitam custos com ampliação da rede;
- A infiltração pode ser usada para recarregar o aquífero, quando a qualidade da água superficial não comprometer a qualidade da água subterrânea;
- Os custos ao longo da vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem.

Algumas vantagens específicas do uso de pavimentos permeáveis, conforme EPA (1999 *apud* ACIOLI, 2005):

- Tratamento de água de chuva, ou seja, retenção de poluentes provenientes do escoamento superficial;
- Diminuição da necessidade de meio-fio e canais de drenagem;
- Aumento de segurança e conforto nas vias, pois reduz o risco de ocorrer derrapagem e diminui os ruídos;
- Dispositivo de drenagem que integra a obra, sem necessidade de espaço exclusivo para o dispositivo.

EPA (1999 *apud* ACIOLI, 2005) lista algumas desvantagens dos pavimentos permeáveis como:

- Mão de obra qualificada para implantar o dispositivo;

- Caso seja instalado e/ou mantido de forma inadequada, o pavimento pode se tornar obstruído;
- Risco de o pavimento permeável sofrer colmatção (manutenção é necessária);
- Risco de contaminação do aquífero, dependendo do solo e da qualidade da água infiltrada.

Acioli (2005) relaciona algumas restrições quanto ao local de instalação dos pavimentos permeáveis como: não recomendado para regiões de clima frio (entupimento e trincas pela neve); em regiões áridas (elevada amplitude térmica); em regiões com alta taxa de erosão devido ao vento (acúmulo de sedimentos na superfície) e áreas de recarga de aquífero. A autora ainda relaciona como desvantagens a necessidade de solos permeáveis profundos (no caso do sistema com infiltração total), recomendado apenas para locais com tráfego leve (resistência mecânica limitada) e o uso de terras adjacentes pode interferir na eficiência do pavimento permeável.

### 3.1.7 Manutenção de Pavimentos em Concreto Permeável

Uma das desvantagens do concreto permeável é a colmatção, ou seja, a obstrução dos poros pela sedimentação de partículas presentes na água percolada, reduzindo, com o tempo, sua permeabilidade.

Os sedimentos depositados no concreto permeável podem ter diversas origens como: detritos de estradas, material transportado por veículos, matéria orgânica (caso tenha vegetação próxima), presença de fluídos de origem oleosa (caso de estacionamento) ou até mesmo de pequenas partículas provenientes do desgaste natural do próprio pavimento decorrente da abrasão. Os sedimentos mais comuns são compostos por areia, silte e argila (KIA et al. 2016 apud OLIVEIRA, 2017).

Segundo Kia *et al.* (2016), a quantidade e o local depositado de sedimentos dependerão do tamanho das partículas que provocaram o entupimento com relação ao tamanho dos poros do concreto permeável, ou seja, partículas maiores do que os poros do concreto ficam retidas na superfície do pavimento formando uma camada que dificulta a entrada da água e as partículas mais finas tendem a ficar retidas no interior do pavimento ou na interface com a sub-base do pavimento.

A colmatação é mais significativa quando o tamanho das partículas carregadas pela água é próximo ao tamanho dos poros do concreto permeável de acordo com o *American Concrete Institute* (ACI, 2010).

Oliveira (2017) projetou e construiu um dispositivo que permitiu a análise da colmatação de placas de concreto permeável em laboratório e observou uma queda na taxa de infiltração por colmatação forçada utilizando solo para provocar a colmatação. No início, sem introduzir o solo na superfície da placa, simulou uma chuva e mediu uma taxa de infiltração de 0,7 cm/s e, após 30 minutos de ensaio no dispositivo adicionando solo, ou seja, simulando a água da chuva sobre a superfície da placa de concreto contendo solo espalhado sobre ela, observou que a taxa de infiltração caiu para 0,45 cm/s.

Batezini (2019) realizou ensaios em alguns segmentos de uma calçada executada em concreto permeável no campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Paulo. Dentre vários parâmetros, estudou a taxa de infiltração e observou uma redução de 54% em relação à taxa média de infiltração em um dos segmentos avaliados num período de 29 meses. O autor comentou que este resultado pode ter sofrido influência da localização de implantação deste trecho da calçada, pois estava em um ambiente com elevada densidade de árvores e vegetação e, em alguns pontos, a calçada encontrava-se abaixo do nível do terreno existente, facilitando o transporte de partículas para o pavimento com as águas da chuva.

Balbo (2020) afirma que a colmatação é um processo paulatino e contínuo, sendo natural a aplicação de processos de manutenção programada para diminuir ou eliminar a redução da permeabilidade nos concretos permeáveis, sugerindo três tipos de manutenção:

- **Manutenção de rotina:** o emprego de vassouras de limpeza de ruas pode ser eficiente na manutenção de curto prazo das superfícies, como o uso de varredores manuais, aspiradores ou sopradores para a retirada da folhagem depositada sobre o pavimento, que a princípio não penetrariam pelos poros do revestimento permeável, mas após sua decomposição, pode ocorrer a penetração destes detritos;
- **Manutenção preventiva:** para o caso de colmatação por areias acumuladas na superfície do pavimento, é recomendada a utilização de varredores mecanizados para remover forçadamente, com seus giros, o material depositado: método eficaz, que causa melhoria na permeabilidade em mais de 50%;

- **Manutenção corretiva:** para a remoção de sedimentos depositados na estrutura porosa do concreto permeável. Primeiro deve empregar um equipamento de varrição e sucção para a retirada dos detritos que não estejam aderidos às paredes dos poros e, em seguida, utilizar jatos d'água sob pressão para remover total ou parcialmente detritos orgânicos e partículas de solos argilosos aderidos às paredes dos poros. Deve-se ter cuidado com a pressão d'água aplicada para evitar o desprendimento superficial do agregado.

A remoção de partículas e detritos entre a superfície e 25 mm abaixo dela é eficiente para devolver a capacidade de infiltração do pavimento permeável (ASTM, 2013 apud BALBO, 2020).

A ABNT NBR-16.416:2015 estabelece que o pavimento permeável deve sofrer manutenção sempre que existirem condições que interfiram no desempenho mecânico ou hidráulico, sendo que os reparos necessários devem utilizar os mesmos tipos de materiais do pavimento existente. A verificação do desempenho quanto à permeabilidade deve ser realizada periodicamente.

Ainda segundo a ABNT NBR-16.416:2015, quando o pavimento permeável apresentar coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $10^{-5}$  m/s, deve-se executar ações de limpeza (vetada à utilização de produtos químicos ou água contaminada na limpeza do pavimento) com o objetivo de recuperar a capacidade de permeabilidade do pavimento, seguindo as etapas de limpeza a seguir:

- Remoção de sujeiras e detritos da superfície do pavimento por meio de varrição mecânica ou manual;
- Aplicação de jato de água sob pressão;
- Aplicação de equipamento de sucção para retirada de finos;
- Recomposição do material de rejuntamento (quando for o caso).

### 3.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Um sistema construtivo muito adotado no Brasil, principalmente em construções residenciais, é o convencional, ou seja, composto por alvenaria de vedação conjuntamente

com um sistema estrutural composto, por exemplo, de vigas, lajes e pilares, para absorver os esforços da edificação. A implantação deste sistema produz uma enorme quantidade de resíduos nos canteiros de obra, provocando desperdício de material, aumento no tempo das construções, riscos à saúde humana e impactos significativos ao meio ambiente, pois a disposição final destes resíduos, em muitos casos, é ambientalmente inadequada.

### 3.2.1 Definição

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 307 (BRASIL, 2002), os resíduos gerados pelo setor da construção civil são definidos como resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras e, também, os resultantes da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, entre outros materiais.

Segundo Marques Neto (2004), os resíduos de construção podem ser definidos como todo material rejeitado na execução de etapas de obras da construção civil e podem ser provenientes de construções novas, reformas, demolições e obras de infraestrutura.

Conforme a lei que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasil (2010), os resíduos da construção civil (RCC) são aqueles gerados nas obras de construção civil, incluindo os de escavação e preparação de terrenos para obras civis.

### 3.2.2 Volume Produzido

Avaliando na perspectiva nacional, segundo a Abrelpe (2021), os municípios brasileiros coletaram em 2020 cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos de construção, o que representa uma quantidade coletada de 221,2 kg/hab/ano. A região Sudeste contribuiu com 52% do total coletado deste resíduo no país e a região Centro-Oeste teve a maior coleta per capita, com aproximadamente 319 kg/hab/ano.

Para um panorama mundial, Lima (2020) apresentou uma revisão sobre a geração e a taxa de recuperação de RCC em alguns países no mundo, conforme Tabela 10.

Tabela 10- Geração e taxa de recuperação de RCC em diversos países

Continentes	País	Geração de RCC (ton)	Taxa de recuperação de RCC (%)	Fonte
Oceania	Austrália	19 mi	81	HYDER CONSULTING, 2011
Ásia	China	1,13 - 2,36 bi	8	ISLAM et al., 2019
	Coréia do Sul	68 mi	98	YANG et al., 2015
	Japão	75 mi	95	YONITANI, 2015
	Hong Kong	-	92	WU et al., 2019
	Cingapura	1,68 mi	99	NATIONAL ENVIRONMENT AGENCY, 2017
	Índia	530 mi	12	XU et al., 2018
	Bangladesh (Dhaka)	1,28 mi	2	ISLAM et al., 2019
Europa	Áustria	35 mi	87	EUROSTAT, 2016
	Croácia	1,04 mi	76	EUROSTAT, 2016
	Suécia	8 mi	70	WAHLSTRÖM, 2019
	Itália	40 mi	98	EUROSTAT, 2016
	Dinamarca	6,51 mi	90	EUROSTAT, 2016
	Irlanda	-	97	EUROSTAT, 2016
	Reino Unido	65,7 mi	96	EUROSTAT, 2016
	Islândia	-	99	EUROSTAT, 2016
	Alemanha	200 mi	86	EUROSTAT, 2016
	Portugal	-	97	EUROSTAT, 2016
	Chipre	-	57	EUROSTAT, 2016
	Noruega	-	71	EUROSTAT, 2016
	Romênia	-	85	EUROSTAT, 2016
	Finlândia	-	87	EUROSTAT, 2016
	Holanda	30 mi	99	EUROSTAT, 2016
	Estônia	2 mi	97	EUROSTAT, 2016
	Eslováquia	-	54	EUROSTAT, 2016
	França	246 mi	71	EUROSTAT, 2016
	Espanha	30 mi	79	EUROSTAT, 2016
	República Theca	6,34 mi	92	EUROSTAT, 2016
África	África do Sul	22 mi	6	VAN WYK, 2014; DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AFFAIRS, 2018
América	<b>Brasil</b>	84 mi	6	ABRECON, 2015
	EUA	480 mi	76	TOWNSEND et al., 2014;

Fonte: Adaptado de Lima (2020)

Conforme Lima (2020) apresentou na Tabela 10, o Brasil possui baixa taxa de recuperação de resíduos da construção civil em relação a diversos países no mundo. A taxa de

recuperação brasileira é igual à da África do Sul, sendo que o Brasil gera aproximadamente quatro vezes mais resíduo que o país africano, demonstrando a relevância dos trabalhos de pesquisa com RCC.

Córdoba (2010) apresenta estimativas de geração de RCC realizados por pesquisadores para alguns municípios do estado de São Paulo, ressaltando que a massa unitária adotada no estudo foi de 1,20 t/m<sup>3</sup>, ver Tabela 11.

Tabela 11- Estimativa de geração de resíduos da construção civil

<b>Municípios</b>	<b>População (mil)</b>	<b>Massa (t/dia)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Geração <i>per capita</i> (kg/hab.dia)</b>
Catanduva	112	150	125	1,33
Fernandópolis	65	82	68	1,26
Macedônia	4	6	5	1,50
Mirassol	53	77	64	1,45
Olímpia	50	76	63	1,51
São Carlos	227	711	593	3,13
São José do Rio Preto	413	1267	1056	3,07

Fonte: Adaptado de Córdoba (2010)

Conforme Silva e Castro (2019), o município de São José do Rio Preto/SP possui aterros para recebimento e usinas de beneficiamento dos resíduos de construção civil, sendo calculado uma geração de RCC, em 2018, de 1405,23 t/dia.

### 3.2.3 Características do Agregado de RCC

Yap, Chen e Goh, *et al* (2018) mostraram que os agregados de RCC possuem menor resistência ao impacto e ao esmagamento em relação aos agregados naturais, devido à maior tendência de perdas da argamassa aderida sob cargas de abrasão e impacto. Os autores verificaram também uma absorção de água superior do agregado de RCC (8,05%) comparado com a do agregado natural (3,50%).

Conforme Ulloa-Mayorga, Uribe-Garcés e Paz-Gómez, *et al.* (2018) foram adquiridas para a pesquisa duas amostras de agregados de RCC em um depósito de entulho na cidade de

Bogotá na Colômbia uma contendo 66,8% de concreto e 20,8% de argila (agregado cerâmico de tijolo) e a outra 79,2% de concreto e 4,2% de argila (agregado de concreto triturado), sendo as porcentagens restantes compostas de material natural, betuminosos e outros. Observando a variabilidade na composição dos agregados de RCC da construção civil para um mesmo local de coleta das amostras, os autores verificaram que esta variação interferiu na qualidade do produto (concreto permeável), pois uma mistura de concreto permeável com uma das amostras obteve o coeficiente de permeabilidade superior em 15% em relação a mistura com agregado natural, enquanto a outra mistura aumentou em apenas 1%. Portanto, os autores observaram que o tipo de agregado de RCC afetou significativamente o tempo medido para que o volume de água fluísse pelo concreto permeável.

Meddah, Orami, Hago *et al.* (2019) constataram que o tipo, tamanho e combinações granulares de agregados reciclados afetam muito o resultado nas propriedades frescas e endurecidas do concreto permeável, incluindo densidade, resistência e porosidade. Também verificaram que a classificação, tamanho e composição dos agregados (naturais ou reciclados) são parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável.

Anoni, Trigo e Pietrobon (2021) realizaram ensaios em amostras de agregado miúdo oriundos de RCC e nos resultados dos ensaios de torrões de argila foi constatada grande variação entre os valores (entre 4,26% e 14,27%), pois não há controle durante a produção dessas areias, sendo que a argila pode ou não estar presente entre os materiais triturados. Ainda segundo as autoras, o teor de finos também variou consideravelmente entre as amostras, apresentando valores entre 3,91% e 12,29%, permitindo identificar a interferência das características das areias recicladas na resistência à compressão do concreto (aos 28 dias) produzido com este material, apresentando amplitude de 6 MPa nos resultados.

Cominato, Canteras, Gachet *et al.* (2022) produziram concreto permeável utilizando resíduos de construção civil e incorporando sílica ativa na mistura, sendo verificado que a granulometria dos agregados interfere na resistência mecânica do concreto, ou seja, misturas com agregados de RCC com dimensão superior a 6,30 mm resultaram em concretos com maiores resistência à compressão. Os autores também afirmaram que como os agregados de RCC tendem a ser cúbicos, porosos e de textura rugosa, a aderência à pasta de cimento é facilitada, auxiliando também na obtenção de maiores resultados em termos de resistência à compressão.

### 3.2.4 Classificação

A ABNT NBR-10.004:2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, almejando o correto gerenciamento destes resíduos e define que qualquer resíduo que, quando amostrado e submetido a um contato com água destilada, à temperatura ambiente, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, é Classe II B - não perigosos e inertes, portanto, os resíduos da construção civil recebem esta classificação.

Segundo Córdoba (2010), a normatização específica de projeto, implantação e operação de aterros de RCC reforça que apenas uma parte destes resíduos pertence à classificação denominada Classe II B - não perigosos e inertes, pois, de acordo com a ABNT NBR-15.113:2004 esta parte dos resíduos devem ser depositados nos mesmos aterros de resíduos inertes. Neste contexto, uma classificação dos RCC como inertes de uma forma geral poderia ser equivocada, pois seria necessário verificar outros parâmetros de classificação como, por exemplo, origem dos materiais, classificação antes e após a triagem e eficiência no processo de triagem.

Conforme Carneiro *et al.* (2001) são vários os fatores que influenciam nas características dos RCC, sendo eles:

- O nível da indústria da construção civil local;
- Qualidade e treinamento da mão de obra;
- Adoção de programas de qualidade e redução de perdas;
- Existência de programas de incentivo a diminuição da geração de RCC;
- Existência de processos que visam à reutilização e reciclagem na fonte geradora;
- Tipos de materiais da região;
- Desenvolvimento de obras especiais na região (metrô, esgotamento sanitário, restauração de centros históricos, entre outras);
- Desenvolvimento da economia da região;
- Demanda por novas construções.

A Resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002), complementada pelas Resoluções CONAMA 348 (BRASIL, 2004) e CONAMA 431 (BRASIL, 2011), classificou os RCC para efeito de triagem, caracterização, transporte e destinação final em quatro classes distintas:

- **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;
  - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos, argamassa e concreto;
  - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras;
- **Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações como plásticos, papel, metais, vidros, madeiras e gesso;
- **Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- **Classe D** - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção como tintas, solventes e outros, ou aqueles contaminados provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas e outros, bem como, telhas e materiais que contenham amianto ou produtos nocivos à saúde.

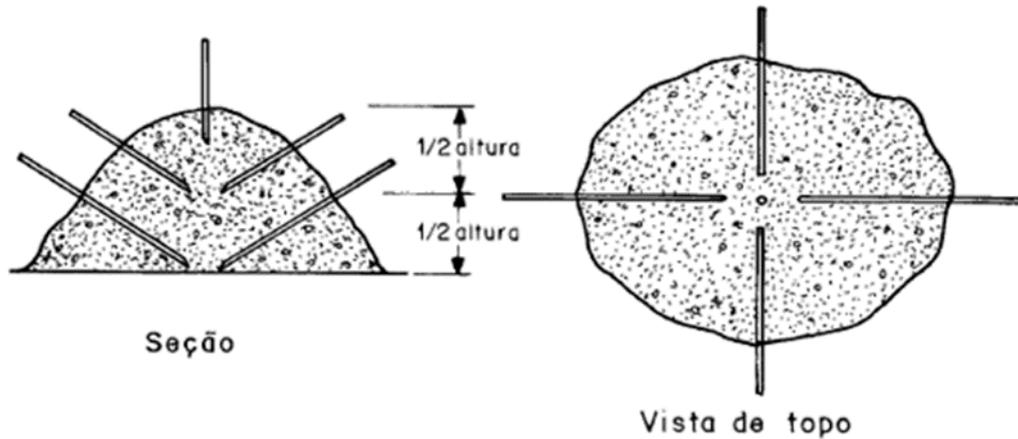
Apesar de classificados como inertes, os RCC possuem exceções conforme exposto anteriormente pela classificação da resolução CONAMA (aqueles classificados como Classe "C" e "D"), pois estes resíduos apresentam características diferentes daqueles considerados inertes, portanto, poderiam estar na Classe I - Perigosos ou Classe II A – Não Perigosos e Não Inertes, de acordo com a ABNT NBR-10.004:2004.

### 3.2.5 Amostragem Segundo a Norma

Conforme a ABNT NBR-15.116:2021, o procedimento da ABNT NBR-10.007:2004 pode ser aplicado para a amostragem em pilhas ou em estoques de produção de agregados de RCC, não dependendo da dimensão dos grãos. A coleta do resíduo para ensaio deve ser

realizada na pilha em vários pontos distintos (retirar de pelo menos três seções), evitando a retirada na base e na superfície, de acordo com a Figura 12.

Figura 12- Pontos de retiradas de amostras de agregado de RCC em pilha



Fonte: ABNT NBR-15.116 (2021)

Ainda de acordo com a ABNT NBR-15.116:2021, as amostras parciais devem representar todas as possíveis variações do material, quanto à sua natureza e características, bem como, quanto às condições em que são encontradas, podendo assim resultar na efetiva representatividade do material. A amostra de campo deve ser formada por amostras parciais e deve ser reduzida às quantidades prescritas pelos respectivos métodos de ensaio, resultando na amostra de ensaio a ser enviada para o laboratório, ver quantitativos na Tabela 12.

Tabela 12- Quantidade mínima da amostra de ensaio (em massa)

Tamanho nominal do agregado (mm)	Amostra de campo (kg)	Amostra de ensaio (kg)
< 4,8	40	1
> 4,8 < 9,5	40	5
> 9,5 < 19,0	40	10
> 19,0 < 37,5	75	25
> 37,5 < 75,0	150	50
> 75,0 < 125,0	225	70

Nota1: Para agregados com dimensão menores que 75 mm, a coleta na pilha pode ser com amostrador de grãos ou *trier* e, com dimensões maiores, pode ser com pá;

Nota 2: Em função da maior variabilidade do agregado reciclado, a massa coletada é maior do que a de agregado natural.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR-15.116 (2021)

### 3.2.6 Aplicações do RCC

Os resíduos da construção civil, classificados como Classe A, podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de reservação de material para usos futuros, conforme Schalch *et al.* (2019).

#### 3.2.6.1 Concreto

O concreto pode ter função estrutural ou não estrutural nas obras de engenharia, ressaltando que, até 24/06/2021, apenas era normatizada a utilização de RCC para a produção de concreto sem função estrutural de acordo com a ABNT NBR-15.116:2004, mas que a partir desta data, a ABNT NBR-15.116:2021 (2ª edição) contempla o uso de RCC para confecção de concreto com função estrutural com algumas ressalvas.

Os requisitos específicos para utilização de agregado de RCC como insumo em concreto de cimento Portland, com ou sem função estrutural, artefatos pré-fabricados, argamassas e similares, devem seguir os requisitos e as recomendações da ABNT NBR-15.116:2021, ilustradas na Tabela 13 e na Tabela 14.

Tabela 13- Requisitos dos agregados totais reciclados e compostos para uso em produtos cimentícios

	<b>Ensaio</b>	<b>Limite (%)</b>	<b>Requisito</b>	<b>Método de ensaio</b>
Materiais indesejáveis <sup>a</sup>	Teor	< 1	Anexos A e B <sup>b</sup> ABNT NBR	Anexos A e B <sup>b</sup>
Argila em torrões	Teor	< 3	7.211 ABNT NBR	ABNT NBR 7.218
Sulfatos	Teor	< 0,1	7.211	ABNT NBR 9.917
Cloretos	Teor para concreto simples	< 0,2	ABNT NBR 7.211	ABNT NBR 9.917
	Teor para concreto armado	< 0,1		
	Teor para concreto protendido	< 0,01		
Absorção de água	Classe ARCO	< 7	item 5.3	ABNT NBR 16.917
	Classe ARCI ou ARM	< 12	item 5.3	ABNT NBR 16.916
Finos (<0,075 mm)	Teor para concreto protegidos de desgaste superficial	< 12	ABNT NBR 7.211	ABNT NBR NM- 46
	Teor para concreto submetidos a desgaste superficial	< 10		

Nota a - são considerados materiais indesejáveis: natureza orgânica (madeira, plástico, betume) e natureza inorgânica (vidros, vidrados cerâmicos, gesso)

Nota b - são anexos apresentados na referida norma

Fonte: Adaptado da ABNT NBR-15.116 (2021)

Tabela 14- Recomendações dos agregados totais reciclados e compostos para uso em materiais cimentícios

Ensaio		Limite Sugerido	Requisito	Método de ensaio
Teor de cerâmica vermelha ou branca não polida	Classe ARCO	0%	Anexos A e B	Anexos A e B
	Classe ARCI	< 10%		
	Classe ARM	< 40%		
Granulometria	Agregado graúdo	4,75/12,5mm	ABNT NBR 7.211	ABNT NBR NM-248
		9,5/25mm		
		19/31,5mm		
		37,5/75mm		
	Agregado miúdo	25/50mm	ABNT NBR 7.211	ABNT NBR NM-248
Zona utilizável	Zona ótima			

Fonte: Adaptado da ABNT NBR-15.116 (2021)

A ABNT NBR-15.116:2021 ainda coloca como requisitos ao uso de agregados reciclados: quando o agregado reciclado for utilizado em compósitos ou produtos com função estrutural é indicado unicamente utilizar a subclasse ARCO (agregado reciclado de concreto) e a substituição de agregado natural por agregado reciclado deve ser limitada a 20% da massa de agregados totais e aos concretos das classes de agressividade I e II da ABNT NBR-6.118:2014; quando os agregados reciclados forem utilizados em concretos de cimento Portland destinados a usos não estruturais é indicado utilizar as classes ARCO, ARCI (agregado reciclado cimentício) e ARM (agregado reciclado misto), em teores de substituição de até 100% da massa de agregados naturais e todos artefatos de cimento Portland produzidos com agregado reciclado em substituição ao agregado natural devem atender a todos os requisitos estabelecidos pelas normas específicas desses produtos, independentemente dos teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado.

Atualmente existem diversos trabalhos técnicos que apresentam resultados satisfatórios no emprego de RCC para produção de concreto com ou sem função estrutural, como exemplo Barros e Fucale (2016), que demonstraram que apesar dos agregados miúdos de RCC serem mais heterogêneos que o agregado miúdo natural e apresentarem maior absorção de água, propriedades importantes para a dosagem de concreto, existe viabilidade da sua utilização na confecção de concretos sem função estrutural, pois o concreto produzido com 100% de agregado miúdo de RCC apresentou uma resistência à compressão axial e uma resistência à tração por compressão diametral, maiores que o concreto de referência, 33,3% e 18,1%, respectivamente.

Com base em resultados experimentais, Emad *et al.* (2019) demonstraram que a utilização de agregados de RCC é benéfica em comparação com o agregado natural, na produção de concreto de alta resistência.

Conforme Anoni, Trigo e Pietrobon (2021), mesmo com a variabilidade dos agregados miúdos provenientes de resíduos de construção, é possível, dentro de alguns limites e requisitos ainda a serem definidos em norma, produzir concretos com resistência mecânica suficiente para aplicação com função estrutural.

### 3.2.6.2 Blocos e artefatos diversos

Segundo Zucca *et al.* (2018) a utilização de resíduos da construção como agregado graúdo, em substituição total ao agregado natural, na produção de blocos de alvenaria de vedação é viável, pois reduz os custos, sendo os resultados satisfatórios de resistência mecânica e absorção de água.

O bloco de concreto produzido com agregados (miúdos e graúdos) de RCC pode ser utilizado como bloco estrutural, pois atende as especificações da norma específica com valores de resistência superiores a 3,0 MPa (SILVERIO, 2019).

Usinas de beneficiamento de resíduos de construção civil, em parcerias com o poder público, podem produzir diversos artefatos (guias e sarjetas, bancos e mesas de praça, caixas de passagem, canaletas para drenagem de água pluvial, pilar de alambrado, etc.) de concreto não estrutural utilizando o RCC como agregado (miúdo e/ou graúdo) na mistura. Estes artefatos são utilizados no próprio município gerador do resíduo, fornecendo um destino ambientalmente adequado aos mesmos, trazendo economia aos cofres públicos e produzindo empregos locais. Como exemplo, cita-se a usina de reciclagem de RCC municipal localizada em São José do Rio Preto/SP, vista na Figura 13.

Figura 13- Artefatos de concreto produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto/SP



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.6.3 Pavimentação

A utilização de RCC nas obras de pavimentação é uma realidade há algumas décadas, mas ainda, em muitos casos, está sendo subaproveitada, pois se aplica boa parte deste resíduo em recuperação e manutenção de estradas rurais, ou seja, apenas é aplicado ao solo, sem nenhum controle técnico ou projeto de pavimentação.

Os resíduos reciclados da construção civil, além da utilização na camada de revestimento do pavimento permeável, podem ser empregados na execução de camadas de suporte de pavimentos, conforme requisitos contidos na ABNT NBR-15.115:2004, sendo que os materiais reciclados utilizados devem atender aos seguintes requisitos:

- Deve evitar a presença de madeiras, vidros, plásticos, gessos e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes, classificados como Classe “B”, “C” e “D” pela Resolução CONAMA nº 307 (2002);

- O agregado reciclado deve apresentar curva granulométrica bem graduada, não uniforme e com coeficiente de uniformidade  $C_u \geq 10$  ( $C_u = D_{60} / D_{10}$ );
- A porcentagem passante na peneira 0,42 mm deve ficar entre 10% e 40%;
- Os agregados reciclados devem ser classificados quanto ao tipo de emprego possível na execução de camadas de pavimentos, segundo parâmetros de Índice de Suporte Califórnia (ISC):
  - material para execução de reforço de subleito:  $CBR \geq 12\%$  e expansão  $\leq 1,0\%$  (energia de compactação normal);
  - material para execução de sub-base:  $CBR \geq 20\%$  e expansão  $\leq 1,0\%$  (energia de compactação intermediária);
  - material para execução de base de pavimento:  $CBR \geq 60\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$ ; (é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com  $N \leq 10^6$  repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto).
- No caso de materiais que não atendam às exigências descritas no item anterior, os mesmos podem ser estabilizados granulometricamente ou com adição de cimento e/ou cal hidratada e submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada;
- A porcentagem máxima admissível, em massa, para grãos lamelar, é de 30%;
- Dimensão característica máxima dos grãos: 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada;
- Materiais indesejáveis de grupos distintos: máximo de 3% em massa;
- Materiais indesejáveis de mesmo grupo: máximo de 2% em massa;
- Não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

Estudos têm apresentado resultados positivos com relação à utilização dos RCC aplicados em pavimentação, como Pereira *et al.* (2021) que analisou a viabilidade técnica no uso de resíduos de construção em obras de pavimentação do Distrito Federal/DF. Os autores misturaram, em diferentes proporções, argila e resíduos de construção com três

granulometrias distintas e demonstraram que todas as misturas ensaiadas atenderam aos requisitos mínimos de norma para uso em camadas de pavimentação, ou seja, com Índice de Suporte Califórnia (ISC) maior que 12%, expansibilidade menor que 0,5%, dimensão máxima menor que 63 mm e material passante na peneira 0,42 mm no intervalo de 10 a 40%, Tabela 15. Portanto, comprovaram experimentalmente, em laboratório, a viabilidade do uso de agregados reciclados em camadas de pavimentação em obras urbanas.

Tabela 15- As misturas ensaiadas e os resultados de ISC e expansibilidade

Amostra	Mist. 1		Mist. 2		Mist. 3		Mist. 4	Resultados de acordo com requisitos de norma (%)		
	Argila	Pó de brita	Argila	Brita 1	Argila	Brita 2	Argila	ISC (CBR)	Expansibilidade	Proporção agregado maior dimensão
01	80%	20%						13,7%	0,00%	3,8% pedregulho
02	70%	30%						19,4%	0,00%	3,2% pedregulho
03	60%	40%						30,0%	0,00%	9,8% pedregulho
04			80%	20%				14,0%	0,00%	20,5% pedreg.
05			70%	30%				25,3%	0,04%	38,3% pedreg.
06			60%	40%				30,3%	0,03%	39,8% pedreg.
07					80%	20%		17,1%	0,00%	20,4% pedreg.
08					70%	30%		21,9%	0,00%	30% pedregulho
09					60%	40%		20,1%	0,00%	39,7% pedreg.
10							100%	17,8%	0,03%	0% pedregulho

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2021)

### 3.2.7 Qualidade do Agregado Produzido com RCC

É possível a utilização dos resíduos da construção em diversos materiais e serviços do setor da construção civil, inclusive na área estrutural, mas uma questão preocupante e como fator limitante ao uso deste resíduo para fins mais nobres na construção é possuir uma composição heterogênea, devido principalmente ao processo produtivo do agregado, podendo comprometer a qualidade do produto (agregado), ou seja, inviabilizando a produção de materiais a partir de agregados de RCC.

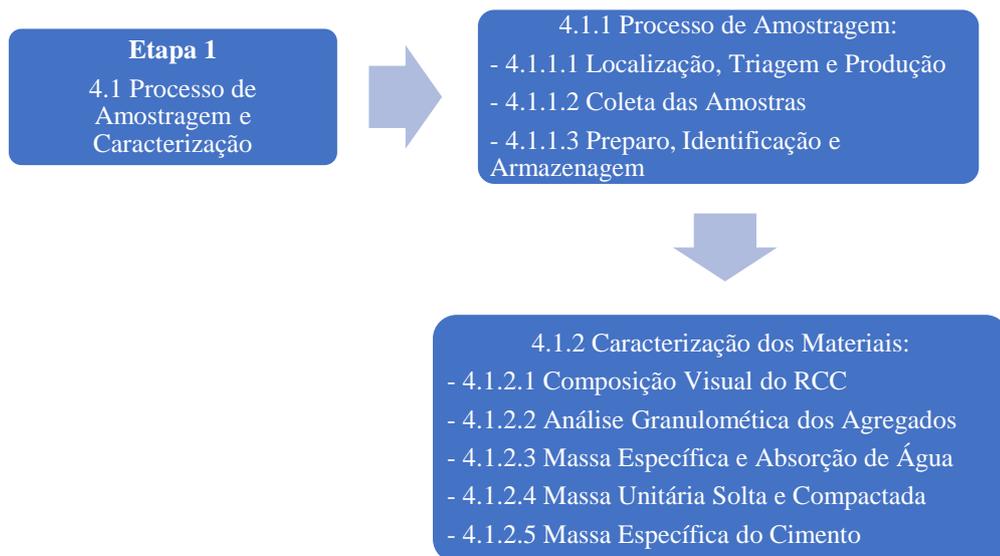
Portanto, este trabalho contempla verificar a influência da composição do agregado produzido com RCC nas características do concreto permeável, como forma de contribuir para a análise e discussão sobre a qualidade e controle deste resíduo na construção civil, pois existe uma deficiência de trabalhos técnicos com esta abordagem.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo aborda os materiais e métodos empregados no desenvolvimento da pesquisa em escala experimental realizada no laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, Campus Votuporanga.

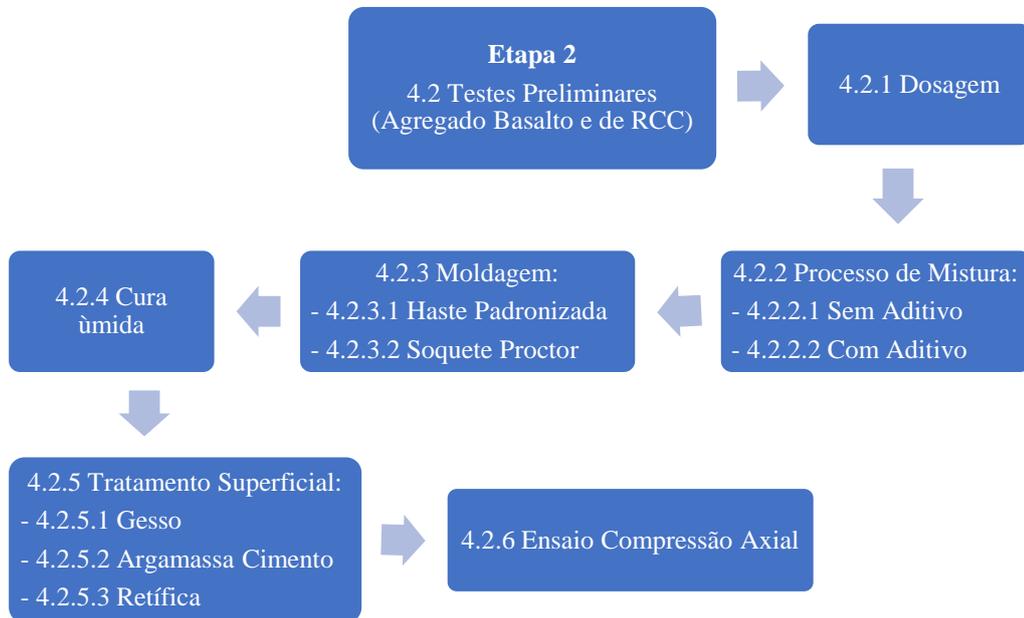
Para atingir os objetivos geral e específicos deste trabalho este capítulo foi dividido em 04 etapas metodológicas: Etapa 1 – Processo de Amostragem e Caracterização (Figura 14); Etapa 2 – Testes Preliminares (Figura 15); Etapa 3 – Ensaio Preliminares (Figura 16) e Etapa 4 – Ensaio no Concreto Permeável (Figura 17).

Figura 14- Processo de amostragem do RCC e caracterização dos materiais (Etapa 1)



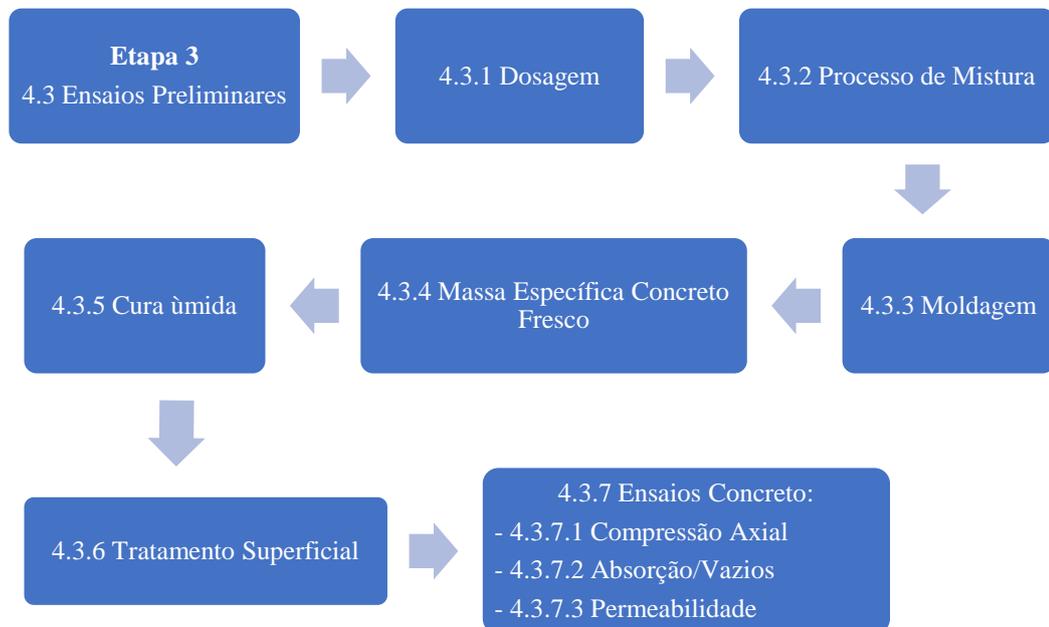
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15- Testes preliminares (Etapa 2)



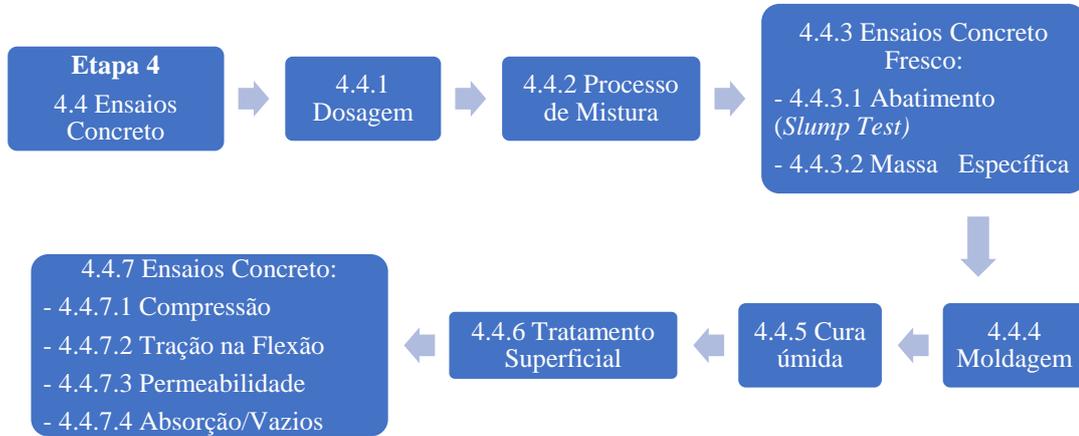
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16- Ensaio preliminares (Etapa 3)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17- Ensaios no concreto permeável (Etapa 4)



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.1 PROCESSO DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

### 4.1.1 Processo de Amostragem

Neste tópico serão apresentados os procedimentos adotados para a coleta das amostras de RCC na usina de beneficiamento.

#### 4.1.1.1 Localização, triagem e produção

Os agregados graúdos (pedrisco) reciclados de resíduos de construção civil (RCC) utilizados neste trabalho são provenientes de uma usina do setor privado que beneficia os RCC gerados na cidade de Votuporanga/SP. Após a coleta do entulho nos canteiros de obra, o resíduo é transportado por caçambas até a usina. No local é feita uma primeira triagem manual dos resíduos para retirada de materiais orgânicos e outros objetos indesejados, conforme ilustra Figura 18.

Figura 18- Transporte utilizando caçamba e triagem manual dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor

O material selecionado, classificado como Classe A segundo CONAMA 307 (BRASIL, 2002), passa pelas seguintes etapas para produção de agregados de RCC:

- o material é molhado e despejado no alimentador do equipamento;
- uma esteira leva até uma peneira para retirada parcial do solo;
- o resíduo é direcionado para uma outra esteira e passa por nova triagem manual (nem sempre está em operação);
- os materiais ferrosos são retirados com auxílio de um ímã;
- o resíduo entra no britador e passa por um sistema de peneiras, produzindo agregados de diversas granulometrias (areia, pedrisco, brita 1 e rachão).

A Figura 19 ilustra as etapas de produção de agregado de RCC na usina em estudo, conforme mencionado anteriormente.

Figura 19- Etapas de produção de agregado de RCC na usina em estudo: a) entrada/alimentador do equipamento; b) esteira separando solo do RCC; c) segunda triagem manual e d) britador despejando resíduos nas peneiras



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.2 Coleta das amostras

A operação da usina de beneficiamento de RCC estudada estipulava a retirada diária do material produzido em cada peneira (pilha), transportando-o até montes separados por tamanho de grãos para armazenamento, portanto, para este trabalho, como forma de garantir a coleta das amostras de RCC sempre em pilhas distintas, determinou-se a retirada das amostras de RCC com intervalo mínimo de um dia entre cada uma.

As amostras de agregados graúdos de RCC, neste trabalho denominadas de agregado de resíduo (AR), foram coletadas durante o mês de outubro de 2020 (início das coletas dia 05/10/2020 e término dia 30/10/2020). Foram coletadas 03 (três) amostras pontuais semanais sendo: 01 (uma) amostra às segundas-feiras, 01 (uma) amostra às quartas-feiras e 01 (uma) amostra às sextas-feiras, todas no período matutino, por volta das oito horas, totalizando 12 (doze) amostras extraídas da usina de beneficiamento.

As amostras foram coletadas na saída do equipamento de peneiramento em vários pontos da pilha/monte, acondicionadas e identificadas em sacos plásticos para transporte até o laboratório. A quantidade coletada foi de aproximadamente 140 kg/dia.

A Figura 20 apresenta o local de coleta das amostras na usina, o detalhe do agregado de RCC e o acondicionamento da amostra para o transporte.

Figura 20- Detalhes da coleta de RCC na usina: a) pilha de RCC na saída do equipamento; b) local das coletas (pilha formada pelo RCC), c) detalhe de uma amostra e d) amostra acondicionada para transporte



Fonte: Elaborado pelo autor

Na coleta das amostras pode-se constatar visualmente, principalmente pela coloração do agregado, diferenças na composição das mesmas, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21- Amostras coletadas: a) AR 01 – 05/10; b) AR 02 – 07/10; c) AR 03 – 09/10; d) AR 04 – 13/10; e) AR 05 – 14/10; f) AR 06 – 16/10; g) AR 07 – 19/10; h) AR 08 – 21/10; i) AR 09 – 23/10; j) AR 10 – 26/10; k) AR 11 – 28/10 e l) AR 12 – 30/10



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.1.3 Preparo, identificação e armazenamento das amostras

No laboratório, o material coletado em cada dia era espalhado e misturado sobre um piso de concreto com a finalidade de tornar homogênea a amostra, conforme apresentado na

Figura 22. Após a homogeneização, retirou-se, aproximadamente, 40 kg de agregado para realização dos ensaios de caracterização e 13 kg de cada amostra pontual diária para composição da amostra composta. Finalizado este processo, as amostras eram novamente ensacadas e identificadas.

Figura 22- Amostra espalhada no piso do laboratório e misturada manualmente



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao término das coletas, as quantidades separadas das amostras diárias (definidas como agregado de resíduo – AR) foram espalhadas no piso do laboratório e misturadas, ou seja, formou-se a décima terceira amostra (amostra de resíduo composta, denominada AR 13) (Figura 23). Após a mistura, retiraram-se 40 kg para caracterização do material e o restante foi ensacado e identificado.

Figura 23- Parcelas das amostras diárias para obtenção da amostra composta e o acondicionamento final



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2 Caracterização das Amostras de Agregados e do Cimento

Para caracterização dos agregados grãos foram utilizadas doze amostras coletadas e uma amostra composta decorrente da mistura de uma parcela de cada uma das 12 amostras coletadas de RCC, denominadas de amostras de agregados de resíduos (AR), e uma amostra de agregado natural de basalto (AN).

O ensaio de composição dos agregados grãos de RCC por análise visual foi realizado apenas nas amostras de agregado de RCC devido a procedência e natureza do material e o cimento utilizado no ensaio de determinação da massa específica foi o cimento CP V ARI.

##### 4.1.2.1 Composição dos agregados grãos de RCC por análise visual

O ensaio de composição dos agregados grãos de RCC seguiu os procedimentos e orientações da ABNT NBR-15.116:2004 (norma vigente à época da realização do ensaio).

De cada amostra coletada de resíduo e da amostra composta foram retirados 4,0 kg de material, para a realização deste ensaio, que foram lavados em água corrente, utilizando-se peneira de abertura 4,8 mm para a retirada do material fino dos agregados e, em seguida, secadas em estufa até a constância de massa, procedimentos ilustrados na Figura 24 e na Figura 25.

Figura 24- Pesagem do material e a peneira de abertura 4,8 mm



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25- Lavagem das amostras em água corrente e secagem em estufa



Fonte: Elaborado pelo autor

Pesou-se cada amostra para obtenção da massa total e, logo após, realizou-se a separação visual/manual dos fragmentos de acordo com os seguintes critérios:

- Grupo 1 ( $G_1$  = fragmentos com pasta de cimento em mais de 50% do volume);
- Grupo 2 ( $G_2$  = fragmentos constituídos por rocha em mais de 50% do volume);
- Grupo 3 ( $G_3$  = fragmentos de cerâmica branca ou vermelha em mais de 50% do volume);
- Grupo 4 ( $G_4$  = fragmentos de materiais não minerais de natureza orgânica como madeira e plástico, e de contaminantes como vidro, gesso e vidrados cerâmicos).

Determinou-se a massa de cada grupo da amostra e suas respectivas porcentagens foram calculadas dividindo-se os valores de massa de cada grupo pela massa total da amostra. É classificado como agregado reciclado de concreto (ARCO) as amostras cujo teor de cerâmica vermelha ou branca não polida ( $G_3$ ) for igual a 0%, quando a porcentagem do grupo  $G_3$  for menor que 10% é classificado como agregado reciclado cimentício (ARCI) e classificado como agregado reciclado misto (ARM) quando a porcentagem do  $G_3$  for menor que 40%.

#### 4.1.2.2 Análise granulométrica

O ensaio de granulometria dos agregados é prescrito pela ABNT NBR-248:2003, sendo os procedimentos apresentados na sequência:

- retirou-se de cada amostra aproximadamente 3,0 kg de material para realização de 03 (três) ensaios (mínimo recomendado pela norma para o tamanho dos grãos ensaiados é de 1,0 kg/material/ensaio);
- secou-se o material em estufa até a massa permanecer constante;
- montou-se o conjunto de peneiras em ordem decrescente e introduzir o material sobre a última peneira;
- realizou-se a agitação mecânica da amostra;
- retirou-se a peneira superior e proceder a agitação manual, com tampa e fundo, até que, após um minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido;
- colocou-se o material retido na peneira em um recipiente;
- determinou-se a massa retida em cada peneira, inclusive no fundo (o somatório deve ser igual a massa inicial, sendo permitida uma variação de 0,3%);
- para cada uma das peneiras, calculou-se a porcentagem retida e acumulada, com aproximação de 0,1% (os ensaios, de uma mesma amostra, devem apresentar a mesma dimensão máxima característica e para cada peneira, a diferença entre a massa nos ensaios não deve ultrapassar +/-4,0%). Caso não sejam atendidas essas exigências, repetir o ensaio.

A dimensão máxima característica corresponde a abertura da malha da peneira em que a porcentagem retida acumulada seja igual ou imediatamente inferior a 5,0%. O módulo de finura é definido como somatório das porcentagens retidas acumuladas das peneiras de série normal dividido por 100. Os procedimentos realizados nos ensaios de granulometria são ilustrados na Figura 26.

Figura 26- Procedimentos para ensaio de granulometria do agregado graúdo



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2.3 Massa específica e absorção de água

O ensaio para determinação da massa específica e absorção de água do agregado graúdo seguiu as orientações da ABNT NBR-NM-53:2009. Retiraram-se 6 kg de material de cada amostra para realização de 3 ensaios por amostra.

Os procedimentos realizados são descritos a seguir:

- lavar o material coletado para remover pó e outras substâncias;
- secar o material em estufa até constância de massa;
- pesar o material e colocar o agregado dentro da água à temperatura ambiente por um período de  $24 \pm 4$ h;
- retirar da água e colocar numa bandeja de plástico para que toda água superficial fosse eliminada com auxílio de um secador de cabelo;
- pesar a amostra ( $m_s$  – massa do agregado saturado com superfície seca);
- colocar o agregado no recipiente com tela, submergir em água mantida a uma temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ;

- pesar com balança hidrostática ( $m_a$  – massa em água).

Os procedimentos são mostrados na Figura 27.

Figura 27- Procedimentos para realização do ensaio de massa específica e absorção de água



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2.4 Massa unitária solta e compactada

O ensaio é regido pela ABNT NBR NM-45:2006 e o procedimento será descrito resumidamente a seguir, sendo o Método A utilizado para massa unitária compactada e o Método C para massa unitária solta. Foram extraídos, aproximadamente, 30 kg de cada amostra para efetuar 03 (três) ensaios por amostra.

Para o Método A:

- secou-se o agregado até obtenção de massa constante;
- determinou-se a massa do recipiente vazio ( $m_r$ );
- encheu-se o recipiente com agregado em 3 camadas com 25 golpes aplicados em cada camada, utilizando haste metálica padronizada;
- nivelou-se a última camada com auxílio de régua;
- determinou-se a massa do recipiente + agregado ( $m_{ar}$ ).

A Figura 28 apresenta os procedimentos para a realização do ensaio de massa unitária compactada.

Figura 28- Procedimentos para ensaio de massa unitária compactada



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o Método C:

- secou-se o agregado até obtenção de massa constante;
- determinou-se a massa do recipiente vazio ( $m_r$ );
- encheu-se o recipiente com a concha, de uma altura que não supere 50 mm da borda;
- nivelou-se a superfície do agregado com auxílio de uma régua;
- determinou-se a massa do recipiente + agregado ( $m_{ar}$ ).

A Figura 29 ilustra os procedimentos para execução do ensaio de massa unitária solta.

Figura 29- Procedimentos para ensaio de massa unitária solta



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2.5 Massa específica do cimento

O cimento utilizado foi o CP V ARI disponível em loja de material para construção na cidade de Votuporanga. O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR-16.605:2017, utilizando o frasco de Le Chatelier e como reagente foi utilizado querosene isento de água. Os procedimentos são ilustrados na Figura 30 e descritos a seguir:

- encheu-se o frasco com o líquido não reagente utilizando um funil de haste longa até as marcas entre zero e  $1 \text{ cm}^3$ ;
- secou-se o interior do frasco acima do nível do reagente;
- colocou-se o frasco em banho de água em posição vertical por 30 minutos, mantendo-se a temperatura da água, aproximadamente, igual à temperatura ambiente dentro do intervalo de tolerância de  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- registrou-se a primeira leitura do volume ( $v_1$ );
- pesou-se, aproximadamente, 60 g de cimento e introduzi-lo no frasco com auxílio de um funil de haste curta;
- tampou-se o frasco e girá-lo na posição inclinada, evitando a formação de bolhas;
- colocou-se novamente o frasco em banho de água em posição vertical por 30 minutos, mantendo-se a temperatura da água, aproximadamente, igual à temperatura ambiente dentro do intervalo de tolerância de  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- registrou-se o volume final ( $v_2$ );
- a massa específica foi determinada pela relação entre a massa de cimento ensaiado e a diferença entre os volumes lidos no frasco ( $v_2 - v_1$ ).

Figura 30- Procedimentos para ensaio de massa específica do cimento



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2 TESTES PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO E RCC

Para verificar o melhor procedimento a ser adotado no desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais, fizeram-se alguns testes preliminares para determinação da melhor forma de adensamento (haste metálica padronizada ou soquete Proctor), o melhor tratamento superficial para realização do ensaio de compressão axial (gesso, argamassa de cimento ou retífica), bem como a necessidade ou não de se utilizar aditivo plastificante na mistura.

Para preparo do concreto permeável, foi utilizado o cimento CP V ARI, aditivo redutor de água MIRA<sup>®</sup>SET 29, pedrisco natural (basalto) e RCC coletado na mesma usina em que as amostras usadas no presente trabalho foram adquiridas. Ressalta-se que todos os materiais dos testes preliminares estavam disponíveis no laboratório do IFSP/Campus Votuporanga e foram utilizados sem a realização de ensaios de caracterização.

#### 4.2.1 Dosagem

Como não foi o objetivo deste trabalho a determinação da melhor dosagem para o concreto permeável utilizando-se resíduo como agregado, pela ausência de um método de dosagem estabelecido na literatura e diversos autores adotarem procedimentos distintos e não comparáveis, neste estudo foi adotado, inicialmente, o traço utilizado por Batezini (2013) e Oliveira (2017), pois apresentaram resultados satisfatórios em seus trabalhos e seus parâmetros de dosagem estão próximos das recomendações da norma americana, ou seja, foi adotado o traço de 1,00:4,44, com uma relação água/cimento (A/C) de 0,30 e com 0,45% de aditivo em relação a massa do cimento utilizado, conforme Tabela 16.

Tabela 16- Dosagem adotada inicialmente do concreto permeável

<b>Cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado graúdo de RCC (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>A/C</b>	<b>Aditivo (%)</b>
374,00	1660,00	0,30	0,45

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2 Processo de Mistura

Neste teste preliminar foram realizadas 03 (três) misturas para o preparo do concreto permeável sendo: duas misturas sem aditivo (uma utilizando somente o basalto e uma apenas o RCC como agregado graúdo) e uma mistura com aditivo e somente agregado graúdo de RCC.

##### 4.2.2.1 Concreto permeável sem aditivo

Para o preparo do concreto permeável sem aditivo seguiram-se os procedimentos:

- secou-se o agregado graúdo em estufa;
- pesaram-se as quantidades dos materiais a serem utilizados;
- realizou-se a imprimação da betoneira com água;
- adicionou-se todo o agregado graúdo e misturou por 1 minuto;
- adicionou-se 50% do cimento e 30% da água e misturou por 1,5 minutos;

- realizou-se uma análise visual da coesão;
- adicionou-se o restante do cimento e da água e misturou por 1,5 minutos;
- realizou-se uma análise táctil da coesão;
- adicionou-se mais água na mistura até a obtenção da coesão no concreto (a relação água/cimento passou de 0,30 para 0,65).

#### 4.2.2.2 Concreto permeável com aditivo

Para o preparo do concreto permeável com aditivo foram seguidos os procedimentos:

- secou-se o agregado graúdo em estufa;
- pesaram-se as quantidades dos materiais a serem utilizados;
- realizou-se a imprimação da betoneira com água;
- adicionou-se todo o agregado graúdo e misturou por 1 minuto;
- adicionou-se 50% do cimento e 30% da água e misturou por 1,5 minutos;
- realizou-se uma análise visual da coesão;
- adicionou-se o restante do cimento e da água e misturou por 1,5 minutos;
- adicionou-se o aditivo e misturou por 2 minutos;
- realizou-se uma análise táctil da coesão (A/C mantida em 0,30) (Figura 31).

Figura 31- Análise táctil de coesão do concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.2.3 Moldagem

Foram moldados 18 corpos de prova (CP), sendo: 06 (seis) utilizando o basalto (100% como agregado para controle) e sem aditivo, 06 (seis) usando RCC (100% como agregado na mistura) e sem aditivo e 06 (seis) com RCC (100% como agregado) e com aditivo. Os corpos de prova foram moldados em formas metálicas cilíndricas medindo 100 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento, conforme as especificações da ABNT NBR-5.738:2016 (Figura 32).

Figura 32- Formas metálicas cilíndricas



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.3.1 Haste metálica padronizada

Foram moldados 06 (seis) corpos de prova com basalto, 06 (seis) corpos de prova com RCC (sem aditivo) e 06 (seis) corpos de prova com RCC (com aditivo), sendo que o preenchimento realizado de cada um dos corpos de prova foi realizado em duas camadas e o adensamento feito com 12 golpes manuais por camada, utilizando a haste metálica padronizada seguindo as especificações da ABNT NBR-5.738:2016. Os equipamentos utilizados são ilustrados na Figura 33.

Figura 33- Forma cilíndrica e a haste padronizada



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.3.2 Soquete de Proctor

Nos 03 (três) corpos de prova restantes, usando RCC (sem aditivo), o preenchimento das formas foi realizado em duas camadas, sendo adensadas com 12 golpes do soquete de Proctor por camada (procedimento adotado pelos autores para efeito de padronização na quantidade de golpes por camada). Na Figura 34 estão ilustrados os equipamentos.

Figura 34- Forma cilíndrica e soquete Proctor



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.4 Cura Úmida

Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos com um plástico na sua superfície livre para realização da cura inicial e, após 24 horas, foram retirados da forma, identificados e colocados em um tanque com água e cal para cura úmida até os 07 (sete) dias de idade, conforme pode-se observar na Figura 35.

Figura 35- Corpos de prova imersos em tanque com água e cal



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.5 Tratamento Superficial nos Corpos de Prova

Para verificar a interferência ou não do tipo de tratamento superficial nos ensaios e um possível desprendimento de material (agregado) na superfície dos corpos de prova, foi realizado o capeamento em 04 (quatro) corpos de prova moldados com RCC. Os demais foram apenas retificados.

##### 4.2.5.1 Capeamento com gesso

Foram capeados 02 (dois) corpos de prova com gesso, sendo 01 (um) corpo de prova com RCC (sem aditivo) e outro com RCC (com aditivo) (Figura 36).

Figura 36- Corpos de prova capeados com gesso



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.5.2 Capeamento com argamassa de cimento

Foram capeados 2 (dois) corpos de prova com argamassa de cimento, sendo 01 (um) corpo de prova com RCC (sem aditivo) e outro com RCC (com aditivo) (Figura 37).

Figura 37- Corpos de prova capeados com argamassa de cimento



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.5.3 Retífica

Foram retificados 14 corpos de prova nas duas faces, sendo 04 (quatro) corpos de prova com RCC (sem aditivo), 04 (quatro) com RCC (com aditivo) e 06 (seis) utilizando o basalto na mistura (Figura 38).

Figura 38- Equipamento de retífica e corpo de prova de RCC retificado



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.6 Ensaio de Compressão Axial

O ensaio de compressão axial seguiu as orientações da ABNT NBR-5739:2018, descrito no item 3.1.3.1, sendo que os tratamentos superficiais (capeamento com gesso/argamassa ou retífica) foram executados um dia antes da realização do ensaio.

Os corpos de prova foram medidos, tanto no diâmetro, quanto na altura. Estes parâmetros foram utilizados pelo software que comanda a prensa para realização do ensaio de compressão (Figura 39). Todos os corpos de prova foram rompidos com idade de 7 dias.

Figura 39- Ensaio de compressão axial dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3 ENSAIOS PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO

Os testes preliminares, utilizando agregados natural e de RCC para confecção de concreto permeável, foram importantes para estabelecer procedimentos e requisitos a serem adotados neste trabalho como: a necessidade de utilização de aditivo superplastificante na mistura, o adensamento dos corpos de prova por meio de haste metálica padronizada e a viabilidade na utilização de retífica como tratamento superficial dos corpos de prova.

Definidos os procedimentos para moldagem e preparo para os ensaios dos corpos de prova, realizou-se ensaios preliminares no concreto permeável com basalto, em que foram avaliadas a resistência à compressão, absorção de água e índice de vazios, bem como a determinação do coeficiente de permeabilidade. Cabe destacar que para estes ensaios, utilizou-se apenas o agregado basáltico (por conta da limitação das amostras de RCC), cimento CP V ARI e aditivo superplastificante de alto desempenho Sika<sup>®</sup> ViscoCrete<sup>®</sup>-5700

que atende os requisitos da norma ABNT NBR-11.768:2019 (ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO ADITIVO SIKA), doado pelo fabricante.

#### 4.3.1 Dosagem

Seguiram-se as recomendações do *American Concrete Institute* (2010), conforme já apresentado pela Tabela 1, adotando-se a proporção de cimento, agregado graúdo e água de 1,00:4,00:0,34, em massa.

Para determinação do consumo de cimento ( $C_c$ ), utilizou-se a Eq. 5, considerando-se um índice de vazios de 25% do volume de concreto, massa específica do cimento igual a  $3,09 \text{ g/cm}^3$  (site do fabricante), massa específica do agregado basalto de  $2,97 \text{ g/cm}^3$  (determinado em laboratório) e um traço de 1 : b : x (cimento : agregado : água). De posse deste valor, foi possível calcular o consumo dos demais materiais.

$$C_c = \frac{V_{conc} - V_p}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{b}{\gamma_b} + \frac{x}{\gamma_{\text{água}}}} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$C_c$  = consumo de cimento (kg)

$V_{conc}$  = volume de concreto ( $\text{m}^3$ )

$V_p$  = volume de vazios ( $\text{m}^3$ )

$\gamma_c$  = massa específica do cimento ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_b$  = massa específica do agregado graúdo ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_{\text{água}}$  = massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ )

b e x = correspondem a proporção do agregado e da água no traço, respectivamente

#### 4.3.2 Processo de Mistura

No processo de mistura dos materiais para obtenção do concreto permeável foram realizadas as seguintes etapas:

- secou-se o agregado graúdo em estufa;
- determinou-se as quantidades dos materiais a serem utilizados;

- imprimou-se a betoneira com água;
- adicionou-se todo agregado graúdo e misturou-se por 1 minuto;
- adicionou-se 50% do cimento e 30% da água e misturou-se por 1,5 minutos;
- analisou-se visualmente a coesão;
- adicionou-se o restante do cimento e da água e misturou-se por 1,5 minutos;
- realizou-se uma análise táctil da coesão (Figura 40);
- adicionou-se o aditivo e misturou-se por 2 minutos.

Figura 40- Análise táctil da coesão do concreto



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.3 Moldagem

Foram moldados 15 corpos de prova em formas cilíndricas em duas camadas com 12 golpes cada, utilizando apenas a haste metálica para adensamento, seguindo as especificações da ABNT NBR-5.738:2016 (Figura 41).

Figura 41- Corpos de prova moldados em formas cilíndricas



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.4 Massa Específica do Concreto Fresco

Almejando a determinação da massa específica do concreto fresco, antes da moldagem foram medidos os diâmetros e os comprimentos de todas as formas cilíndricas (média de três medidas para cada parâmetro) com auxílio de um paquímetro, assim como, suas respectivas massas.

Como o método utilizado para determinação da massa específica do concreto fresco foi a relação direta da massa pelo volume de cada corpo de prova, as formas metálicas foram numeradas de 1 a 15 e, posteriormente, os corpos de prova foram identificados como CP-1 até CP-15, respectivamente.

Após o preenchimento das formas com concreto, elas foram limpas e pesadas novamente para a determinação da massa específica do concreto fresco, ou seja, dividiu-se a massa das formas com concreto (descontada a massa da forma) pelo volume das respectivas formas.

#### 4.3.5 Cura Úmida

Todos os corpos de prova permaneceram por 24 horas na forma metálica e cobertos no topo com plástico, sendo desenformados, identificados utilizando fita crepe em torno do corpo de prova e colocados imersos em tanque com água saturada com cal, Figura 42.

Figura 42- Os corpos de prova desenformados e colocados dentro de tanque com água (cura úmida)



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.6 Tratamento Superficial nos Corpos de Prova

Todos os corpos de prova foram retificados para garantir o paralelismo entre suas faces e, deste modo, não interferir negativamente nos resultados dos ensaios de compressão axial (Figura 43).

Figura 43- Equipamento de retífica e corpo de prova antes e após passar pela retífica



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.7 Ensaios no Concreto Permeável

##### 4.3.7.1 Ensaio de compressão axial

O ensaio de compressão axial seguiu as orientações da ABNT NBR-5739:2018, descrito no item 3.1.3.1, sendo que o tratamento superficial foi executado no dia da realização do ensaio.

Foram separados aleatoriamente 09 (nove) corpos de prova para o ensaio de compressão axial (CP-1, CP-5, CP-6, CP-8, CP-9, CP-10, CP-11, CP-12 e CP-13) e obtidas suas medidas médias (média de três medidas), de diâmetro e da altura, e estes parâmetros foram informados ao software que comanda a prensa para realização do ensaio de compressão.

Com o objetivo de verificar a evolução da resistência à compressão nos corpos de prova com o decorrer do tempo, dos 09 (nove) corpos de prova ensaiados à compressão apenas 04 (quatro) foram conduzidos ao ensaio com sete dias de cura úmida (CP-6, CP-8, CP-11 E CP-13) e os outros 05 (cinco) ensaiados com vinte e 08 (oito) dias (CP-1, CP-5, CP-9, CP-10 e CP-12) (Figura 44). Os demais 06 (seis) corpos de prova foram utilizados nos ensaios de índice de vazios e permeabilidade.

Figura 44- Corpo de prova sendo ensaiado por compressão axial



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.7.2 Ensaio de absorção de água e índice de vazios

O ensaio de índice de vazios e absorção de água por imersão foi realizado em 03 (três) corpos de prova (CP-2, CP-3 e CP-14) e em conformidade com a ABNT NBR-9778:2009, apresentado no item 3.1.3.5, sendo realizadas, após os 28 dias de cura úmida, secagem em estufa e imersão em água por 72 horas.

As Figura 45 e Figura 46 ilustram etapas dos procedimentos realizados durante o ensaio.

Figura 45- Corpos de prova de concreto permeável secando na estufa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 46- Medida da massa em imersão em água do corpo de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.7.3 Ensaio do coeficiente de permeabilidade

O ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade foi adaptado da ABNT NBR-14.545:2021, para carga variável em solos, seguindo as orientações do item 3.1.3.3, e dispõe de um permeômetro desenvolvido no laboratório do IFSP – Câmpus Votuporanga, ilustrado na Figura 47, utilizando tubos e conexões de hidráulica.

Figura 47- Permeômetro de carga variável



Fonte: Elaborado pelo autor

Os 3 corpos de prova ensaiados (CP-4, CP-7 e CP-15) foram envolvidos por três camadas de plástico filme de PVC para impedir a passagem da água pela lateral (Figura 48).

Os corpos de prova foram colocados cuidadosamente dentro do permeâmetro e, em seguida, aplicado silicone entre a parede do tubo e o perímetro superior do corpo de prova para evitar a passagem de água entre os dois elementos (Figura 49).

Figura 48- Colocação do plástico filme de PVC em volta do corpo de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 49- Aplicação de silicone entre a parede do tubo e o corpo de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

Após esta etapa, abriu-se o registro da torneira e introduziu-se água até a saída pela outra extremidade para garantir a retirada de todo ar dentro do corpo de prova. Em seguida, fechou-se o registro e observou-se a formação ou não de bolhas de ar na superfície da água (Figura 50). Repetiu-se este procedimento até que a superfície da água não apresentasse mais nenhuma bolha de ar.

Figura 50- Bolhas de ar na superfície livre de água



Fonte: Elaborado pelo autor

O ensaio foi realizado três vezes para cada amostra visando obtenção de um valor médio dos intervalos de tempo necessários para que a água fluísse pelo corpo de prova entre o nível inicial de água ( $h_1$ ) até o nível final ( $h_2$ ) marcado no tubo transparente de acrílico.

#### 4.4 ENSAIOS NO CONCRETO PERMEÁVEL

##### 4.4.1 Dosagem

Na determinação do traço do concreto permeável e quantitativos de materiais foram seguidos os procedimentos e parâmetros descritos anteriormente no item 4.2.1. Vale ressaltar que apenas foi feito um ajuste na massa específica do cimento de  $3,09 \text{ g/cm}^3$  (dado de literatura usado anteriormente) para  $3,08 \text{ g/cm}^3$  (valor obtido no ensaio realizado de massa específica do cimento).

##### 4.4.2 Processo de Mistura

É importante ressaltar que, pelo fato de a absorção de água do RCC ser maior quando comparada à do agregado natural, é necessária uma pré-molhagem dos agregados de RCC antes de iniciar a mistura do concreto para que não ocorresse uma absorção excessiva de água

da mistura, recomendado pela ABNT NBR-15.116:2021, reduzindo a relação A/C do concreto permeável e prejudicando a trabalhabilidade.

No processo de mistura dos materiais para obtenção do concreto permeável, Figura 51, foram realizados os seguintes procedimentos:

- secou-se o agregado graúdo em estufa;
- imprimou-se a betoneira com água;
- adicionou-se todo agregado graúdo;
- adicionou-se 80% da quantidade de água determinada, para cada amostra, no ensaio de absorção de água do agregado;
- misturou-se por 30 segundos e deixou descansar por 10 minutos (tampou a entrada da betoneira para evitar perda excessiva de água);
- adicionou-se 50% do cimento e 30% da água determinada no traço;
- misturou-se por 1,5 minutos;
- realizou-se uma análise táctil da coesão;
- adicionou-se o restante do cimento e da água;
- misturou-se por 1,5 minutos;
- adicionou-se o aditivo superplastificante;
- misturou-se por 2 minutos.

Figura 51- Procedimentos para preparo do concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.3 Ensaios no Concreto Fresco

##### 4.4.3.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*)

O ensaio para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone seguiu as orientações da ABNT NBR-16.889:2020. Os equipamentos e procedimentos estão ilustrados na Figura 52. As etapas realizadas foram:

- colocou-se a placa de base sobre uma superfície rígida, plana, horizontal e livre de vibrações;
- umedeceu-se o molde e a placa de base;
- colocou-se o molde sobre a placa;
- colocou-se os pés sobre as aletas do molde;
- preencheu-se o molde em camadas, cada uma com um terço da altura do molde;
- adensou-se cada camada com 25 golpes com a haste padronizada;
- limpou-se a placa de base e retirou o molde do concreto na direção vertical;
- mediu-se o abatimento do concreto.

Figura 52- Equipamentos e procedimentos para o ensaio do *Slump test*



Fonte: Elaborado pelo autor

##### 4.4.3.2 Massa específica do concreto fresco

O ensaio de massa específica do concreto fresco seguiu as orientações da ABNT NBR-9.833:2009, conforme descrito no item 3.1.3.4 (Figura 53).

O recipiente vazio e com volume conhecido (9,60 litros) foi colocado na balança e efetuado o procedimento de zerar o equipamento, pois deste modo, após o preenchimento do recipiente com concreto, o mesmo foi colocado na balança registrando apenas a massa do concreto. Com a relação da massa do concreto pelo volume do recipiente obtém-se a massa específica do concreto fresco.

Figura 53- Procedimentos para a determinação da massa específica do concreto fresco



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.4 Moldagem

Foram moldados, para cada mistura, 20 corpos de prova em formas metálicas cilíndricas medindo 100 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento e 05 corpos de prova prismáticos medindo 100 x 100 x 400 mm, conforme as especificações da ABNT NBR-5.738:2016, utilizando haste metálica padronizada para adensamento, sendo: 01 mistura com basalto (controle) e 13 misturas contendo RCC (12 amostras coletadas e 01 amostra composta) (Figura 54).

Figura 54- Moldagem dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos com haste padronizada



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.5 Cura úmida

Todos os corpos de prova permaneceram por 24 horas na forma e cobertos no topo com plástico, sendo desenformados, identificados e colocados na câmara úmida por 28 dias, Figura 55. A quantidade de corpos de prova impossibilitou a imersão em água com cal conforme realizado anteriormente, devido as dimensões do tanque.

Figura 55- Corpos de prova desenformados, identificados e colocados em câmara úmida



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.6 Tratamento Superficial nos Corpos de Prova

Todos os corpos de prova cilíndricos foram retificados nas duas faces utilizando equipamento próprio para retífica, Figura 56. Os corpos de prova prismáticos não tiveram tratamento superficial, apenas acabamento com colher de pedreiro no momento da moldagem.

Figura 56- Equipamento de retífica e detalhe de corpos de prova cilíndricos antes e após retificação



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.7 Ensaios no Concreto Permeável

Todos os corpos de prova, cilíndricos e prismáticos, foram ensaiados com 28 dias de cura úmida.

##### 4.4.7.1 Ensaio de compressão axial

O ensaio de compressão axial seguiu as orientações da ABNT NBR-5739:2018, descrito no item 3.1.3.1. Foram ensaiados 06 corpos de prova cilíndricos para cada amostra e realizadas três medidas do diâmetro de cada corpo de prova para efetuar a média de cada parâmetro com auxílio de um paquímetro digital (APÊNDICE A), informações necessárias para entrada dos dados no software da prensa para realização do ensaio (Figura 57).

Figura 57- Corpo de prova sendo medido com paquímetro e ensaiado à compressão axial na prensa



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.7.2 Ensaio de tração na flexão

O ensaio de tração na flexão obedeceu às recomendações da ABNT NBR-12.142:2010 e suas orientações estão descritas no item 3.1.3.2, sendo realizado em 05 corpos de prova prismático para cada amostra.

Para efetuar o correto posicionamento do corpo de prova nos apoios e local de aplicação das forças, foram realizadas marcações ao longo do corpo de prova e, também, três medidas da altura e largura para o cálculo da média (APÊNDICE B), ilustrada na Figura 58.

Figura 58- Corpo de prova sendo medido com paquímetro e marcações para auxiliarem no posicionamento na prensa



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a alimentação das medidas no software da prensa e o posicionamento do corpo de prova, o ensaio foi iniciado até a ruptura do mesmo (Figura 59).

Figura 59- Prensa após o ensaio de tração na flexão e detalhe corpo de prova rompido



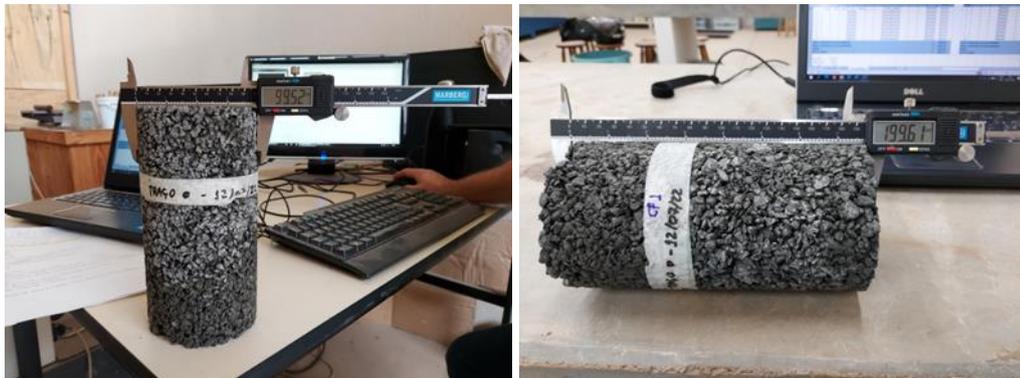
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.7.3 Ensaio do coeficiente de permeabilidade (k)

O ensaio do coeficiente de permeabilidade utilizado é uma adaptação da ABNT NBR-14.545:2021, que trata da determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, para determinar o coeficiente de permeabilidade para concretos permeáveis, com procedimentos apresentados no item 3.1.3.3.

Os ensaios de permeabilidade foram executados em 10 (dez) corpos de prova cilíndricos de cada amostra e para realização destes ensaios foram extraídas três medidas do diâmetro e do comprimento dos corpos de prova para a obtenção da média com auxílio de um paquímetro digital (APÊNDICE C), medidas necessárias para o cálculo do referido coeficiente. Também foi feita uma marcação na própria fita crepe de identificação já existente, numerando os corpos de prova de forma a evitar equívocos nos cálculos (Figura 60).

Figura 60- Medidas do diâmetro e comprimento dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

Logo em seguida, os corpos de prova foram envolvidos em três camadas de plástico filme de PVC para impedir a passagem da água pela lateral dos corpos de prova durante os ensaios (Figura 61).

Figura 61- Colocação de plástico filme de PVC em volta dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

Após esta etapa, os corpos de prova foram introduzidos cuidadosamente dentro do tubo de PVC do permeâmetro e aplicado silicone entre a parede do tubo e o perímetro da circunferência do corpo de prova, evitando desta forma, a passagem de água entre os dois elementos (parede do tubo e corpo de prova), conforme a Figura 62.

Figura 62- Peças do permeâmetro e aplicação de silicone entre o tubo e o corpo de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi colocado o anel de borracha na luva de correr fixada no tubo de PVC com o mostrador de acrílico instalado (local de leitura do tempo para a água passar do nível inicial  $h_1$  até o nível final  $h_2$ ), passando pasta lubrificante para facilitar o encaixe (Figura 63).

Figura 63- Detalhe do tubo de PVC com mostrador de acrílico e a luva de correr com anel



Fonte: Elaborado pelo autor

Com a ajuda de uma mangueira de jardim introduziu água no topo do permeâmetro até a saída pela outra extremidade para garantir a retirada de todo ar dentro do corpo de prova. Em seguida, fechou-se o registro e observou-se a formação ou não de bolhas de ar na superfície da água. Repetiu-se este procedimento até que a superfície da água não apresentasse mais nenhuma bolha de ar.

O ensaio foi realizado três vezes para cada corpo de prova visando obtenção de um valor médio dos intervalos de tempo (Figura 64).

Figura 64- Permeâmetro de carga variável e detalhe do mostrador de acrílico



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.7.4 Ensaio de absorção de água e índice de vazios

O ensaio de absorção de água e índice de vazios seguiu as orientações da ABNT NBR-9.778:2009, como apresentados no item 3.1.3.5, sendo realizado em 04 corpos de prova cilíndricos para cada amostra.

Os corpos de prova ensaiados foram retirados da câmara úmida e imediatamente colocados para secar em uma estufa, permanecendo 72 horas. Após este período os corpos de prova foram pesados para a determinação da massa seca ( $m_s$ ) (Figura 65).

Figura 65- Corpos de prova na estufa e a determinação da massa seca na balança



Fonte: Elaborado pelo autor

Retirados da balança os corpos de prova ficaram imersos em água por um período de 72 horas e, em seguida, colocados em um recipiente com água sendo levados progressivamente à ebulição por um período de 5 horas (Figura 66).

Figura 66- Corpos de prova imersos em água e levados a ebulição



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim que a água resfriou naturalmente a temperatura ambiente os corpos de prova foram pesados em uma balança hidrostática para determinação da massa em imersão ( $m_i$ ) e

retirados da água sendo enxutos com pano úmido e pesados novamente para determinar a massa saturada ( $m_{sat}$ ) (Figura 67).

Figura 67- Corpos de prova em resfriamento e determinação das massas imersa e saturada



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Realizou-se uma análise estatística dos resultados por meio da Análise de Variância (ANOVA) para respaldar as discussões e conclusões, permitindo, assim, verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas para as características mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável. Uma vez observadas diferenças entre os resultados, realizava-se o teste de Tukey. Vale ressaltar que ambos (ANOVA e teste de Tukey) foram realizados com nível de confiança de 95% utilizando software de estatística.

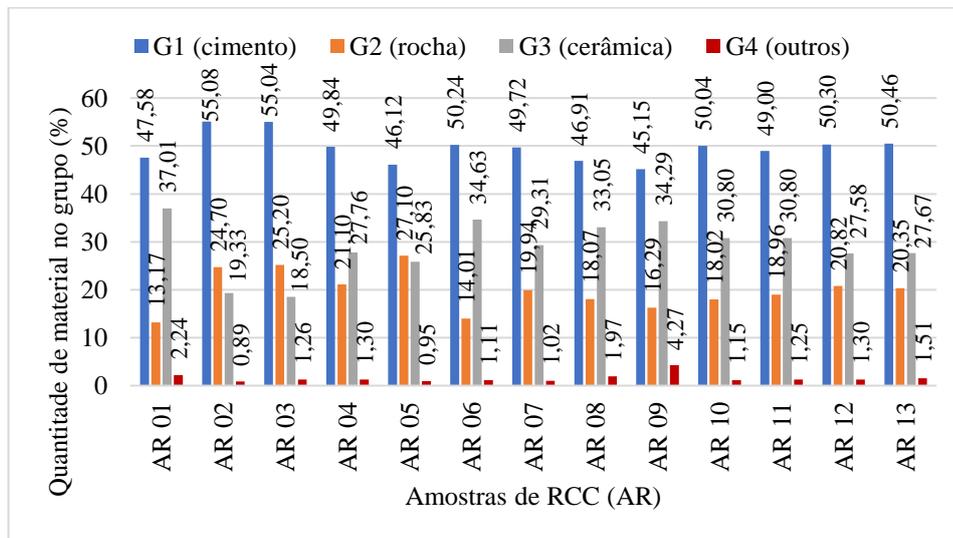
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 5.1.1 Composição dos Agregados Graúdos de RCC por Análise Visual

A Figura 68 e a Figura 69 ilustram os resultados da composição dos agregados de RCC, e conforme a ABNT NBR-15.116:2021 todas as amostras são classificadas como Agregado Reciclado Misto (ARM), pois o teor de cerâmica vermelha ou branca não polida (grupo G<sub>3</sub>) foi maior que 10% e menor que 40% em relação às massas totais ensaiadas.

Figura 68- Resultado gráfico do ensaio de composição do agregado de RCC utilizando análise visual



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 69- Resultados do ensaio de composição do agregado de RCC por análise visual



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar as porcentagens de cada um dos materiais (grupos) contidos nas amostras de RCC, apresentadas na Tabela 17, e a variabilidade na composição entre as amostras coletadas, ilustradas na Figura 69.

Tabela 17- Porcentagens dos grupos obtidos pela análise visual das amostras dos resíduos

Grupo	Amostras												
	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
G <sub>1</sub>	47,58	55,08	55,04	49,84	46,12	50,24	49,72	46,91	45,15	50,04	49,00	50,30	50,46
G <sub>2</sub>	13,17	24,70	25,20	21,10	27,10	14,01	19,94	18,07	16,29	18,02	18,96	20,82	20,35
G <sub>3</sub>	37,01	19,33	18,50	27,76	25,83	34,63	29,31	33,05	34,29	30,80	30,80	27,58	27,67
G <sub>4</sub>	2,24	0,89	1,26	1,30	0,95	1,11	1,02	1,97	4,27	1,15	1,25	1,30	1,51
<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>												

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se as informações contidas na Tabela 17, pôde-se constatar diferenças na composição dos agregados de RCC subtraindo-se os valores máximos e mínimos encontrados em cada grupo para todas as amostras ensaiadas, obtendo-se uma diferença de 9,93% para o grupo G<sub>1</sub> (fragmentos de cimento), de 13,93% para o grupo G<sub>2</sub> (fragmentos de rochas), de 18,50% para o grupo G<sub>3</sub> (fragmentos cerâmicos) e de 3,37% para o grupo G<sub>4</sub> (outros materiais), o que demonstra uma variabilidade na composição dos resíduos ao longo do tempo para um mesmo local de coleta.

Ainda de acordo com a ABNT NBR-15.116:2021, apenas as amostras AR 02 e AR 05 estão dentro dos requisitos específicos dos agregados reciclados para uso em concreto, onde o limite máximo para materiais indesejados (grupo G<sub>4</sub>) é de 1%.

Como a usina de beneficiamento estudada não faz nenhum tipo de separação entre resíduos cimentícios e outros materiais, também classificados como Classe A, segundo a Resolução n° 307/2002 do CONAMA, a quantidade de material cerâmico e solo ocupa um espaço significativo no volume coletado, por isso, o resultado da composição dos agregados de RCC aqui ensaiados, reflete o processo de beneficiamento da referida usina, que, caso não seja alterado, dificilmente produzirá agregados com outra classificação. Além disso, é importante observar que existem materiais indesejáveis na composição do agregado de RCC (representados pelo grupo G<sub>4</sub>), tais como vidro, plástico, madeira, entre outros, evidenciando-se falhas no processo de separação de materiais classificados como Classe B, segundo a mesma resolução do CONAMA.

### 5.1.2 Análise Granulométrica

Os resultados de análise granulométricas médias do agregado natural basáltico (AN) e dos agregados de RCC (AR) estão apresentados na Tabela 18 e ilustradas na Figura 70.

Tabela 18- Resultados do ensaio de granulometria (valores médios)

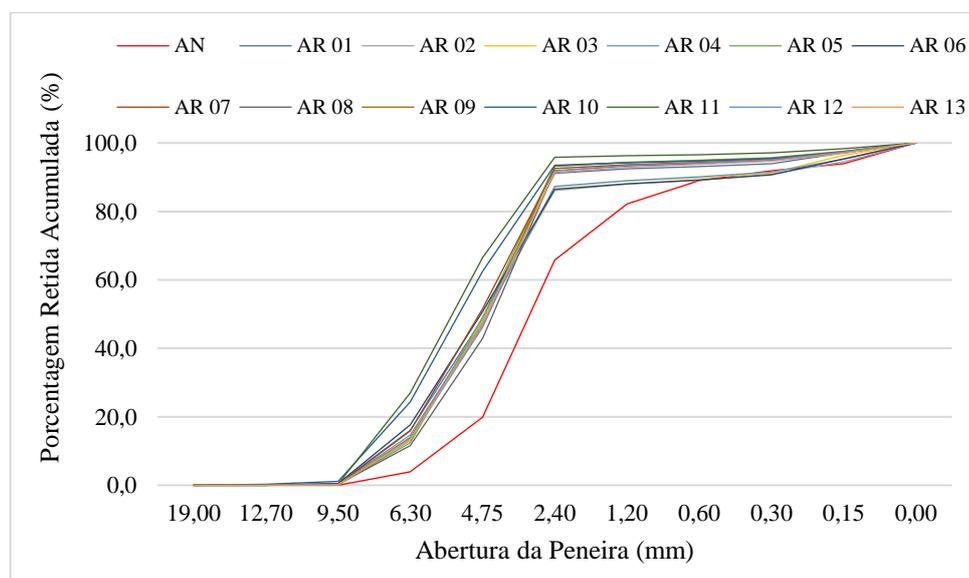
Abertura Peneira (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,13	0,14	0,25	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,49	0,00	0,12	0,27	0,20	0,52	0,22	0,32	0,23	1,16	0,40	0,17	0,06
6,30	3,93	16,09	13,05	13,59	14,62	12,38	17,66	15,91	11,59	13,93	24,33	26,93	13,58	13,42
4,75	19,88	48,75	48,88	47,87	47,63	49,09	50,78	51,55	42,94	46,95	62,48	66,49	46,15	47,27
2,40	65,81	91,18	86,15	87,09	87,31	93,31	86,50	92,58	91,91	93,18	93,50	95,79	91,77	91,47
1,20	82,18	92,42	87,94	88,92	89,01	94,33	88,10	93,65	93,27	94,28	94,25	96,31	93,50	92,96
0,60	88,97	93,07	89,13	89,87	90,13	94,95	89,16	94,31	93,97	94,84	94,69	96,57	94,22	93,72
0,30	91,93	93,93	90,98	91,21	91,49	95,72	90,65	95,19	94,87	95,56	95,40	97,08	95,07	94,67
0,15	93,97	97,11	94,51	96,34	95,23	97,52	95,31	97,32	97,15	97,55	97,43	98,36	97,39	96,98
0,00	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\theta_{\text{máx}}^1$	6,30	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
MF <sup>2</sup>	4,43	5,17	5,02	4,96	5,01	5,25	5,02	5,25	5,15	5,23	5,39	5,51	5,19	5,17

Nota 1:  $\theta_{\text{máx}}$  é o diâmetro máximo (mm)

Nota 2: MF é o módulo de finura do agregado

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 70- Curvas granulométricas médias dos agregados estudados



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo o Relatório Técnico nº 30 do Ministério de Minas e Energia (2009), todas as amostras ensaiadas apresentam características de brita 0 ou pedrisco (granulometria variando entre 4,8 mm e 9,5 mm) e de areia de brita (com dimensão até 5 mm e sem partículas abaixo da peneira de malha 0,074 mm), portanto, as amostras analisadas possuem agregados graúdos e miúdos na sua composição.

Pode-se observar, pelas análises granulométricas nos dois tipos de material ensaiados (natural e de RCC), que as distribuições granulométricas não atendem aos limites de composição granulométrica do agregado graúdo, segundo a ABNT NBR-7.211:2019, pois todas as amostras não apresentaram porcentagem, em massa, retida e acumulada de 100% até a peneira de 2,40 mm. Ainda conforme a Tabela 18, todas as amostras possuem granulometria que não atendem aos limites de composição granulométrica do agregado miúdo, conforme a ABNT NBR-7.211:2019, mais uma vez indicando a presença de agregados graúdos e miúdos nas amostras analisadas.

Conforme a ABNT NBR-15.116:2021, o limite para materiais finos (dimensão inferior a 0,075 mm) é de 10%, desta forma, todas as amostras de agregado de RCC e natural atendem a este requisito.

Por meio da análise granulométrica realizada nas amostras de agregados, resultados na Tabela 18, pode-se observar que o agregado natural possui uma quantidade de finos superior as quantidades encontradas nas amostras recicladas, pois a porcentagem retida e acumulada na peneira de abertura de 4,75 mm (limite inferior para agregado graúdo) é de 19,88% para o agregado natural e superior a 42% em todas as médias nas treze amostras de agregados de RCC. Este resultado indica que o agregado natural e os de RCC, na maioria das amostras ensaiadas, não são indicados para o uso específico deste trabalho, que almeja o preparo de concreto permeável, porque segundo o *American Concrete Institute* (ACI, 2010), a proporção recomendada de agregados miúdo em relação ao graúdo é de zero (nenhuma quantidade de agregado miúdo) até 1,0:1,0 (mesma quantidade de agregado miúdo e graúdo), proporção atingida em apenas 04 (quatro) amostras dos agregados de RCC que contêm médias superiores a 50% de grão graúdo na sua composição.

Realizando-se uma comparação da análise granulométrica entre os valores médios das porcentagens retidas e acumuladas de cada peneira das doze amostras pontuais em relação à amostra AR 13 (amostra obtida pela mistura de uma parcela das doze amostras coletadas) dos agregados de RCC, pode-se observar que há diferenças percentuais maiores na parte

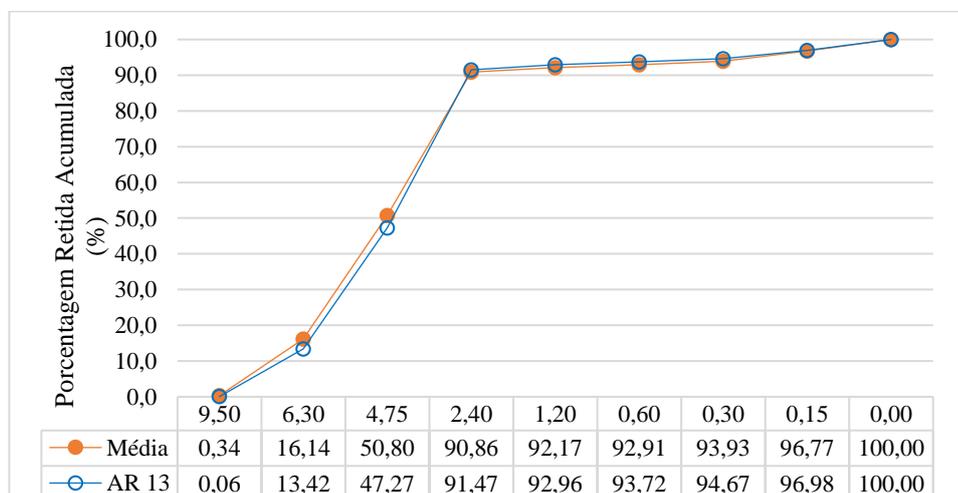
classificada como agregado graúdo, sendo que o limite inferior desta classificação, a peneira de abertura 4,75 mm, em que se pode verificar uma diferença de cerca de 6,95% em relação ao valor médio das amostras coletadas, conforme Tabela 19 e ilustrado na Figura 71. Destacando que a diferença percentual foi calculada pela diferença entre a média das amostras coletadas (12 amostras), em cada peneira, e a amostra AR 13, dividido pela média das amostras coletadas.

Tabela 19- Comparação da porcentagem retida e acumulada nas diferentes aberturas das peneiras entre as médias das amostras coletadas e a amostra AR 13

Abertura das Peneiras (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)		Diferença percentual (%)
	Média das amostras coletadas	AR 13	
19,00	0,00	0,00	0,00
12,70	0,05	0,00	100,00
9,50	0,34	0,06	82,02
6,30	16,14	13,42	16,83
4,75	50,80	47,27	6,95
2,40	90,86	91,47	-0,67
1,20	92,17	92,96	-0,86
0,60	92,91	93,72	-0,88
0,30	93,93	94,67	-0,78
0,15	96,77	96,98	-0,22
0,00	100,0	100,0	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 71- Comparação granulométrica das médias das amostras coletadas de RCC com a amostra AR 13



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se o módulo de finura (MF) médio das doze amostras de RCC com o módulo de finura da amostra composta (AR 13), verificou-se que não há diferença significativa entre os valores obtidos nos ensaios, sendo 5,18 e 5,17, respectivamente, e pode-se observar, com auxílio deste parâmetro, que os agregados de RCC possuem dimensões maiores que o agregado natural que apresentou um módulo de finura igual a 4,43.

### 5.1.3 Massa Específica e Absorção de Água

Os resultados de absorção de água e massa específica dos agregados natural e de RCC são apresentados na Tabela 20 e na Tabela 21.

Tabela 20- Resultados do ensaio de absorção de água dos agregados

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Absorção de água (%)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	1,19	8,88	8,54	9,57	8,49	7,94	8,41	8,96	10,48	9,35	10,13	9,74	9,12	9,26
N <sub>2</sub>	1,28	8,61	8,42	9,22	8,06	7,46	8,37	9,60	10,59	9,15	10,42	9,53	8,76	9,10
N <sub>3</sub>	1,39	8,43	8,04	9,02	8,39	7,23	8,37	9,07	10,52	9,58	9,81	9,39	8,88	9,01
<b>Média</b>	<b>1,29</b>	<b>8,64</b>	<b>8,33</b>	<b>9,27</b>	<b>8,31</b>	<b>7,55</b>	<b>8,38</b>	<b>9,21</b>	<b>10,53</b>	<b>9,36</b>	<b>10,12</b>	<b>9,56</b>	<b>8,92</b>	<b>9,12</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21- Resultados do ensaio de massa específica dos agregados

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	2973	2548	2634	2606	2569	2615	2572	2585	2618	2568	2602	2592	2644	2621
N <sub>2</sub>	2971	2534	2658	2607	2562	2617	2572	2598	2596	2566	2581	2609	2585	2619
N <sub>3</sub>	2959	2531	2674	2605	2558	2623	2580	2580	2581	2570	2567	2614	2603	2630
<b>Média</b>	<b>2968</b>	<b>2538</b>	<b>2655</b>	<b>2606</b>	<b>2563</b>	<b>2619</b>	<b>2575</b>	<b>2588</b>	<b>2599</b>	<b>2568</b>	<b>2583</b>	<b>2605</b>	<b>2611</b>	<b>2624</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

As amostras de agregados de RCC foram classificadas como agregado reciclado misto (ARM) e o limite de absorção de água para esta classe, segundo a ABNT NBR-15.116:2021, é de 12%. Assim, é possível observar na Tabela 20, que todas as amostras atendem a este requisito normativo. Cabe destacar que para os agregados de RCC, a amostra AR 5 foi a que

obteve menor índice médio de absorção de água (7,55%) e o maior foi o da amostra AR 8, com 10,53%.

Ao se comparar o índice de absorção de água do agregado natural com os de RCC, percebe-se que o primeiro possui menor índice de absorção, fato já esperado pois as rochas basálticas são bastante compactas, e o agregado de RCC possui em sua composição diversos materiais porosos, o que contribui para uma maior absorção de água.

Observam-se na Tabela 21 as diferenças entre as massas específicas dos agregados natural e de RCC, sendo que a massa específica do agregado natural é maior que todas as massas específicas das amostras de RCC, novamente justificado pela natureza do agregado natural.

Exposto isso, para utilização de agregados de RCC para produção de concretos em geral, a ABNT NBR-15.116:2021 recomenda que antes de iniciar a mistura dos materiais para o preparo do concreto, deve ser feita uma pré-molhagem do agregado de RCC, adicionando 80% do valor da absorção de água do agregado de RCC, misturar e esperar por 10 minutos para adicionar os outros materiais. Este procedimento deve ser realizado para evitar que o agregado de RCC absorva a água de hidratação do cimento e/ou que possa prejudicar a trabalhabilidade da mistura.

Conforme pôde ser observado analisando a Tabela 20 e a Tabela 21, existem diferenças entre as médias da absorção de água e da massa específica dos agregados. Para verificar se estas diferenças são significativas do ponto de vista estatístico, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%. Ressalta-se que para cada um dos parâmetros (índice de absorção de água e massa específica) foi aplicada a ANOVA em duas situações distintas, sendo a primeira delas englobando todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC. Esta distinção foi feita, pois a natureza dos agregados é muito diferente. A Tabela 22 e a Tabela 23 apresentam os resultados das análises de variância realizadas para massa específica e absorção de água dos agregados, respectivamente.

Tabela 22- Resultado da ANOVA para massa específica com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	420673,0	32359,50	187,82	0,00
Resíduos	28	4824,0	172,30		
Total	41	425497,0			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	33400,0	2783,30	15,38	0,00
Resíduos	26	4704,0	180,90		
Total	38	38104,0			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23- Resultado da ANOVA para absorção de água com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	189,761	14,5970	280,37	0,00
Resíduos	28	1,458	0,0521		
Total	41	191,219			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	23,147	1,92894	34,87	0,00
Resíduos	26	1,438	0,05531		
Total	38	24,586			

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 22 e a Tabela 23, verifica-se que para ambos os casos o valor de “P” é inferior a 0,05, o que indica a existência de diferenças estatisticamente significativa entre as médias dos parâmetros estudados. Assim, para verificar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey, também com 95% de nível de confiança, e os resultados estão apresentados na Tabela 24 e na Tabela 25.

Tabela 24- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias das massas específicas, após o teste de Tukey

Amostra	Número de ensaio (N <sub>e</sub> )	Massa específica média (kg/m <sup>3</sup> )	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)	Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)
AN	3	2967,62	A	
AR 2	3	2655,30	B	A
AR 13	3	2623,60	B C	A B
AR 5	3	2618,55	B C D	A B C
AR 12	3	2610,62	C D E	B C D
AR 3	3	2605,94	C D E F	B C D E
AR 11	3	2604,93	C D E F	B C D E
AR 8	3	2598,52	C D E F G	B C D E F
AR 7	3	2587,79	C D E F G	B C D E F
AR 10	3	2583,35	D E F G	C D E F
AR 6	3	2574,90	E F G H	D E F G
AR 9	3	2568,06	F G H	E F G
AR 4	3	2562,91	G H	F G
AR 1	3	2537,53	H	G

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 25- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da absorção de água, após o teste de Tukey

Amostra	Número de ensaio (N <sub>e</sub> )	Absorção de água média (%)	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)	Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)
AR 8	3	10,53	A	A
AR 10	3	10,12	A B	A B
AR 11	3	9,56	B C	B C
AR 9	3	9,36	C	C
AR 3	3	9,27	C D	C D
AR 7	3	9,21	C D	C D
AR 13	3	9,12	C D	C D
AR 12	3	8,92	C D E	C D E
AR 1	3	8,64	D E	D E
AR 6	3	8,38	E	E
AR 2	3	8,33	E	E
AR 4	3	8,31	E	E
AR 5	3	7,55	F	F
AN	3	1,29	G	

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante ressaltar que quando as amostras compartilham da mesma letra (grupo), são estatisticamente iguais.

Analisando os resultados do teste de Tukey para massa específica dos agregados, Tabela 24, comprovou-se que a massa específica do agregado natural não é igual estatisticamente a nenhuma amostra de agregado de RCC (não há nenhuma letra agrupada com este grupo), pois a natureza (rocha basáltica) do material é diferente. Ainda na mesma tabela, pode-se observar que não houve diferença nos agrupamentos quando realizado o teste de Tukey com e sem a presença do agregado natural, ambas apresentam os mesmos agrupamentos entre as massas específicas dos agregados de RCC ensaiados.

Com relação ao outro parâmetro analisado, absorção de água, o teste de Tukey também demonstra diferenças estatisticamente entre as amostras, resultados na Tabela 25, sendo que o agregado natural novamente não está agrupado com nenhuma amostra de agregado de RCC, pois possui uma absorção de água muito inferior aos dos agregados de RCC. A amostra de agregado de RCC denominada de “AR 5” também não teve agrupamento com nenhuma amostra ensaiada, ficando seu valor médio de absorção de água abaixo de todas as médias encontradas nas amostras de agregados de RCC.

#### 5.1.4 Massa Unitária Solta e Compactada

Os resultados dos ensaios de massa unitária solta estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26- Resultados do ensaio de massa unitária solta dos agregados

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Massa unitária solta (kg/m <sup>3</sup> )													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	1657	1058	1181	1096	1130	1159	1115	1108	1103	1108	1097	1078	1114	1086
N <sub>2</sub>	1671	1060	1181	1107	1148	1176	1122	1106	1110	1101	1089	1081	1123	1089
N <sub>3</sub>	1649	1041	1190	1108	1139	1176	1128	1107	1108	1103	1089	1089	1113	1084
<b>Média</b>	<b>1659</b>	<b>1053</b>	<b>1184</b>	<b>1103</b>	<b>1139</b>	<b>1170</b>	<b>1122</b>	<b>1107</b>	<b>1107</b>	<b>1104</b>	<b>1091</b>	<b>1082</b>	<b>1116</b>	<b>1086</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os resultados obtidos na Tabela 26 e para verificar se a diferença, entre os valores das massas unitária solta, é significativa entre as amostras, do ponto de vista estatístico, realizou-se a análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95% e os

resultados da análise estão apresentados na Tabela 27. Destaca-se que para a massa unitária solta foi aplicada a ANOVA em duas situações distintas, sendo a primeira delas englobando todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC, para verificar a interferência ou não no resultado da ANOVA com e sem a inclusão do agregado natural.

Tabela 27- Resultado da ANOVA para massa unitária solta com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	876345,00	67411,10	1460,77	0,00
Resíduos	28	1292,00	46,10		
Total	41	877637,00			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	45045,00	3753,73	93,10	0,00
Resíduos	26	1048,00	40,32		
Total	38	46093,00			

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o valor de “P” na Tabela 27 é inferior a 0,05, implica que as diferenças entre as massas unitárias soltas das amostras são significativas e para demonstrar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey, também com nível de confiança de 95%, em que se comparou, duas a duas, todas médias, e os resultados estão organizados na Tabela 28.

Tabela 28- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da massa unitária solta, após o teste de Tukey

Amostra	Número de ensaio (N <sub>e</sub> )	Massa unitária solta média (kg/m <sup>3</sup> )	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)	Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)
AN	3	1659	A	
AR 2	3	1184	B	A
AR 5	3	1170	B	A
AR 4	3	1139	C	B
AR 6	3	1122	C D	B C
AR 12	3	1116	D	C
AR 8	3	1107	D E	C D
AR 7	3	1107	D E	C D
AR 9	3	1104	D E F	C D E
AR 3	3	1103	D E F	C D E
AR 10	3	1091	E F G	D E F
AR 13	3	1086	F G	E F
AR 11	3	1082	G	F
AR 1	3	1053		H G

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados do teste de Tukey para a massa unitária solta da Tabela 28, pode-se verificar que o agregado natural não está agrupado com nenhuma amostra de agregado de RCC, pois a natureza do material (rocha basáltica) possui uma massa específica superior aos de RCC como apresentado anteriormente. Ainda se verificou que a presença ou não do agregado natural na análise de Tukey não provocou alteração no resultado obtido nos agrupamentos.

Continuando a análise na Tabela 28, observou-se que a amostra de agregado de RCC AR 1 também não ficou agrupada com nenhuma outra amostra, inclusive entre as amostras de agregado de RCC, com valor médio de massa unitária solta inferior às demais amostras ensaiadas, resultado possivelmente justificado pela diferença no formato e ou tamanho dos grãos que compõem a amostra.

Os resultados dos ensaios de massa unitária compactada estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29- Resultados do ensaio de massa unitária compactada dos agregados

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Massa unitária compactada (kg/m <sup>3</sup> )													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	1761	1116	1198	1129	1151	1197	1168	1145	1129	1135	1140	1141	1166	1139
N <sub>2</sub>	1759	1119	1204	1124	1140	1195	1156	1137	1140	1130	1130	1141	1161	1156
N <sub>3</sub>	1747	1129	1208	1140	1156	1192	1153	1143	1123	1125	1141	1131	1154	1160
<b>Média</b>	<b>1756</b>	<b>1121</b>	<b>1203</b>	<b>1131</b>	<b>1149</b>	<b>1195</b>	<b>1159</b>	<b>1141</b>	<b>1131</b>	<b>1130</b>	<b>1137</b>	<b>1138</b>	<b>1160</b>	<b>1152</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os resultados obtidos na Tabela 29 e para verificar se a diferença, entre os valores das massas unitária compactada, é significativa entre as amostras, do ponto de vista estatístico, realizou-se a análise de variância e os resultados da análise estão apresentados na Tabela 30. Novamente a ANOVA foi aplicada em duas situações distintas, sendo a primeira delas englobando todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC.

Tabela 30- Resultado da ANOVA para massa unitária compactada com e sem o agregado natural

Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)					
Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor P
Tratamento	13	1044715	80362,7	1654,53	0,00
Resíduos	28	1360	48,6		
Total	41	1046075			
Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)					
Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor P
Tratamento	12	22133	1844,42	38,51	0,00
Resíduos	26	1245	47,90		
Total	38	23378			

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o valor de “P” na Tabela 30 é inferior a 0,05, implica que as diferenças entre massas unitárias compactadas dos agregados são significativas e para demonstrar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey e os resultados estão organizados na Tabela 31.

Tabela 31- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da massa unitária compactada, após o teste de Tukey

Amostra	Quantidade ensaio ( $N_e$ )	Massa unitária compactada média ( $\text{kg/m}^3$ )	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)	Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)
AN	3	1756	A	
AR 2	3	1203	B	A
AR 5	3	1195	B	A
AR 12	3	1160	C	B
AR 6	3	1159	C	B
AR 13	3	1152	C D	B C
AR 4	3	1149	C D E	B C D
AR 7	3	1142	C D E F	B C D E
AR 11	3	1138	D E F	C D E
AR 10	3	1137	D E F	C D E
AR 3	3	1131	D E F	D E
AR 8	3	1131	E F	D E
AR 9	3	1130	E F	D E
AR 1	3	1121	F	E

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados do teste de Tukey para a massa unitária compactada da Tabela 31, pode-se verificar que o agregado natural não está agrupado com nenhuma amostra de agregado de RCC, pois o agregado natural possui grãos com forma diferente e com grande quantidade de finos na sua composição, comparado ao RCC e, conseqüentemente, sua massa unitária compactada também é superior aos demais agregados ensaiados.

#### 5.1.5 Massa Específica do Cimento

O cimento de alta resistência inicial utilizado neste trabalho foi o CP V ARI do fabricante LIZ e o resultado da massa específica determinada em laboratório é apresentado na Tabela 32. Foi observado que o valor adotado inicialmente da massa específica do cimento ( $3090 \text{ kg/m}^3$ ), obtido no site do fabricante, ficou semelhante ao valor determinado em laboratório.

Tabela 32- Massa específica do cimento determinada em laboratório

Massa seca (g)	Volume inicial (ml)	Volume final (ml)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
61,96	0,60	20,70	3082,59

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 TESTES PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO E RCC

### 5.2.1 Ensaio de Compressão Axial

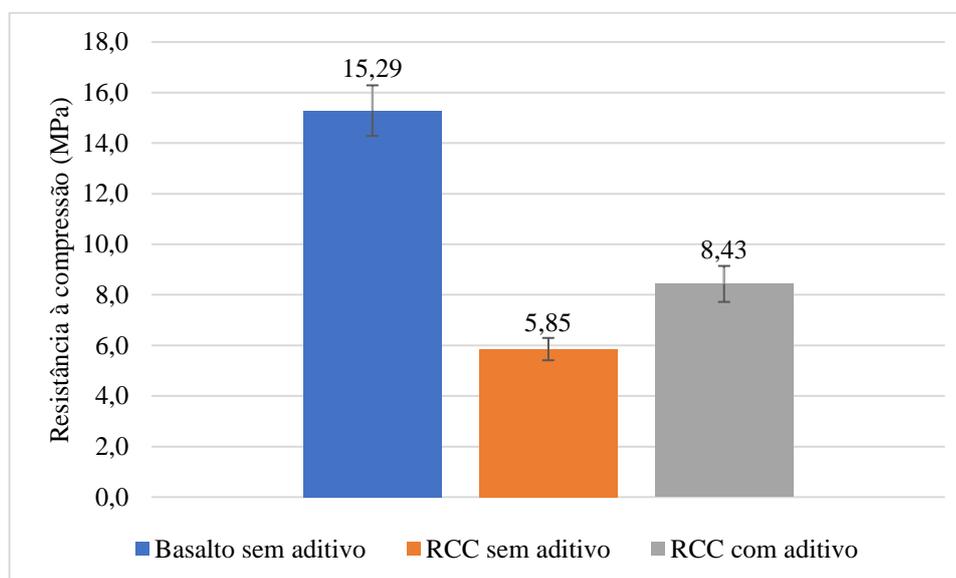
Os resultados do ensaio de compressão axial, variando o agregado graúdo, o tratamento superficial e o tipo de adensamento utilizado, encontram-se na Tabela 33 e na Figura 72.

Tabela 33- Resistência à compressão para diferentes tipos de tratamento superficial e adensamento

Corpo de Prova (CP)	Tipo de tratamento superficial	Tipo de adensamento	Resistência à Compressão (MPa)		
			Basalto sem aditivo	RCC sem aditivo	RCC com aditivo
1	Retificado	Haste	13,57		
2	Retificado	Haste	18,13		
3	Retificado	Haste	16,07		
4	Retificado	Haste	17,09		
5	Retificado	Haste	12,70		
6	Retificado	Haste	14,17		
7	Retificado	Proctor		5,88	
8	Retificado	Proctor		6,31	
9	Retificado	Proctor		5,12	
10	Gesso	Haste		5,68	
11	Argamassa	Haste		5,83	
12	Retificado	Haste		6,30	
13	Gesso	Haste			7,42
14	Argamassa	Haste			8,33
15	Retificado	Haste			9,21
16	Retificado	Haste			8,72
17	Retificado	Haste			7,82
18	Retificado	Haste			9,09
<b>Maior</b>			<b>18,13</b>	<b>6,31</b>	<b>9,21</b>
<b>Menor</b>			<b>12,70</b>	<b>5,12</b>	<b>7,42</b>
<b>Média</b>			<b>15,29</b>	<b>5,85</b>	<b>8,43</b>
<b>Desvio padrão</b>			<b>2,14</b>	<b>0,44</b>	<b>0,71</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 72- Resistência média à compressão



Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio da análise táctil-visual na mistura do concreto permeável sem a utilização de aditivo plastificante (Figura 31), verificou-se a necessidade de acrescentar mais água, pois o concreto estava sem coesão, desta maneira, a relação A/C passou de 0,30 para 0,65.

Na Figura 72, ao analisar as resistências médias à compressão dos concretos sem aditivo, verifica-se que o concreto produzido com RCC apresentou uma resistência média cerca de 3 vezes inferior ao concreto controle. Ainda pela mesma figura, ao se comparar o concreto controle (basalto sem aditivo) com o concreto produzido com RCC e aditivo, observa-se que este último possui uma resistência média cerca de 50% da resistência do controle. Baseado nestes resultados é possível inferir que a utilização do RCC fez com que a resistência à compressão sofresse redução.

Comparando as resistências médias à compressão dos concretos preparados com RCC com e sem aditivo plastificante (Figura 72), ressaltando que no concreto produzido com aditivo foi mantida a relação A/C em 0,30, verificou-se que o concreto com o referido aditivo apresentou uma resistência à compressão 44% superior àquele sem aditivo. Em função do melhor desempenho mecânico, aliado a boa trabalhabilidade, para a sequência deste trabalho, todos os concretos foram produzidos utilizando aditivo superplastificante de alto desempenho.

Com relação à forma de adensamento, verificou-se que a utilização do soquete de Proctor conduziu a um esmagamento dos agregados de RCC na superfície adensada, o que

pode interferir no resultado dos ensaios, desta forma, a moldagem dos corpos de prova seguiu estritamente o que recomenda a ABNT NBR-5.738:2016.

Por fim, no que diz respeito ao tratamento superficial, analisando os resultados da Tabela 33, observa-se uma pequena diferença nos valores obtidos, sendo assim, pela facilidade de execução, todos os corpos de prova ensaiados até o final deste trabalho foram retificados.

### 5.3 ENSAIOS PRELIMINARES NO CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO BASALTO

#### 5.3.1 Dosagem

Como parâmetro de dosagem, foi utilizada a recomendação do *American Concrete Institute* (ACI, 2010), sendo o traço unitário adotado de 1,00:4,00:0,34. Optou-se também por utilizar um aditivo superplastificante de alto desempenho, com dosagem de 0,45% em relação à massa do cimento, ressaltando que este valor atende a faixa de utilização do fabricante (entre 0,3% e 1,5%). O índice de vazios adotado foi de 25% (usualmente são utilizados valores entre 15% e 35%) e a massa específica do cimento CP V ARI foi encontrada no site do fabricante. A massa específica do basalto foi determinada em laboratório.

De posse destes parâmetros foi possível determinar o consumo de cimento e, posteriormente, o consumo dos demais materiais constituintes do concreto permeável, conforme ilustra a Tabela 34.

Tabela 34- Dosagem final do concreto permeável

Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )	Aditivo (kg/m <sup>3</sup> )	Índice Vazios (%)	$\gamma_c$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_b$ (g/cm <sup>3</sup> )
373,06	1492,24	126,84	1,68	25,00	3,09	2,97

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.2 Massa Específica do Concreto Fresco

Os resultados da massa específica do concreto fresco estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35- Determinação da massa específica do concreto fresco

Corpo de prova (CP)	Massa da Forma (kg)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa da Forma + Concreto (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
1	2,82	9,95	19,71	5,91	0,001533	2020
2	2,85	10,05	20,00	5,92	0,001587	1940
3	2,87	9,96	19,99	5,96	0,001557	1980
4	2,82	9,95	20,10	5,95	0,001563	2003
5	2,88	9,91	20,05	5,99	0,001547	2014
6	2,81	10,08	19,84	5,87	0,001583	1933
7	2,84	9,95	19,98	5,90	0,001554	1966
8	2,81	9,90	19,95	5,95	0,001536	2046
9	2,85	9,95	19,92	5,92	0,001549	1985
10	2,80	10,01	19,98	5,86	0,001572	1946
11	2,84	9,89	19,99	5,82	0,001536	1943
12	2,84	9,99	20,05	6,02	0,001572	2018
13	2,86	9,90	19,97	5,97	0,001537	2024
14	2,79	10,02	19,98	5,85	0,001576	1945
15	2,83	9,98	20,06	5,99	0,001569	2012
<b>Maior</b>						<b>2046</b>
<b>Menor</b>						<b>1933</b>
<b>Média</b>						<b>1985</b>
<b>Desvio padrão</b>						<b>37,31</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

ABNT NBR-16.416:2015 estabelece para o concreto permeável aplicado como revestimento em pavimento, uma massa específica superior a 1600 kg/m<sup>3</sup>, desta forma, o concreto ensaiado atende a esta especificação, pois todos os valores medidos estão acima daquele indicado pela norma.

### 5.3.3 Ensaio de Compressão Axial

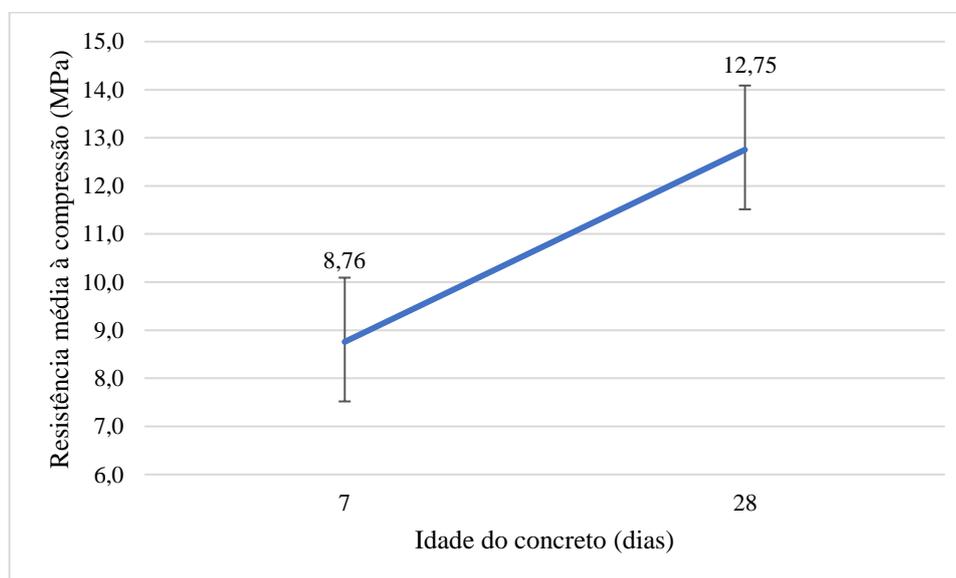
Os resultados do ensaio de compressão em quatro corpos de prova com 7 dias de cura e outros cinco ensaiados com 28 dias, para a verificação do ganho de resistência ao longo do tempo, estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36- Resistência a compressão axial com 7 e 28 dias

Corpo de prova (CP)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Resistência a 7 dias (MPa)	Resistência a 28 dias (MPa)
1	10,02	19,62	-	13,59
5	9,99	20,07	-	11,63
6	9,95	19,81	8,47	-
8	10,03	20,03	9,99	-
9	10,00	19,72	-	13,28
10	9,99	19,68	-	11,24
11	9,94	19,96	7,00	-
12	10,01	19,94	-	14,02
13	9,98	19,78	9,57	-
<b>Maior</b>			<b>9,99</b>	<b>14,02</b>
<b>Menor</b>			<b>7,00</b>	<b>11,24</b>
<b>Média</b>			<b>8,76</b>	<b>12,75</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>1,34</b>	<b>1,24</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 73- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio à compressão axial ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Figura 73, percebe-se que com o passar dos dias, o concreto apresentou um ganho de resistência à compressão de aproximadamente 45%, porém, em ambas as idades o concreto apresentou resistência inferior a 20 MPa, que é o valor mínimo recomendado pela ABNT NBR-16.416:2015 para aplicação do concreto permeável em revestimento de pavimento para tráfego de pedestres.

### 5.3.4 Ensaio de Absorção de Água e Índice de Vazios

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão e índice de vazios estão organizados na Tabela 37.

Tabela 37- Resultados do ensaio de absorção de água e índice de vazios

Corpo de prova (CP)	Massa seca (kg)	Massa imersa (kg)	Massa saturada (kg)	Absorção (%)	Índice Vazios (%)
2	2,922	1,852	3,144	7,60	17,18
3	2,926	1,858	3,148	7,59	17,21
14	2,910	1,848	3,116	7,08	16,25
<b>Média</b>	<b>2,919</b>	<b>1,853</b>	<b>3,136</b>	<b>7,42</b>	<b>16,88</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,008</b>	<b>0,005</b>	<b>0,017</b>	<b>0,30</b>	<b>0,55</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os dados da Tabela 37, percebe-se que os valores dos índices de vazios encontrados estão dentro da faixa recomendada para o concreto permeável (entre 15% e 35%), no entanto, ficaram abaixo daquele adotado no momento da dosagem (25%). Uma justificativa para obtenção deste valor de índice de vazios é o fato do agregado natural, utilizado na mistura do concreto, possuir grande quantidade de finos na sua composição, conforme discutido no item 5.1.2 deste trabalho.

### 5.3.5 Ensaio do Coeficiente de Permeabilidade

A Tabela 38 apresenta os valores dos coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios, e é possível verificar que, na média, o coeficiente de permeabilidade determinado em laboratório foi cerca de 12 vezes superior a  $10^{-3}$  m/s, que é o valor mínimo estipulado pela ABNT NBR-16.416:2015 para aplicação do concreto como revestimento permeável.

Tabela 38- Resultados do ensaio do coeficiente de permeabilidade

Corpo de prova (CP)	Diâmetro (m)	Altura (m)	Tempo (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coefficiente Permeabilidade (m/s)
4	0,0998	0,2004	22,94	22,71	13,93 x 10 <sup>-3</sup>
			23,06		
			22,13		
7	0,1003	0,1967	24,78	24,07	12,77 x 10 <sup>-3</sup>
			23,78		
			23,66		
15	0,1008	0,2005	30,62	31,48	9,85 x 10 <sup>-3</sup>
			32,21		
			31,62		
<b>Média</b>					<b>12,18 x 10<sup>-3</sup></b>
<b>Desvio padrão</b>					<b>2,10 x 10<sup>-3</sup></b>

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.4 ENSAIOS NO CONCRETO PERMEÁVEL

### 5.4.1 Dosagem

Como dito anteriormente, o valor da massa específica do cimento utilizada para os ensaios preliminares foi extraído do site do fabricante, porém, para a realização dos ensaios finais, também foi determinada a massa específica do cimento em laboratório, resultando em alteração deste parâmetro (ver Tabela 32) e, conseqüentemente, alterando as quantidades de todos os materiais. Os novos quantitativos são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39- Consumo dos materiais e parâmetros utilizados na mistura final do concreto permeável

Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )	Aditivo (kg/m <sup>3</sup> )	Índice Vazios (%)	γ <sub>c</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>b</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
372,91	1491,64	126,79	1,68	25,00	3,08	2,97

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.4.2 Ensaios no Concreto Fresco

### 5.4.2.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*)

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone foi realizado imediatamente após a mistura do concreto permeável e seus resultados estão apresentados na Tabela 40. Nos ensaios das amostras AR 07, AR 08, AR 09 e AR 10 não foi possível a determinação do valor do abatimento, pois no momento da retirada da forma metálica o cone formado pelo concreto permeável desmanchou antes de realização da leitura, impossibilitando sua determinação.

Tabela 40- Resultados do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

<b>Amostra</b>	<b>AN</b>	<b>AR 01</b>	<b>AR 02</b>	<b>AR 03</b>	<b>AR 04</b>	<b>AR 05</b>	<b>AR 06</b>	<b>AR 07</b>	<b>AR 08</b>	<b>AR 09</b>	<b>AR 10</b>	<b>AR 11</b>	<b>AR 12</b>	<b>AR 13</b>
Abatimento (cm)	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	0,0	0,0	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Pelos resultados observados na Tabela 40, verifica-se que o concreto ensaiado tem pouca fluidez e trabalhabilidade baixa, portanto, dificulta a moldagem.

### 5.4.2.2 Massa específica do concreto fresco

A ABNT NBR-16.416:2015 estabelece para o concreto permeável, aplicado como revestimento em pavimento, que sua massa específica seja superior a 1600 kg/m<sup>3</sup>. Os valores de massa específica dos concretos ensaiados estão organizados na Tabela 41.

Tabela 41- Resultados do ensaio de massa específica do concreto fresco

Amostra	Volume (m <sup>3</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Massa do Concreto Fresco (kg)	Massa Específica Concreto Fresco (kg/m <sup>3</sup> )
AN	9,60	18,10	1885,42
AR 01	9,60	14,77	1538,02
AR 02	9,60	15,66	1631,25
AR 03	9,60	14,61	1521,88
AR 04	9,60	14,39	1498,44
AR 05	9,60	15,45	1609,38
AR 06	9,60	15,07	1569,79
AR 07	9,60	15,64	1629,17
AR 08	9,60	15,34	1597,92
AR 09	9,60	15,51	1615,63
AR 10	9,60	15,66	1631,25
AR 11	9,60	15,08	1570,83
AR 12	9,60	15,53	1617,71
AR 13	9,60	15,59	1623,96
<b>Maior</b>			<b>1885,42</b>
<b>Menor</b>			<b>1498,44</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando a Tabela 41, pode-se verificar que as massas das amostras AR 01, AR 03, AR 04, AR 06, AR 08 e AR 11 não atendem ao valor mínimo estipulado em norma. Considerando a média da massa específica dos concretos confeccionados apenas com RCC, que conduz a um valor de 1588,86 kg/m<sup>3</sup>, o resultado continua inferior ao mínimo recomendado.

Vale ressaltar que o menor valor encontrado para a massa específica do concreto fresco é de 1498,44 kg/m<sup>3</sup> (amostra AR 04), o que corresponde a aproximadamente 94% do valor de referência da norma, lembrando que a amostra AR 04 apresentou a segunda menor massa específica entre os agregados de RCC coletados, contribuindo, conseqüentemente, para a redução do valor da massa específica da mistura.

### 5.4.3 Ensaios no Concreto Permeável

#### 5.4.3.1 Ensaio de compressão axial

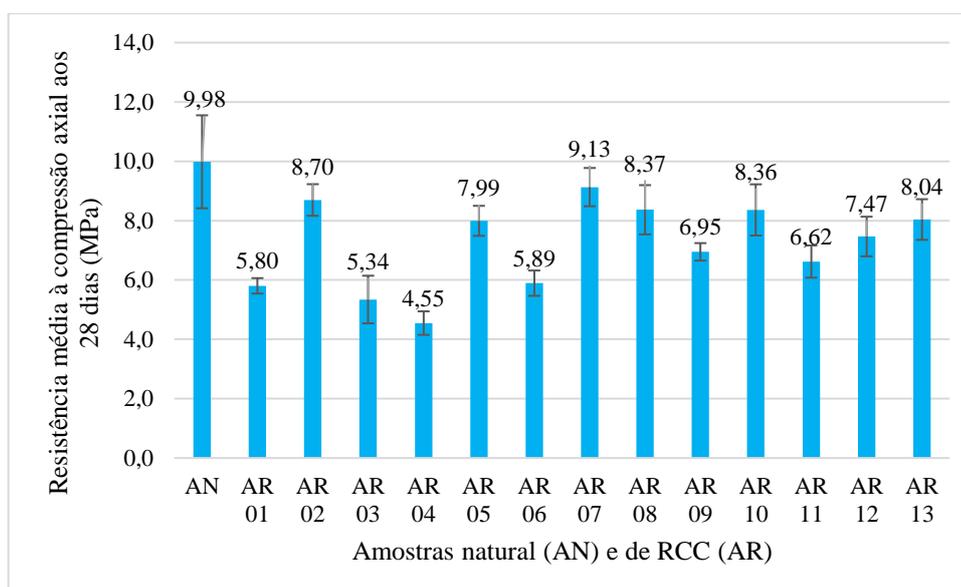
Os resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias de cura úmida estão apresentados na Tabela 42 e ilustrados na Figura 74, com os respectivos desvios-padrão.

Tabela 42- Resultados do ensaio de compressão axial a 28 dias

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Resistência à Compressão Axial a 28 dias (MPa)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	7,03	5,50	9,08	5,40	4,77	7,64	6,33	10,01	7,96	6,79	7,78	6,83	8,48	7,79
N <sub>2</sub>	9,88	5,64	9,57	5,84	4,55	7,67	5,18	9,13	8,87	7,18	9,19	7,13	7,31	7,10
N <sub>3</sub>	11,30	5,70	8,56	5,18	4,72	8,67	6,06	9,28	7,85	6,98	7,83	7,12	6,55	8,51
N <sub>4</sub>	9,85	6,24	8,23	6,19	4,91	8,42	6,07	9,07	9,45	6,61	9,17	6,35	7,92	8,61
N <sub>5</sub>	10,80	5,81	8,20	3,87	3,79	8,18	5,59	8,01	7,21	6,74	9,00	5,70	7,42	7,46
N <sub>6</sub>	11,04	5,93	8,54	5,57	4,54	7,38	6,13	9,28	8,86	7,39	7,20	6,59	7,11	8,76
<b>Maior</b>	<b>11,30</b>	<b>6,24</b>	<b>9,57</b>	<b>6,19</b>	<b>4,91</b>	<b>8,67</b>	<b>6,33</b>	<b>10,01</b>	<b>9,45</b>	<b>7,39</b>	<b>9,19</b>	<b>7,13</b>	<b>8,48</b>	<b>8,76</b>
<b>Menor</b>	<b>7,03</b>	<b>5,50</b>	<b>8,20</b>	<b>3,87</b>	<b>3,79</b>	<b>7,38</b>	<b>5,18</b>	<b>8,01</b>	<b>7,21</b>	<b>6,61</b>	<b>7,20</b>	<b>5,70</b>	<b>6,55</b>	<b>7,10</b>
<b>Média</b>	<b>9,98</b>	<b>5,80</b>	<b>8,70</b>	<b>5,34</b>	<b>4,55</b>	<b>7,99</b>	<b>5,89</b>	<b>9,13</b>	<b>8,37</b>	<b>6,95</b>	<b>8,36</b>	<b>6,62</b>	<b>7,47</b>	<b>8,04</b>
<b>Desvio</b>	<b>1,57</b>	<b>0,26</b>	<b>0,53</b>	<b>0,80</b>	<b>0,40</b>	<b>0,51</b>	<b>0,43</b>	<b>0,64</b>	<b>0,83</b>	<b>0,29</b>	<b>0,86</b>	<b>0,54</b>	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 74- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de compressão axial aos 28 dias no concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 42 e a Figura 74, percebe-se que os concretos apresentaram resistências à compressão inferiores a 20 MPa, que é o valor mínimo recomendado pela ABNT NBR-16.416:2015 para aplicação do concreto permeável em revestimento de pavimento para tráfego de pedestres, em todas as amostras, inclusive na amostra com agregado natural (basalto) que apresentou uma resistência média à compressão de 9,98 MPa.

Também foi observada uma diminuição no valor da resistência à compressão obtido no ensaio preliminar utilizando agregado natural, pois foi medido o valor médio de resistência de 12,75 MPa. Uma justificativa possível para esta diminuição foi a alteração no processo de cura úmida dos corpos de prova, sendo que nos ensaios preliminares, a cura foi realizada por imersão em água saturada com cal, e para os ensaios finais, em função da quantidade de corpos de prova produzidos, não foi possível a realização do mesmo procedimento, neste caso, a cura foi realizada em uma câmara com umidade controlada acima de 95%. O concreto permeável possui uma quantidade significativa de vazios interligados e isto facilita a passagem de ar pelo corpo de prova, o que pode provocar uma perda mais rápida de umidade e de água da mistura, prejudicando as reações químicas com o cimento e, conseqüentemente, diminuindo a resistência à compressão.

Avaliando os resultados da resistência média à compressão apenas entre as amostras com agregado de RCC, na Tabela 42, foi observada uma redução de 50,20% entre o maior e o menor valor médio de resistência à compressão, evidenciando uma discrepância deste parâmetro entre as amostras coletadas.

O concreto confeccionado com o agregado obtido pela mistura das 12 amostras coletadas, denominada de AR 13, obteve uma resistência média à compressão de 8,04 MPa, valor que é superior à média da resistência dos 12 concretos preparados com os agregados de RCC coletados pontualmente, cujo valor foi de 7,10 MPa.

Conforme pôde ser observado na Tabela 42, existem diferenças entre as médias das resistências à compressão para os diferentes tipos de agregados. Para verificar se estas diferenças são significativas do ponto de vista estatísticos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%. Ressalta-se que foi aplicada a ANOVA em duas situações distintas, sendo a primeira delas englobando todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC. Esta distinção foi feita, pois a natureza dos agregados é muito diferente. A Tabela 43 apresenta os resultados das análises de variância realizadas.

Tabela 43- Resultado da ANOVA para compressão axial com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	191,81	14,7548	28,75	0,00
Resíduos	70	35,92	0,5132		
Total	83	227,74			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	147,7	12,3086	33,82	0,00
Resíduos	65	23,66	0,3639		
Total	77	171,36			

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 43, verifica-se que para ambos os casos o valor “P” é inferior a 0,05, o que indica a existência de diferenças estatisticamente significativa entre as médias do parâmetro estudado. Assim, para verificar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey, também com 95% de nível de confiança, e os resultados estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da resistência à compressão axial, após o teste de Tukey

<b>Amostra</b>	<b>Número de ensaios (N<sub>e</sub>)</b>	<b>Compressão axial média a 28 dias (MPa)</b>	<b>Fator R*</b>	<b>Agrupamento Com Agregado Natural (AN)</b>				<b>Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)</b>							
AN	6	9,98	1,00	A											
AR 07	6	9,13	0,91	A	B				A						
AR 02	6	8,70	0,87	A	B	C			A						
AR 08	6	8,37	0,84		B	C	D		A	B					
AR 10	6	8,36	0,84		B	C	D		A	B					
AR 13	6	8,04	0,81		B	C	D	E	A	B	C				
AR 05	6	7,99	0,80		B	C	D	E	A	B	C				
AR 12	6	7,47	0,75			C	D	E		B	C	D			
AR 09	6	6,95	0,70				D	E	F		C	D	E		
AR 11	6	6,62	0,66					E	F	G		D	E		
AR 06	6	5,89	0,59						F	G	H		E	F	
AR 01	6	5,80	0,58						F	G	H		E	F	
AR 03	6	5,34	0,54							G	H			F	G
AR 04	6	4,55	0,46								H				G

\* divisão dos valores médios de cada amostra pelo valor obtido com o agregado natural (AN)

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 44, observa-se que o menor valor de resistência à compressão obtido pelos concretos preparados com agregado de RCC (AR 04) foi de 4,55 MPa, o que corresponde a aproximadamente 46,0 % da resistência de referência. Já a maior resistência à compressão obtida com o agregado de RCC, AR 07, chegou a 91,0 % da resistência de referência.

Cabe destacar, que pelo agrupamento realizado após o teste de Tukey, que os concretos que compartilham da mesma letra, são estatisticamente iguais.

#### 5.4.3.2 Ensaio de tração na flexão

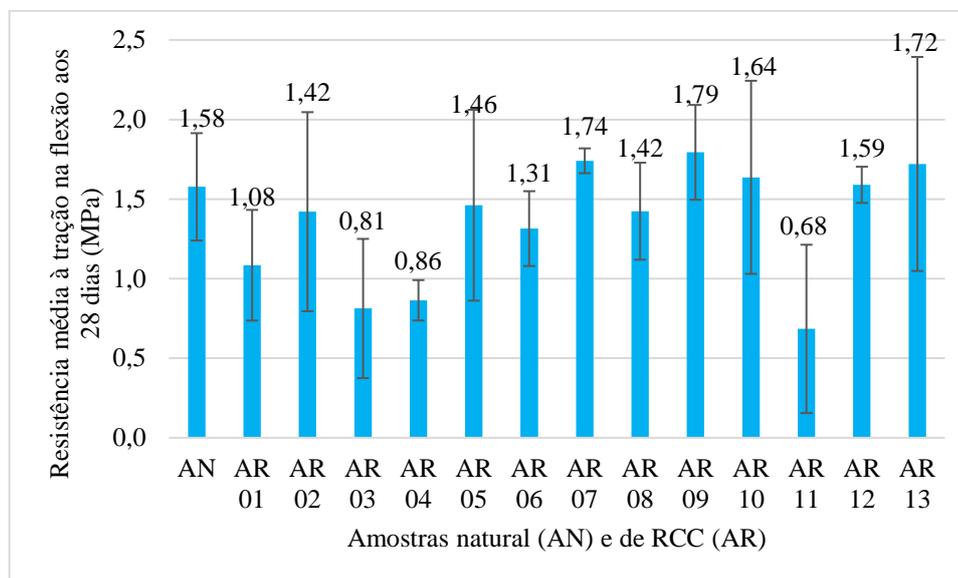
A Tabela 45 e a Figura 75 apresentam os dados obtidos no ensaio de tração na flexão realizado nos corpos de prova de concreto permeável aos 28 dias de cura úmida e confeccionados com agregados natural e de RCC. Importante salientar que na amostra AR 02, houve uma falha na realização do ensaio, impossibilitando a coleta do valor da resistência, por este motivo, diferente dos demais concretos, esta amostra ficou apenas com 4 corpos de prova.

Tabela 45- Resultados do ensaio de tração na flexão a 28 dias

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Resistência à Tração na Flexão a 28 dias (MPa)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	1,97	1,01	1,89	0,65	0,91	1,69	1,41	1,69	1,65	1,92	0,67	1,54	1,55	2,14
N <sub>2</sub>	1,78	1,27	1,85	1,24	0,82	1,93	1,44	1,79	1,58	1,81	2,21	0,45	1,72	2,16
N <sub>3</sub>	1,17	1,35	0,54	1,31	0,88	1,83	1,24	1,82	1,59	2,05	2,04	0,74	1,70	0,54
N <sub>4</sub>	1,29	0,51	1,40	0,39	0,69	1,42	1,54	1,77	0,91	1,28	1,47	0,13	1,47	1,86
N <sub>5</sub>	1,67	1,28	-	0,46	1,03	0,45	0,94	1,64	1,38	1,90	1,79	0,57	1,51	1,90
<b>Maior</b>	<b>1,97</b>	<b>1,35</b>	<b>1,89</b>	<b>1,31</b>	<b>1,03</b>	<b>1,93</b>	<b>1,54</b>	<b>1,82</b>	<b>1,65</b>	<b>2,05</b>	<b>2,21</b>	<b>1,54</b>	<b>1,72</b>	<b>2,16</b>
<b>Menor</b>	<b>1,17</b>	<b>0,51</b>	<b>0,54</b>	<b>0,39</b>	<b>0,69</b>	<b>0,45</b>	<b>0,94</b>	<b>1,64</b>	<b>0,91</b>	<b>1,28</b>	<b>0,67</b>	<b>0,13</b>	<b>1,47</b>	<b>0,54</b>
<b>Média</b>	<b>1,58</b>	<b>1,08</b>	<b>1,42</b>	<b>0,81</b>	<b>0,86</b>	<b>1,46</b>	<b>1,31</b>	<b>1,74</b>	<b>1,42</b>	<b>1,79</b>	<b>1,64</b>	<b>0,68</b>	<b>1,59</b>	<b>1,72</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>	<b>0,63</b>	<b>0,44</b>	<b>0,13</b>	<b>0,60</b>	<b>0,24</b>	<b>0,08</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,61</b>	<b>0,53</b>	<b>0,11</b>	<b>0,67</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 75- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de tração na flexão aos 28 dias no concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

A ABNT NBR-16.416:2015 recomenda que a resistência à tração na flexão para concreto permeável moldado no local quando solicitado à tráfego de pedestres, seja de pelo menos 1,0 MPa, e analisando as médias de resistência à tração na flexão apresentadas pela Figura 75, pode-se observar que as amostras AR 03, AR 04 e AR 11 não atingiram o mínimo recomendado pela norma. Todas as demais amostras ultrapassaram o valor mínimo recomendado, inclusive com as amostras AR 07, AR 09, AR 10, AR 12 e AR 13, provenientes de agregado de RCC, atingiram valores superiores ao da amostra com agregado natural.

Avaliando os resultados da resistência média à tração na flexão apenas entre as amostras com agregado de RCC, na Tabela 45, foi observado uma redução de 61,86% entre o maior e o menor valor médio de resistência à tração na flexão, evidenciando mais uma vez a diferença nas propriedades do concreto em função das características dos agregados de RCC coletados.

Foi determinada uma resistência média à tração na flexão para a amostra AR 13 de 1,72 MPa, sendo superior ao valor médio das resistências médias das doze amostras de RCC e da amostra natural, que apresentaram valores iguais a 1,32 MPa e a 1,58 MPa, respectivamente.

De acordo com os resultados observados na Tabela 45, existem diferenças entre as médias das resistências à tração na flexão para os diferentes tipos de agregados e para verificar se estas diferenças são significativas do ponto de vistas estatísticos, foi realizada a análise de variância (ANOVA). A análise de variância foi aplicada em duas situações

distintas, sendo a primeira delas com todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC. Esta distinção foi feita para evidenciar as diferenças entre as amostras de RCC. A Tabela 46 apresenta os resultados das análises de variância realizadas.

Tabela 46- Resultado da ANOVA para tração na flexão com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	8,689	0,6684	3,75	0,00
Resíduos	55	9,810	0,1784		
Total	68	18,499			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	8,447	0,7039	3,84	0,00
Resíduos	51	9,354	0,1834		
Total	63	17,801			

Fonte: Elaborado pelo autor

Verificando os resultados da ANOVA na Tabela 46, pôde-se observar que para ambos os casos o valor “P” é inferior a 0,05, o que indica a existência de diferenças estatisticamente significativa entre as médias do parâmetro estudado. Deste modo, para demonstrar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey e os resultados estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da resistência à tração na flexão, após o teste de Tukey

Amostra	Número de Ensaios (N <sub>e</sub> )	Tração na flexão média a 28 dias (MPa)	Fator R*	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)			Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)		
AR 09	5	1,79	1,14	A			A		
AR 07	5	1,74	1,10	A	B		A	B	
AR 13	5	1,72	1,09	A	B		A	B	
AR 10	5	1,64	1,04	A	B		A	B	
AR 12	5	1,59	1,01	A	B	C	A	B	C
AN	5	1,58	1,00	A	B	C		-	
AR 05	5	1,46	0,93	A	B	C	A	B	C
AR 08	5	1,42	0,90	A	B	C	A	B	C
AR 02	4	1,42	0,90	A	B	C	A	B	C
AR 06	5	1,31	0,83	A	B	C	A	B	C
AR 01	5	1,08	0,69	A	B	C	A	B	C
AR 04	5	0,86	0,55	A	B	C	A	B	C
AR 03	5	0,81	0,52		B	C		B	C
AR 11	5	0,68	0,43			C			C

\* divisão dos valores médios de cada amostra pelo valor obtido com o agregado natural (AN)

Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda conforme a Tabela 47, verifica-se que o maior valor de resistência à tração na flexão dos concretos confeccionados com agregado de RCC, a amostra AR 09, obteve uma resistência 14% superior ao concreto com agregado natural (AN). Já a amostra AR 11, que obteve a menor resistência à tração na flexão, teve uma diminuição de 57% em relação ao concreto de referência.

#### 5.4.3.3 Ensaio de permeabilidade

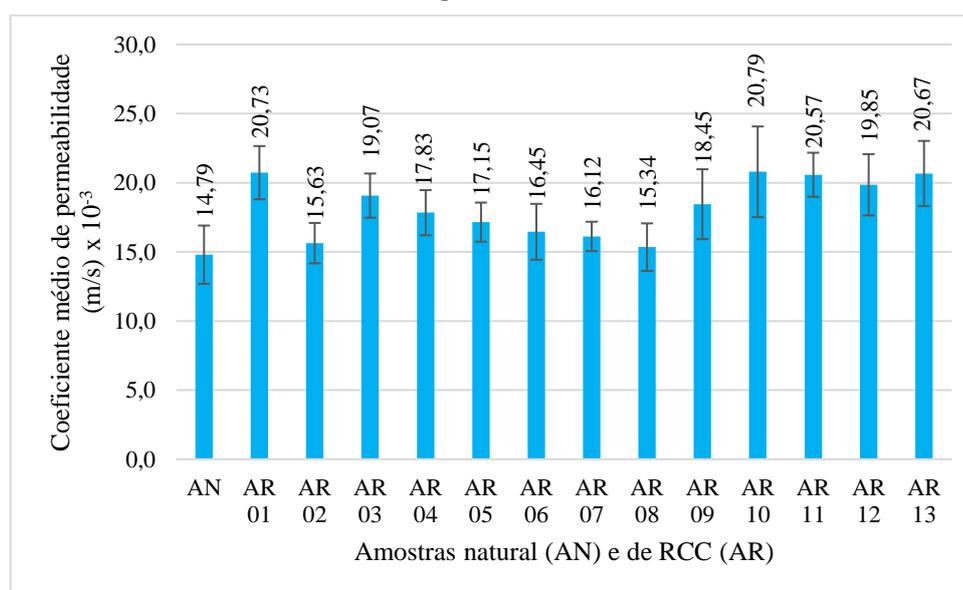
Os coeficientes médios de permeabilidade encontrados nos ensaios são apresentados na Tabela 48 e ilustrados na Figura 76.

Tabela 48- Resultados do ensaio de coeficiente de permeabilidade a 28 dias

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Coeficiente de Permeabilidade a 28 dias (m/s) x 10 <sup>-3</sup>													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	15,95	21,97	18,48	16,69	17,96	15,72	16,13	16,65	13,58	19,60	20,35	22,18	20,66	17,49
N <sub>2</sub>	18,31	20,88	15,70	21,38	20,40	16,11	15,12	15,69	18,28	16,49	18,03	21,84	21,47	21,17
N <sub>3</sub>	16,89	21,89	13,68	19,24	18,97	17,19	17,29	17,54	16,34	18,78	16,62	20,92	21,54	21,96
N <sub>4</sub>	13,21	20,94	13,40	19,51	19,72	17,21	17,06	16,22	13,11	19,24	21,01	22,73	21,87	21,16
N <sub>5</sub>	11,59	17,02	15,27	18,68	16,26	20,26	15,32	15,72	14,07	15,05	15,49	19,16	20,55	17,61
N <sub>6</sub>	14,65	18,69	15,56	19,20	16,49	18,15	15,10	16,16	16,13	18,25	22,51	17,82	17,08	18,99
N <sub>7</sub>	15,82	19,88	15,71	21,79	18,44	16,41	14,59	14,44	15,29	19,65	23,32	21,34	15,40	19,94
N <sub>8</sub>	12,73	23,98	15,53	18,83	15,07	16,07	17,65	14,51	14,68	24,10	22,63	20,19	19,87	21,61
N <sub>9</sub>	13,06	20,30	15,91	17,96	17,71	16,07	21,30	17,24	17,60	16,34	26,29	20,86	21,76	25,55
N <sub>10</sub>	15,70	21,72	17,06	17,38	17,28	18,30	14,93	17,01	14,28	16,97	21,63	18,68	18,31	21,20
<b>Maior</b>	<b>18,31</b>	<b>23,98</b>	<b>18,48</b>	<b>21,79</b>	<b>20,40</b>	<b>20,26</b>	<b>21,30</b>	<b>17,54</b>	<b>18,28</b>	<b>24,10</b>	<b>26,29</b>	<b>22,73</b>	<b>21,87</b>	<b>25,55</b>
<b>Menor</b>	<b>11,59</b>	<b>17,02</b>	<b>13,40</b>	<b>16,69</b>	<b>15,07</b>	<b>15,72</b>	<b>14,59</b>	<b>14,44</b>	<b>13,11</b>	<b>15,05</b>	<b>15,49</b>	<b>17,82</b>	<b>15,40</b>	<b>17,49</b>
<b>Média</b>	<b>14,79</b>	<b>20,73</b>	<b>15,63</b>	<b>19,07</b>	<b>17,83</b>	<b>17,15</b>	<b>16,45</b>	<b>16,12</b>	<b>15,34</b>	<b>18,45</b>	<b>20,79</b>	<b>20,57</b>	<b>19,85</b>	<b>20,67</b>
<b>Desvio</b>	<b>2,11</b>	<b>1,92</b>	<b>1,46</b>	<b>1,60</b>	<b>1,64</b>	<b>1,41</b>	<b>2,02</b>	<b>1,06</b>	<b>1,72</b>	<b>2,53</b>	<b>3,28</b>	<b>1,60</b>	<b>2,22</b>	<b>2,36</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 76- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de coeficiente de permeabilidade no concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

A ABNT NBR-16.416:2015 recomenda que o coeficiente de permeabilidade seja maior ou igual a  $1,0 \times 10^{-3}$  m/s, desta forma, ao se analisar os dados constantes da Tabela 48,

verifica-se que todas as amostras apresentaram valores bem superiores ao mínimo recomendado pela norma.

Constatou-se que a amostra AR 13 possui um valor médio para o coeficiente de permeabilidade 20,67 vezes maior que o mínimo recomendado por norma, sendo superior ao valor médio do agregado natural que é de  $14,79 \times 10^{-3}$  m/s e a média entre as doze amostras de RCC que é de  $18,16 \times 10^{-3}$  m/s.

A amostra natural apresentou o menor coeficiente de permeabilidade entre as amostras ensaiadas e um fator importante que contribuiu para este resultado é que esta amostra apresentou na análise granulométrica uma porcentagem superior a 80% de finos (partículas menores que 4,75 mm) na sua composição, contribuindo para obtenção de um concreto permeável com maior resistência mecânica e menor coeficiente de permeabilidade.

Como existem diferenças entre as médias dos coeficientes de permeabilidade para os diferentes tipos de agregados, conforme resultados apresentados na Tabela 48, e para verificar se estas diferenças são significativas do ponto de vista estatísticos, foi realizada a análise de variância (ANOVA). A Tabela 49 apresenta os resultados das análises de variância realizadas.

Tabela 49- Resultado da ANOVA para coeficiente de permeabilidade com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	0,000633	0,000049	12,2	0,00
Resíduos	126	0,000503	0,000004		
Total	139	0,001136			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	0,000515	0,000043	10,85	0,00
Resíduos	117	0,000463	0,000004		
Total	129	0,000977			

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os resultados da análise de variância na Tabela 49 para as duas simulações, verificou-se que as duas apresentam valores de “P” menores que 0,05, significando que existem diferenças estatisticamente significativas entre os coeficientes de permeabilidade nas amostras ensaiadas. Exposto isto, foi realizado o teste de Tukey para agrupar as amostras semelhantes entre si e os resultados estão listados na Tabela 50.

Tabela 50- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias do coeficiente de permeabilidade, após o teste de Tukey

Amostra	Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Coefficiente permeabilidade médio (m/s)	Fator R*	Agrupamento Com Agregado Natural (AN)					Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)					
AR 10	10	0,02079	1,41	A						A				
AR 01	10	0,02073	1,40	A						A				
AR 13	10	0,02067	1,40	A						A				
AR 11	10	0,02057	1,39	A						A				
AR 12	10	0,01985	1,34	A	B					A	B			
AR 03	10	0,01907	1,29	A	B	C				A	B	C		
AR 09	10	0,01845	1,25	A	B	C	D			A	B	C	D	
AR 04	10	0,01783	1,21	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
AR 05	10	0,01715	1,16		B	C	D	E			B	C	D	E
AR 06	10	0,01645	1,11			C	D	E				C	D	E
AR 07	10	0,01612	1,09			C	D	E				C	D	E
AR 02	10	0,01563	1,06				D	E					D	E
AR 08	10	0,01534	1,04					E						E
AN	10	0,01479	1,00					E						E

\* divisão dos valores médios de cada amostra pelo valor obtido com o agregado natural (AN)

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando os resultados apresentados na Tabela 50, verifica-se que o maior valor do coeficiente de permeabilidade dos concretos confeccionados com agregado de RCC, a amostra AR 10, obteve uma permeabilidade 41% superior ao concreto com agregado natural (AN). Já a amostra AR 08, que obteve o menor coeficiente de permeabilidade, teve um aumento de 4% em relação ao concreto de referência.

Pelo teste de Tukey, somente a amostra AR 04 pertence a todos os grupos, ou seja, é semelhante estatisticamente a todas as amostras ensaiadas, incluindo a amostra com agregado natural.

Foi observado que os agrupamentos ficaram inalterados quando avaliados com ou sem o agregado natural na distribuição pelo teste de Tukey.

Analisando-se o maior valor de coeficiente de permeabilidade encontrado neste trabalho, observou-se que este parâmetro é 20,79 maior que o requisito mínimo da ABNT

NBR-16.416:2015 e, para efeito comparativo, a Tabela 51 apresenta coeficientes de permeabilidade encontrados por outros autores.

Tabela 51- Coeficientes de permeabilidades determinados por diferentes autores

Fonte	Coeficiente de Permeabilidade (m/s)
YAP, S. P.; CHEN, P. Z. C.; GOH, Y. <i>et al</i> (2018)	$23,8 \times 10^{-3}$
ULLOA-MAYORGA, V. A.; URIBE-GARCÉS, M. A.; PAZ- GÓMEZ, D. P, <i>et al.</i> (2018)	$24,8 \times 10^{-3}$
PAULA JÚNIOR, A. C. (2019)	$23,6 \times 10^{-3}$
Autor (2023)	$20,79 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.4.3.4 Ensaio de absorção de água e índice de vazios

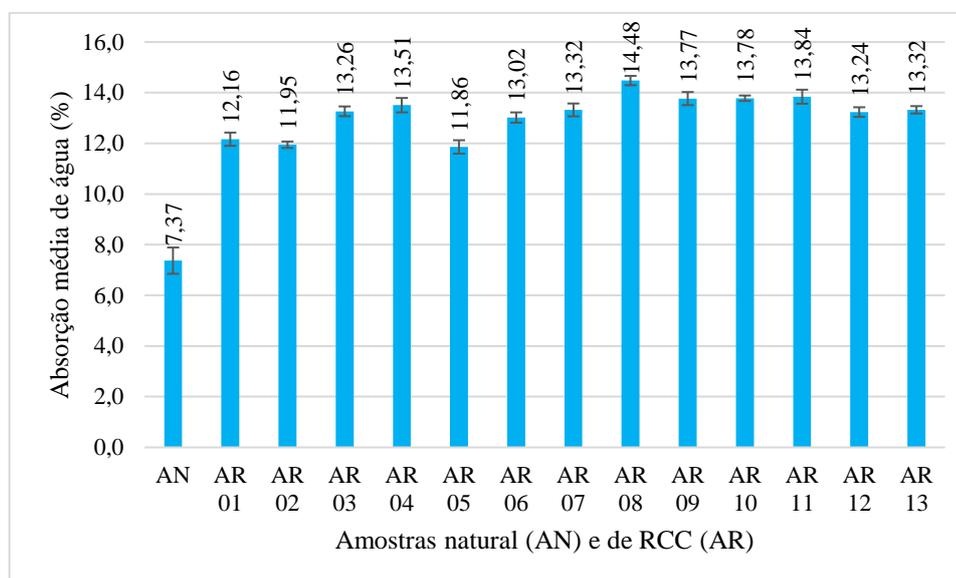
Os valores de absorção de água determinados nos ensaios são apresentados na Tabela 52 e representados graficamente na Figura 77.

Tabela 52- Resultados do ensaio de absorção de água aos 28 dias

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Absorção de Água a 28 dias (%)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	7,04	11,84	11,79	13,00	13,29	11,66	12,94	13,41	14,57	13,46	13,62	13,46	13,21	13,14
N <sub>2</sub>	7,08	12,21	12,00	13,24	13,39	11,62	13,32	12,99	14,45	13,66	13,81	14,04	13,02	13,29
N <sub>3</sub>	8,14	12,12	12,09	13,45	13,42	11,98	12,89	13,28	14,66	14,03	13,84	14,05	13,24	13,49
N <sub>4</sub>	7,22	12,48	11,91	13,36	13,93	12,18	12,92	13,59	14,24	13,93	13,86	13,83	13,48	13,37
<b>Maior</b>	<b>8,14</b>	<b>12,48</b>	<b>12,09</b>	<b>13,45</b>	<b>13,93</b>	<b>12,18</b>	<b>13,32</b>	<b>13,59</b>	<b>14,66</b>	<b>14,03</b>	<b>13,86</b>	<b>14,05</b>	<b>13,48</b>	<b>13,49</b>
<b>Menor</b>	<b>7,04</b>	<b>11,84</b>	<b>11,79</b>	<b>13,00</b>	<b>13,29</b>	<b>11,62</b>	<b>12,89</b>	<b>12,99</b>	<b>14,24</b>	<b>13,46</b>	<b>13,62</b>	<b>13,46</b>	<b>13,02</b>	<b>13,14</b>
<b>Média</b>	<b>7,37</b>	<b>12,16</b>	<b>11,95</b>	<b>13,26</b>	<b>13,51</b>	<b>11,86</b>	<b>13,02</b>	<b>13,32</b>	<b>14,48</b>	<b>13,77</b>	<b>13,78</b>	<b>13,84</b>	<b>13,24</b>	<b>13,32</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,52</b>	<b>0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>0,19</b>	<b>0,28</b>	<b>0,26</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,11</b>	<b>0,28</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 77- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de absorção de água no concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando os resultados obtidos da absorção média de água do concreto permeável com agregado natural do ensaio preliminar e o valor apresentado na Tabela 52, tem-se 7,42% e 7,37%, respectivamente, conferindo pouca alteração nos resultados para o concreto confeccionado com o mesmo agregado.

Visualizando a Figura 77, verificou-se que a amostra de RCC denominada AR 05 possui o menor valor médio de absorção de água para o concreto permeável (11,86%) e que a amostra AR 08 apresentou o maior valor (14,48%), coincidindo com os resultados de caracterização dos agregados de RCC, pois o menor valor de absorção de água do agregado de RCC foi obtido pela amostra AR 05 (7,55%) e o maior pela amostra AR 08 (10,53%).

Com os dados da Tabela 52 é possível determinar o valor médio das 12 absorções médias de água das amostras de RCC, sendo o valor igual a 13,18%, e foi verificada a proximidade com o valor da amostra AR 13 que é de 13,32%.

Observando-se diferenças entre os valores médios de absorção de água para o concreto permeável na Tabela 52, realizou-se uma análise de variância para conferir a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, analisando em duas situações distintas (com e sem o agregado natural) e os resultados são descritos na Tabela 53.

Tabela 53- Resultado da ANOVA para absorção de água com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância – Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	155,18	11,937	187,19	0,00
Resíduos	42	2,68	0,064		
Total	55	157,86			
<b>Análise de Variância – Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	29,26	2,4387	50,84	0,00
Resíduos	39	1,87	0,0480		
Total	51	31,14			

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o valor de “P” na Tabela 53 é inferior a 0,05, implica que as diferenças entre médias de absorção de água das amostras são significativas e para demonstrar quais amostras são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey, em que se comparou, duas a duas, todas médias, e os resultados estão organizados na Tabela 54.

Tabela 54- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias da absorção de água, após o teste de Tukey

<b>Amostra</b>	<b>Número de ensaios (N<sub>e</sub>)</b>	<b>Absorção de água média (%)</b>	<b>Fator R*</b>	<b>Agrupamento Com Agregado Natural (AN)</b>	<b>Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)</b>
AR 08	4	14,48	1,96	A	A
AR 11	4	13,84	1,88	B	B
AR 10	4	13,78	1,87	B	B C
AR 09	4	13,77	1,87	B	B C
AR 04	4	13,51	1,83	B C	B C D
AR 13	4	13,32	1,81	B C	B C D
AR 07	4	13,32	1,81	B C	B C D
AR 03	4	13,27	1,80	B C	C D
AR 12	4	13,24	1,80	B C	C D
AR 06	4	13,02	1,77	C	D
AR 01	4	12,16	1,65		D E
AR 02	4	11,95	1,62		D E
AR 05	4	11,86	1,61		D E
AN	4	7,37	1,00		E

\* divisão dos valores médios de cada amostra pelo valor obtido com o agregado natural (AN)

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os resultados da Tabela 54 no agrupamento com agregado natural, é possível identificar uma distribuição das amostras em 5 grupos, sendo que a amostra de RCC identificada por AR 08 e a amostra com agregado natural não são semelhantes estatisticamente a nenhuma outra amostra, apresentando letras do grupo que diferem de todas as outras amostras.

Foram identificadas nas amostras de RCC uma redução de aproximadamente 18,10% em relação ao maior valor de absorção de água entre as amostras de RCC ensaiadas, sendo que o menor valor de absorção de água para os concretos confeccionados com agregado de RCC é 61% maior que o valor determinado com agregado natural.

Ressalta-se a importância de efetuar uma pré-molhagem dos agregados de RCC antes da mistura do concreto permeável conforme recomendado pela norma ABNT NBR-15.116:2021, pois o agregado absorve muita água da mistura podendo prejudicar as reações químicas do cimento.

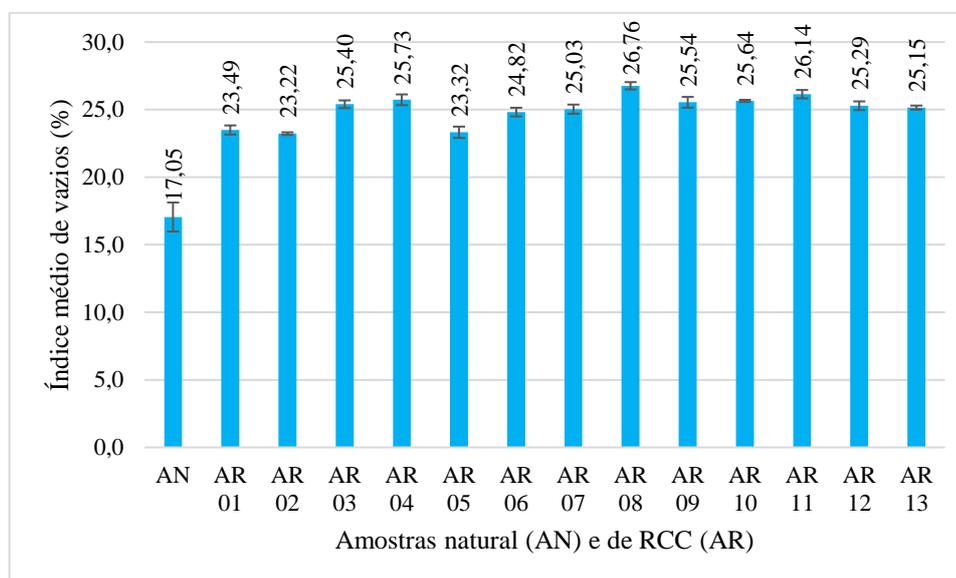
Os resultados do ensaio de índice de vazios das amostras são apresentados na Tabela 55 e Figura 78.

Tabela 55- Resultados do ensaio de índice de vazios a 28 dias

Número de ensaios (N <sub>e</sub> )	Índice de Vazios a 28 dias (%)													
	AN	AR 01	AR 02	AR 03	AR 04	AR 05	AR 06	AR 07	AR 08	AR 09	AR 10	AR 11	AR 12	AR 13
N <sub>1</sub>	16,38	23,09	23,17	25,04	25,43	23,05	24,64	25,33	26,76	25,12	25,57	25,71	25,16	25,00
N <sub>2</sub>	16,48	23,51	23,22	25,34	25,61	22,94	25,29	24,68	26,91	25,27	25,58	26,34	24,92	25,08
N <sub>3</sub>	18,65	23,45	23,36	25,73	25,55	23,44	24,59	24,80	27,00	25,92	25,73	26,40	25,41	25,35
N <sub>4</sub>	16,69	23,92	23,14	25,47	26,32	23,86	24,75	25,32	26,38	25,84	25,69	26,11	25,66	25,16
<b>Maior</b>	<b>18,65</b>	<b>23,92</b>	<b>23,36</b>	<b>25,73</b>	<b>26,32</b>	<b>23,86</b>	<b>25,29</b>	<b>25,33</b>	<b>27,00</b>	<b>25,92</b>	<b>25,73</b>	<b>26,40</b>	<b>25,66</b>	<b>25,35</b>
<b>Menor</b>	<b>16,38</b>	<b>23,09</b>	<b>23,14</b>	<b>25,04</b>	<b>25,43</b>	<b>22,94</b>	<b>24,59</b>	<b>24,68</b>	<b>26,38</b>	<b>25,12</b>	<b>25,57</b>	<b>25,71</b>	<b>24,92</b>	<b>25,00</b>
<b>Média</b>	<b>17,05</b>	<b>23,49</b>	<b>23,22</b>	<b>25,40</b>	<b>25,73</b>	<b>23,32</b>	<b>24,82</b>	<b>25,03</b>	<b>26,76</b>	<b>25,54</b>	<b>25,64</b>	<b>26,14</b>	<b>25,29</b>	<b>25,15</b>
<b>Desvio</b>	<b>1,07</b>	<b>0,34</b>	<b>0,10</b>	<b>0,29</b>	<b>0,40</b>	<b>0,42</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b>	<b>0,27</b>	<b>0,40</b>	<b>0,08</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,15</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 78- Resultados médios e desvios-padrão do ensaio de índice de vazios no concreto permeável



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os dados fornecidos na Tabela 55 e Figura 78, verificou-se que a amostra com agregado natural apresentou um índice de vazio médio inferior ao adotado na dosagem do concreto permeável que foi de 25% e que a média dos índices de vazios médios das doze amostras de RCC ficou praticamente igual ao valor adotado inicialmente na dosagem (25,03%). A amostra de RCC denominada AR 13 forneceu um índice de vazios de 25,15%, ou seja, próximo a média dos índices de vazios médios das amostras de RCC.

O valor médio do índice de vazios de 16,88% determinado para a amostra de agregado natural nos ensaios preliminares ficou próximo ao valor apresentado na Figura 78 (17,05%) para amostra com o mesmo agregado. Este valor do índice de vazios menor que o adotado na dosagem do concreto permeável é consequência, principalmente, da quantidade de finos encontrados no agregado natural (>80%).

Conforme pôde ser observado analisando a Tabela 55, existem diferenças entre as médias do índice de vazios das amostras analisadas. Para verificar se estas diferenças são significativas do ponto de vista estatísticos, foi realizada a análise de variância. Ressalta-se que para o parâmetro foi aplicada a ANOVA em duas situações distintas, sendo a primeira delas englobando todos os agregados (natural e de RCC) e uma segunda análise, contemplando apenas os agregados de RCC. Os resultados são apresentados na Tabela 56.

Tabela 56- Resultado da ANOVA para índice de vazios com e sem o agregado natural

<b>Análise de Variância - Com Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	13	293,84	22,603	133,24	0,00
Resíduos	42	7,125	0,1696		
Total	55	300,964			
<b>Análise de Variância - Sem Agregado Natural (AN)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tratamento	12	56,701	4,72509	50,29	0,00
Resíduos	39	3,664	0,09395		
Total	51	60,365			

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 56, constatou-se que os valores de “P”, para as duas análises, foram inferiores a 0,05, o que significa que existem diferenças estatisticamente significativas entre as amostras analisadas e, portanto, fez-se o teste de Tukey para identificar quais amostras são semelhantes ou não entre si, onde os resultados do teste apresentados na Tabela 57.

Tabela 57- Amostras agrupadas em função das diferenças estatisticamente significativas entre as médias do índice de vazios, após o teste de Tukey

<b>Amostra</b>	<b>Número de ensaios (N<sub>e</sub>)</b>	<b>Índice de vazios médio (%)</b>	<b>Fator R*</b>	<b>Agrupamento Com Agregado Natural (AN)</b>		<b>Agrupamento Sem Agregado Natural (AN)</b>	
AR 8	4	26,76	1,57	A		A	
AR 11	4	26,14	1,53	A	B	A	B
AR 4	4	25,73	1,51		B C		B C
AR 10	4	25,64	1,50		B C		B C
AR 9	4	25,54	1,50		B C		B C D
AR 3	4	25,40	1,49		B C		B C D
AR 12	4	25,29	1,48		B C		C D
AR 13	4	25,15	1,47		B C		C D
AR 7	4	25,03	1,47		C		C D
AR 6	4	24,82	1,46		C		D
AR 1	4	23,49	1,38			D	E
AR 5	4	23,32	1,37			D	E
AR 2	4	23,22	1,36			D	E
AN	4	17,05	1,00			E	

\* divisão dos valores médios de cada amostra pelo valor obtido com o agregado natural (AN)

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os dados da Tabela 57, observa-se que o menor valor médio do índice de vazios das amostras com RCC é 36% maior que o valor médio do agregado natural e a diferença entre os limites inferior e superior deste parâmetro para as amostras de RCC é de 15,24%.

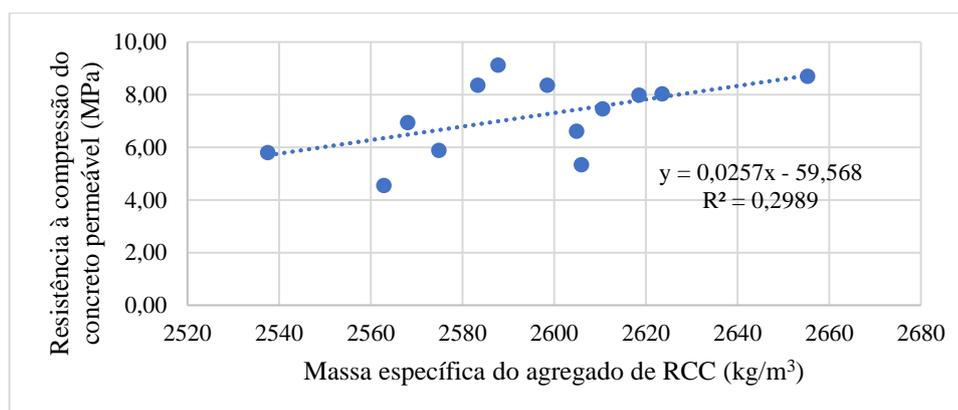
A amostra com agregado natural, pelo teste de Tukey, não apresenta semelhança com nenhuma amostra de RCC, e mesmo considerando a análise sem a amostra com agregado natural, percebem-se diferenças estatísticas entre as amostras de RCC.

## 5.5 INFLUÊNCIA DO AGREGADO DE RCC NO CONCRETO PERMEÁVEL

### 5.5.1 Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Mecânica do Concreto Permeável

A Figura 79 ilustra a regressão linear construída entre os resultados da resistência à compressão do concreto permeável e a massa específica do agregado de RCC.

Figura 79- Regressão linear entre a resposta da resistência à compressão e a massa específica do agregado de RCC



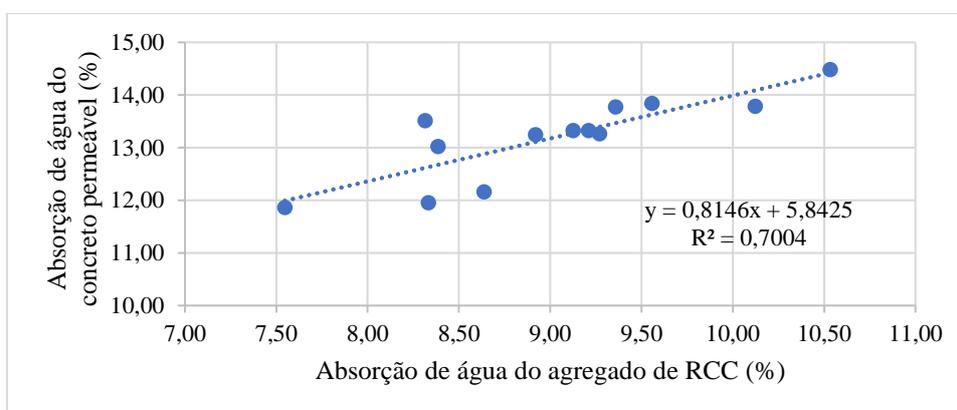
Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se os dados obtidos, constatou-se uma correlação entre a resistência à compressão e a massa específica do agregado de RCC. Como exposto anteriormente, os agregados de RCC possuem variação na sua composição e, portanto, as massas específicas destes agregados também sofrem alterações, provocando mudanças na resistência à compressão do concreto permeável produzido com este material.

### 5.5.2 Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Física do Concreto Permeável

Os resultados da regressão linear construída entre a absorção de água do concreto permeável e a absorção de água do agregado de RCC são apresentados na Figura 80.

Figura 80- Regressão linear entre a resposta da absorção de água do concreto permeável e a absorção de água do agregado de RCC

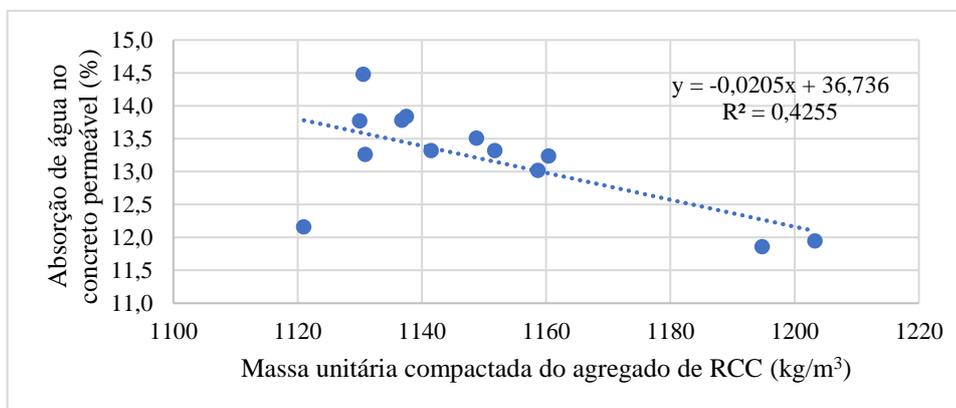


Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 80 observa-se uma correlação linear entre a absorção de água do concreto permeável e a absorção de água do agregado de RCC, ressaltando-se que o agregado de RCC possui uma absorção de água superior à absorção de água do agregado natural e que existem diferenças entre os valores determinados deste parâmetro em cada amostra coletada, logo, interfere proporcionalmente nesta propriedade física do concreto permeável.

Ainda avaliando a propriedade física do concreto permeável, observa-se a existência da correlação linear entre a absorção de água do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC, conforme a Figura 81.

Figura 81- Regressão linear entre a resposta da absorção de água do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC



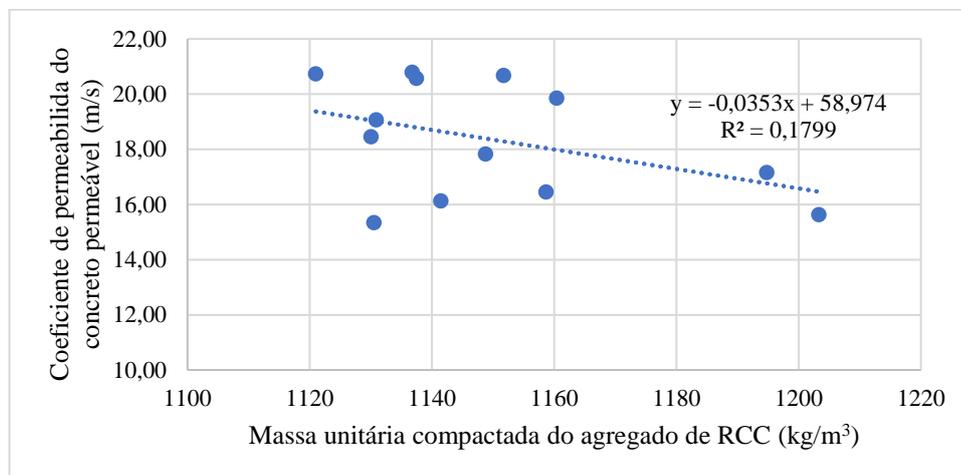
Fonte: Elaborado pelo autor

A massa unitária de um agregado está relacionada com o tamanho/forma dos grãos e os agregados de RCC possuem variação no tamanho e formato dos grãos, como já foi demonstrado, resultando em amostras que apresentaram diferenças nas massas unitárias compactadas, e portanto, pode-se verificar também, que a massa unitária compactada está correlacionada com variações nos valores de absorção de água do concreto permeável.

### 5.5.3 Correlação entre a Característica do Agregado de RCC e a Propriedade Hidráulica do Concreto Permeável

A Figura 82 mostra a correlação entre o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC.

Figura 82- Regressão linear entre a resposta do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável e a massa unitária compactada do agregado de RCC



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a variação da massa unitária compactada nas amostras de RCC provoca, também, variação nos resultados obtidos do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável.

## 6 CONCLUSÕES

Os resíduos de construção civil podem e devem ser utilizados como agregados na produção de concreto, pois, desta forma, voltam à cadeia produtiva, evitando o descarte inadequado deste material, reduzindo a extração de matéria-prima na natureza e podendo gerar um retorno econômico com a comercialização deste resíduo como agregado para a construção civil.

Nos testes preliminares, pode-se constatar que a resistência à compressão do concreto permeável quando utilizado o agregado natural é maior que a obtida utilizando-se o agregado de RCC, e que os coeficientes de permeabilidade encontrados foram, em média, cerca de 12 vezes maiores que o mínimo recomendado por norma, mesmo apresentando um índice médio de vazios de 16,88%, menor que o proposto na dosagem do concreto, que foi de 25%.

Identificou-se a variabilidade na composição das treze amostras de RCC, por análise visual, nos quatro grupos de materiais e seus limites mínimos e máximos foram:

- Grupo 1 - constituído por fragmentos cimentícios ( $G_1$ ): 45,15% e 55,08%;
- Grupo 2 - constituído por fragmentos de rocha ( $G_2$ ): 13,17% e 27,10%;
- Grupo 3 - constituído por fragmentos cerâmicos ( $G_3$ ): 18,50% e 37,01%;
- Grupo 4 - constituído por material orgânico e outros ( $G_4$ ): 0,89% e 4,27%

Verificou-se pela análise granulométrica que todas as amostras ensaiadas, natural e de RCC, possuíam uma grande quantidade de finos nas amostras de agregados graúdos, indicando que todas as amostras estão em desacordo com as normas vigentes.

Como os valores de absorção de água determinados dos concretos permeáveis com agregado de RCC são elevados, é necessária uma pré-molhagem dos agregados de RCC antes do início da mistura do concreto, conforme orientações da norma ABNT NBR-15.116:2021.

O processo de beneficiamento da usina pode interferir nas características dos agregados produzidos a partir do RCC, desta forma, os ensaios de caracterização realizados e referentes análises estatísticas evidenciaram a existência da diferença nas características dos agregados de RCC quanto a granulometria, absorção de água, composição visual e massas específica e unitária.

Nas características mecânicas do concreto permeável confeccionados com agregados de RCC, foram observadas discrepâncias entre os valores obtidos decorrentes da variabilidade na composição deste agregado. Exposto isto, para a resistência à compressão, os resultados

apresentaram uma redução de 50,20% entre o maior e o menor valor de resistência à compressão nos corpos de prova utilizando agregado de RCC. No que diz respeito à resistência à tração na flexão, houve uma redução de 61,86%, também entre o maior e o menor valor de resistência à tração nos corpos de prova confeccionados com agregado de RCC. As análises estatísticas realizadas reforçam as diferenças citadas.

Ainda com relação às propriedades mecânicas, verificou-se uma resistência à compressão axial média nas amostras de RCC no valor de 7,17 MPa, inferior ao valor mínimo recomendado por norma que é de 20 MPa para aplicação do concreto permeável em revestimento de pavimento para tráfego de pedestres. Para a resistência média à tração na flexão, para os agregados de RCC, determinou-se um valor de 1,35 MPa, sendo superior ao mínimo recomendado por norma para pavimentos permeáveis moldados no local e tráfego de pedestres, no qual o valor é de 1,0 MPa.

Para as propriedades físicas do concreto permeável produzido com agregado de RCC foram observadas: uma redução de 8,14% entre as massas específicas do concreto fresco; uma variação de 18,1% na absorção de água e diferença de 13,23% entre os índices de vazios. Para todos estes parâmetros, a análise estatística realizada evidenciou a diferença entre os concretos.

Concluiu-se que todos os resultados dos coeficientes médios de permeabilidade, agregado natural e os de RCC, apresentaram valores superiores ao mínimo recomendado pela norma ABNT NBR-16.416:2015, ou seja, são maiores que  $1,0 \times 10^{-3}$  m/s. Nota-se ainda, que existem diferenças entre as amostras comparando os coeficientes médios de permeabilidade utilizando agregado de RCC, podendo chegar até a 26,21%.

Constatou-se que a amostra de RCC intitulada de AR 13, proveniente da mistura de uma parcela das doze amostras coletadas, apresentou valores médios nas propriedades mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável superiores à média entre as doze amostras coletadas, sendo possível concluir que a mistura das amostras diárias resulta em um agregado de RCC mais uniforme, conseguindo, teoricamente, reduzir a discrepância nos resultados das propriedades do concreto permeável.

Demonstrou-se que existem diferenças na composição do agregado de RCC para diferentes amostras e que há correlações entre as características dos agregados de RCC e as propriedades mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com este tipo de agregado.

## 7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros envolvendo resíduos de construção civil como agregado no preparo de concreto permeável:

- pesquisar misturas/proporções de agregados natural e de RCC para melhorar o desempenho do concreto permeável, principalmente, nas propriedades mecânicas;
- caracterizar os grupos separados de materiais nas amostras de RCC, obtidos por meio do ensaio de composição do agregado reciclado por análise visual, almejando a determinação de uma relação entre as propriedades de cada material e o desempenho do concreto permeável;
- realizar um tratamento prévio nas amostras de agregados graúdos (natural e de RCC), utilizando apenas a faixa recomendada para concreto permeável, ou seja, somente partículas com tamanhos maiores ou iguais a 4,75 mm;
- confecção de um trecho de passeio, em concreto permeável, para acompanhamento do comportamento deste material em condições reais, incluindo medições de coeficiente de permeabilidade;
- estudo de formas a serem propostas a usina de beneficiamento para que o agregado produzido tenha uma menor variação possível na sua composição.

## REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R**: Report on Pervious Concrete. Farmington Hills, MI 48331, 2010: 42p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1701/C1701 M**: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. West Conshohocken, PA, United States of America, 2017.

ANONI, L. G.; TRIGO, A. P. M.; PIETROBON, I. **A variabilidade dos agregados provenientes de resíduos da construção civil e sua influência em concretos**. Revista Concreto e Construções. Edição 101, p. 87-93. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **ABRELPE**. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2021. São Paulo, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP PR-2**: Conceitos e requisitos para pavimentos intertravado permeável. São Paulo, 2016. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP PR-3**: Conceitos e requisitos para pavimentos de concreto permeável. São Paulo, 2016. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/NM 7.211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland-Parte 1 - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.545**: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021. 16p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004. 12p. (Substituída).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concreto de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2021. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.416**: Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 5p.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BARROS, E. X. R.; FUCALE, S. **O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2 n. 1, p. 252-258, 2016.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BATEZINI, R. **Estudo das características hidráulicas e mecânicas de calçadas em concreto permeável em pista experimental**. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

BRASIL, **Lei n° 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n° 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU, Brasília, 2010.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA Resolução n° 307**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2002.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA Resolução n° 348**. Altera a Resolução n° 307/02, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2004.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA Resolução n° 431**. Altera o art. 3° da Resolução n° 307/02, estabelecendo nova classificação para o gesso. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2011.

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. **Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review**. Construction and Building Materials, v.111, 2016, p.262-274.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais para construção**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. 312p. il, ISBN 85-232-0226-9.

COMINATO, V.; CANTERAS, F. B.; GACHET, L. A.; *et al.* **The effect of granulometry of natural and recycled coarse aggregate on permeable concrete Properties**. Materials Today: Proceedings, vol. 65, p. 1711-1718, 2022.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

COSTA, F. B. P. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

EMAD, M.; SOLIMAN, N. M.; BASHANDY, A. A. **Recycled aggregate high-strength concrete**. International Journal of Civil Engineering and Technology. V. 10 p. 128-146, 2019.

FENOCCHIARO, P. S.; GIRARDI, R. **Concreto permeável produzido com agregado reciclado**. Revista de Engenharia da Faculdade Salesiana. n. 5 p. 19-26, 2017.

FURTADO, L. *et al.* **Eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável sob chuva natural**. Revista de Engenharia Civil IMED. Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 128-144, 2021.

KIA, A.; HONG, S.; CHEESEMAN, C. **Clogging in Permeable Concrete: a Review**. Journal of Environmental Management, Londres, v.193, p.221-233, 2016.

LIMA, R. A. **Identificação dos locais de descarte inadequado de resíduos da construção civil na área urbana do município de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2020.

MARQUES NETO, J. C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. Tese (Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MEDDAH, M. S.; ORAIMI, M. A.; HAGO, A. W. *et al.* **Effect of Recycled Aggregates on Previous Concrete Properties**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 603, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Produto 22 – Agregados para a construção Civil**. Relatório Técnico 30 – Perfil de Brita para Construção Civil. Brasília, 2009.

OLIVEIRA, L. C. B. **Análise da Permeabilidade e da Colmatação em Concretos Permeáveis com Agregado Reciclado de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura Urbana). Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

PAULA JÚNIOR, A. C. **Estudo do potencial de aplicação de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Materiais). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

PEREIRA, C. H. A. F. *et al.* **Viabilidade técnica do uso de agregados RCC em obras de pavimentação no Distrito Federal.** Qualidade e Sustentabilidade na Construção Civil. Editora Científica Digital, v. 1 p. 112-122, 2021.

RAMOS, M. O.; PINHEIRO, I. G.; JÚNIOR, L. G. S. **Influência da porosidade na condutividade térmica, resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade do concreto permeável.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 5, p. 515-528, 2021.

SCHALCH, V. *et al.* **Resíduos sólidos: conceitos, gestão e gerenciamento.** 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

SILVA, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. **Cenário atual do gerenciamento dos RCC no município de São José do Rio Preto - SP.** VI Simpósio sobre resíduos sólidos (SIRS). Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). São Carlos, 2019.

SILVERIO, M. J. **Desenvolvimento de blocos estruturais de concreto utilizando resíduos da construção civil, nas modulações M10 e M15.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Ribeirão Preto, 2019.

ULLOA-MAYORGA, V. A.; URIBE-GARCÉS, M. A.; PAZ-GÓMEZ, D. P. *et al.* **Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates.** Ingeniería e Investigación, vol. 38 n.º 2, p. 34-41, 2018.

YANG, L.; KOU, S.; SONG, X. *et al.* **Analysis of properties of pervious concrete prepared with difference paste-coated recycled aggregate.** Construction and Building Materials: Elsevier, 2020.

YAP, S. P.; CHEN, P. Z. C.; GOH, Y. *et al.* **Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates.** Journal of Cleaner Production, vol. 181, p. 155-165, 2018.

ZUCCA, R. *et al.* **Uso de resíduos de construção como agregado graúdo destinado a confecção de blocos para alvenaria de vedação.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 5 n. 27, p. 1381-1392, 2018.

## APÊNDICE A

### RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

Neste apêndice, serão apresentadas as tabelas com os valores individuais de todas as leituras dos diâmetros dos corpos de prova (CP) e resistências à compressão dos concretos permeáveis estudados.

Tabela A58- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra natural (AN)

Ensaio de Compressão Axial - AN					
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	Dmédio (mm)	Resistência a 28 dias (MPa)
1	100,04	99,9	100,73	100,22	7,03
2	99,38	100,49	99,81	99,89	9,88
3	99,52	99,82	101,04	100,13	11,30
4	100,04	100,14	100,04	100,07	9,85
5	99,92	100,07	99,79	99,93	10,80
6	100,02	100,22	100,00	100,08	11,04

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A59- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 01)

Ensaio de Compressão Axial – AR 01					
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	Dmédio (mm)	Resistência a 28 dias (MPa)
1	99,5	100,4	99,86	99,92	5,5
2	99,32	101,39	99,36	100,02	5,64
3	99,71	100,68	99,93	100,11	5,70
4	99,76	99,38	99,72	99,62	6,24
5	99,93	100,16	99,79	99,96	5,81
6	100,63	99,67	100,38	100,23	5,93

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A60- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 02)

Ensaio de Compressão Axial – AR 02					
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	Dmédio (mm)	Resistência a 28 dias (MPa)
1	100,81	99,02	100,20	100,01	9,08
2	99,98	100,6	99,98	100,19	9,57
3	100,26	100,49	100,20	100,32	8,56
4	99,6	99,67	100,50	99,92	8,23
5	100,17	99,45	100,37	100,00	8,20
6	99,59	100,3	99,36	99,75	8,54

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A61- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 03)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 03</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,2	100,15	99,99	100,11	5,4
2	99,19	101,26	99,45	99,97	5,84
3	99,64	99,29	100,22	99,72	5,18
4	99,49	100,22	100,34	100,02	6,19
5	99,4	100,79	99,36	99,85	3,87
6	98,6	99,38	99,76	99,25	5,57

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A62- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 04)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 04</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,83	99,65	99,25	99,91	4,77
2	99,71	99,63	100,56	99,97	4,55
3	99,55	100,17	100,57	100,10	4,72
4	99,42	100,01	100,41	99,95	4,91
5	101,22	99,88	99,38	100,16	3,79
6	101,56	99,95	99,18	100,23	4,54

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A63- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 05)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 05</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	99,71	99,78	100,65	100,05	7,64
2	100,05	100,56	99,83	100,15	7,67
3	100,02	100,45	99,58	100,02	8,67
4	99,55	99,59	99,82	99,65	8,42
5	99,67	99,27	100,15	99,70	8,18
6	99,97	99,79	100,17	99,98	7,38

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A64- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 06)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 06</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	99,11	99,97	101,74	100,27	6,33
2	100,79	100,34	99,74	100,29	5,18
3	100,58	100,5	99,82	100,30	6,06
4	100,62	99,17	101,01	100,27	6,07
5	99,23	101,37	99,86	100,15	5,59
6	100,29	100,45	99,75	100,16	6,13

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A65- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 07)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 07</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,74	99,67	99,91	99,79	10,01
2	99,52	101,6	99,94	100,56	9,13
3	100,42	99,44	100,07	99,98	9,28
4	100,2	100,29	99,54	100,01	9,07
5	100,46	99,69	100,31	100,15	8,01
6	99,45	100,82	99,28	99,85	9,28

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A66- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 08)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 08</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	99,62	101,22	100,18	100,34	7,96
2	100,15	100,56	99,26	99,99	8,87
3	101,25	99,04	100,78	100,36	7,85
4	100,14	100,76	100,06	100,32	9,45
5	99,47	100,55	99,77	99,62	7,21
6	100,14	100,32	99,40	99,95	8,86

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A67- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 09)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 09</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	99,62	100,73	100,32	100,22	6,79
2	99,42	99,96	100,74	100,04	7,18
3	100,26	99,57	100,82	100,22	6,98
4	99,43	100,64	99,75	99,94	6,61
5	99,96	100,23	99,62	99,94	6,74
6	101,19	99,9	100,02	100,37	7,39

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A68- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 10)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 10</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,42	99,96	99,48	99,95	7,78
2	100,64	99,51	99,76	99,97	9,19
3	99,93	100,22	101,69	100,61	7,83
4	100,14	99,35	100,64	100,04	9,17
5	100,48	100,05	99,98	100,17	9
6	100,87	99,1	100,65	100,21	7,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A69- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 11)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 11</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,3	100,53	100,30	100,38	6,83
2	99,13	100,59	100,07	99,93	7,13
3	101,32	99,74	101,72	100,93	7,12
4	99,79	100,13	100,44	100,12	6,35
5	100,65	100,47	99,88	100,33	5,7
6	99,44	100,2	101,84	100,49	6,59

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A70- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 12)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 12</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	100,59	99,77	100,59	100,32	8,48
2	99,94	100,62	100,34	100,30	7,31
3	100,43	100,93	99,89	100,42	6,55
4	99,93	99,86	101,17	100,32	7,92
5	100,55	100,49	99,90	100,31	7,42
6	100,84	99,41	100,05	100,10	7,11

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela A71- Medidas dos diâmetros, diâmetro médio e resistência à compressão da amostra de RCC (AR 13)

<b>Ensaio de Compressão Axial – AR 13</b>					
<b>Corpo de prova (CP)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>Dmédio (mm)</b>	<b>Resistência a 28 dias (MPa)</b>
1	99,98	101,03	99,78	100,26	7,79
2	100,1	100,54	100,36	100,33	7,1
3	99,76	100,3	101,04	100,37	8,51
4	100,24	100,02	100,43	100,23	8,61
5	99,87	101,28	99,95	100,37	7,46
6	99,51	101,07	100,72	100,43	8,76

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE B

### RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Neste apêndice, serão apresentadas as tabelas com os valores individuais de todas as leituras das alturas e larguras dos corpos de prova (CP), força de ruptura e resistências à tração na flexão dos concretos permeáveis estudados.

Tabela B72- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra natural (AN)

Ensaio de tração na flexão - AN										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	6.581,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1,97
2	5.854,83	98,14	98,86	99,09	98,70	101,06	101,16	101,34	101,19	1,78
3	3.965,51	99,94	100,96	100,90	100,60	100,58	100,28	100,25	100,37	1,17
4	4.318,46	100,02	99,42	99,64	99,69	101,17	100,99	101,00	101,05	1,29
5	5.470,74	98,81	98,60	98,17	98,53	101,35	101,26	101,38	101,33	1,67

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B73- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 01)

Ensaio de tração na flexão - AR 01										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	3.404,94	100,53	100,50	100,40	100,48	100,08	100,25	100,41	100,25	1,01
2	4.276,93	100,03	100,32	100,35	100,23	100,03	100,56	100,40	100,33	1,27
3	4.557,22	99,79	99,85	99,86	99,83	101,49	101,47	101,58	101,51	1,35
4	1.754,37	100,93	100,89	101,31	101,04	101,79	101,34	101,43	101,52	0,51
5	4.474,17	100,95	101,04	101,12	101,04	101,91	102,92	102,97	102,60	1,28

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B74- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 02)

Ensaio de tração na flexão - AR 02										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	6.519,21	100,33	100,63	100,61	100,52	102,60	102,63	102,73	102,65	1,89
2	6.446,54	101,85	101,80	101,33	101,66	100,78	100,76	101,13	100,89	1,85
3	1.858,18	101,18	101,53	101,12	101,28	100,07	99,75	100,06	99,96	0,54
4	4.744,07	100,52	101,11	101,18	100,94	99,92	100,05	99,28	99,75	1,40

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B75- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 03)

Ensaio de tração na flexão - AR 03										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	2.263,04	101,19	101,06	100,93	101,06	101,33	101,46	102,74	101,84	0,65
2	4.235,41	100,83	100,89	100,36	100,69	101,10	100,39	100,50	100,66	1,24
3	4.567,60	100,34	100,83	100,76	100,64	102,02	103,10	103,73	102,95	1,31
4	1.349,52	100,69	100,68	100,80	100,72	102,17	101,20	101,93	101,77	0,39
5	1.557,14	99,65	100,39	100,10	100,05	101,32	102,54	101,17	101,68	0,46

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B76- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 04)

Ensaio de tração na flexão - AR 04										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	3.166,18	101,62	101,85	101,41	101,63	101,58	100,00	102,23	101,27	0,91
2	2.833,99	101,44	101,26	101,15	101,28	100,98	102,41	101,34	101,58	0,82
3	2.979,32	100,16	100,39	100,29	100,28	101,98	101,78	100,71	101,49	0,88
4	2.366,85	100,24	100,56	100,54	100,45	102,70	102,07	102,33	102,37	0,69
5	3.560,65	100,60	101,16	101,53	101,10	101,29	101,43	100,50	101,07	1,03

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B77- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 05)

Ensaio de tração na flexão - AR 05										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	5.854,83	101,21	100,90	101,13	101,08	100,76	102,21	102,46	101,81	1,69
2	6.737,21	101,37	101,62	101,72	101,57	101,16	101,77	101,95	101,63	1,93
3	6.384,26	101,65	102,06	101,66	101,79	100,92	100,97	101,14	101,01	1,83
4	4.754,45	99,90	99,83	99,87	99,87	100,73	101,18	100,91	100,94	1,42
5	1.567,52	102,18	102,14	102,55	102,29	100,76	101,00	100,84	100,87	0,45

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B78- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 06)

Ensaio de tração na flexão - AR 06										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	4.868,64	100,67	100,78	100,92	100,79	102,03	102,20	101,80	102,01	1,41
2	4.899,79	99,98	100,24	100,38	100,20	101,44	101,26	101,62	101,44	1,44
3	4.214,65	100,53	100,59	100,50	100,54	100,94	100,64	100,51	100,70	1,24
4	5.377,31	100,83	101,24	101,52	101,20	101,32	102,47	103,34	102,38	1,54
5	3.124,65	99,83	99,78	99,76	99,79	99,96	100,16	100,37	100,16	0,94

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B79- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 07)

Ensaio de tração na flexão - AR 07										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	5.678,35	99,91	99,86	100,30	100,02	101,86	101,23	100,01	101,03	1,69
2	6.135,11	101,21	101,42	101,39	101,34	100,16	99,51	100,43	100,03	1,79
3	6.560,73	101,73	102,04	102,20	101,99	103,55	103,75	104,39	103,90	1,82
4	6.176,64	101,69	101,74	101,40	101,61	100,99	101,71	101,12	101,27	1,77
5	5.751,02	100,94	100,89	100,87	100,90	103,73	102,97	104,23	103,64	1,64

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B80- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 08)

Ensaio de tração na flexão - AR 08										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	5.626,45	100,22	100,20	100,30	100,24	101,83	101,40	101,46	101,56	1,65
2	5.460,35	100,97	101,07	100,39	100,81	101,89	101,16	102,07	101,71	1,58
3	5.449,97	100,53	100,46	100,29	100,43	101,24	102,18	102,54	101,99	1,59
4	3.186,94	101,34	101,87	101,97	101,73	101,68	101,52	101,20	101,47	0,91
5	4.858,26	101,09	101,18	101,23	101,17	102,89	102,79	103,54	103,07	1,38

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B81- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 09)

Ensaio de tração na flexão - AR 09										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	6.581,49	101,08	101,20	101,08	101,12	100,30	100,35	100,47	100,37	1,92
2	6.332,35	101,56	101,74	101,54	101,61	101,58	101,76	101,04	101,46	1,81
3	6.955,21	100,64	100,49	100,56	100,56	100,15	101,08	100,88	100,70	2,05
4	4.308,07	100,23	100,44	100,53	100,40	99,64	100,24	99,90	99,93	1,28
5	6.290,83	99,55	99,73	99,77	99,68	100,17	99,76	99,69	99,87	1,90

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B82- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 10)

Ensaio de tração na flexão - AR 10										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	2.335,70	101,25	101,22	101,19	101,22	101,31	101,31	101,65	101,42	0,67
2	7.640,34	100,80	101,12	101,80	101,24	100,62	101,00	101,76	101,13	2,21
3	7.131,68	101,43	101,56	101,53	101,51	101,90	101,85	101,31	101,69	2,04
4	5.024,36	100,44	100,57	100,30	100,44	101,97	101,63	101,93	101,84	1,47
5	6.145,49	101,03	100,81	100,43	100,76	101,57	101,45	101,24	101,42	1,79

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B83- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 11)

Ensaio de tração na flexão - AR 11										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	5.315,02	100,74	100,96	100,77	100,82	101,90	101,48	101,69	101,69	1,54
2	1.567,52	100,56	100,88	100,66	100,70	104,85	103,82	103,29	103,99	0,45
3	2.522,56	100,54	100,45	100,47	100,49	101,36	101,48	101,56	101,47	0,74
4	446,38	101,47	102,11	102,28	101,95	100,94	100,81	100,81	100,85	0,13
5	1.961,99	100,05	100,09	100,18	100,11	103,80	103,71	103,54	103,68	0,57

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B84- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 12)

Ensaio de tração na flexão - AR 12										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	5.366,93	100,72	100,22	99,95	100,30	103,80	103,79	103,16	103,58	1,55
2	5.906,73	100,53	100,45	100,88	100,62	101,26	101,18	102,22	101,55	1,72
3	5.917,11	100,62	100,68	100,58	100,63	102,87	103,70	103,16	103,24	1,70
4	5.003,60	100,57	100,63	100,78	100,66	100,76	100,93	100,41	100,70	1,47
5	5.148,93	99,91	99,89	99,98	99,93	102,00	102,79	102,25	102,35	1,51

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela B85- Medidas das forças, alturas, larguras e resistências à tração na flexão da amostra de RCC (AR 13)

Ensaio de tração na flexão - AR 13										
Corpo de prova (CP)	Força (N)	Altura1 (mm)	Altura2 (mm)	Altura3 (mm)	Alturamédia (mm)	Largura1 (mm)	Largura2 (mm)	Largura3 (mm)	Lmédia (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
1	7.484,63	100,78	100,79	100,67	100,75	102,98	103,50	103,07	103,18	2,14
2	7.546,92	100,15	100,72	100,38	100,42	104,20	103,87	103,46	103,84	2,16
3	1.868,56	101,08	101,17	101,03	101,09	100,82	100,80	101,20	100,94	0,54
4	6.290,83	100,08	100,03	99,97	100,03	101,54	101,45	101,95	101,65	1,86
5	6.560,73	100,87	100,65	100,38	100,63	102,13	102,87	101,95	102,32	1,90

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE C

### RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Neste apêndice, serão apresentadas as tabelas com os valores individuais de todas as leituras dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova (CP), tempos para a água fluir pelo CP e coeficientes de permeabilidades dos concretos permeáveis estudados.

Tabela C86- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra natural (AN)

Ensaio de Permeabilidade - AN														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	102,8	99,05	101,3	0,10	199,6	199,6	199,5	0,20	0,0080	19,52	19,36	18,92	19,27	0,016
2	100,7	99,21	100,59	0,10	196,2	196,7	196,4	0,20	0,0079	16,28	17,62	16,53	16,81	0,018
3	100,3	100,9	99,67	0,10	194,5	194,6	194,2	0,19	0,0079	18,72	18,32	16,94	17,99	0,017
4	100,1	100,8	99,41	0,10	196,3	196,5	196,5	0,20	0,0079	23,10	23,12	23,79	23,34	0,013
5	100,3	100,3	100,08	0,10	195,8	195,9	195,7	0,20	0,0079	26,97	26,56	25,81	26,45	0,012
6	99,6	100,3	99,89	0,10	195,7	195,7	195,8	0,20	0,0078	20,50	21,47	21,14	21,04	0,015
7	101,9	100,2	100,30	0,10	197,2	197,5	197,4	0,20	0,0080	19,69	19,75	18,47	19,30	0,016
8	100,0	100,8	99,57	0,10	193,1	193,4	193,5	0,19	0,0079	23,47	24,85	23,19	23,84	0,013
9	101,0	99,13	100,09	0,10	193,2	193,2	193,2	0,19	0,0079	23,97	23,22	22,5	23,23	0,013
10	99,2	101,8	99,31	0,10	193,5	193,6	193,4	0,19	0,0079	19,53	19,62	18,87	19,34	0,016

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C87- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 01)

Ensaio de Permeabilidade - AR 01														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,5	100,1	100,4	0,10	198,3	198,2	198,2	0,20	0,0079	14,37	14,1	14,07	14,18	0,022
2	100,0	99,9	100,3	0,10	198,2	198,3	198,2	0,20	0,0079	15,12	14,97	14,62	14,90	0,021
3	99,9	99,8	100,3	0,10	200,0	200,3	200,1	0,20	0,0079	15,28	14,12	13,72	14,37	0,022
4	101,0	100,1	99,8	0,10	196,4	196,5	196,2	0,20	0,0079	15,15	14,65	14,16	14,65	0,021
5	99,9	99,7	100,5	0,10	197,5	197,5	197,5	0,20	0,0079	18,19	18,37	18,12	18,23	0,017
6	100,8	100,2	100,2	0,10	197,3	197,3	197,4	0,20	0,0079	16,16	16,97	16,28	16,47	0,019
7	99,4	99,3	101,1	0,10	198,7	198,8	198,6	0,20	0,0078	16,66	15,53	15,03	15,74	0,020
8	100,6	99,9	99,7	0,10	198,5	198,4	198,3	0,20	0,0079	12,93	13,06	13	13,00	0,024
9	99,4	100,5	99,1	0,10	197,9	198,2	198,3	0,20	0,0078	15,84	15,47	15,06	15,46	0,020
10	99,7	99,7	99,5	0,10	197,7	197,6	197,7	0,20	0,0078	14,87	14,28	14,1	14,42	0,022

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C88- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 02)

Ensaio de Permeabilidade - AR 02														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	100,4	99,4	100,9	0,10	197,5	197,5	197,5	0,20	0,0079	16,68	16,75	16,72	16,72	0,018
2	100,4	100,4	99,7	0,10	194,9	195,0	195,1	0,19	0,0079	20,02	19,22	19,12	19,45	0,016
3	100,8	99,3	98,8	0,10	197,2	197,3	197,2	0,20	0,0078	22,50	23,03	22,97	22,83	0,014
4	100,3	99,9	100,7	0,10	197,0	197,2	197,1	0,20	0,0079	23,03	22,72	23,2	22,98	0,013
5	100,6	100,0	100,2	0,10	197,2	197,2	196,7	0,20	0,0079	21,03	20,28	19,28	20,20	0,015
6	100,2	100,2	100,1	0,10	199,8	199,5	199,7	0,20	0,0079	20,28	20,22	19,85	20,12	0,016
7	99,3	100,5	99,2	0,10	198,2	198,3	198,4	0,20	0,0078	20,26	19,85	19,82	19,98	0,016
8	99,9	99,6	100,94	0,10	197,5	197,5	197,4	0,20	0,0078	20,15	20,25	19,85	20,08	0,016
9	100,0	100,0	100,6	0,10	197,0	197,0	197,1	0,20	0,0079	19,19	19,37	19,6	19,39	0,016
10	101,1	99,9	99,3	0,10	198,9	199,1	199,0	0,20	0,0079	18,34	18,38	18,22	18,31	0,017

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C89- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 03)

Ensaio de Permeabilidade - AR 03														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,3	101,1	100,2	0,10	199,7	199,8	199,8	0,20	0,0079	18,7	18,5	19,1	18,75	0,017
2	100,2	100,5	100,1	0,10	196,4	196,2	196,1	0,20	0,0079	14,8	14,2	14,1	14,35	0,021
3	100,5	100,5	99,9	0,10	196,4	197,0	196,7	0,20	0,0079	16,5	15,8	15,7	15,97	0,019
4	99,9	100,0	100,3	0,10	193,8	193,7	193,8	0,19	0,0079	15,8	15,7	15,3	15,60	0,020
5	100,2	100,5	99,7	0,10	195,0	195,0	194,9	0,19	0,0079	16,5	16,2	16,5	16,37	0,019
6	99,1	100,7	99,8	0,10	196,1	195,8	196,1	0,20	0,0078	16,4	16,0	15,8	16,08	0,019
7	99,2	100,4	100,1	0,10	195,0	195,2	195,1	0,20	0,0078	14,4	14,0	14,0	14,11	0,022
8	99,6	101,4	99,8	0,10	196,4	196,2	196,2	0,20	0,0079	16,3	16,4	16,2	16,31	0,019
9	101,0	99,7	100,4	0,10	195,6	195,9	196,0	0,20	0,0079	17,1	17,1	16,9	17,03	0,018
10	100,1	99,6	100,6	0,10	197,8	197,2	197,3	0,20	0,0079	18,1	18,1	17,4	17,83	0,017

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C90- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 04)

Ensaio de Permeabilidade - AR 04														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	100,3	100,0	99,7	0,10	196,4	196,5	196,6	0,20	0,0079	17,75	17	16,88	17,21	0,018
2	100,5	100,1	99,6	0,10	196,33	196,2	196,2	0,20	0,0079	14,90	15,22	15,22	15,11	0,020
3	100,3	100,6	99,3	0,10	196,0	196,1	195,9	0,20	0,0079	16,72	15,94	16,03	16,23	0,019
4	99,5	100,1	100,3	0,10	196,4	196,5	196,4	0,20	0,0078	15,87	15,81	15,34	15,67	0,020
5	100,3	99,7	101,0	0,10	196,2	196,5	196,3	0,20	0,0079	19,34	19,07	18,13	18,85	0,016
6	100,5	99,6	100,1	0,10	198,3	197,8	198,0	0,20	0,0079	18,91	18,75	18,9	18,85	0,016
7	100,2	100,5	99,7	0,10	198,3	197,9	198,1	0,20	0,0079	18,03	16,5	16,03	16,85	0,018
8	100,3	100,0	99,4	0,10	199,1	199,1	199,0	0,20	0,0078	21,38	20,72	20,37	20,82	0,015
9	101,7	99,9	100,5	0,10	197,4	197,5	197,4	0,20	0,0080	17,81	17,28	16,75	17,28	0,018
10	100,5	99,6	99,9	0,10	198,3	198,5	198,3	0,20	0,0079	18,28	17,78	18,09	18,05	0,017

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C91- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 05)

Ensaio de Permeabilidade - AR 05														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,5	100,5	100,2	0,10	199,3	199,4	198,7	0,20	0,0079	20,06	19,78	19,87	19,90	0,016
2	100,2	99,0	100,8	0,10	195,8	195,9	196,1	0,20	0,0079	19,28	19,16	18,9	19,11	0,016
3	100,2	99,8	99,7	0,10	199,6	199,8	199,6	0,20	0,0078	18,65	18,22	18,03	18,30	0,017
4	100,0	99,8	99,5	0,10	199,0	199,1	199,6	0,20	0,0078	18,50	18,15	18,22	18,29	0,017
5	99,6	100,6	100,1	0,10	197,8	198,0	197,8	0,20	0,0079	15,47	15,21	15,31	15,33	0,020
6	99,5	99,7	100,8	0,10	197,5	198,0	197,8	0,20	0,0079	17,44	17,12	16,81	17,12	0,018
7	100,3	100,3	100,0	0,10	196,9	197,1	197,2	0,20	0,0079	18,78	18,84	18,81	18,81	0,016
8	100,0	101,0	100,6	0,10	197,0	197,3	197,0	0,20	0,0079	19,41	19,12	18,75	19,09	0,016
9	99,6	100,5	99,6	0,10	196,6	196,6	196,7	0,20	0,0078	19,81	19,16	18,87	19,28	0,016
10	100,3	100,2	100,3	0,10	195,3	195,2	195,3	0,20	0,0079	16,91	16,63	16,53	16,69	0,018

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C92- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 06)

Ensaio de Permeabilidade - AR 06														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,2	100,1	101,2	0,10	197,5	197,4	197,5	0,20	0,0079	19,75	19,1	18,72	19,19	0,016
2	100,1	99,55	100,52	0,10	196,5	196,7	196,3	0,20	0,0079	21,00	20,28	19,94	20,41	0,015
3	98,9	100,6	99,33	0,10	197,2	197,2	197,2	0,20	0,0078	18,81	17,97	17,44	18,07	0,017
4	100,5	98,91	100,86	0,10	194,5	194,0	194,2	0,19	0,0079	18,47	17,78	17,35	17,87	0,017
5	100,1	99,77	101,84	0,10	197,6	197,8	197,7	0,20	0,0079	20,63	20	19,56	20,06	0,015
6	99,9	100,7	99,77	0,10	193,5	193,5	193,7	0,19	0,0079	20,60	20,06	19,69	20,12	0,015
7	101,4	99,86	100,01	0,10	196,9	197,1	196,8	0,20	0,0079	21,37	21,25	20,47	21,03	0,015
8	100,0	100,3	100,04	0,10	196,9	197,0	197,1	0,20	0,0079	17,93	17,4	17,19	17,51	0,018
9	99,9	99,82	101,31	0,10	194,5	194,6	194,4	0,19	0,0079	14,56	14,12	14,09	14,26	0,021
10	99,8	100,6	100,15	0,10	194,5	194,5	194,3	0,19	0,0079	21,22	19,97	20,03	20,41	0,015

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C93- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 07)

Ensaio de Permeabilidade - AR 07														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,6	99,4	101,0	0,10	198,8	198,7	198,7	0,20	0,0079	19,56	18,65	18,06	18,76	0,017
2	100,8	99,8	100,1	0,10	195,8	195,9	195,9	0,20	0,0079	20,34	19,53	18,72	19,53	0,016
3	99,8	101,3	99,5	0,10	199,6	199,5	199,5	0,20	0,0079	18,28	17,72	17,41	17,80	0,018
4	100,7	99,9	99,7	0,10	197,2	197,3	197,5	0,20	0,0079	19,22	19,22	18,84	19,09	0,016
5	100,2	100,0	101,4	0,10	197,6	197,9	198,3	0,20	0,0079	20,18	19,31	19,28	19,59	0,016
6	101,0	99,9	99,9	0,10	193,9	194,0	194,0	0,19	0,0079	19,34	18,56	18,44	18,78	0,016
7	99,8	101,0	100,0	0,10	199,8	199,8	199,3	0,20	0,0079	22,37	21,4	21,12	21,63	0,014
8	100,0	100,2	99,4	0,10	199,2	199,1	199,4	0,20	0,0078	22,31	21,47	21,19	21,66	0,015
9	99,8	99,5	101,1	0,10	197,8	197,9	197,7	0,20	0,0079	18,75	17,87	17,4	18,01	0,017
10	99,5	100,8	100,4	0,10	197,9	198,2	198,0	0,20	0,0079	18,91	18,28	17,5	18,23	0,017

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C94- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 08)

Ensaio de Permeabilidade - AR 08														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	101,6	100,2	100,3	0,10	196,4	196,3	196,5	0,20	0,0080	22,79	22,21	22,28	22,43	0,014
2	99,9	100,1	100,8	0,10	198,5	198,7	198,6	0,20	0,0079	17,69	16,79	16,47	16,98	0,018
3	100,3	99,9	99,6	0,10	194,2	194,1	194,0	0,19	0,0078	19,59	18,22	18,31	18,71	0,016
4	100,1	99,3	100,1	0,10	197,2	197,2	196,4	0,20	0,0078	23,65	23,78	23,62	23,68	0,013
5	100,0	100,0	100,2	0,10	198,2	198,1	198,4	0,20	0,0079	22,41	22,44	21,53	22,13	0,014
6	100,6	100,3	99,5	0,10	195,8	196,1	196,1	0,20	0,0079	19,63	18,91	18,62	19,05	0,016
7	100,1	100,3	100,3	0,10	197,1	197,0	196,7	0,20	0,0079	20,53	20,1	19,81	20,15	0,015
8	100,2	100,3	99,5	0,10	197,2	197,2	196,7	0,20	0,0079	21,66	20,91	20,72	21,10	0,015
9	99,4	100,0	100,1	0,10	198,7	198,8	198,3	0,20	0,0078	18,44	17,62	17,37	17,81	0,018
10	99,5	100,8	100,2	0,10	197,3	197,3	197,3	0,20	0,0079	22,65	21,28	21	21,64	0,014

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C95- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 09)

Ensaio de Permeabilidade - AR 09														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	100,1	99,47	100,6	0,10	197,2	197,2	197,3	0,20	0,0079	16,28	15,75	15,41	15,81	0,020
2	99,7	100,8	99,63	0,10	197,5	197,6	197,7	0,20	0,0079	18,50	19,38	18,59	18,82	0,016
3	99,2	100,5	99,93	0,10	197,7	197,7	197,8	0,20	0,0078	16,84	16,24	16,71	16,60	0,019
4	99,4	100,9	99,94	0,10	195,6	195,4	195,5	0,20	0,0079	16,41	15,87	15,56	15,95	0,019
5	100,3	100,8	100,10	0,10	195,3	195,6	195,6	0,20	0,0079	20,75	19,97	20,03	20,25	0,015
6	100,0	99,9	100,02	0,10	198,3	198,3	198,0	0,20	0,0079	17,84	16,97	16,44	17,08	0,018
7	99,5	101,6	100,06	0,10	194,6	194,4	194,4	0,19	0,0079	15,94	15,32	15,06	15,44	0,020
8	99,6	99,99	99,90	0,10	198,2	198,2	198,3	0,20	0,0078	13,50	12,81	12,6	12,97	0,024
9	101,0	99,44	100,70	0,10	195,5	195,7	195,9	0,20	0,0079	18,84	18,66	18,59	18,70	0,016
10	99,6	100,9	101,47	0,10	196,4	196,5	196,4	0,20	0,0080	18,97	17,72	17,22	17,97	0,017

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C96- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 10)

Ensaio de Permeabilidade - AR 10														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	100,6	100,4	100,0	0,10	196,8	197,1	196,8	0,20	0,0079	15,85	14,87	14,65	15,12	0,020
2	99,8	100,2	100,5	0,10	199,0	198,9	199,0	0,20	0,0079	17,47	17,19	17,22	17,29	0,018
3	100,9	100,5	100,3	0,10	197,1	197,2	197,1	0,20	0,0079	19,13	18,41	17,78	18,44	0,017
4	100,7	100,0	100,6	0,10	196,5	196,2	196,0	0,20	0,0079	15,09	14,63	13,94	14,55	0,021
5	101,7	99,6	100,3	0,10	197,4	197,3	197,3	0,20	0,0079	20,25	19,56	19,63	19,81	0,015
6	99,8	100,0	100,7	0,10	196,3	196,6	196,6	0,20	0,0079	14,10	13,84	13,1	13,68	0,023
7	100,4	100,5	99,9	0,10	198,4	198,5	198,2	0,20	0,0079	13,82	13,25	12,87	13,31	0,023
8	100,0	99,6	100,9	0,10	197,7	197,9	197,8	0,20	0,0079	13,50	13,78	13,81	13,70	0,023
9	100,2	100,7	100,4	0,10	195,4	195,5	195,6	0,20	0,0079	10,94	11,78	12,07	11,60	0,026
10	99,4	101,0	100,1	0,10	195,7	195,5	195,5	0,20	0,0079	14,47	14,1	13,96	14,18	0,022

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C97- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 11)

Ensaio de Permeabilidade - AR 11														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	99,9	101,1	99,9	0,10	195,7	195,5	195,6	0,20	0,0079	14,43	13,63	13,28	13,78	0,022
2	100,1	100,6	99,9	0,10	198,5	198,6	198,6	0,20	0,0079	14,85	14,03	13,84	14,24	0,022
3	99,9	100,0	101,0	0,10	197,2	197,1	197,1	0,20	0,0079	15,18	14,72	14,28	14,73	0,021
4	100,4	100,0	99,9	0,10	196,2	196,3	196,2	0,20	0,0079	13,84	13,5	13,31	13,55	0,023
5	101,62	100,2	100,6	0,10	198,6	198,8	198,9	0,20	0,0079	16,59	16,13	15,85	16,19	0,019
6	100,1	99,7	101,4	0,10	196,4	196,4	196,5	0,20	0,0079	17,72	17,1	16,78	17,20	0,018
7	100,2	100,8	99,5	0,10	197,1	197,3	197,2	0,20	0,0079	14,97	14,34	14,12	14,48	0,021
8	101,6	100,0	99,8	0,10	198,1	198,4	198,3	0,20	0,0079	15,72	15,25	14,94	15,30	0,020
9	100,5	99,8	100,1	0,10	195,8	195,8	195,8	0,20	0,0079	15,25	14,5	14,4	14,72	0,021
10	100,0	101,1	99,2	0,10	197,2	197,3	197,4	0,20	0,0079	16,81	16,71	16,19	16,57	0,019

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C98- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 12)

Ensaio de Permeabilidade - AR 12														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	101,0	99,6	99,53	0,10	196,6	196,6	196,5	0,20	0,0079	15,00	15,22	14,62	14,95	0,021
2	100,4	99,62	101,06	0,10	198,0	198,0	198,2	0,20	0,0079	15,22	14,34	13,65	14,40	0,021
3	100,2	99,6	100,69	0,10	196,6	196,6	196,6	0,20	0,0079	14,56	14,19	14,15	14,30	0,022
4	99,8	99,94	99,56	0,10	197,0	197,9	197,4	0,20	0,0078	13,94	14,59	14,25	14,26	0,022
5	99,9	100	100,23	0,10	199,6	199,7	199,6	0,20	0,0079	15,47	15,4	14,91	15,26	0,021
6	99,6	101	99,46	0,10	195,2	194,8	194,9	0,19	0,0079	18,50	17,69	17,65	17,95	0,017
7	100,9	99,84	99,62	0,10	196,3	196,6	196,7	0,20	0,0079	20,88	19,88	19,31	20,02	0,015
8	100,8	99,66	100,18	0,10	197,6	197,6	197,8	0,20	0,0079	16,16	15,4	15,15	15,57	0,020
9	100,4	99,65	100,05	0,10	198,1	198,2	198,4	0,20	0,0079	14,90	14,34	13,72	14,32	0,022
10	100,8	99,37	99,77	0,10	196,2	196,3	196,5	0,20	0,0078	17,15	16,84	16,62	16,87	0,018

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela C99- Medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de prova, tempos e coeficiente de permeabilidade da amostra de RCC (AR 13)

Ensaio de Permeabilidade - AR 13														
Corpo de prova (CP)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D <sub>médio</sub> (m)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L <sub>médio</sub> (m)	Área <sub>cp</sub> (m <sup>2</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>médio</sub> (s)	Coef. de Perm. (m/s)
1	100,7	101,1	99,5	0,10	199,2	199,4	199,2	0,20	0,0079	18,12	17,62	17,53	17,76	0,017
2	100,4	100,3	100,6	0,10	198,1	198,0	197,9	0,20	0,0079	14,94	14,43	14,38	14,58	0,021
3	101,0	100,5	100,6	0,10	196,7	196,5	196,4	0,20	0,0080	14,22	13,78	13,63	13,88	0,022
4	100,3	100,3	100,1	0,10	195,6	195,8	195,8	0,20	0,0079	15,28	14,37	13,75	14,47	0,021
5	100,3	101,9	99,5	0,10	197,8	197,9	197,8	0,20	0,0079	18,09	17,63	16,69	17,47	0,018
6	99,2	101,0	99,0	0,10	199,0	198,9	199,2	0,20	0,0078	17,16	16,59	15,97	16,57	0,019
7	101,8	99,2	100,7	0,10	197,6	197,7	197,4	0,20	0,0079	15,87	15,38	14,94	15,40	0,020
8	101,2	100,1	100,0	0,10	196,0	196,2	196,4	0,20	0,0079	14,50	14,15	13,82	14,16	0,022
9	100,0	100,0	99,9	0,10	194,2	194,4	194,5	0,19	0,0078	12,06	11,91	11,94	11,97	0,026
10	100,2	99,8	100,6	0,10	199,2	199,0	199,1	0,20	0,0079	15,53	14,37	14,25	14,72	0,021

Fonte: Elaborado pelo autor

## ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO ADITIVO SIKA



### FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

# Sika® ViscoCrete®-5700

## SUPERPLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPENHO

### DESCRIÇÃO DO PRODUTO

**Sika® ViscoCrete®-5700** é um aditivo líquido de pega normal superplastificante de terceira geração, para indústria de pré-fabricados, concretos de alta resistência inicial, concreto de alto desempenho (CAD) e concreto auto-adensável (CAA).

### USOS

**Sika® ViscoCrete®-5700** é especialmente indicado para a produção de concretos que requerem altas resistências iniciais, altas reduções de água e excelente fluidez.

**Sika® ViscoCrete®-5700** é particularmente utilizado nas seguintes aplicações:

- Concreto auto-adensável (CAA);
- Concretos sujeitos ao transporte por tempo prolongado;
- Concreto com elevada redução na água de amassamento;
- Concreto com baixa relação água/cimento (A/C);
- Concreto de alto desempenho (CAD);
- Pavimentos;
- Concreto dosado em central;
- Concretegagem de peças esbeltas e densamente armadas;
- Concreto bombeado;
- Concreto aparente.

### CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

**Sika® ViscoCrete®-5700** é utilizado como um poderoso superplastificante atuando por diferentes mecanismos.

Através da adsorção superficial e do efeito estérico age promovendo a separação das partículas de aglomerante proporcionando as seguintes propriedades ao concreto:

- Aumento intenso no desenvolvimento dos ganhos de resistências iniciais, resultando numa desforma antecipada para pré-fabricados e concretos moldados in loco;
- Efeito redutor de água extremamente poderoso, resultando em altas densidades e resistências, e reduzindo a permeabilidade à água;
- Excelente efeito plastificante resultando na melhoria do comportamento na fluidez, no lançamento e na compactação do concreto;
- Redução dos custos de energia na cura a vapor de elementos pré-fabricados;
- Melhoria na produtividade na produção de concretos auto-adensáveis;
- Melhoria no comportamento da retração;

**Sika® ViscoCrete®-5700** não contém cloretos ou outros ingredientes que causam corrosão do aço. Portanto é adequado para concreto armado ou protendido.

### CERTIFICADOS / NORMAS

Atende aos requisitos da norma ABNT NBR 11.768/2011.

## DADOS DO PRODUTO

<b>Base química</b>	Solução de policarboxilatos em meio aquoso.
<b>Embalagem</b>	Tambor 200L Container 1000L Granel
<b>Aspecto / Cor</b>	Líquido marrom
<b>Prazo de validade</b>	12 meses a partir da data de produção se estocado apropriadamente, nas embalagens originais e intactas.
<b>Condições de estocagem</b>	Armazenar em local seco em temperaturas entre +5°C e +35°C. Protegido da luz direta do sol e do gelo. Para estocagem em seguir as recomendações da Sika no documento técnico: " <b>Instruções de armazenamento a granel e limpeza dos tanques de aditivos e adições Sika</b> ". Este pode ser encontrado no site da Sika ou solicitado ao Departamento Técnico Sika Brasil.
<b>Densidade</b>	1,07 kg ± 0,02 kg/L
<b>Valor do pH</b>	4,5 ± 1,0
<b>Dosagem recomendada</b>	• 0,3 à 1,5% sobre o peso de aglomerantes (cimento e adições, se houver); A dosagem ótima deverá ser determinada através de ensaios experimentais com o traço e os materiais da obra.
<b>Compatibilidade</b>	<b>Sika® ViscoCrete®-5700</b> é compatível com outros aditivos da linha Sika, para tanto, sugere-se entrar em contato com o Departamento Técnico Sika Brasil.
<b>Dispensador</b>	<b>Sika® ViscoCrete®-5700</b> é adicionado na água de amassamento ou diretamente a mistura de concreto fresco. Nunca adicionar <b>Sika® ViscoCrete®-5700</b> com os componentes secos do concreto (cimento e agregados).

## LIMITAÇÕES

Em casos de superdosagem a argamassa poderá ter: forte exsudação, segregação e retardo excessivo, podendo levar ao não endurecimento ou a perda de resistência da mesma.

## VALOR BASE DO PRODUTO

Todos os dados técnicos aqui contidos são baseados em testes de laboratórios. Medidas de valores em condições reais podem variar devido a condições fora de nosso controle.

## RESTRIÇÕES LOCAIS

Para maiores informações sobre manuseio, estocagem e disposição dos resíduos consulte a versão mais recente de nossa Ficha de Segurança do Material que contém os dados disponíveis, das propriedades físicas,

de ecologia, de toxicidade, e outros dados de segurança pertinentes.

## ECOLOGIA, SAÚDE E SEGURANÇA

**SEGURANÇA:** Recomendamos o uso de equipamento de proteção individual adequado (óculos de segurança, luvas de borracha sintética e roupa de proteção) durante o tempo de manuseio do produto. Mantenha o produto fora do alcance de crianças e animais domésticos.

**PRIMEIROS SOCORROS:** Para mais informações, consulte a Ficha de Informações sobre Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Em caso de ingestão, não induza o vômito e procure imediatamente um médico, levando consigo a embalagem original do produto ou a FISPQ. Em caso de emergência, contate PRÓ-QUÍMICA® 24 Horas Brasil: 0800-118270. Não reutilize as embalagens contaminadas com produtos. Descarte em local adequado, incluindo os resíduos gerados