

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

FERNANDA DOS SANTOS GENTIL

**ESTUDOS DE PARÂMETROS DE DOSAGEM QUE INFLUENCIAM AS
PROPRIEDADES DE CONCRETOS PERMEÁVEIS COM AGREGADOS
RECICLADOS**

**São Leopoldo
2020**

FERNANDA DOS SANTOS GENTIL

**ESTUDOS DE PARÂMETROS DE DOSAGEM QUE INFLUENCIAM AS
PROPRIEDADES DE CONCRETOS PERMEÁVEIS COM AGREGADOS
RECICLADOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

São Leopoldo

2020

G338e

Gentil, Fernanda dos santos.

Estudos de parâmetros de dosagem que influenciam as propriedades de concretos permeáveis com agregados reciclados / Fernanda dos Santos Gentil – 2020.

236 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

“Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak”

1. Concreto. 2. Concreto -- Mistura. 3. Concreto -- Testes. 4. Engenharia Civil. I. Título.

CDU 624

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Silvana Dornelles Studzinski – CRB 10/2524)

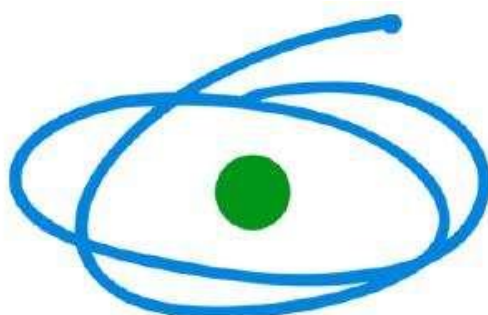
Aos meu pais, Sebastião e Emília.

Ao Robinson, meu esposo.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

PROSUC – Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições
Comunitárias de Ensino Superior



C A P E S

AGRADECIMENTOS

Ao mais importante: Agradeço a Deus pela vida.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – PROSUC/CAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa.

A meus pais Emília e Sebastião pelo amor, apoio e educação ao longo de minha vida sem medir esforços ao me apoiarem.

Ao meu marido pela compreensão, paciência e encorajamento durante esta jornada. Obrigada por entender todas as minhas horas de ausência e pelos sacrifícios em prol dos meus estudos.

Aos todos os meus familiares e amigos, ficam os maiores agradecimentos, por acreditarem no meu potencial e, com sabedoria e zelo, sempre me incentivarem a buscar mais.

Ao Professor Dr. Cláudio Kazmierczak, pela orientação, conhecimentos compartilhados e por acreditar em mim desde o início da minha jornada na pesquisa científica, a minha imensa gratidão.

Aos membros da banca examinadora pelo interesse e disponibilidade.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação pelos conhecimentos compartilhados, pela seriedade e profissionalismo.

Aos colegas da turma PPGE 2018/1 pelo companheirismo e diversão sempre que estávamos juntos. Foi muito bom compartilhar esses anos com vocês.

Aos bolsistas Camila, Nicolas e Cristiano. A eles agradeço pelo auxílio na execução do programa experimental e o cuidado dedicado à minha pesquisa.

Aos amigos da Cardoner, a família com que o mestrado me que presenteou... Rosane, Ruy e Mercedes mesmo distantes geograficamente estaremos próximos pelo sentimento de amizade, companheirismo e gratidão.

Aos laboratoristas do Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMC, Igor, Bianca, André, Leonardo e Jeremias pelos momentos de descontração, troca de ideias, pela atenção e pelo apoio técnico na realização dos ensaios no laboratório. Aos profissionais dos demais laboratórios, pelo apoio.

À Concesul, Britasinos e Grace, empresas doadoras dos materiais. Em especial ao Eng° Marcelo Krumenauer, Eng° Emerson e o profissional Rodrigo respectivamente que ajudaram esta pesquisa com satisfação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Se a reta é o caminho mais curto entre dois pontos, a curva
é o que faz o concreto buscar o infinito (Oscar Niemeyer)”

RESUMO

Este estudo objetivou identificar parâmetros de dosagem que influenciam nas propriedades mecânicas e na permeabilidade dos concretos permeáveis com e sem agregados reciclados de concreto. Analisou-se a influência da substituição de 100% de agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC); da espessura; do volume de pasta cimentícia; da variação da relação água/cimento (a/c) e aditivo superplastificante na consistência e nas propriedades mecânicas e de permeabilidade dos concretos permeáveis. A espessura de pasta teórica (EPT) foi determinada para verificar a capacidade de uma pasta de cimento de formar película estável sobre as superfícies dos agregados. No entanto não foi considerada como um parâmetro eficiente para a dosagem do concreto permeável. Determinou-se, também, o volume de pasta para cada mistura. Foi constatado que o volume de pasta foi o parâmetro que melhor ajustou as curvas entre as relações estabelecidas com as propriedades mecânicas e de permeabilidade do material estudado. Dentre as propriedades, no estado endurecido, as estudadas para a produção desse tipo de concreto, nesta pesquisa, são a resistência à compressão; resistência à tração na flexão; perda de massa por abrasão, coeficiente de permeabilidade e índice de vazios. Os concretos permeáveis com AGN apresentaram resistência à compressão superiores aos encontrados com amostras de AGRC, e os dois tipos de agregados atingiram os intervalos típicos estabelecidos pela ACI 522 (2010). Todos os concretos produzidos, exceto as amostras com AGRC de relação a/c 0,25, atingiram a resistência à tração na flexão mínima de projeto mencionada na NBR 16416 (ABNT, 2015). Os concretos permeáveis com AGRC apresentaram maiores perda de massa por abrasão e se mostraram mais permeáveis que os concretos com AGN. Todos os concretos permeáveis apresentaram coeficientes de permeabilidade maiores que o limite inferior determinado na norma NBR 16416 (ABNT, 2015).

Palavras-chave: Concreto permeável, agregado reciclado de concreto, espessura de pasta; volume de pasta.

ABSTRACT

This study aimed to identify dosage parameters that influence mechanical properties and permeability of pervious concretes with and without recycled concrete aggregates. The influence of a 100% natural coarse aggregate (NCA) replacement by recycled concrete coarse aggregate (RCCA) was analyzed; as well as the influence of thickness, cement paste volume, water/cement ratio (w/c) variation and superplasticizer admixture in permeable concretes consistency, mechanical properties and permeability. The theoretical paste thickness (TPT) was determined in order to verify the ability of a cement paste to form a stable film on aggregates surfaces. However, it was not considered as an efficient parameter for dosing pervious concrete. Paste volume for each mixture was also determined. It was found that paste volume was the parameter that best adjusted curves established between mechanical properties and permeability of the studied material. In this research, compressive strength, flexural tensile strength, mass loss through abrasion, permeability coefficient and voids index are among the properties, in the hardened state, which were studied for the production of this type of concrete. Pervious concrete with NCA showed higher compressive strength to that found in RCCA samples, and both types of aggregates reached typical intervals established by ACI 522 (2010). All the concretes that were produced, except the samples with RCCA of 0.25 w/c ratio, reached the tensile strength in the minimum design flexion mentioned in NBR 16416 (ABNT, 2015). Pervious concrete with RCCA showed higher mass loss through abrasion and proved to be more permeable than concretes with NCA. All pervious concretes showed permeability coefficients greater than the lower limit determined in the NBR 16416 standard (ABNT, 2015).

Keywords: Pervious concrete, recycled concrete aggregate, paste thickness; paste volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto Permeável	29
Figura 2 – Exemplo de compactação por rolagem do concreto permeável.....	31
Figura 3 - Argamassa aderida no agregado natural	37
Figura 4 - Agregado reciclado com zonas de transição internas.....	38
Figura 5 - Teste tátil para controle de mistura	41
Figura 6- Representação da pasta de cimento revestida na superfície do agregado	44
Figura 7 – Método de medição da espessura real de pasta	45
Figura 8 - Hastes de plástico usadas para avaliar a capacidade de formação de película das pastas de cimento	46
Figura 9- Teste para avaliar a espessura de pasta na superfície do agregado.....	48
Figura 10 - Espessura de pasta de cimento na superfície do agregado em função do número de quedas da mesa de consistência.	49
Figura 11 - Espessura de pasta de cimento na superfície do agregado em função do tamanho da malha da peneira	49
Figura 12 - Método de produção do concreto permeável segundo a NRMCA (2009)	52
Figura 13 - Método de produção do concreto permeável segundo a ACI.	54
Figura 14 - Densidade no estado endurecido em função do teor de agregado reciclado.	55
Figura 15 - Índice de vazios em função do teor de agregado reciclado de concreto.	56
Figura 16 - Índice de vazios em função do teor de agregado reciclado	57
Figura 17 - Densidade no estado endurecido em função do Índice de vazios	58
Figura 18 - Procedimento de análise de imagem empregado nas misturas de concreto permeável.....	58
Figura 19: imagens escaneadas e binárias (limiar) de superfícies de diferentes amostras de concreto permeável	59
Figura 20: Relação entre a espessura média da pasta cimentícia e a permeabilidade	60
Figura 21 - Permeabilidade em função da porosidade de concretos permeáveis relatados na literatura.....	61
Figura 22 – método de carga hidráulica descendente simplificado	62
Figura 23 - Permeabilidade em função do índice de vazios	63

Figura 24 - Coeficiente de permeabilidade em função da resistência à compressão	64
Figura 25 - Resistência à compressão em função da porosidade de concretos permeáveis relatados na literatura.	65
Figura 26 - Comparação entre aparências físicas e ligação pasta de cimento/agregado	66
Figura 27 - Resistência à compressão em função do teor de agregado reciclado de concreto.....	67
Figura 28 - Falhas de ruptura após ensaio de resistência à compressão	68
Figura 29 - Resistência à tração em função do teor de agregado reciclado.....	69
Figura 30 - Falhas de ruptura após ensaio de resistência à tração	70
Figura 31 - Resistência à compressão:	70
Figura 32 - Resistência à abrasão em função do teor de agregado reciclado.....	71
Figura 33 - Relação entre Índice de vazios em função da resistência à abrasão (representado pela cor vermelha) e resistência à compressão em função resistência à abrasão	72
Figura 34 - Esquema mostrando como diferentes tamanhos de partículas são susceptíveis de obstruir o concreto permeável	73
Figura 35 – Diagrama.....	74
Figura 36 – Distribuição granulométrica do CP II F-40.....	79
Figura 37 – Forma dos grãos e a rugosidade superficial dos AGN	81
Figura 38 – Processo de cominuição dos corpos de prova	84
Figura 39 – Forma dos grãos e a rugosidade superficial dos AGRC	84
Figura 40 - Absorção de água ao longo do tempo do AGN e AGRC	86
Figura 41 – Absorção média nos minutos iniciais do AGN e AGRC	87
Figura 42 – (a) hastes de vidro e (b) hastes de argamassa	89
Figura 43 – textura superficial: (a)hastes de vidro e (b) hastes de argamassa	90
Figura 44 - Processo de peneiramento do concreto no estado fresco: (a) Material retido na peneira de malha de 4,8 mm e (b) Argamassa utilizada para a confecção das hastes	91
Figura 45 - Moldagem das hastes de argamassa	92
Figura 46 – Hastes de argamassas após o processo de lixamento	92
Figura 47 – Hastes utilizadas no ensaio para a determinação da rugosidade nas argamassas.....	93
Figura 48 – Molde para posicionamento das hastes de argamassa.	93

Figura 49 – Posicionamento das hastes de argamassa na máquina Tridimensional Óptica.....	94
Figura 50 – Rugosidade média (Ra)	95
Figura 51 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.	97
Figura 52 – Imersão das hastes na pasta de cimento	98
Figura 53 – Esquema da haste revestida com pasta, sinalizada com os parâmetros de medição do EPT	99
Figura 54 – Mini-tronco de Kantro	107
Figura 55 – Avaliação da consistência da pasta	108
Figura 56 – Moldagem das pastas de cimento	109
Figura 57 – Posicionamento do corpo de prova na prensa	110
Figura 58 – Espalhamento (cm) em função do teor de aditivo (%).....	111
Figura 59 – Ensaio de Massa específica.....	123
Figura 60 – Compactação dos corpos de prova 10Ø x 20 cm com a utilização do soquete <i>Proctor</i> 2,5 kg.	124
Figura 61 – Máquina <i>Los Angeles</i>	125
Figura 62 - Montagem do permeâmetro	126
Figura 63 – Preparação dos corpos de prova para o ensaio de permeabilidade	127
Figura 64 – Medidas utilizadas no cálculo do coeficiente de permeabilidade K.	128
Figura 65 – (a) molde confeccionado para a colocação dos corpos de prova e (b) equipamento utilizado para a execução do teste.	128
Figura 66 – Espalhamento (mm) em função do teor de aditivo (%)	130
Figura 67 – EPT (haste de vidro-mm) em função do teor de aditivo (%).....	131
Figura 68 – EPT (haste de argamassa-mm) em função do teor de aditivo (%).....	133
Figura 69 – EPT (mm) em função do Espalhamento (mm)	135
Figura 70 – Espalhamento (mm) das pastas de cimento após aplicação de golpes	136
Figura 71 – Determinação da espessura real de pasta (ERP)	137
Figura 72 – Elementos presentes nos concretos permeáveis	138
Figura 73 – Pasta de cimento envolvendo os agregados reciclados, sem a realização de adensamento.....	139
Figura 74 – Diferentes formas de acontecer a desintegração do agregado reciclado, em virtude do processo de compactação	139
Figura 75 – Ensaio no estado fresco do concreto permeável com AGN	140

Figura 76 – Ensaio no estado fresco do concreto permeável com AGRC	141
Figura 77 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função da relação a/c.	144
Figura 78 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função do volume de pasta (%).....	145
Figura 79 – Resistência à compressão média $f_{c,med}$ (MPa) em função da relação a/c	146
Figura 80– Resistência à compressão $f_{c, med}$ (MPa) em função do volume de pasta (%).....	149
Figura 81 – Resistência à tração na flexão média $f_{ct,sp med}$ (MPa) em função da relação a/c.....	152
Figura 82– Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp med}$ (MPa) em função do volume de pasta (%).....	153
Figura 83 – Rompimento dos corpos de prova no ensaio de resistência à tração na flexão.....	154
Figura 84 – Formato dos corpos de prova de concretos permeáveis após serem submetidos ao ensaio de abrasão.....	156
Figura 85 – Perda de massa (%) em função da relação a/c.....	156
Figura 86 – Perda de massa (%) em função do volume de pasta (%)	158
Figura 87 – Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em função da relação a/c	160
Figura 88 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGN.....	162
Figura 89 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGRC a/c 0,30	162
Figura 90 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGRC a/c 0,34.....	163
Figura 91 – Coeficiente de permeabilidade K(m/s) em função do volume de pasta (%)	163
Figura 92 – Processo de compactação no concreto permeável com AGN	164
Figura 93 – Esquema da formação da espessura de pasta no AGRC	165
Figura 94 – Densidade no estado endurecido (kg/m^3) em função do volume de pasta (%).....	167
Figura 95 – Índice de vazios (%) em função do volume de pasta (%).....	168
Figura 96 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função da densidade no estado endurecido (kg/m^3) em concretos permeáveis com AGN e AGRC	169

Figura 97 – Índice de Vazios IV (%) em função do Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGN e AGRC	170
Figura 98 – Resistência à compressão f_c , med (MPa) em função do Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGN e AGRC.....	172
Figura 99 – Resistência à compressão f_c , med (MPa) em função da Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) em concretos permeáveis com AGN	173
Figura 100 – Resistência à compressão f_c , med (MPa) em função da Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) em concretos permeáveis com AGRC.....	174
Figura 101 – Resistência à compressão (MPa) em função do Índice de Vazios (%) em concretos permeáveis com AGN e AGRC.....	175
Figura 102 – Perda de Massa (%) em função da Resistência à compressão f_c , med (MPa) em concretos permeáveis com AGN e AGRC	176
Figura 103 – Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) em função do coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGRC.	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alguns trabalhos brasileiros sobre concreto permeável	23
Tabela 2 - Tipos de agregado graúdo e granulometrias mais utilizados na produção de concreto permeável	34
Tabela 3 - Absorção de agregado reciclado de concreto e agregado natural	40
Tabela 4 - Proporções de misturas de concreto permeável encontrados na literatura	51
Tabela 5: Valores efetivos de b/b_0	53
Tabela 7 – Características físicas do CP II F-40	79
Tabela 8 – Características químicas e mecânicas do CP II F-40	79
Tabela 9 – Especificações técnicas do aditivo superplastificante	80
Tabela 10 – Granulometria usada nas misturas de concreto permeável.....	81
Tabela 11 – Caracterização física do AGN	82
Tabela 12 – Granulometria do AGRC usada nas misturas de concreto permeável ..	84
Tabela 13- Caracterização física do AGRC.....	85
Tabela 14 – Métodos de verificar/quantificar a argamassa aderida no AGRC	88
Tabela 15 – Características do concreto que resultou a argamassa.....	90
Tabela 16 – Parâmetros calculados de três amostras	95
Tabela 17 – Ensaio realizados nos corpos de prova de argamassa	96
Tabela 18 – Taxa de absorção capilar, porosidade efetiva e absorção final capilar para os concretos produzidos.....	97
Tabela 19 – Valores médios de EPT (mm).....	100
Tabela 20 – Consumo de materiais para a produção das pastas cimentícias.....	105
Tabela 21 – Densidade e consistência das pastas cimentícias.....	106
Tabela 22 – Materiais utilizados na produção das pastas de cimento	111
Tabela 23 – Resultados dos ensaios mecânicos para cada relação a/c	112
Tabela 24 – Consumo de materiais.....	119
Tabela 25 – Espessuras e tores de aditivos máximos obtidas com a haste de vidro	132
Tabela 26 – Espessuras e teores de aditivo obtidas com a haste de argamassa ...	133
Tabela 27 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3)	143
Tabela 28 – Resistência à compressão média f_c , med (MPa)	146
Tabela 29 – Resistência à tração na flexão média $f_{ct,sp}$ (MPa).....	151

Tabela 30 – Perda de massa (%).....	155
Tabela 31 – Coeficiente de permeabilidade K (m/s).....	159
Tabela 32 – Densidade no estado endurecido (kg/m ³) e Índice de vazios (%).....	166

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Método de medição da ERP em concretos permeáveis com AGN, relação a/c 0,25 com EPT 1 de 0,4 mm.	103
Quadro 2 – Método de medição da ERP em concretos permeáveis com AGRC, relação a/c 0,25 com EPT 1 de 0,4 mm.	104
Quadro 3- Determinação do traço para a produção do concreto permeável	114

LISTA DE ABREVIATURAS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ACI	Instituto Americano do Concreto
ASTM	Sociedade Americana para testar materiais
AN	Agregado natural
AR	Agregado reciclado
ARC/RCA	Agregado reciclado de concreto
AGN	Agregado graúdo natural
AGR	Agregado graúdo reciclado
AGRC	Agregado graúdo reciclado de concreto
CP	Cimento Portland
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos EUA
EPC	Espessura da pasta cimentícia
ERP	Espessura real de pasta
EPT	Espessura de pasta teórica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	Liderança em Energia e Projeto Ambiental
LMC	Laboratório de Materiais de Construção
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NRMCA	Associação Nacional de Concreto Usinado
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RCC	Resíduo de Construção Civil
RC	Resíduo cerâmico
SSS	Superfície seca saturada
VP	Volume de pasta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 Justificativa	26
1.2 Objetivos	28
1.2.1 Objetivo Geral	28
1.2.2 Objetivos Específicos	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Concreto Permeável	29
2.1.1 Parâmetros que controlam o desempenho do Concreto permeável.....	32
2.2 Propriedades do agregado graúdo reciclado de concreto relevantes para a produção do concreto permeável	34
2.3 Características do Concreto Permeável no Estado Fresco	40
2.3.1 Métodos para estudo de concreto permeável	41
2.3.2 Massa específica.....	43
2.3.3 Espessura ideal de pasta	43
2.3.4 Processo de mistura e dosagem do concreto permeável	51
2.4 Características do Concreto Permeável no Estado Endurecido	55
2.4.1 Densidade e Índice de vazios.....	55
2.4.2 Permeabilidade.....	60
2.4.3 Propriedades Mecânicas	64
2.4.4 Durabilidade	71
3 METODOLOGIA	74
3.1 Fatores e variáveis	75
3.1.1 Fatores de Controle com níveis variáveis de estudo	75
3.1.2 Fatores de controle com nível fixo.....	76
3.1.3 Fatores não controlados.....	78
3.1.4 Variáveis de resposta	78
3.2 Materiais	78
3.2.1 Cimento	78
3.2.2 Aditivo.....	80
3.2.3 Agregado graúdo natural	80
3.2.4 Agregado graúdo reciclado de concreto.....	83
3.2.5 Água	88

3.3	Espessura de Pasta Cimentícia	88
3.3.1	Determinação da superfície padrão.....	88
3.3.2	Características das superfícies padrão	89
3.3.3	Produção da haste de argamassa.....	90
3.3.4	Rugosidade da haste de argamassa	93
3.3.5	Caracterização da argamassa utilizada para confecção das hastes	95
3.3.6	Cálculo para a determinação da Espessura de Pasta Teórica (EPT).....	97
3.3.7	Determinação da Espessura Real de Pasta (ERP)	102
3.4	Produção de Pastas Cimentícias	104
3.4.1	Consumo de Pasta Cimentícia	104
3.4.2	Processo de mistura.....	105
3.4.3	Características no estado fresco para a determinação da EPT	106
3.4.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	108
3.5	Produção dos concretos permeáveis	110
3.5.1	Determinação da relação a/c.....	110
3.5.2	Determinação dos traços.....	112
3.5.3	Processo de mistura.....	119
3.5.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	120
3.6	Métodos	122
3.6.1	Consistência da mistura	122
3.6.2	Densidade no estado fresco.....	123
3.6.3	Resistência à compressão	123
3.6.4	Resistência à tração na flexão	124
3.6.5	Resistência à abrasão	125
3.6.6	Permeabilidade.....	126
3.6.7	Densidade e Índice de vazios no estado endurecido	128
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	130
4.1	Espessura de pasta cimentícia	130
4.1.1	Fluidez da pasta de cimento.....	130
4.1.2	Capacidade de formação de película em superfícies padrão e Espessura de pasta teórica (EPT)	131
4.1.3	Espessura real de pasta (ERP)	136
4.2	Consistência da mistura	140
4.3	Massa específica no estado fresco	142

4.4 Resistência à compressão	145
4.5 Resistência à tração na flexão	150
4.6 Perda de massa por abrasão.....	155
4.7 Coeficiente de Permeabilidade	159
4.8 Densidade e Índice de vazios no estado endurecido.....	165
4.9 Relação entre os parâmetros	169
4.9.1 Massa específica no estado fresco x Densidade no estado endurecido	169
4.9.2 Índice de vazios x Coeficiente de permeabilidade.....	170
4.9.3 Resistência à compressão x Coeficiente de permeabilidade	171
4.9.4 Resistência à compressão x Resistência à tração na flexão.....	173
4.9.5 Resistência à compressão x Índice de Vazios	174
4.9.7 Resistência à tração na flexão x Coeficiente de permeabilidade	177
5 CONCLUSÃO	178
5.1 Considerações finais	178
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	180
REFERÊNCIAS.....	181
APÊNDICE A	192
APÊNDICE B	196
APÊNDICE C	198
APÊNDICE D	200
APÊNDICE E	204
APÊNDICE F.....	227
APÊNDICE F.....	229
APÊNDICE G	231
APÊNDICE H	233

1 INTRODUÇÃO

Segundo Canholi (2014) os maiores problemas ambientais, sociais e econômicos se encontram na sua maioria localizados nas “megacidades”, ou seja, lugares com aglomerados humanos com mais de dez milhões de habitantes. No entanto, esses problemas são piores nos países em desenvolvimento, locais onde faltam recursos financeiros e técnicos para confrontar o estado de deterioração a que se encontram as grandes cidades. Segundo o mesmo autor o saneamento básico das grandes cidades brasileiras estão em situação precária, principalmente no que diz respeito à drenagem urbana.

Em virtude da gestão ineficaz dos escoamentos pluviais juntamente com o crescimento acelerado da população urbana nas últimas décadas, problemas como enchentes e inundações têm sido frequentes em inúmeras cidades do país. (TUCCI, 1997).

O aumento da urbanização, de acordo com Holtz (2011), proporcionou uma crescente impermeabilização do solo, devido a construções de edifícios com calçadas impermeáveis e ruas pavimentadas. Esse processo reduz a área de contato entre a água e o solo, dessa forma dificultando ou, até mesmo, impedindo a infiltração e o aumento dos volumes do escoamento superficial das águas pluviais. A impermeabilização do solo faz com que a água pluvial seja transportada para a rede pública e para os grandes corpos de água que passam pelas cidades em um tempo menor do que acontecia anteriormente, ampliando o pico da cheia. Assim, ocorre a sobrecarga do sistema de drenagem ocasionando os alagamentos urbanos.

Os métodos tradicionais utilizados na rede de drenagem para escoar as águas pluviais, como por exemplo, calhas, sarjetas, bocas de lobo e tubulações enterradas não são adequados para uma gestão eficiente das cheias, pois são obras que acabam transferindo o problema para jusante. (HOLTZ, 2011).

Diante da ineficiência quanto a utilização dos métodos, anteriormente mencionados, Canholi (2014) propõe a utilização de novas medidas não convencionais com intuito de controlar a origem do escoamento superficial. Entre as medidas propostas estão as soluções baseadas em sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS), que segundo Woods-Ballard et al. (2007), são dispositivos e técnicas desenvolvidos baseados no tripé quantidade, qualidade e biodiversidade. Outra medida não convencional proposta é a urbanização de baixo impacto (LID) que

entre os benefícios desse tipo de intervenção está a minimização das áreas impermeáveis, por meio, por exemplo, de pavimentos permeáveis.

Outro problema que tem aumentado de forma desmensurada, com acelerado crescimento urbano, é a geração de resíduos oriundos da construção civil que tem provocado um forte impacto no meio ambiente. Segundo Ibrahim e Abdul Razak (2016); Rodríguez et. al. (2016); Tam, Butera e Le (2016) o processo de reciclagem e a reutilização dos resíduos de construção não degradáveis como agregados graúdos reciclados (AGR) são produtos que apresentam aumento na escala de uso, em virtude de ter um excelente potencial para reduzir o volume de aterros e a poluição. O uso dos AGR é considerado como uma medida econômica e ambientalmente benéfica para a sustentabilidade da indústria da construção.

Em alguns estudos, pode-se observar que o uso do agregado reciclado de concreto na confecção de concreto armado estrutural é limitado, havendo restrições à sua durabilidade, em função da corrosão. Por outro lado, é possível utilizar-se o agregado reciclado em concretos não armados, uma vez que a durabilidade da armadura não é um fator a ser considerado. Em decorrência, uma alternativa de reciclagem é o uso do agregado reciclado de concreto na confecção de pavimentos permeáveis de concreto. Dessa forma, acredita-se que a união desses materiais contribuirá para mitigar os problemas anteriormente mencionados, ou seja, possibilitará uma destinação “nobre” para os resíduos provenientes da construção civil e proporcionará a execução de superfícies permeáveis as quais permitirão, segundo Xie et al. (2018), reduzir o escoamento das águas pluviais, a recarga natural das águas subterrâneas, limitar os custos dos sistemas rodoviários e reduzir o efeito de ilhas de calor nas áreas urbanas

A partir das informações constantes na literatura sobre o concreto permeável, pode-se verificar que essa tecnologia é embrionária no Brasil, com poucos trabalhos publicados e um número reduzido de exemplos práticos de aplicação, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Alguns trabalhos brasileiros sobre concreto permeável

Autores/ Ano	Tipo de trabalho	Título
Acioli (2005)	Dissertação	Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte

Holtz (2011)	Dissertação	Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental
Batezini (2013)	Dissertação	Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves
Mariano (2014)	Dissertação	Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis.
Lamb (2014)	Dissertação	Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável
Vidal (2014)	Dissertação	Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano
Barbosa e Pereira (2015)	Artigo	Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil na região de Campinas
Alves (2016)	Dissertação	Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de resíduos de construção e demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto
Tavares e Kazmierczak (2016)	Artigo	Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis
Araújo, Tucci e Goldenfum (2017)	Artigo	Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial.
Curvo (2017)	Dissertação	Estudo da drenabilidade de calçadas experimentais em concreto permeável no Campus Armando Salles de Oliveira da USP
Evaristo (2017)	Artigo	Avaliação da permeabilidade de pavimentos com revestimento de concreto permeável
Girardi e Finocchiaro (2017)	Artigo	Concreto permeável produzido com agregado reciclado
Carls (2018)	Dissertação	Coeficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de concreto permeável dosado por três diferentes métodos
Becker (2018)	Dissertação	Efeito do pavimento de concreto permeável dosado por diferentes métodos na qualidade da água do escoamento superficial percolado
Rohden, Mendes e Matos (2018)	Artigo	Concreto permeável com vidro moído
Trindade e Lopes (2018)	Relatório Técnico	Caracterização de concreto para pavimento permeável baseado em materiais de construção reciclados

Costa (2019)	Tese	Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação
Moura, Peixer e Muniz (2019)	Artigo	Análise Técnica de pavimentos permeáveis: aspecto físico, hidráulico e manifestações patológicas
Becker e Pinheiro (2019)	Artigo	Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão
Junior (2019)	Dissertação	Estudo do potencial de aplicação de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis

Observação: Os dados presentes na tabela foram obtidos por pesquisa em internet, podendo não representar a totalidade de produção no tema.

Fonte: Elaborada pela autora

Como pode ser verificado na Tabela 1, os estudos e a utilização do concreto permeável no Brasil ainda é recente, no entanto, de acordo com estudos realizados por Azzout et al. (1994), é possível observar que esse conhecimento, na área da construção, já vem sendo utilizado, há mais de 50 anos, nos chamados países de primeiro mundo, como por exemplo, Japão e os Estados Unidos.

O concreto permeável, também conhecido como concreto poroso ou drenante, é um material que possui alto índice de vazios interligados, com pouca ou nenhuma porção de areia na sua composição, para permitir a percolação de grande quantidade de águas pluviais, de tal modo a possibilitar a redução do escoamento superficial.

Por meio de alguns estudos, tais como ACI 522 (2010); Kia, Wong e Cheeseman (2017), foi possível identificar que concretos permeáveis com bom desempenho, execução e funcionamento apresentam porcentagem de porosidade presente na faixa de 15-35% e uma relação água/cimento (a/c) variando entre 0,26-0,40. Por ser um material altamente poroso, as propriedades mecânicas como, por exemplo, a resistência à compressão é comprometida. Em decorrência dos baixos resultados da resistência à compressão dessa nova tecnologia o uso desse material é mais adequado para lugares sujeitos às cargas de tráfego de baixo volume, tais como estacionamentos, calçadas, estruturas hidráulicas, quadra de tênis e redução de ruído.

De acordo com *American Concrete Institute* (ACI 522) (2010) a resistência à compressão do concreto permeável tende a estar na escala de 2,8 MPa a 28 MPa. Nesta composição o agregado graúdo tem a função de garantir uma resistência razoável e a pasta ou argamassa de cimento, utilizadas em poucas quantidades,

contribuem para que os componentes permaneçam unidos dificultando a perda de material pelo processo de abrasão.

Quanto à permeabilidade, os pesquisadores Araújo et. al. (1999) analisaram a eficiência dos pavimentos permeáveis sob o aspecto do escoamento superficial. Três tipos de superfícies foram observados: superfícies impermeáveis; semipermeáveis e permeáveis. Na área caracterizada como impermeável, verificou-se o escoamento superficial no asfalto, nas placas de concreto e pedras. O teste do escoamento superficial foi realizado em área com pavimentos semipermeáveis compostos de paralelepípedos. Já os pavimentos permeáveis são formados pelo concreto permeável. Nos ensaios, observaram que na superfície permeável praticamente não houve o escoamento superficial. Assim, pode-se dizer que o concreto permeável é um composto altamente permeável e recomendado para tratar os problemas de impermeabilização dos solos nas áreas urbanas.

Além disso, essa tecnologia apresenta propriedades acústicas, conforme retratado na pesquisa de Hesami, Ahmadi e Nematzadeh (2014). Isso ocorre pelo fato de o material possuir uma alta porosidade que favorece a redução da poluição sonora.

Outra característica positiva do uso do concreto permeável é que pode gerenciar as águas pluviais, purificando-as pelo fato da água infiltrada passar pelos processos de purificação física, química e biológica. De acordo com Chandrappa e Biligiri (2016b) a purificação física é um processo que se dá através dos caminhos curvilíneos presentes na estrutura do concreto permeável, os quais absorvem, em grande quantidade, os materiais em suspensão. Já a purificação química propicia a precipitação dos poluentes através da reação entre os íons de hidróxido e íons carbonato, enquanto que a purificação biológica se relaciona com o consumo de materiais suspensos por meio de atividades microbianas que se acomodam nas camadas do concreto permeável. Diante disso, pode-se recomendar o uso do concreto permeável em áreas industriais com o intuito de reduzir a concentração de poluentes na água de escoamento e, assim reduzir a poluição nos corpos d'água naturais.

1.1 Justificativa

A indústria da Construção Civil é um dos setores econômicos mais importantes e influentes do Brasil. No entanto, este setor é responsável por um grande impacto

ambiental negativo, gerado tanto pelo uso de recursos naturais, quanto pela liberação de resíduos de construção e demolição (RCD¹).

No contexto da indústria da construção civil a quantidade de resíduos produzidos atinge valores cada vez mais preocupantes. Segundo Silva et. al. (2014), a exploração dos recursos não renováveis, para fins de construção, gera milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição todos os anos. Quando não se dispõe de tecnologia e de um sistema gerencial eficiente para o seu reaproveitamento, esses resíduos são depositados na natureza e podem ocasionar diversos problemas ambientais.

Segundo a ABRECON (2018) todos os dias, considerando as regiões brasileiras, são produzidos no país o equivalente a 290.556 de RCD que em massa equivalem a 1050 aviões Airbus A380, sendo um modelo de aeronave mais pesado do mundo com 276,8 toneladas. Essa produção de RCD pode gerar agregado para a produção do concreto suficiente para a construção de cerca de 2134 Estádios do Maracanã originais, o qual requer um volume de 80.000 m³ de concreto.

São desperdiçados, todos os anos, no Brasil segundo ABRECON (2018) aproximadamente 87,2 milhões de metros cúbicos de RCD, que em volume, equivalem a 22% do volume útil armazenado do Reservatório Cantareira, o maior dos sistemas de reserva de água administrados pela Sabesp, e um dos maiores sistemas do mundo com 390,7 milhões de metros cúbicos de água.

Os RCD, devido à sua natureza química, contêm manuseio limitado a aterros e a maioria das técnicas de processamento de resíduos não pode ser realizada. Além de aumentar os custos de transporte (OH et al., 2014). Desta forma, procuram-se novas maneiras de utilizar o resíduo, sendo a principal delas a reciclagem, que separa o material em diferentes categorias, permitindo que seja reutilizado em diferentes aplicações como matéria-prima para concreto novo e para estradas. Em virtude disso, neste estudo, optou-se por utilizar agregado reciclado de concreto na confecção do concreto permeável.

De acordo com Troian (2010); Werle (2010); Wilbert (2015) e Hentges (2018) o agregado reciclado de concreto, proveniente de resíduos de construção e demolição é adequado para a substituição parcial ou total do agregado natural na produção de

¹ RCD são os resíduos sólidos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil.

novos concretos. O uso desses materiais pode reduzir as emissões de CO₂ aproximadamente em 15%- 20%. (GUO et. al., 2018).

Nas diversas pesquisas realizadas em bancos de dados internacionais, pode-se constatar poucos estudos sobre a utilização de agregado reciclado de concreto estrutural na confecção do concreto permeável, o que proporciona grandes oportunidades de geração de produção científica qualificada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar parâmetros de dosagem que influenciam nas propriedades mecânicas e na permeabilidade dos concretos permeáveis com e sem agregados reciclados.

1.2.2 Objetivos Específicos

No que diz respeito aos objetivos específicos pretende-se analisar a influência:

- da espessura de pasta cimentícia nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com AGN e AGRC.
- do volume de pasta nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com AGN e AGRC.
- da variação da relação água/cimento (a/c) e aditivo superplastificante na consistência e nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com AGN e AGRC.
- da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de concreto nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos itens a seguir serão abordados assuntos específicos que auxiliam no entendimento do concreto permeável, bem como em relação aos fatores que influenciam e o efeito da incorporação do agregado reciclado de concreto na composição desse componente.

2.1 Concreto Permeável

O concreto permeável é um material composto principalmente por agregados graúdos e materiais cimentícios que fornecem à mistura uma estrutura interna de macro poros interconectada. De acordo com Chandrappa e Biligiri (2016a) o concreto permeável é classificado como um concreto sustentável, sendo reconhecido como uma das melhores práticas em projetos que requerem aproveitamento do solo, seja para promover a recarga de águas subterrâneas, seja para coleta e reuso de águas pluviais. É, também, uma alternativa sustentável que vem ganhando aceitação pelas instituições e empresas do ramo da construção civil.

Neithalath, Sumanasooriya e Deo (2010) abordam que o principal benefício oferecido pelo concreto permeável é sua capacidade de transportar grandes volumes de água através da sua estrutura (Figura 1) reduzindo problemas relacionados ao escoamento de águas pluviais. A *Environmental Protection Agency* (EPA)¹ reconheceu o uso de concreto permeável como umas das melhores práticas de gerenciamento para a redução do escoamento de águas pluviais.

Figura 1 - Concreto Permeável



Fonte: Stevenson Concrete (2018)

¹ Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

O concreto permeável tem sido utilizado há mais de 50 anos, especialmente nos Estados Unidos e no Japão. (BROWN, 2003; HUANG et. al., 2010). Entretanto, no ano de 1852, de acordo com boletim ACI 522 (2010), o concreto permeável foi utilizado pela primeira vez no Reino Unido.

De acordo com a ACI 522 (2010) com o passar dos anos a utilização do concreto permeável se estendeu para diversos países: Alemanha, Holanda, França, Bélgica, Espanha, Hungria, Venezuela, Rússia, parte do continente africano – África Ocidental e continente asiático – Oriente Médio. No ano de 1987, o Japão começou a utilizar pavimento permeável, em virtude da alta urbanização, com a finalidade de ajudar na drenagem e escoamento na fonte. Também, nesse período, a Suécia, local de clima frio e neve, começou a executar o pavimento permeável com o intuito de reduzir a necessidade de redes pluviais. Com relação à América Latina, o Chile foi o primeiro país a utilizar o concreto permeável. (ACIOLI, 2005).

Em 2006, foi executado a maior obra de concreto permeável em território brasileiro localizada em Minas Gerais, conhecida como o Parque Tecnológico de Belo Horizonte. A construção foi realizada com o objetivo de reduzir os riscos de alagamentos e alimentar as nascentes presentes no Parque. (HOLTZ, 2011).

Apesar dos exemplos citados, no Brasil, ainda o desenvolvimento do concreto permeável está incipiente com carências de diversos estudos para se obter o aprimoramento desde o processo de mistura até a aplicabilidade desse material.

Segundo Azzout et. al. (1994), existem alguns fatores que favorecem para que essa tecnologia não se propague ou seja menos utilizada em alguns países. A primeira razão abordada foi pela falta de conhecimento amplo sobre a durabilidade do concreto permeável, como por exemplo a falta de informação quanto a capacidade desse material de resistir aos efeitos de desgastes superficiais. Outra questão levantada pelo autor foi a respeito dos aspectos de projetos, execução e manutenção os quais não são completamente compreendidos pelos profissionais na área de pavimentação.

Sabe-se que há três tipos de concretos permeáveis classificados de acordo com o nível de resistência e permeabilidade. O primeiro é conhecido como concreto permeável hidráulico, um material caracterizado com baixa resistência mecânica e elevada permeabilidade, com aplicações não estruturais. Já o concreto permeável normal possui resistência e drenabilidade intermediárias cuja aplicação se dá em estacionamentos e calçadas; caracteriza-se por não possuir em sua composição adição de agregado miúdo. E há o concreto permeável estrutural que possui altas

resistências mecânicas e baixa permeabilidade, em virtude da adição de materiais de granulometria reduzida na mistura. Esta última classificação pode ser aplicada tanto em estacionamentos quanto em locais com circulação de tráfego de veículos pesados. (DELLATE; CLEARLY, 2018).

O concreto permeável é uma alternativa utilizada na área de pavimentação. Este material está presente em pavimentações permeáveis. Tal pavimentação permite a infiltração da água, com isso reduz o escoamento de águas pluviais nas cidades. De acordo com Urbonas (1993) existem três classificações para pavimentos permeáveis: pavimento de concreto poroso; pavimento de asfalto poroso e pavimento de blocos de concreto vazados com a presença de material granular.

O processo de construção do concreto permeável é diferente da aplicação do concreto convencional em campo. Esse processo constitui-se segundo ACI 522 (2010) nas seguintes etapas: lançamento do concreto; processo de alisamento, compactação e de cura. Os equipamentos usados para aplicação do concreto permeável incluem vibrador treliçado de baixa frequência em combinação com rolos (*low-frequency vibrating truss screeds in combination wuth heavy pipe rollers*), como pode ser visualizado na Figura 2, alisadores de tubo único e duplo rotativo (*single and double-tube conter rotating tube screeds*), compactadores manuais planos (*plate compactors*), modeladores deslizantes de concreto (*slipforms*), alisadores a laser (*laser screeds*)² e máquinas produzidas especificamente para a aplicação do concreto permeável.

Figura 2 – Exemplo de compactação por rolagem do concreto permeável.



Fonte: ACI 522 (2010)

² Em função de não existir termos específicos em português a autora realizou uma tradução livre.

De acordo com Batezini (2013) a EPA é responsável pela elaboração da certificação *US Green Building Council Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED)³ que pontua projetos que apresentam pavimento permeável. A certificação LEED é baseada na sustentabilidade, na análise das características de projetos relacionados a redução do aquecimento terrestre e que utilizam materiais recicláveis e materiais da região na produção do concreto permeável.

Os autores ACI 522 (2010); Putman e Neptune (2011); Meddah, Al-Jabri, Hago e Al-Hinai (2017) relataram que o concreto permeável apresenta maior absorção acústica do que os pavimentos de concreto convencionais. Essa vantagem deve-se à natureza porosa do material. Neithalath, Weiss e Olek (2006) constataram que havia proporcionalidade entre a absorção acústica, porosidade e permeabilidade no concreto permeável, ou seja, à medida que a porosidade e a permeabilidade aumentavam no material, também se identificava um aumento nos resultados da absorção acústica.

Além dos benefícios anteriormente mencionados, o concreto permeável apresenta vantagens na regulação de calor e umidade e nas tecnologias dinâmicas de isolamento. (YAHIA; KABAGIRE, 2014; CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016a).

2.1.1 Parâmetros que controlam o desempenho do Concreto permeável

Segundo Kia, Wong e Cheeseman (2017) os fatores que controlam o desempenho do concreto permeável são o teor de cimento e relação água/cimento (a/c); agregados; aditivos químicos; os processos de aplicação, compactação e cura.

O teor de cimento influencia na resistência à compressão do concreto permeável – quanto maior a quantidade de cimento utilizado na mistura maior será a resistência à compressão. É importante salientar que o excesso de cimento na composição contribui para o preenchimento dos vazios, assim ocasionando a redução da porosidade. Caso seja insuficiente o uso do cimento, não haverá um adequado revestimento dos agregados, dessa forma o concreto terá baixas resistências. Segundo ACI 522 (2010) a quantidade ideal de cimento está diretamente relacionada com a distribuição do tamanho dos agregados. As relações a/c sugeridas estão entre 0,26 a 0,40 consideradas adequadas para o bom desempenho do concreto permeável. Meininger (1988) retrata que relações inferiores ao intervalo mencionado

³ Liderança em Energia e Projeto ambiental

proporcionam aglomerações do concreto no período de mistura, já relações maiores do que estabelecido produzem uma pasta que pode escorrer do agregado durante o processo de aplicação, podendo haver bloqueio dos poros.

Outro fator importante no concreto permeável é o agregado que, de acordo com a ACI 522 (2010), é utilizado em tamanho único ou classificado entre 9,5 e 19 mm. Constata-se que agregados mais alongados e de tamanhos maiores de partículas aumenta a permeabilidade devido à presença de poros maiores. Com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas do material, uma opção é a combinação de agregados em tamanhos diferentes, no entanto esse procedimento acarretará redução nas taxas de porosidade e permeabilidade. Outra maneira de melhorar tanto as propriedades mecânicas quanto a densidade e durabilidade, mantendo uma permeabilidade suficiente é a adição de até 7% em massa de agregado miúdo em relação ao agregado graúdo na produção do concreto permeável.

A utilização de agregados arredondados contribui para a formação de menores teores de vazios e maiores valores de resistência à compressão. (HENDERSON; TIGHE, 2012). Quando se fala em agregado é importante mencionar sobre o teor de umidade desses materiais, pois os agregados secos diminuem a trabalhabilidade e o processo de compactação, já os agregados com excesso de umidade proporcionam a precipitação da pasta, ainda no estado fresco, ocasionando a colmatação dos poros. Dessa forma segundo ACI 522 (2010) o teor de umidade do agregado precisa ser levado em consideração no processo de mistura.

Os aditivos influenciam o desempenho do concreto permeável e são utilizados para melhorar as propriedades do concreto permeável no estado fresco e endurecido. Aditivos plastificantes e superplastificantes são responsáveis por reduzir o conteúdo de água, aumentar o abatimento e a fluidez de um concreto. Segundo Trindade e Lopes (2018) esses aditivos proporcionam uma mistura plástica e eliminam o excesso de água responsável pela retração hidráulica e futuras fissurações na estrutura. Assim, o plastificante reduz a tensão superficial da água, proporciona menor atrito dinâmico e proporciona o efeito de dispersão de partículas finas. Aditivos retardadores de pega são encarregados por aumentar o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto. Esses aditivos possibilitam melhorias no concreto, tais como, elevados valores para resistência à compressão e à tração, maior plasticidade, aumento da durabilidade, redução de exsudação e fissuras dentre outros

benefícios. (TRINDADE; LOPES, 2018). Aditivos modificadores de viscosidade produzem misturas mais coesas e inibem a precipitação da pasta.

O concreto permeável após ser misturado apresenta pouca quantidade de água, dessa forma, quando não se utiliza aditivos retardadores de pega na mistura, deve ser posicionado próximo ao local onde será aplicado com a finalidade de evitar o ressecamento do material, visto que o tempo útil de trabalho do concreto permeável é menor quando comparado ao tempo do concreto convencional. Esse fenômeno acarreta diminuição da resistência e aumenta o desgaste da superfície. (ACI 522, 2010).

O processo de compactação é um fator muito relevante para o desempenho do concreto permeável, pois em caso de uma compactação insuficiente o material apresentará baixa resistência e aumento do desgaste superficial, já em caso de uma compactação excessiva haverá redução tanto dos vazios e quanto da capacidade de drenagem da água da superfície. (NEITHALATH; SUMANASOORIYA; DEO 2010).

2.2 Propriedades do agregado graúdo reciclado de concreto relevantes para a produção do concreto permeável

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) é importante conhecer as características dos agregados, para a definição das dosagens de concreto. As propriedades de agregado, como a massa específica, forma e textura dos grãos, resistência e absorção de água, afetam não apenas as características de dosagem do concreto, mas também o comportamento do concreto nos estados fresco e endurecido.

Na Tabela 2 consta a relação de tipos de agregado graúdo e granulometrias mais utilizadas na produção de concreto permeável e, também, as faixas de permeabilidade atingidas com a utilização desses materiais segundo alguns pesquisadores.

Tabela 2 - Tipos de agregado graúdo e granulometrias mais utilizados na produção de concreto permeável

Agregado	Granulometrias Utilizadas	Porcentagens utilizadas	Coefficiente de permeabilidade (m/s)	Autores/Ano
AN ARC	retidos na peneira de 9,5 mm	Substituição do agregado natural pelo agregado reciclado: 15%, 30%, 50% e 100%	0,015 – 0,078	Rizvi et. al. (2010)
AN	6,3 – 4,8 mm 9,5 – 6,3 mm 12,5 – 9,5 mm	30%; 40%; 50% e 100%	0,0011-0,0015	Batezini (2013)
AN	retido na peneira 4,75 mm e na peneira 9,5 mm	-	-	Chen et. al. (2013)
AN	2,36 – 19 mm	-	0,001-0,0048	Hesami, Ahmadi e Nematzadeh (2014).
AN	4,75 - 9,5 mm 4,75 - 6,3mm 6,3 mm 9,5 mm	20%; 40%; 50% e 100%	0,00123-0,00677	Mariano (2014)
AN RCD RC	Brita 1 4,75 – 19 mm	50% e 100%	-	Vidal (2014)
AN	4,5 mm 9,5 mm 12,5 mm	50% e 100%	0,0150-0,0275	Ibrahim et. al. (2014)
AN	10 – 12,5 mm	-	0,00151-0,00464	Gesoglu, Güneyisi, Khoshnaw e Ipek (2014)
AN	4,75 mm 1,19 mm	100%	0,00041-0,0064	Zhong e Wille (2015)
AN	4-8 mm 8-16 mm	30%; 40% e 60%	-	Cosic, Korat, Ducman e Netinger (2015)
AN	9,5 mm 6,3 mm	-	0,0053-0,0169	Torres, Hu e Ramos (2015)
AN	5-20 mm	Substituição do agregado graúdo de calcário pela pedra-pomes. 50% e 100%	-	Hariyadi e Tamai (2015)
AN RCD	4,8 – 6,3 mm 4,8 - 9,5 mm. 6,3 – 9,5 mm	Substituição do agregado natural pelo resíduo de construção e demolição: 10%, 20% e 40%.	0,00104-0,00125	Barbosa e Pereira (2015)
AN	9,5-12,7 mm 4,75-9,5 mm 2,36-4,75 mm	31%; 48,5%; 9,4% e 10%	0,0106	Jimma e Rangaraju (2015)
AN RCD	6,3 - 12,5 mm 6,3 - 19 mm retidos na peneira de 9,5 mm	Substituição de 5, 10 e 15% de RCD em relação ao volume do agregado graúdo.	0,0119-0,0224	Alves (2016)

AN ARC	19 mm 25 mm	50% e 100%	0-0,035	Tavares e Kazmierczak (2016)
-	4,75 – 6,7 mm 6,7 – 9,5 mm 9,5 – 13,2 mm 13,2 – 19 mm	25%; 50% e 100%	0,00076-0,035	Chandrappa e Biligiri (2016a)
AN AR	9,5 - 12,5 mm	O agregado natural foi substituído pelo agregado reciclado em 25%, 50%, 75% e 100 %	0,0059-0,013	Güneyisi et. al. (2016)
AN	Agregado graúdo de 10 e 20 mm de tamanho máximo	25%; 40%; 50%; 60% e 75%	0,0150-0,0185	Meddah, Al-Jabri, Hago e Al-Hinai (2017)
ARC	9,5 mm, 6,3 mm, 4,8 mm e 2,36 mm.	-	0,0141-0,0917	Girardi e Finocchiaro (2017)
AN	6,3 - 9,5 mm	-	0,0009-0,0072	Curvo (2017)
AR	5 - 10 mm	-	0,0031-0,0038	Zhang, Zhang, Yan e Liu (2017)
AN	4,8 – 9,5 mm.	-	0,01639-0,01927	Trindade e Lopes (2018)
AN AR	4,5-9,5 mm	Substituição do agregado granito pelo agregado reciclado: 20%, 40%, 60%, 80% e 100%	0,0142-0,0264	Yap et. al. (2018)
AN	10 mm	100%	0,00344-0,00982	Mohammed et. al. (2018)
AN	5,6 - 8,0 mm 8,0 - 11,2 mm 13,2 - 16,0 mm	-	0,0107-0,0131	Xie et. al (2018)
AN ARC	9,5 mm 19 mm	50% e 100%	0,005-0,01	Aliabdo, Elmoaty e Fawzy (2018)
AN ARC	20 mm	10%, 20%, 40%, 70% e 100%	0,00025-0,022	El-Hassan, Kianmehr e Zouaoui (2019)
AR	5-10 mm	-	0,00025-0,005	Liu et al. (2019)
AN	4,75-6,7 mm 6,7-9,5 mm	50%	0,006-0,011	Saboo e Chandrappa (2019)
AN	2,36-15 mm	-	-	Yu, Sun, Wang e Hu (2019)
AN	Diâmetro máximo de 12,5 mm	100%	0,0117-0,0208	Costa (2019)

AN: Agregado natural, AR: Agregado reciclado, ARC: Agregado reciclado de concreto, RCD: resíduo de construção e demolição

Fonte: Elaborada pela autora

Diante dos dados da Tabela 2 pode-se observar poucas pesquisas com relação a utilização do agregado reciclado de concreto na produção do concreto permeável. O agregado reciclado de concreto é um material poroso, com grande capacidade de

absorção de água, apresenta menor massa específica e massa unitária, maior porosidade e menor resistência a ataques químicos e ações mecânicas quando comparados ao agregado natural. (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018).

As propriedades dos agregados graúdos reciclados de concreto (AGRC), devem ser verificadas através dos ensaios de absorção de água, massa específica e massa unitária, assim como, a dos concretos que dão origem ao AGRC, quanto à resistência à compressão e absorção de água por capilaridade, conforme as Normas Brasileiras vigentes. (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018).

Em agregados reciclados de concreto é comum se ter a presença de argamassas antigas aderidas sobre a superfície, conforme Figura 3, as quais são responsáveis por aumentar a capacidade de absorção e diminuir o peso específico do agregado reciclado de concreto. (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018).

Figura 3 - Argamassa aderida no agregado natural



Fonte: Ulsen (2011) adaptado por Wilbert (2015)

O fator tamanho e forma são itens importantes ao se tratar de agregados, principalmente, agregado reciclado. De acordo com Silva, Brito e Dhir (2014) existe uma relação entre tamanho do agregado reciclado de concreto e densidade, dessa forma verificou-se que a fração argamassa de resíduo de concreto aderida aumenta à medida que o tamanho do agregado diminui. Justifica-se este fato pelos processos de reciclagem adotados. Ao se utilizarem várias etapas para a cominuição do agregado reciclado há uma diminuição da quantidade de pasta aderida aos agregados graúdos e quanto mais progressivamente são realizados esses processos, mais haverá acúmulo de pasta de cimento na fração fina do agregado reciclado.

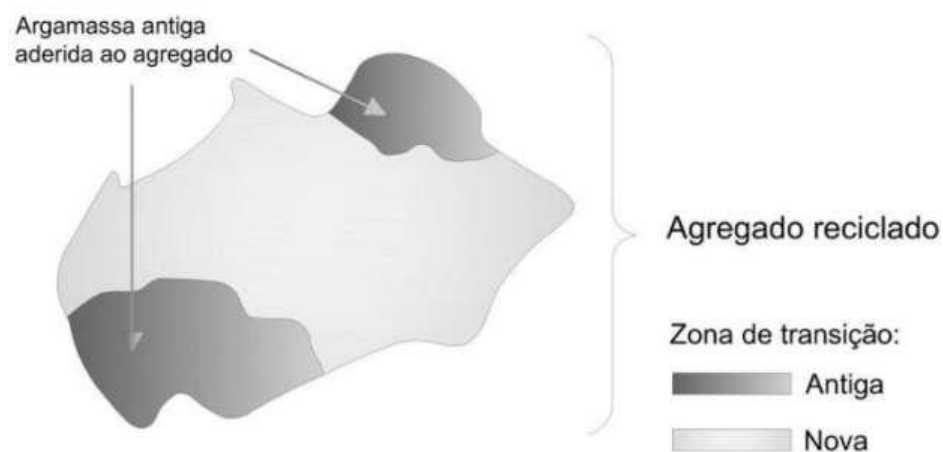
Para se obter um agregado reciclado adequado é preciso que o mesmo seja cominuído através de dispositivos de britagem. Este processo utiliza fases primárias

e secundárias. Por exemplo, os britadores de mandíbula são usados na etapa primária e são responsáveis por fornecer a melhor distribuição de tamanho de grão ao agregado reciclado. Para a realização da britagem secundária há os britadores de cone os quais possibilitam uma forma mais esférica ao agregado reciclado e, também, os britadores de impacto que proporcionam a formação de agregados com boa distribuição granulométrica. (SILVA; BRITO; DHIR, 2014).

Weidmann (2008) menciona que a textura dos agregados reciclados é geralmente mais rugosa e porosa que a dos agregados naturais. Essa textura contribui para se obter uma melhor aderência entre pasta e agregado. Outro fator que colabora para essa aderência é a presença de maior área específica de material reciclado.

No concreto com agregado reciclado há duas zonas de transição; uma localizada entre o agregado e a argamassa original aderida e outra entre a camada de argamassa original e a pasta de cimento do concreto novo, conforme ilustrado na Figura 4. A argamassa aderida ao agregado original pode representar a região mais fraca da mistura, quando sua resistência for menor que a resistência da nova zona de transição.

Figura 4 - Agregado reciclado com zonas de transição internas



Fonte: Valentini, Hentges, Kulakowski e Kazmierczak (2016)

Segundo Sun et.al. (2015) para se obter comportamento adequado do concreto é preciso avaliar tanto a porosidade da matriz e do agregado quanto a porosidade da zona de transição que se encontra em ambos. Essas propriedades merecem mais atenção quando se utilizam agregados reciclados, visto que são materiais com maior porosidade e que influenciam na porosidade da pasta e da zona de transição.

A zona de transição apresenta uma grande quantidade de portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e etringita. A formação da zona de transição entre a pasta e o agregado ocorre inicialmente através do filme de água aderido à superfície dos agregados, que possibilita uma maior relação água/cimento na região. Em virtude desta maior quantidade de água ocorre a formação de portlandita e cristais de etringita de tamanhos maiores, acarretando na formação de uma estrutura mais porosa. Por causa da maior quantidade de poros, há a formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e, em tamanho menores, uma segunda geração de etringita e portlandita, proporcionando a diminuição da porosidade da zona de transição. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Duan et. al. (2013); Hentges (2018) a utilização de adições é benéfica para a zona de transição, devido ao refinamento de poros que estas proporcionam, resultando em maior quantidade de C-S-H, maior densidade e aderência ao agregado. Dentro dessa ideia adições não-inertes, como sílica ativa e cinza volante melhoram as propriedades da zona de transição, em comparação com adições inertes, como fíler calcário.

Com relação a confecção de concretos com ARC, pode-se dizer que a utilização do agregado reciclado de concreto para a produção de concreto convencional com resistência inferior à da matriz de concreto no qual é inserido, resulta na redução da resistência do novo concreto em relação à do mesmo concreto com agregados naturais. (WERLE, 2010; TROIAN, 2010).

De acordo com Verian, Ashraf e Cao (2018) e Cavalheiro (2011), geralmente, os valores de massa específica apresentados pelos agregados reciclados de concreto são inferiores aos dos agregados naturais. A massa específica do agregado reciclado de concreto varia de 1,91 a 2,70 em comparação com 2,40 -2,89 do agregado natural. Justifica-se esse fato em virtude da variação do teor de argamassa antiga presente no agregado reciclado de concreto.

Dentre as características do agregado reciclado de concreto é possível constatar por meio de pesquisas que a absorção de água desse material é maior em comparação ao agregado natural. Verian, Ashraf e Cao (2018) relatam que os valores de absorção variam de 0,50% a 14,75% para agregado reciclado de concreto e 0,34% a 3,0% para agregado natural. A Tabela 3 apresenta um levantamento quanto à absorção de diversos agregados reciclados, elaborado por Wilbert (2015), em relação a seus respectivos agregados naturais.

Tabela 3 - Absorção de agregado reciclado de concreto e agregado natural

Tipo de ARC	Absorção ARC (%)	Absorção AN (%)	Relação ARC/AN
AGRC	5,76	2,00	2,88
AGRC	5,60	1,00	5,60
AGRC	5,60	0,80	7,00
AGRC	3,47	0,68	5,10
AGRC	4,60	2,20	2,09
AGRC	4,60	1,20	3,83

AN: agregado natural, ARC: agregado reciclado de concreto, AGRC: agregado graúdo reciclado de concreto

Fonte: Adaptado de Wilbert (2015)

Em virtude da alta absorção pelos agregados reciclados de concreto Gonçalves (2007) relata que a Norma CUR:1997, da Holanda, indica que esses materiais devem ser adicionados à mistura no estado saturado ou deve-se utilizar água de compensação na mistura, sendo que a água adicionada na mistura é correspondente à quantidade de água absorvida pelos agregados. Na China, a Norma WBTC 12:2002 cita que os agregados reciclados devem ser pré-molhados antes de serem usados. Esse procedimento tem o intuito de evitar que as diferenças de absorção de água alterem a relação água/cimento do concreto necessária para a hidratação do cimento e para conferir a trabalhabilidade necessária à execução.

Com relação a perda de massa no teste de abrasão pode-se dizer que esses valores são maiores para o agregado reciclado de concreto do que para os agregados naturais. Justifica-se esse acontecimento devido à presença tanto da argamassa antiga quanto de partículas que foram quebradas durante o processo de britagem.

2.3 Características do Concreto Permeável no Estado Fresco

O concreto permeável com agregado reciclado de concreto no estado fresco é caracterizado por apresentar abatimento nulo. De acordo com Rizvi et. al. (2010) esse comportamento é esperado devido a menor relação água/cimento, que possibilita que os vazios no concreto permaneçam abertos.

Em virtude da sua baixa consistência não se utiliza o ensaio de abatimento de tronco de cone como método de controle na confecção do concreto permeável. Um processo utilizado para visualizar a consistência da mistura, de forma empírica, é pelo

controle tátil e visual que consiste em apertar uma porção da mistura com a mão e verificar se há a formação de uma pequena aglomeração de partículas, conforme Figura 5.

Figura 5 - Teste tátil para controle de mistura



Fonte: Xie et. al. (2018)

A falta de consistência e coesão visualizada na Figura 5(a) acontecerá com concretos permeáveis que se tem uma mistura muito seca e fraca ligação entre os agregados. Na Figura 5(b), está representada uma pasta de cimento com consistência adequada em que há a formação do concreto permeável em uma esfera e nenhuma pasta de cimento adere às luvas após o processo de compactação. A Figura 5(c) representa uma pasta de cimento de alta fluidez na qual os espaços vazios são colmatados. (XIE et. al., 2018).

De acordo com a ACI 522 (2010) o tempo útil de trabalho deve ser no máximo 60 minutos após o material entrar em contato com a água. Pode-se observar que esse tempo no concreto permeável é menor quando comparado com o concreto convencional. Caso se utilizem aditivos esse tempo útil de trabalho se modificará, por exemplo, na possibilidade de se usarem aditivos retardadores esse tempo passa para 90 minutos.

2.3.1 Métodos para estudo de concreto permeável

Para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão há padronização para a moldagem das amostras de acordo com as especificações da NBR 16416 (ABNT, 2015) os quais são moldados em corpos de prova prismáticos de 10 cm x 10 cm x 40 cm. O método de adensamento para o concreto permeável moldado no local é de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010).

Ainda não existem especificações ou métodos, tanto internacional quanto nacional, para moldagem dos corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão.

Para o ensaio de permeabilidade não há dimensões estabelecidas. O que se pode observar na literatura é a utilização de corpos de prova 100Ø x 150 mm, como Yap et. al. (2018), mas há moldagens realizadas nas dimensões de 100Ø x 200 mm, como por exemplo o ensaio de Güneyisi et. al. (2016). Para o ensaio de resistência à compressão, não há especificações para compactação.

Torres, Hu e Ramos (2015) utilizaram três maneiras diferentes de realizar a compactação dos corpos de prova para os testes de compressão e de tração, com o intuito de verificar o processo que apresentasse os melhores resultados. A primeira opção foi não exercer nenhum tipo de compactação, – o concreto foi apenas colocado no molde; o outro processo de compactação foi dividir a mistura em duas camadas no molde e em cada camada com uma haste de 9,54 mm de diâmetro exercer cinco golpes, proporcionando um nível médio de compactação; o último processo de compactação utilizado pelos pesquisadores consiste no fracionamento da mistura em três camadas no molde e com um martelo *Proctor* de 2,5 kg com altura de queda de aproximadamente 30 cm, realizar dez golpes por camada. Neste ensaio foram concluídas que as amostras que obtiveram maior compactação, nas quais se usou o martelo *Proctor*, apresentaram os maiores resultados de resistência. Já se esperava este resultado, pois o aumento da compactação resultou em uma amostra de maior densidade e uma melhor ligação entre agregado/pasta. Quanto a permeabilidade os autores obtiveram coeficientes de permeabilidade entre 0,0053 à 0,0169 m/s, resultados estes considerados satisfatórios para concretos permeáveis.

Segundo Chandrappa e Biligiri (2016a), atualmente tem-se utilizado a ASTM C1747 (2013) na moldagem e compactação dos corpos de prova de concreto permeável para o ensaio de resistência à abrasão. Este ensaio tem a finalidade de avaliar a degradação do concreto permeável devido ao impacto e ao tipo abrasivo de carga. Nessa norma as dimensões são de 100Ø x 200 mm para os corpos de prova cilíndricos.

2.3.2 Massa específica

Para a determinação da massa específica do concreto moldado no local a norma NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda seguir a NBR 9833 (ABNT,2009) devendo a mistura apresentar valor igual ou maior que 1600 kg/m^3 . O ensaio deve ser realizado utilizando um recipiente com capacidade de 5 dm^3 , com as características especificadas na NBR NM 47 (ABNT, 2002). A moldagem deve ser feita em duas camadas, sendo aplicados 20 golpes por camada, utilizando-se um martelo *Proctor* de 4,5 kg com altura de queda de 45 cm.

Outro método próprio para a determinação da massa específica do concreto permeável no estado fresco é determinado pela norma ASTM C1688 (2014). Valores considerados ideais, segundo a norma, precisam estar entre $1750 - 2000 \text{ kg/m}^3$. No recipiente, deve-se separar a mistura em duas camadas de espessura aproximadamente igual. Em cada camada realiza-se o adensamento com o martelo *Proctor* de 2,5 kg com uma altura de queda de 30,5 cm (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016a; MEDDAH; AL-JABRI; HAGO; AL-HINAI, 2017; SABOO; SHIVHARE; KORI; CHANDRAPPA, 2019; COSTA, 2019).

2.3.3 Espessura ideal de pasta

De acordo com Xie et. al. (2018), variáveis como relação água/cimento (a/c), dosagem de superplastificante e proporção de volume de pasta interferem na espessura da pasta de cimento na superfície do agregado, conseqüentemente afeta o sistema de vazios e determinam as propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável.

A espessura da pasta cimentícia corresponde à espessura média da pasta que envolve cada agregado individualmente. Uma pasta de cimento mais espessa resulta em menor permeabilidade reduzindo os vazios, dessa forma contribuindo para o bom desempenho das propriedades mecânicas e de durabilidade. Ao se utilizar uma pasta de cimento mais fina resultará no escorrimento desse material para o fundo do concreto permeável com isso tanto a permeabilidade quanto as propriedades mecânicas serão prejudicadas. Dessa forma, a ideia é obter uma espessura de pasta cimentícia com propriedades reológicas adequadas para que não ocorra a colmatação dos vazios e haja a maximização da permeabilidade e das propriedades mecânicas

do concreto permeável. (XIE et al., 2018). A Figura 6 ilustra os processos mencionados anteriormente e sinaliza o método ideal para se obter a espessura ideal de pasta.

Figura 6- Representação da pasta de cimento revestida na superfície do agregado



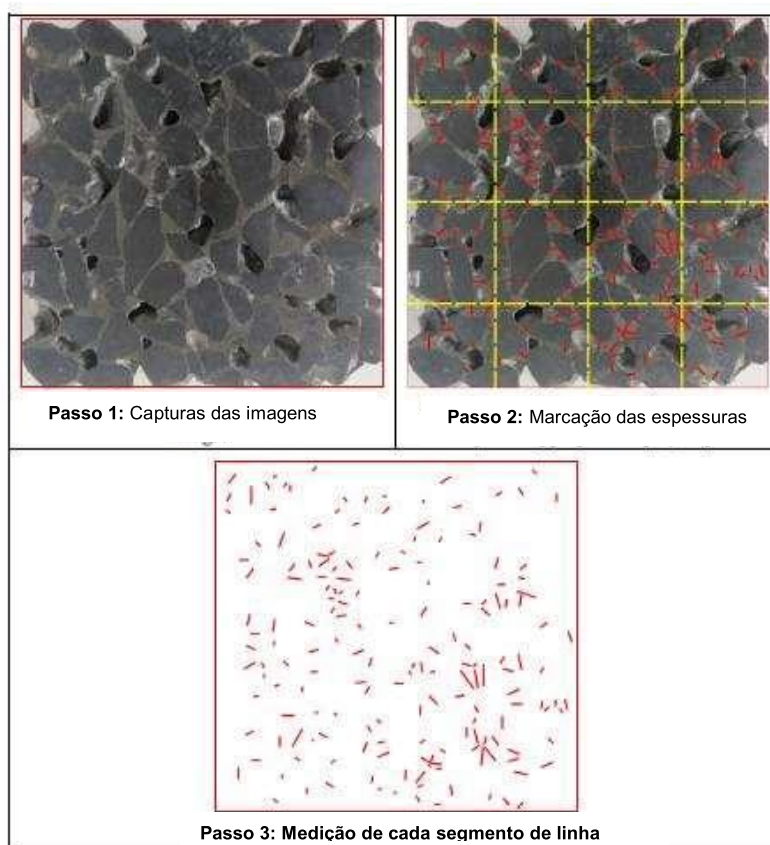
Fonte: Adaptado de Xie et al. (2018)

Visto que não há um padrão desenvolvido para determinar a espessura da pasta cimentícia de uma amostra de concreto permeável, os pesquisadores Yu, Sun, Wang e Hu (2019) realizaram, com auxílio de um *software*, um processo para a determinação da espessura real de pasta (ERP) em concretos permeáveis com AGN. Primeiramente, efetuou-se o corte das amostras em seções transversais. Em seguida, as peças foram lavadas em água corrente para a retirada dos resíduos presentes nos poros e, enquanto ainda úmidas, foram capturadas as imagens destas, uma vez que umedecidas facilitaríamos a identificação dos elementos utilizados na produção do concreto permeável.

Depois, as imagens foram inseridas no programa *Autocad* por tais pesquisadores, delimitando-se uma área para a medição das espessuras reais de pasta. Essa medição compreendeu desde a borda de um agregado até a borda do agregado adjacente, indicada por segmento de linha no *Autocad*. De acordo com Yu, Sun, Wang e Hu (2019) a espessura de pasta cimentícia é definida como a espessura média de pasta que envolve cada agregado individualmente. Nas imagens, os

segmentos de linha foram marcados no *Autocad*, em seguida deletadas e com o comando *list* do programa foi possível medir cada um dos comprimentos. Esse processo está representado na Figura 7.

Figura 7 – Método de medição da espessura real de pasta

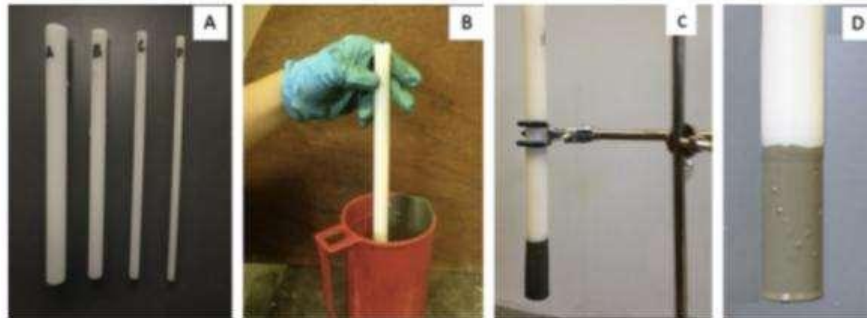


Fonte: Adaptado de Yu, Sun, Wang e Hu (2019)

Outro método de determinar a espessura ideal de pasta foi desenvolvido por Jimma e Rangaraju (2014) e Jimma e Rangaraju (2015), também, foi utilizado por Xie et. al. (2018) que consiste em medir as espessuras de pasta estáveis em superfícies verticais.

O dispositivo usado para determinar a espessura ideal contém hastes de plástico de polietileno de peso molecular ultra-alto, conforme Figura 8. A haste de plástico é considerada como superfície padrão devido a sua baixa absorção de água e a homogeneidade de sua superfície.

Figura 8 - Hastes de plástico usadas para avaliar a capacidade de formação de película das pastas de cimento



As figuras representam, respectivamente: (a) diferentes tamanhos de hastes; (b) haste de plástico imersa na pasta; (c) haste de plástico suspensa em uma braçadeira e (d) vista de perto da haste revestida de pasta.

Fonte: Adaptado de Jimma e Rangaraju (2014); Jimma e Rangaraju (2015)

Jimma e Rangaraju (2014); Jimma e Rangaraju (2015) utilizaram quatro hastes plásticas de tamanhos diferentes. Cada haste foi previamente molhada e seca com uma toalha molhada para evitar qualquer potencial absorção, e então o peso inicial foi medido. Após a mistura, despejou-se uma pasta em uma jarra e depois a haste de plástico foi imersa. A haste imersa foi girada manualmente por 25 revoluções entre 11 e 13 segundos para simular a mistura. Em seguida, a haste foi retirada lentamente dentro de 2s e mantida em posição vertical sobre um suporte até que a pasta parasse de escorrer da haste. Finalmente, a pasta solta na extremidade da haste foi aparada, sendo que o peso da haste e o comprimento revestido foram registrados previamente.

O ganho de massa pelas hastes foi representado em espessura de pasta equivalente usando a geometria da haste plástica e a densidade da pasta. A Equação 1 foi utilizada para encontrar a espessura da pasta (EP), no estado fresco, em milímetros pelos autores foi:

$$EP \text{ (mm)} = \frac{\text{Volume de pasta}}{\text{Superfície do agregado}} = \frac{\% \text{pasta}}{\rho_p \times S(d) \times 100} \quad \text{Equação 1}$$

Onde

ρ_p = densidade da pasta

$S(d)$ = área de superfície do agregado (m^2/kg)

Jimma e Rangaraju (2014); Jimma e Rangaraju (2015) utilizaram a Equação 2 proposta por Chapuis e Legare para calcular a área se superfície do agregado.

$$S(d) = \frac{6}{d \times \rho_s} \quad \text{Equação 2}$$

Onde

d = diâmetro do agregado (m)

ρ_s = densidade do agregado (kg/m^3)

Os autores mencionados anteriormente verificaram, por meio da análise de variância ANOVA, a espessura ideal da pasta com os quatro diâmetros diferentes de hastes plásticas e concluíram que não há diferença significativa nos valores das espessuras, podendo, assim, ser usada uma haste de tamanho único para medir a espessura de pastas de cimento.

A espessura ideal de pasta medida a partir do método proposto caracteriza a capacidade de uma pasta de formar uma película estável apenas sobre uma superfície lisa e não absorvente.

Xie et. al. (2018) realizaram o teste de precipitação da pasta com o intuito de caracterizar a formação da espessura de pasta de cimento na superfície do agregado. Para este ensaio utilizaram uma *mesa de consistência*⁴ a fim de medir a fluidez da pasta e com isso avaliaram a espessura de pasta cimentícia (EPC) que não resultará na obstrução dos vazios.

Nesse método, o concreto permeável é espalhado no centro de uma peneira de malha quadrada, fixada na mesa de consistência. Após a precipitação, os agregados revestidos de pasta são movidos para um prato e a massa da pasta de cimento revestida nos agregados é determinada. Todo o processo descrito anteriormente pode ser observado na Figura 9.

⁴ Flow Table: mesa de consistência

Figura 9- Teste para avaliar a espessura de pasta na superfície do agregado



Fonte: Adaptado de Xie et. al. (2018)

O próximo passo realizado foi a determinação da espessura da pasta cimentícia no agregado por meio da Equação 3.

$$EPC = \frac{V_p}{S_a} = \frac{\frac{M_p}{\rho_p}}{M_a \cdot S_a} = \frac{M_p}{M_a \cdot S_a \cdot \rho_p} \quad \text{Equação 3}$$

Onde

ρ_p = densidade da pasta de cimento;

V_p = volume da pasta de cimento;

S_a = área superficial do agregado;

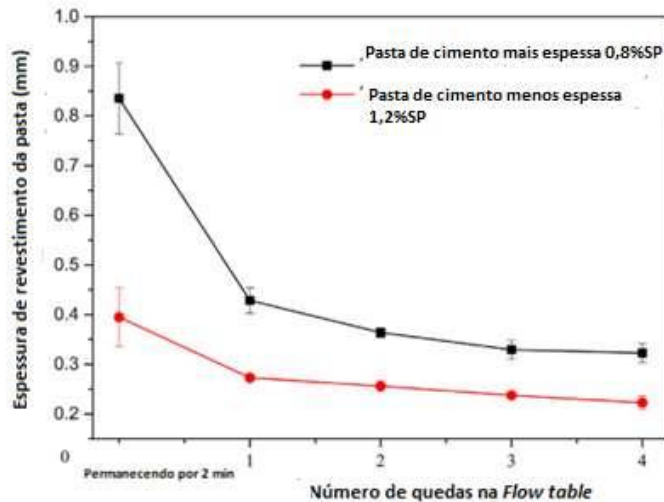
M_a = massa do agregado;

M_p = massa da pasta de cimento.

Xie et. al. (2018) observaram que a menor espessura de pasta de cimento foi a que escoou rapidamente da peneira, enquanto a pasta de cimento de maior espessura precisou de mais tempo de escoamento. Para avaliar a espessura de pastas de cimento com diferentes propriedades reológicas, o número de gotas de pasta de cimento na mesa de consistência sem escoamento de pasta de cimento é registrado, ou seja, zero quedas indica que o concreto fresco foi mantido na peneira por 2 minutos até que ocorresse a passagem de toda a pasta livre (sem impacto na mesa de consistência), e “n” quedas indicam que nenhum cimento escoou do concreto em “n” quedas da mesa de consistência.

Um exemplo do resultado do uso deste método é visualizado na Figura 10, onde foi registrada a espessura na superfície do agregado em função do número de impactos na mesa de consistência para o teste de escoamento da pasta.

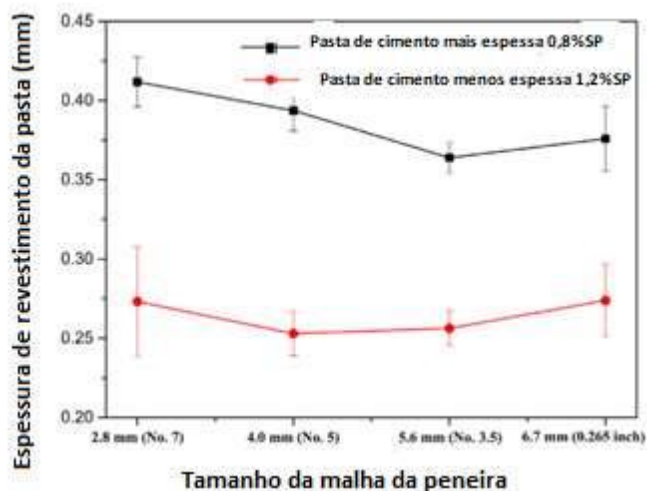
Figura 10 - Espessura de pasta de cimento na superfície do agregado em função do número de quedas da mesa de consistência.



Fonte: Adaptado de Xie et. al. (2018)

Outro aspecto que influencia a medida da espessura de pasta cimentícia pelo método de precipitação da pasta, considerando o tamanho de agregado no intervalo de 8,0 a 11,2 mm e 2 quedas na mesa de consistência, foi o tamanho da malha da peneira utilizada, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Espessura de pasta de cimento na superfície do agregado em função do tamanho da malha da peneira



Fonte: Adaptado de Xie et. al. (2018)

Na Figura 11 pode-se observar que à medida que aumentou o tamanho da peneira a espessura de pasta cimentícia diminuiu e depois aumentou rapidamente. Foi verificado que nenhuma obstrução dos vazios ocorreu em peneiras de maiores dimensões. Dessa forma, Xie et. al. (2018) recomendaram utilizar a peneira de malha 5,6 mm para a determinação da espessura de pasta cimentícia, assim a precipitação da pasta livre será favorecida e haverá redução de desvio padrão nos resultados.

Jimma e Rangaraju (2015) mencionam que a maioria das misturas de concreto permeáveis apresentam uma pasta com capacidade de formação de película dentro do intervalo de 0,2 a 0,4 mm, dependendo do volume da pasta e do tamanho do agregado.

O teste chamado Mini-Slump para estudar o comportamento do fluxo das pastas foi utilizado por Jimma e Rangaraju (2015). A fluidez do cimento tem uma relação direta com a fluidez da mistura de concreto permeável no estado fresco. Assim, quanto maior a fluidez da pasta, maior a trabalhabilidade do concreto permeável. Para realizar o teste, utiliza-se um cone com uma forma tronco-cônica, com altura de 57 mm, diâmetro inferior de 38 mm e diâmetro superior de 19 mm. O cone é preenchido com pasta de cimento. Suavemente, levanta-se esse instrumento permitindo que a pasta de cimento escorra e se espalhe, em seguida o diâmetro do espalhamento é medido em duas direções ortogonais e a média das duas leituras são registradas como o diâmetro do espalhamento. Constataram que o aumento da dosagem de superplastificante, proporciona um aumento no espalhamento do mini-slump.

2.3.4 Processo de mistura e dosagem do concreto permeável

A água é essencial na dosagem de concreto e apresenta duas funções principais: auxiliar na trabalhabilidade do concreto e proporcionar a reação química entre as partículas do cimento.

No concreto permeável a quantidade de água está diretamente relacionada com as propriedades do concreto a qual determinará o desempenho da estrutura. Se a quantidade de água a ser utilizada for muito pequena, o concreto no estado fresco apresentará menor coesão e consistência. Já se usar uma quantidade excessiva de água, resultará no escoamento da pasta da superfície do agregado e, conseqüentemente, no preenchimento dos vazios. Esse efeito acarretaria em uma resistência à abrasão superficial baixa prejudicando a qualidade do produto. (TRINDADE e LOPES, 2018).

Kia, Wong e Cheeseman (2017), após realizarem um extenso levantamento na literatura, constataram que há uma enorme variação na composição da mistura de concreto permeável, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Proporções de misturas de concreto permeável encontrados na literatura

Materiais	Intervalo
Cimento*	150-700 kg/m ³
Agregado graúdo	1100-2800 kg/m ³
Agregado fino**	0-100 kg/m ³
Relação água/cimento	0,2- 0,5
Relação agregado/cimento	2 – 12
Relação agregado graúdo/finos	0-0,07

*Cimentos Portland e cimentos compostos contendo materiais cimentícios complementares, incluindo cinza volante (5-65% em substituição ao cimento), escória de alto forno moída (20-70% em substituição ao cimento) e sílica ativa (5-12% em peso de substituição de cimento) podem ser usados em concreto permeável.

**A quantidade de agregado fino é normalmente limitada a 0-7% em massa da quantidade de agregado graúdo.

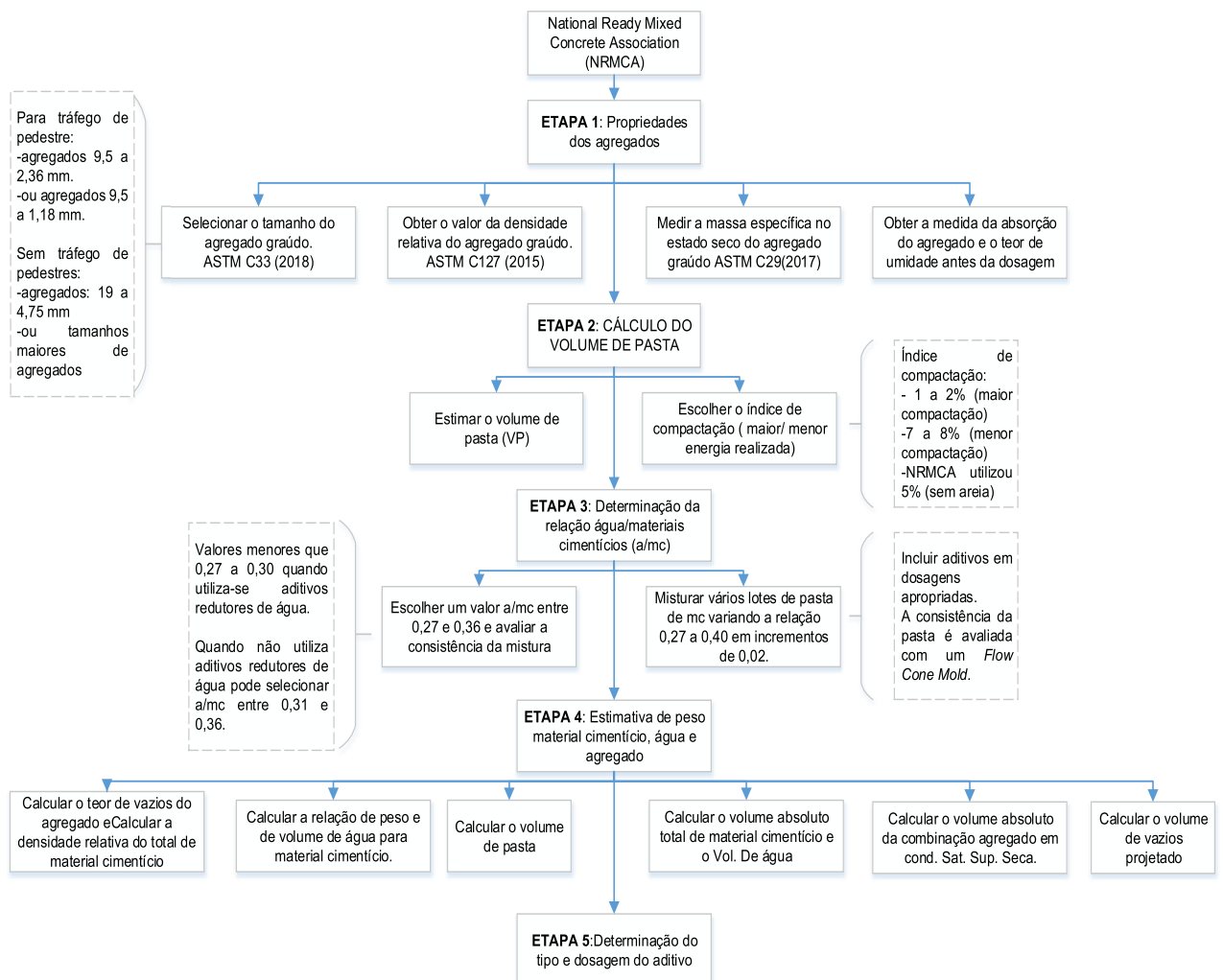
Fonte: Adaptado de Kia, Wong e Cheeseman (2017)

De acordo com as pesquisas realizadas foi possível identificar várias formas de executar o processo de mistura que podem ser encontrados por exemplo nos estudos

de Batezini (2013); Vidal (2014); Jimma e Rangaraju (2015); Yap et. al. (2018); Trindade e Lopes (2018); Costa (2019).

Quanto ao processo de dosagem para o concreto permeável, também, constatou-se várias formas propostas pelos pesquisadores, dentre elas estão a da ACI 522 (2010) e NRMCA (2009). A *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA) (2009), uma entidade Estado – Unidense, recomenda, conforme a Figura 12, os procedimentos para a determinação do método de dosagem do concreto permeável. Salienta-se que a descrição detalhada do método se encontra no guia da NRMCA (2009).

Figura 12 - Método de produção do concreto permeável segundo a NRMCA (2009)



Fonte: Adaptado de NRMCA (2009)

Outro método de dosagem para o concreto permeável é recomendado pela ACI 522 (2010), caracterizado como um processo repetitivo de tentativa e erro. A filosofia genérica para a dosagem da mistura desse material é alcançar o equilíbrio entre vazios, resistência, teor de pasta e trabalhabilidade.

Segundo Meininger (1988), a densidade seca de agregados graúdos pode ser usada para dosar o concreto permeável. Testes foram realizados e os resultados mostraram que a taxa do volume seco de agregado graúdo em uma unidade de volume de concreto (b/b_0) pode ser usada como uma relação de projeto do concreto permeável. Considere a Tabela 5 para os valores efetivos de b/b_0 .

Tabela 5: Valores efetivos de b/b_0

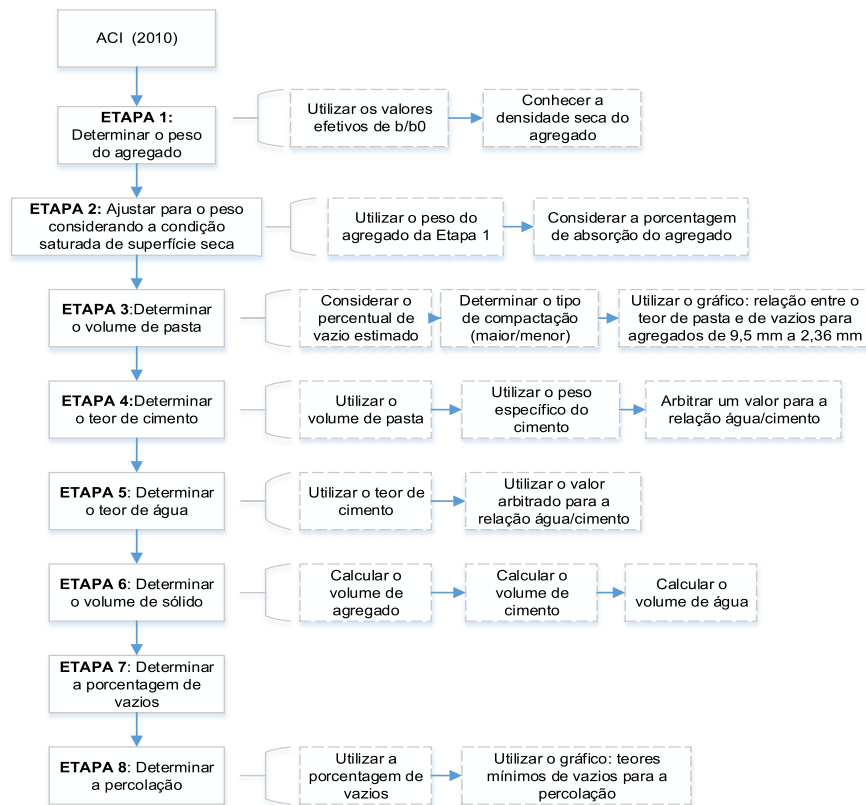
Percentual de agregado fino	b/b_0	
	ASTM C33 tamanho 9,5 a 2,36 mm	ASTM C33 tamanho 19 a 4,75 mm
0	0,99	0,99
10	0,93	0,93
20	0,85	0,86

Fonte: Adaptado de ACI 522 (2010)

O método b/b_0 é utilizado para projetar mistura de concreto permeável e pode ser dividido em oito etapas: determinação do peso do agregado; ajuste para o peso de superfície seca saturada (SSS); determinação do volume de pasta; determinação do teor de cimento; determinação do teor de água; determinação do volume sólido; verificação do teor de vazios e ensaio do lote experimental.

Abaixo consta, na Figura 13, o fluxograma com as etapas recomendadas para a produção do concreto permeável. Lembrando que a descrição detalhada do método se encontra na ACI 522 (2010).

Figura 13 - Método de produção do concreto permeável segundo a ACI.



Fonte: Adaptado de ACI 522 (2010)

Observando os dois métodos pode-se constatar que o da NRMCA (2009) no cálculo do volume de pasta considera alguns índices de compactação de acordo com o tipo de energia utilizada. Quando a NRMCA elaborou esse processo eles realizaram os ensaios considerando um percentual de 5% para o índice de compactação e não utilizaram areia na produção do concreto permeável. Já de acordo com a ACI 522 (2010) o processo para encontrar o volume de pasta é a partir de um gráfico que relaciona o teor de vazios com o teor de pasta, ambos em porcentagem por volume considerando agregados de tamanhos de 2,36 a 9,5 mm.

Outro quesito que se pode constatar ao observar os dois fluxogramas é a respeito da forma de determinação da relação água/materiais cimentícios. O método da NRMCA (2009) propõe duas maneiras, a primeira é escolher uma relação entre 0,27 e 0,36 e verificar a consistência da mistura, salientando que se deve adotar valores menores que 0,27 a 0,30 quando for utilizar aditivos redutores de água, mas quando não utilizar esses tipos de aditivos pode selecionar relação água/materiais cimentícios entre 0,31 e 0,36 a outra forma de execução é misturar vários lotes de

pasta de materiais cimentícios variando a relação 0,27 a 0,40 em incrementos de 0,02 e avaliar cada mistura utilizando a mesa de consistência.

Ambos os métodos não mencionam os valores de aditivos a serem adotados nos experimentos, nem apresentam um intervalo a ser seguido. Apenas mostram quais os tipos de aditivos que podem ser utilizados nas misturas.

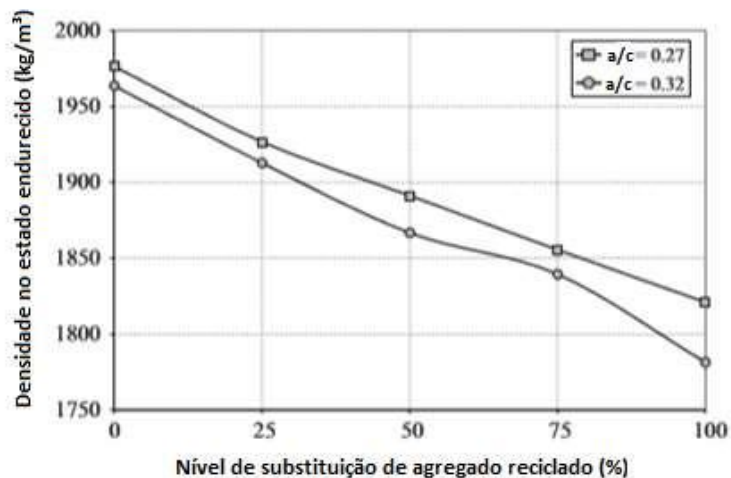
2.4 Características do Concreto Permeável no Estado Endurecido

2.4.1 Densidade e Índice de vazios

Segundo Guneyisi et. al. (2016) os valores de densidade no estado endurecido para o concreto permeável estão entre 1781 a 1976 kg/m³. Esses valores correspondem aproximadamente 70-80% da densidade do concreto convencional. Dentro dessa mesma ideia a norma ASTM C1754 (2012) estabelece um intervalo para valores de densidade entre 1650 a 1943 kg/m³.

Guneyisi et al. (2016) apresentaram em seus estudos uma redução da densidade no estado endurecido do concreto permeável com o aumento da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de concreto, conforme disposto na Figura 14.

Figura 14 - Densidade no estado endurecido em função do teor de agregado reciclado.



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Tanto o agregado natural quanto o agregado reciclado de concreto, utilizados por Guneyisi et. al. (2016), apresentaram tamanhos entre 9,5 a 12,5 mm. Tanto o formato dos grãos quanto a relação água/cimento utilizadas, por esses pesquisadores, influenciaram na densidade do concreto permeável com agregado reciclado.

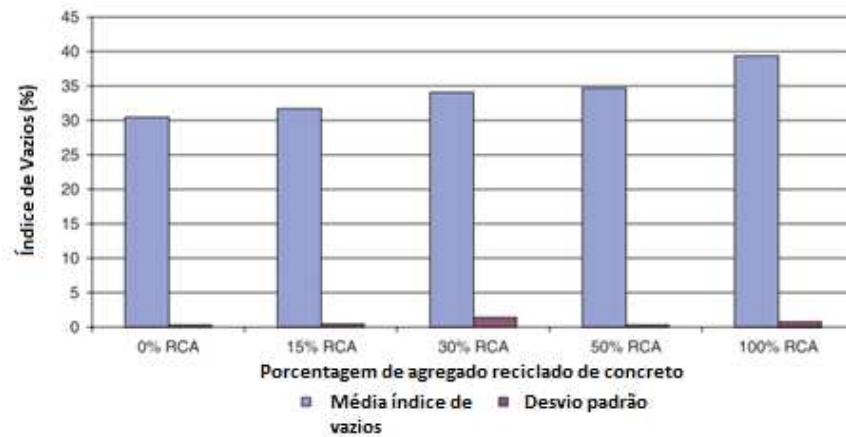
Quanto à relação água/cimento constataram que quanto maior essa relação, menor foram os valores para a densidade. Justifica-se esse fato pelo teor de cimento utilizado, ou seja, o uso de uma elevada quantidade de cimento em concretos permeáveis contribuiu para ocorrer a colmatação dos vazios entre os agregados, assim obtiveram concretos permeáveis mais densos.

De acordo com ACI 522 (2010), o índice de vazios do concreto permeável está entre 15 e 35% e depende de algumas variáveis como fração de pasta de cimento, quantidade de agregado, granulometria e formato das partículas, relação água/cimento e energia de compactação.

Dependendo da proporção da mistura do agregado utilizado e da energia de compactação a estrutura de poros, extremamente importante para a percolação de água, consiste em grandes vazios interconectados com tamanhos variando de 2 a 8 mm. O concreto permeável apresenta poros capilares e coloidais muito finos, que estão relacionados a pasta de cimento, com tamanhos que variam entre microns a nanômetros. (NEITHALATH; SUMANASOORIYA; DEO ,2010; KIA; WONG; CHEESEMAN, 2017).

Rizvi et. al. (2010) analisaram a relação entre o índice de vazios e o teor de agregado reciclado de concreto no concreto permeável. Os valores encontrados estão na Figura 15. Identificaram que o índice de vazios nas amostras aumentou à medida que a porcentagem de agregado reciclado de concreto aumentou. Justifica-se esse fato devido ao aumento na proporção de agregados angulares nas misturas e, também, é mencionado que esse aumento pode ser em virtude da porosidade do agregado reciclado.

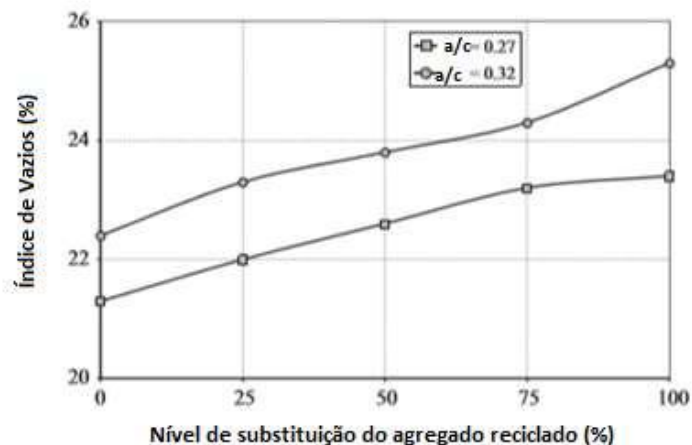
Figura 15 - Índice de vazios em função do teor de agregado reciclado de concreto



Fonte: Adaptado de Rizvi et al. (2010)

Guneyisi et. al. (2016) em um de seus resultados analisaram a relação entre índice de vazios no estado endurecido e o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Pode-se observar na Figura 16 que o aumento do teor de agregado reciclados proporcionou o aumento do índice de vazios e, também, na mesma figura é possível constatar que a relação água/cimento influenciou no índice de vazios, ou seja, para relação água/cimento de 0,27 o consumo de cimento é maior acarretando menor teor de vazios.

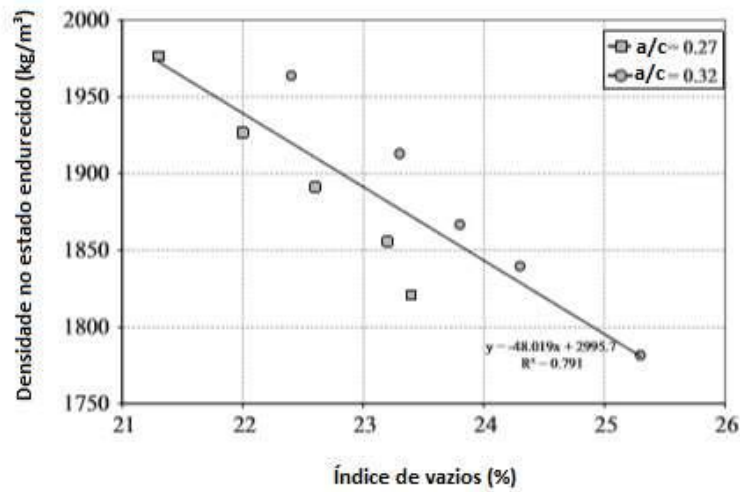
Figura 16 - Índice de vazios em função do teor de agregado reciclado



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Diante dos resultados encontrados por Guneyisi et al. (2016) foi constatado uma boa relação, com o valor de R^2 de 0,791, entre a densidade no estado endurecido e o índice de vazios do concreto permeável, como pode ser observado na Figura 17.

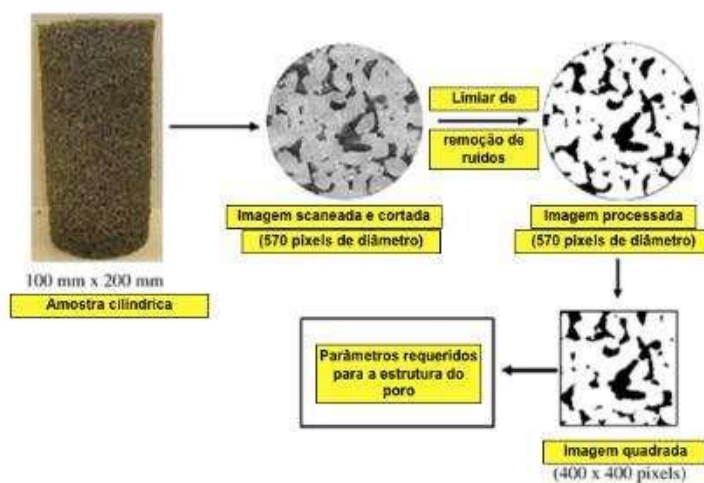
Figura 17 - Densidade no estado endurecido em função do Índice de vazios



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Há diversos métodos para a determinação do volume de vazios dentre eles Neithalath, Sumanasooriya e Deo (2010) realizaram imagens bidimensionais das misturas de concreto permeável com a finalidade de extrair as características da estrutura de poros. Nos resultados obtidos, pode-se observar que todos os concretos permeáveis produzidos tiveram porosidades similares entre 18% e 22%. O processo para a obtenção dessas imagens está representado na Figura 18.

Figura 18 - Procedimento de análise de imagem empregado nas misturas de concreto permeável.

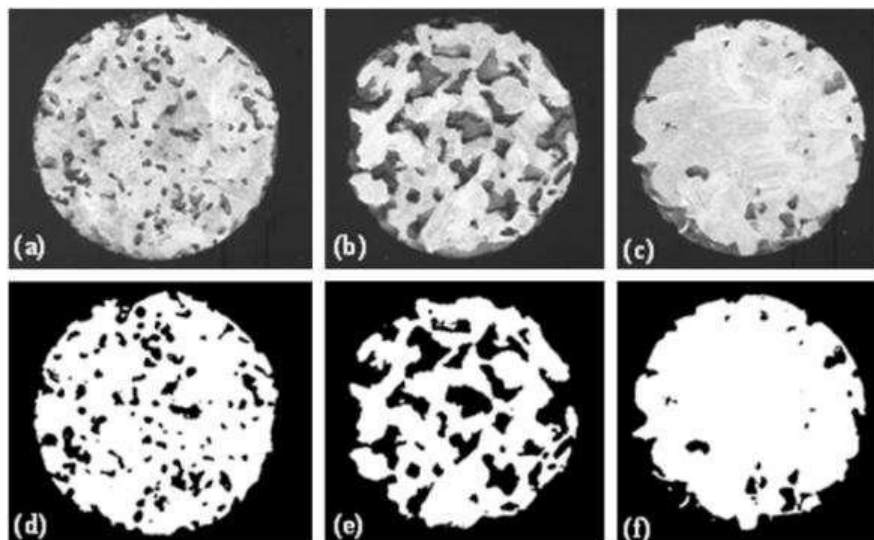


Fonte: adaptado de Neithalath, Sumanasooriya e Deo (2010)

Neithalath, Sumanasooriya e Deo (2010) também com intuito de identificar a estrutura de poros do concreto permeável realizaram análises de imagens em amostras de 100 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento as quais foram cortadas em fatias de 50 mm de espessura. As imagens sem efeito de borda foram processadas em um software (*ImageJ™*). A partir das imagens circulares foram retiradas imagens quadradas, 400 pixels x 400 pixels, e utilizadas para obter as características da estrutura dos poros.

De acordo com Chandrappa e Biligiri (2016b) estavam em desenvolvimento, na Índia, pesquisas para a especificações de projeto e normas para pavimentos de concreto permeável para aplicações em vias de baixo volume de tráfego. Para estudar o impacto do diâmetro dos poros e a área dos poros das misturas, os pesquisadores, estavam realizando análises de imagens nas amostras cilíndricas aparadas na superfície. As imagens escaneadas das superfícies das amostras representativas são ilustradas na Figura 19.

Figura 19: imagens escaneadas e binárias (limiar) de superfícies de diferentes amostras de concreto permeável



a) tamanho único de 4,75 mm; b) tamanho único de 9,5 mm; c) 4,75 + 6,7 + 9,5 + 13,2 mm igualmente composto; d) imagem limiar de tamanho único de 4,75 mm; e) imagem limiar de tamanho único de 9,5 mm; e f) imagem limiar de 4,75 + 6,7 + 9,5 + 13,2 mm igualmente compostas.

Fonte: Chandrappa e Biligiri (2016b)

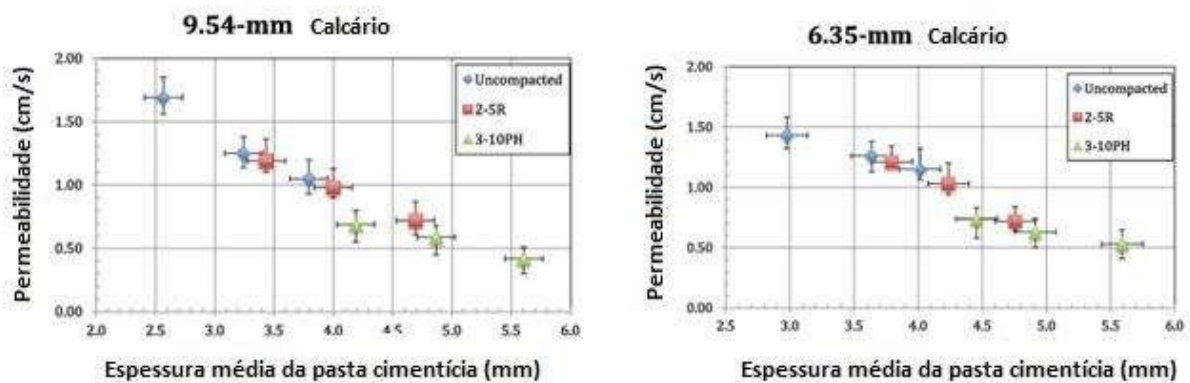
Manahiloh, Muhunthan, Kayhanian e Gebremariam (2012) mediram os perfis de porosidade de núcleos de concreto permeáveis utilizando a tomografia de raios-X

para avaliar o efeito da idade na natureza e extensão da obstrução. As menores taxas de porosidade e recuperação de amostras antigas em comparação com amostras jovens foram relacionadas à extensão da obstrução.

2.4.2 Permeabilidade

Torres, Hu e Ramos (2015) analisaram a relação entre a espessura de pasta cimentícia com a permeabilidade na produção do concreto permeável. Salienta-se que para a produção desse material utilizaram tamanhos variados de agregados, – os agregados graúdos de calcário foram de tamanhos 9,54 mm e de 6,35 mm. Neste estudo constataram que à medida que a espessura de pasta de cimento aumentava, a permeabilidade das amostras diminuía, esse fato pode ser observado na Figura 20. Justifica-se esse acontecimento devido os vazios ficarem menores à medida que a espessura da pasta de cimento fica maior. Foi possível observar que maior teor de cimento resulta em maior espessura de pasta, menor porosidade e menor permeabilidade, ressaltando que o processo inverso, também, é válido.

Figura 20: Relação entre a espessura média da pasta cimentícia e a permeabilidade⁵



Uncompacted / *2-5R* / *3-10PH* (tipos de compactação): não compactado / duas camadas compactadas com uma haste exercendo cinco golpes em cada camada / três camadas compactadas com um martelo Proctor 2,5kg exercendo 10 golpes por camada.

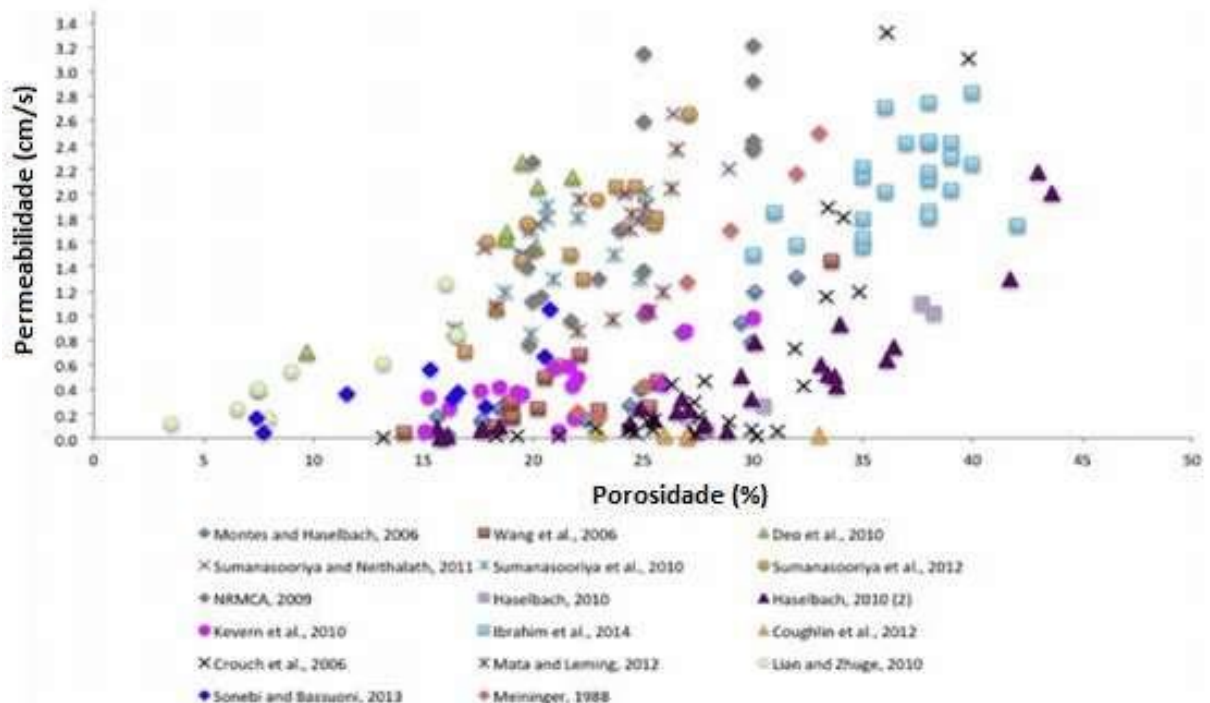
Fonte: Adaptado de Torres, Hu e Ramos (2015)

⁵ A imagem à esquerda contém amostras com agregados de 9,54 mm, enquanto que à direita traz amostras com agregados de 6,35 mm

De acordo com Kia, Wong e Cheeseman (2017) a permeabilidade é uma propriedade que descreve a facilidade com que um meio poroso permite à passagem de um líquido sob um gradiente hidráulico. Essa propriedade depende da distribuição de tamanho, forma, grau de conectividade, tortuosidade e volume total dos poros.

Kia, Wong e Cheeseman (2017) compilaram em um gráfico os dados de permeabilidade (cm/s) e os valores de porosidade que alguns autores encontraram em suas pesquisas, essas informações estão presentes na Figura 21.

Figura 21 - Permeabilidade em função da porosidade de concretos permeáveis relatados na literatura

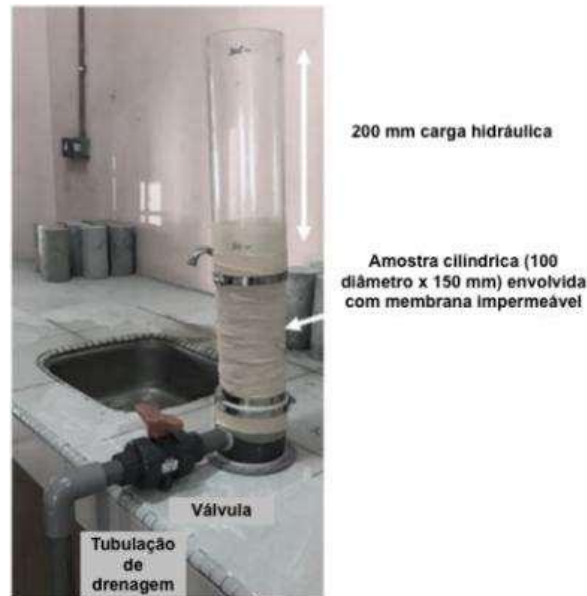


Fonte: Adaptado de Kia, Wong e Cheeseman (2017)

A partir da Figura 21, Kia, Wong e Cheeseman (2017) concluíram que a propriedade permeabilidade aumentou com o aumento da porosidade. Constataram por meio do levantamento uma dispersão nos valores e uma correlação fraca isso deve-se ao fato da permeabilidade não depender apenas do volume total de poros e também, da utilização de diferentes procedimentos de testes desenvolvidos pelos pesquisadores, por exemplo alguns usaram o método de carga hidráulica descendente e outros utilizaram o método de carga hidráulica constante.

Yap et. al. (2018) apresentaram como objetivo comparar o efeito de agregados graúdos reciclados na permeabilidade de concretos permeáveis. Para a realização desse ensaio utilizaram o método de carga hidráulica descendente simplificado, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – método de carga hidráulica descendente simplificado



Fonte: Adaptado de Yap et. al. (2018)

Neithalath, Sumanasooriya e Deo (2010) para a realização do ensaio de permeabilidade nas amostras de concreto permeável, também, utilizaram o permeâmetro de carga hidráulica descendente. Para um adequado funcionamento do teste a amostra é envolvida com uma membrana impermeável em torno de sua superfície exterior com intuito de garantir a passagem da água apenas na parte central do corpo de prova, e não pelas laterais. O tempo que a água leva para cair de uma altura h_i para h_f no tubo é registrado. Com os dados das áreas das seções transversais da amostra “A1” e do tubo “A2”, com o comprimento da amostra “L”, os autores conseguiram encontrar o valor da condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade “K”, utilizando a Equação 4:

$$k = \frac{A_1 L}{A_2 t} \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

A_1 = área da sessão da amostra (m²)

A_2 =área da sessão interna do tubo (m²)

L =comprimento da amostra (m)

t =tempo (s)

h_i =Altura inicial (0,29 m)

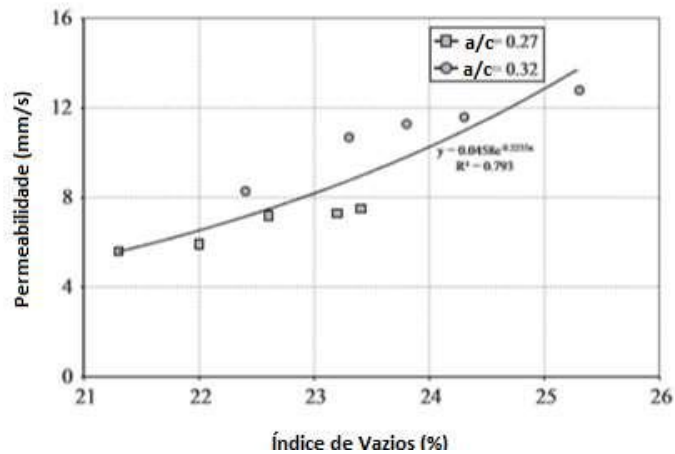
h_f =Altura final (0,07 m)

Os resultados obtidos por Yap et. al. (2018) para o coeficiente de permeabilidade, para todas as misturas, foram entre 1,42- 2,64 cm/s. Esses valores garantem que o concreto permeável com agregado reciclado de concreto pode ser aplicado como camada de drenagem para pavimentos ou blocos de concreto.

De acordo com os resultados obtidos, Yap et. al. (2018), verificaram que quando o teor de agregado reciclado de concreto aumenta, a pasta de cimento conectada entre os agregados fica menor em virtude do consumo de pasta de cimento, para formar a pasta cimento/agregado, – a pasta de ligação. Assim concluíram que quanto menor a pasta de cimento conectando os agregados, maior a presença de uma rede porosa que contribuirá para que a água possa se infiltrar através do concreto permeável.

Guneyisi et al. (2016) para o ensaio de permeabilidade no concreto permeável com agregado reciclado, utilizou o equipamento permeâmetro e constataram que a utilização de uma maior relação água/cimento resultou em um alto coeficiente de permeabilidade. A permeabilidade está relacionada com o índice de vazios onde identificaram uma boa relação entre essas propriedades, pode-se verificar na Figura 23. A menor relação água/cimento acarretou maior consumo de cimento e com isso a diminuição tanto da permeabilidade quanto o teor de vazios, em virtude do preenchimento dos vazios e o aumento da espessura de pasta de cimento.

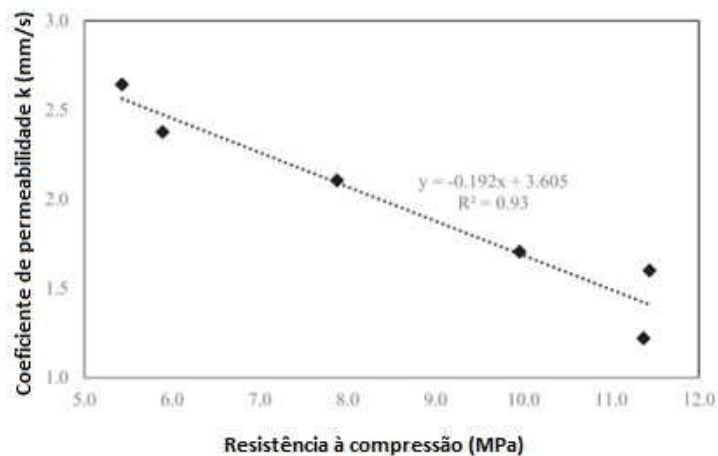
Figura 23 - Permeabilidade em função do índice de vazios



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

A propriedade de permeabilidade está diretamente relacionada com a resistência à compressão. Esse fenômeno foi evidenciado por Yap et. al. (2018), na Figura 24, em que a relação linear apresentou aumento da permeabilidade à medida que a resistência à compressão diminuiu. Esse fato foi justificado devido à insuficiente ligação presente nas misturas com agregado reciclado de concreto, assim tendo maior redes de poros e, conseqüentemente, menor resistência.

Figura 24 - Coeficiente de permeabilidade em função da resistência à compressão



Fonte: Adaptado de Yap et. al. (2018)

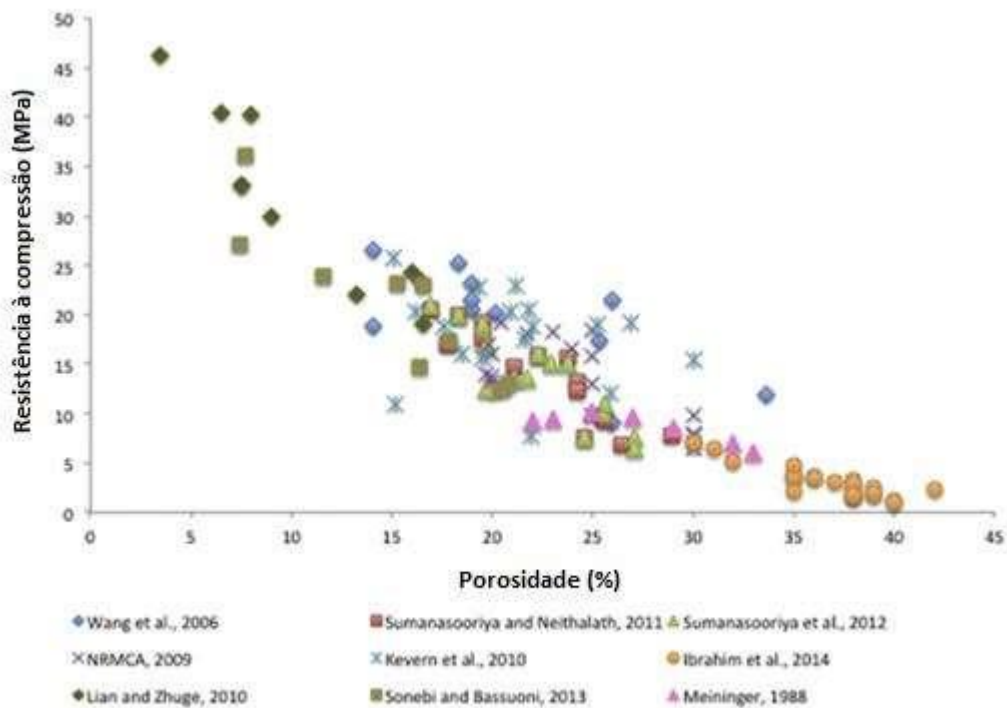
2.4.3 Propriedades Mecânicas

A resistência do concreto permeável é determinada pela porosidade total que é influenciada pelo teor de cimento, a relação água/cimento, as características dos

agregados e o processo de compactação durante a etapa de aplicação. (KIA; WONG; CHEESEMAN, 2017)

Na Figura 25, é apresentada a relação entre resistência à compressão em função da porosidade obtidas de diversas misturas de concreto permeável publicadas na literatura. Diante dos dados coletados e plotados em um gráfico Kia, Wong e Cheeseman (2017) constataram uma forte relação entre essas duas propriedades e mencionaram que, em média, a resistência diminui em cerca de 3% para cada aumento de 1% do teor de vazios.

Figura 25 - Resistência à compressão em função da porosidade de concretos permeáveis relatados na literatura.



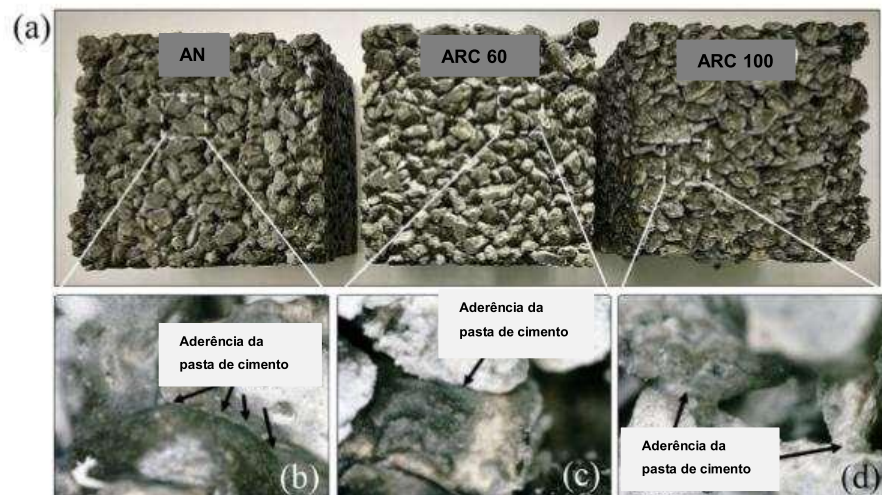
Fonte: Adaptado de Kia, Wong e Cheeseman (2017)

Dentre os autores que utilizaram o agregado reciclado de concreto estão Yap et. al. (2018) que usaram dois tipos de agregados graúdos para a confecção do concreto permeável: agregado de granito e o agregado graúdo reciclado. De acordo com Yap et. al. (2018) o maior resultado encontrado para a resistência à compressão foi de 11,4 MPa para a mistura de controle. No entanto, para as misturas com 20% de substituição por agregado reciclado apresentaram valores de resistência próximas a

da mistura de controle. Também mencionaram que a menor compressão, aproximadamente 5,5 MPa, foi encontrada nas misturas com substituição de 80% e 100% por agregado reciclado. As misturas que apresentaram substituição com alto teor de agregado reciclado, 60% a 100%, obtiveram uma redução da resistência à compressão em comparação à mistura de controle cerca de 20% a 40% respectivamente.

Justifica-se essa redução da resistência devido à pouca união agregado/cimento em misturas com agregado reciclado. Para comprovar esse fato listado anteriormente os autores utilizaram o microscópio na amostra de mistura de controle, com 60% de agregado reciclado e na amostra com 100% de agregado reciclado, conforme Figura 26.

Figura 26 - Comparação entre aparências físicas e ligação pasta de cimento/agregado⁶



AN: agregado natural, ARC 60: substituição do agregado natural por 60% de agregado reciclado de concreto, ARC 100: substituição do agregado natural por 100% de agregado reciclado de concreto.

Fonte: Yap et. al. (2018)

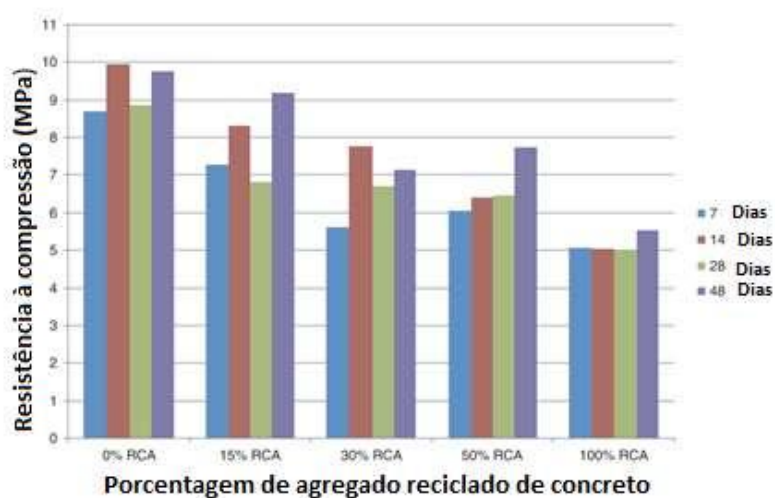
De acordo com a Figura 26, Yap et. al. (2018) retrata que a fraca união entre agregado e pasta foi devido a deficiências do concreto que deu origem ao agregado

⁶ A comparação foi feita, considerando-se as amostras AN, ARC60 e ARC100.

gráudo reciclado. Esse fato foi atribuído à argamassa aderida ao agregado reciclado. Os autores abordam que em virtude da presença de argamassa haverá uma redução da quantidade de pasta de cimento, pois esse material absorverá água da mistura. Diante desses fenômenos relatados os autores constataram que misturas com agregado reciclado obtiveram pouca aderência entre a pasta de cimento e o agregado gráudo e, conseqüentemente, houve uma redução da resistência à compressão.

Rizvi et. al. (2010) fizeram o teste de resistência à compressão em concreto permeável com agregado reciclado de concreto. A metodologia da pesquisa consistiu em substituir o agregado gráudo natural por 15%, 30%, 50% e 100% de agregado reciclado de concreto. Verificaram que à medida que aumentou o teor de agregado reciclado de concreto nas misturas diminuíram os valores de resistência à compressão, como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Resistência à compressão em função do teor de agregado reciclado de concreto



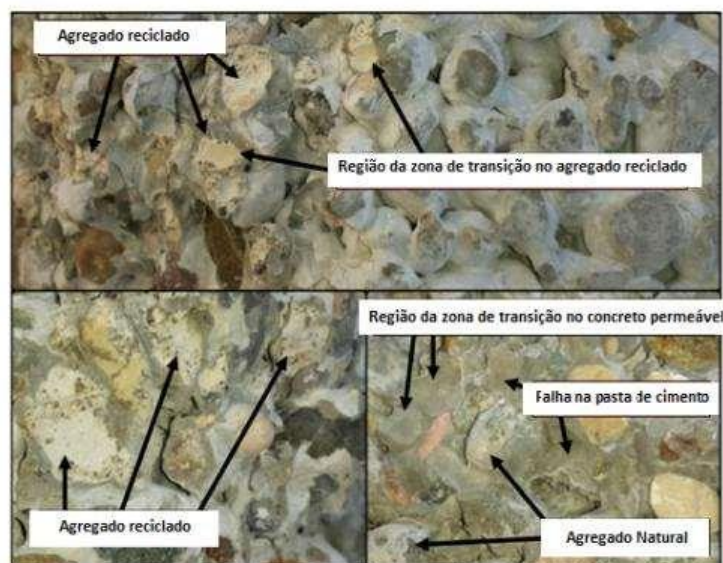
Fonte: Adaptado de Rizvi et. al. (2010)

Guneyisi et al. (2016) também realizaram ensaios de resistência à compressão em concreto permeável com agregado reciclado de concreto. Constataram que a redução da resistência à compressão aconteceu à medida que houve o aumento do teor de agregado reciclado na mistura. Justifica-se o fato da redução das resistências pela presença de duas zonas de transição uma proveniente da argamassa antiga nas partículas de agregado natural e a outra formada entre a argamassa antiga e a nova pasta de cimento.

Aumentar a qualidade da pasta de cimento e aumentar a espessura dessa camada é uma forma eficaz de melhorar a resistência à compressão do concreto permeável, segundo Guneyisi et. al. (2016). No entanto, esse processo acarretará menores índices de vazios e valores de permeabilidade. Nesse estudo retratam que maiores valores de resistência à compressão são obtidos com agregados de tamanhos menores, visto que possuem maior área de superfície de contato quando comparado com agregados de maiores dimensões.

Nos corpos de prova rompidos do ensaio de resistência à compressão Guneyisi et. al. (2016) identificaram que as falhas de ruptura aconteceram tanto no agregado reciclado quanto na zona de transição presente entre a argamassa antiga e o agregado natural, como pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 - Falhas de ruptura após ensaio de resistência à compressão

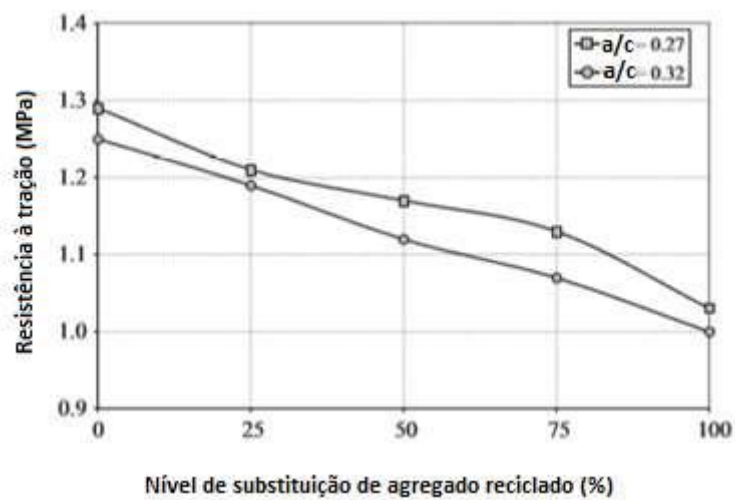


Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Outros ensaios realizados por Yap et. al. (2018) foram o de resistência à tração e à flexão. Os resultados desses ensaios apresentaram o mesmo comportamento que a resistência à compressão, – quanto maior o teor de agregado reciclado na mistura menor o valor de resistências. Verificaram que as misturas com alto teor de agregado reciclado e com agregado dúctil resultaram em concreto permeável com maior resistência, e observaram que a resistência à tração é a propriedade com menores valores no concreto permeável.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração no concreto permeável com agregado reciclado de concreto desenvolvidos por Guneyisi et. al. (2016) estão descritos na Figura 29, em que é possível identificar que a mistura com maior relação água/cimento apresentou menores valores de resistência à tração. Justifica-se esse fato pelas misturas com relação água/cimento menores apresentaram em sua matriz maior quantidade de cimento, conseqüentemente se tornando uma região mais resistente.

Figura 29 - Resistência à tração em função do teor de agregado reciclado.



Fonte: adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

A Figura 30 ilustra as imagens tiradas por Guneyisi et. al. (2016) retratando a falha de ruptura dos corpos de prova submetidos ao teste de resistência à tração. Pela imagem é possível identificar que as falhas se propagaram na zona de transição formada entre a argamassa antiga e a nova pasta de cimento.

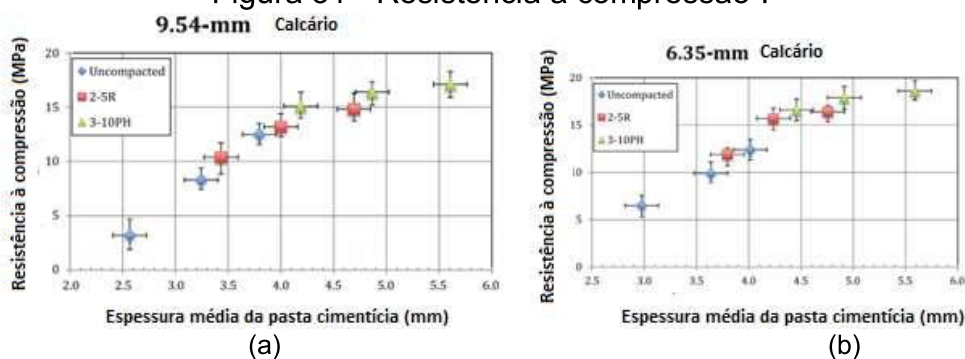
Figura 30 - Falhas de ruptura após ensaio de resistência à tração



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Torres, Hu e Ramos (2015) analisaram o efeito da espessura da pasta cimentícia no desempenho de concreto permeável e constataram que as amostras de agregados menores (6,35 mm) apresentaram uma resistência ligeiramente maior que as amostras com agregados maiores (9,54 mm), como pode ser observado na Figura 31. Mencionam que há uma tendência que agregados menores possibilitem a geração de concreto mais resistente.

Figura 31 - Resistência à compressão⁷:



Uncompacted / *2-5R* / *3-10PH* (tipos de compactação): não compactado / duas camadas compactadas com uma haste exercendo cinco golpes em cada camada / três camadas compactadas com um martelo Proctor 2,5kg exercendo 10 golpes por camada.

Fonte: Adaptado de Torres, Hu e Ramos (2015)

⁷ Foram considerados os valores (a) agregado de 9,5 mm e (b) agregado de 6,3 mm.

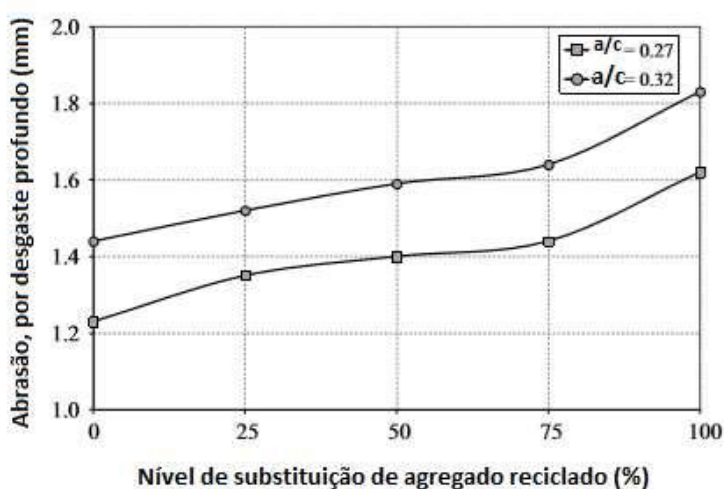
2.4.4 Durabilidade

Para avaliar os aspectos de segurança e durabilidade de concretos permeáveis Yap et. al. (2018) realizaram o teste de resistência à abrasão, segundo a norma ASTM C1747 (2013). Para esse ensaio foram confeccionados três cilindros de tamanho 150Ø x 300 mm em uma máquina de abrasão Los Angeles com o intuito medir a perda de massa de corpos de prova submetidos à ação combinada de abrasão e impacto.

Dentre os resultados encontrados Yap et. al. (2018) retrata que as misturas com agregado natural e concretos com 20% de substituição por agregado reciclado de concreto apresentaram menores valores de perda de abrasão, cerca de 40%, já as demais misturas com agregado reciclado apresentaram perdas de 50-55%. Assim quanto maior a quantidade de agregado reciclado na mistura maior a perda de abrasão.

Nos estudos de Guneyisi et al. (2016) foi identificado que a resistência à abrasão do concreto permeável foi influenciada tanto pela relação água/cimento quanto pelo teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Foi verificado, como pode ser analisado na Figura 32, que a maior relação água/cimento causou alta perda abrasiva no concreto permeável devido a presença da fraca pasta de cimento que mantém a ligação entre os agregados. Também foi observado que o aumento do teor de agregado reciclado na mistura proporcionou um aumento da abrasão nas misturas.

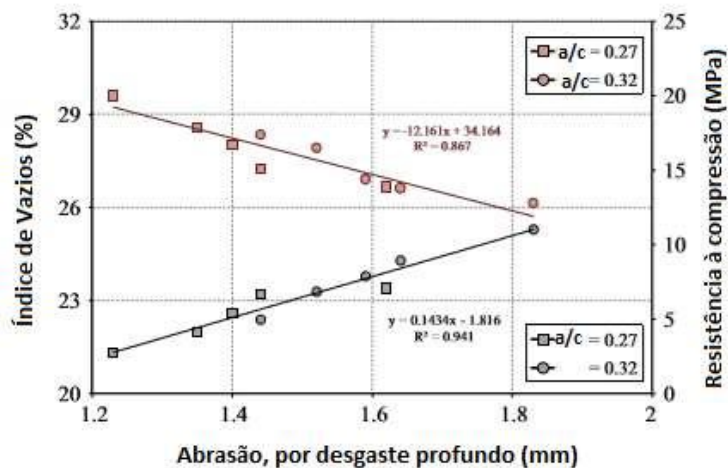
Figura 32 - Resistência à abrasão em função do teor de agregado reciclado



Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

Diante dos resultados encontrados, Guneyisi et. al. (2016) constataram uma relação entre o índice de vazios, a resistência à compressão e a resistência à abrasão, como ilustrado na Figura 33. Pode-se concluir que o aumento do índice de vazios diminuiu os valores de resistência à compressão e, conseqüentemente, diminuiu a resistência à abrasão.

Figura 33 - Relação entre Índice de vazios em função da resistência à abrasão (representado pela cor vermelha) e resistência à compressão em função resistência à abrasão

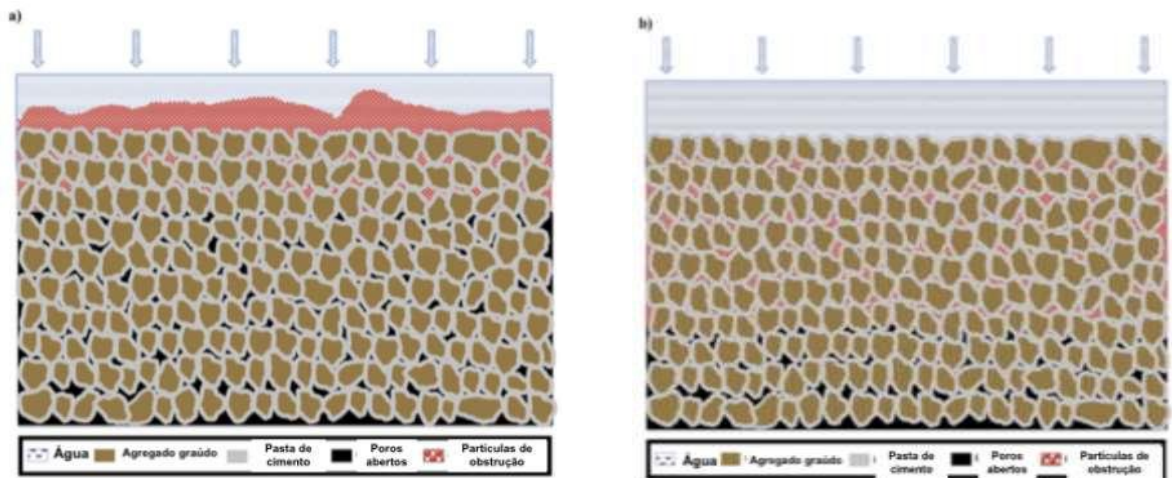


Fonte: Adaptado de Guneyisi et. al. (2016)

De acordo com Chandrappa e Biligiri (2016a) o processo de obstrução no concreto permeável, é ocasionado pela deposição de detritos, poeiras e outras partículas. Esse fenômeno reduz a capacidade de infiltração na mistura e, conseqüentemente, a eficiência para a redução do escoamento das águas pluviais é comprometida. Os 25 milímetros da camada superior do concreto permeável são os lugares mais afetados pela obstrução. As misturas elaboradas com agregados de diâmetro de 4,75 mm estavam mais propensas a apresentarem problemas de obstrução, por causa da semelhança entre os tamanhos tanto dos agregados quanto dos detritos. Essa informação exemplifica as recomendações da ACI 522 (2010) a qual menciona que o potencial de entupimento é provavelmente maior quando o tamanho das partículas do sedimento é próximo ao tamanho do poro do concreto permeável.

A Figura 34 retrata bem o funcionamento do processo descrito anteriormente. Partículas que são maiores do que os poros ficarão retidas na superfície superior, conforme pode ser observado na Figura 34 (a), formando um cobertor como camada de deposição. Partículas mais finas tendem a se prender dentro do concreto permeável longe da superfície, como visto na Figura 34 (b).

Figura 34 - Esquema mostrando como diferentes tamanhos de partículas são susceptíveis de obstruir o concreto permeável



a) partículas maiores em relação ao tamanho do poro são predominantemente encontradas na superfície superior ou migram apenas uma pequena distância dentro do concreto; e b) partículas finas migram mais profundamente no concreto permeável, onde causam a obstrução

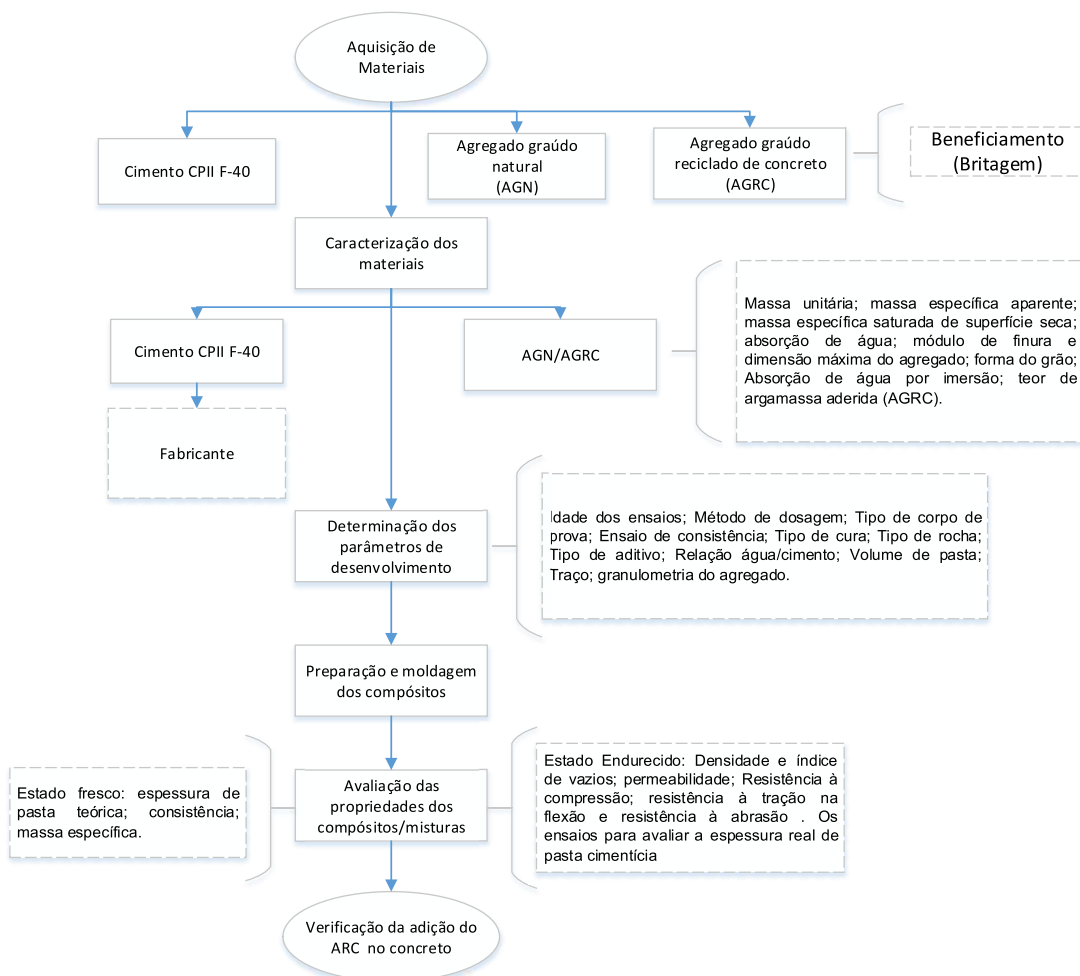
Fonte: Adaptado de Kia, Wong e Cheeseman (2017)

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve as etapas do programa experimental, que foi desenvolvido com o intuito de atingir os objetivos propostos. Isso, levou em conta a seleção dos materiais e os métodos que foram empregados, visando analisar a influência do agregado graúdo reciclado de concreto no comportamento mecânico e hidráulico na produção do concreto permeável. São destacados, primeiramente, um diagrama que retrata o detalhamento do programa experimental. Em seguida, foram apresentados, também, os fatores de controle com níveis variáveis de estudo, os fatores fixos, as variáveis de resposta, bem como os materiais utilizados e os ensaios realizados.

A Figura 35 mostra um diagrama resumido que sintetiza as etapas deste trabalho.

Figura 35 – Diagrama



Fonte: Elaborado pela autora

3.1 Fatores e variáveis

Para o alcance dos objetivos propostos neste trabalho, foram impostas as seguintes variáveis de pesquisa: fatores de controle (níveis variáveis e fixos de estudo), fatores não controlados e variáveis de resposta.

3.1.1 Fatores de Controle com níveis variáveis de estudo

Os fatores de controle considerados como variáveis desta pesquisa são: a espessura de pasta, teor de aditivo, relação água/cimento (a/c), traço, tipo de agregado.

a) Espessura de pasta de cimento

A espessura de pasta foi determinada a partir da adaptação do método de Jimma e Rangaraju (2014) e Jimma e Rangaraju (2015). Utilizou-se esse processo para verificar a capacidade de uma pasta de cimento de formar película estável sobre superfícies permeáveis e impermeáveis, a partir do qual foi determinada a espessura de pasta teórica (EPT). Tal método proporcionou realizar a dosagem dos concretos permeáveis.

b) Teor de aditivo (%)

Os valores utilizados do percentual de aditivo foram os seguintes: 0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,5%; 0,6% e 0,7%. Esses valores foram usados na elaboração das pastas cimentícias. A partir do resultado obtido foram geradas equações que determinaram o percentual adequado para produção dos concretos permeáveis.

c) Relação a/c

Na elaboração das pastas de cimento utilizaram-se em uma primeira fase quatro relações a/c , a saber: 0,25; 0,30; 0,34 e 0,40. Considerando os resultados obtidos com essas relações, optou-se por descartar a relação 0,40 na produção dos concretos permeáveis, por não apresentarem níveis satisfatórios no que se refere às propriedades mecânicas.

d) Traço

Para a produção dos concretos permeáveis com agregado graúdo natural (AGN), utilizou-se o traço 1:3 e para as amostras com agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC), usou-se o traço 1:2,5. A determinação do traço, realizou-se a partir de adaptações do método descrito por Nguyen et al. (2014) e foi verificado o mais adequado para a produção desses concretos.

e) Tipo de agregado

Na elaboração dos concretos permeáveis foram produzidas amostras com AGN e AGRC.

3.1.2 Fatores de controle com nível fixo

Os fatores de controle que permaneceram fixos neste estudo são: a idade dos ensaios, o tipo de cimento, o tipo de corpo de prova, ensaio de consistência do concreto permeável, o tipo de cura, teor de umidade dos agregados, o tipo de rocha, granulometria do agregado graúdo, porcentagem de agregado graúdo reciclado de concreto e processo de adensamento do concreto permeável.

a) Idade dos ensaios

As idades para a realização dos ensaios foram estabelecidas e fixadas em função da necessidade específica de cada ensaio. Procurou-se adotar idades de ensaio comumente utilizadas por outros pesquisadores que já estão estudando o concreto permeável, dessa forma a idade para a realização dos ensaios foi aos 28 dias.

b) Tipo de corpo de prova

Foram empregados corpos de prova cilíndricos 10 Ø x 20 cm para os ensaios de resistência à compressão, permeabilidade, densidade, índice de vazios e resistência à abrasão, corpos de prova prismáticos 10 x 10 x 40 cm para o ensaio de resistência à tração na flexão.

c) Ensaio de Consistência

Foi utilizado a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), para a determinação da trabalhabilidade pelo abatimento do tronco de cone.

d) Tipo de cura

As amostras foram armazenadas em uma sala de cura de concreto com umidade maior que 98% e uma temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ até o período da realização dos ensaios do estado endurecido.

e) Teor de umidade do agregado

Para a produção dos concretos permeáveis tanto com AGN quanto com AGRC foram lavados e foram secos em estufa à $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Optou-se por não realizar uma pré-molhagem nos agregados, visto que segundo os estudos de Padovan (2013) a realização de 100% de pré-molhagem resultou em concretos com menores propriedades mecânicas comparados com amostras com menores teores de pré-saturação.

f) Tipos de rocha

Foram empregados agregado graúdo reciclado de concreto proveniente da britagem de corpos de prova que foram fornecidos por uma empresa de serviço de concretagem e agregados naturais de origem basáltica.

g) Granulometria do agregado graúdo

Para o agregado graúdo, tanto o agregado reciclado de concreto quanto o agregado natural, foram estabelecidas granulometrias uniformes, agregados passantes na peneira 9,5 mm e retidos na peneira 6,3 mm.

h) Porcentagem de agregado graúdo reciclado de concreto

Nos traços que conter agregado reciclado de concreto, serão empregados 100% desse material na produção do concreto permeável.

i) Processo de adensamento

Para a produção dos concretos permeáveis o processo de compactação foi executado com o martelo *Proctor* de 2,5 kg. A energia de compactação utilizada foi de 1,94 J. Optou-se por fazer o adensamento em 2 camadas do material. Os corpos de

prova cilíndricos foram realizados 20 golpes por camada e, nos corpos de prova prismáticos foram realizados, em cada camada, 51 golpes.

3.1.3 Fatores não controlados

Os fatores que não poderão ser controlados na execução dos concretos são: temperatura e umidade relativa do ar durante a moldagem.

3.1.4 Variáveis de resposta

As variáveis de resposta para os ensaios realizados são:

- Espessura efetiva de pasta cimentícia;
- Volume de pasta cimentícia.
- Resistência à compressão aos 28 dias;
- Resistência à tração na flexão aos 28 dias;
- Resistência à abrasão aos 28 dias;
- Permeabilidade aos 28 dias;
- Densidade e Índice de vazios aos 28 dias.

3.2 Materiais

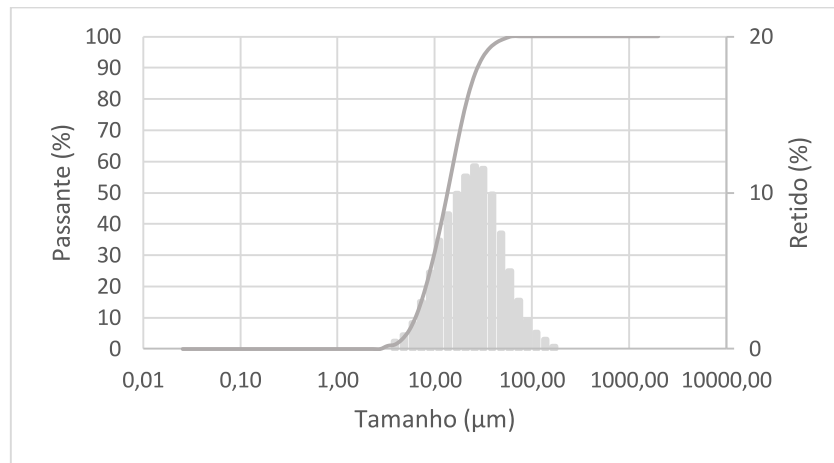
Os materiais empregados para a produção dos concretos permeáveis consistiram em: cimento, aditivo, agregado graúdo natural (AGN), agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC) e água.

3.2.1 Cimento

Nesta pesquisa foi utilizado o cimento CP II F-40 Itambé em função de fornecer uma hidratação rápida. A escolha desse cimento, também, ocorreu pelo fato de o mesmo ter sido utilizado em trabalhos do grupo de pesquisa com AGRC.

A Figura 36 apresenta a distribuição granulométrica do CP II F-40 e na Tabela 7 constam as características físicas desse material.

Figura 36 – Distribuição granulométrica do CP II F-40



Fonte: LCVmat (2019)

Tabela 6 – Características físicas do CP II F-40

Parâmetros	Resultados
Massa específica (g/cm ³)	3,16
Blaine (cm ² /g)*	4498,0
#200 (%)*	0,04
#325 (%)*	0,15
D ₁₀ (μm)**	6,33
D ₅₀ (μm)**	13,55
D ₉₀ (μm)**	27,60

*Valores fornecidos pela empresa de cimento.

** Valores fornecidos pelo LCVmat

Fonte: Elaborada pela autora

Na Tabela 8 é apresentada a caracterização química e mecânica do cimento de acordo com os dados fornecidos pela empresa de cimento.

Tabela 7 – Características químicas e mecânicas do CP II F-40

Parâmetros	Resultados
Al ₂ O ₃ (%)	4,24
SiO ₂ (%)	18,80
Fe ₂ O ₃ (%)	2,81
CaO(%)	61,56
MgO(%)	2,22
SO ₃ (%)	2,98
Perda ao fogo (%)	5,88
CaO Livre (%)	0,90

Resíduo Insolúvel (%)	0,94
Equivalente alcalino (%)	0,68
Expansão à quente (mm)	0,20
Início de pega (h:min)	03:55
Fim de pega (h:min)	04:38
Água Cons. Normal (%)	29,60
fc 1 dia (MPa)	22,00
fc 3 dias (MPa)	37,80
fc 7 dias (MPa)	43,20
fc 28 dias (MPa)	51,50

Fonte: Dados fornecidos pela empresa de cimentos (2019)

3.2.2 Aditivo

Para a realização desta pesquisa foi utilizado aditivo superplastificante à base de policarboxilato, da linha Tec-Flow 8000. As especificações técnicas constam na Tabela 9.

Tabela 8 – Especificações técnicas do aditivo superplastificante

Descrição	Unidades	Limites		Texto
		Mínimo	Máximo	
Aparência	-	-	-	Líquido Laranja
Peso Específico à 25°C	g/cm ³	1,08	1,120	-
pH à 25°C	-	4,50	6,50	-
Teor de Sólidos	%	44,35	49,01	-
Cloretos	%	-	0,050	-

Fonte: Dados fornecidos pela empresa produtora de aditivo (2019)

Utilizou-se esse aditivo para que houvesse mistura plástica e redução do conteúdo de água. O excesso de tal produto provoca retração hidráulica e futuras fissurações na estrutura.

3.2.3 Agregado graúdo natural

O AGN utilizado é proveniente da cidade de Bento Gonçalves e sua origem é rocha basáltica fragmentada e britada. A Tabela 10 apresenta a granulometria usada nas misturas de concreto permeável. Para obtenção da granulometria escolhida,

utilizou-se uma peneira elétrica de marca *Telastem* por um período de 10 minutos. Antes da produção dos concretos permeáveis, os agregados foram lavados com intuito de retirar as impurezas e o material pulverulento. Depois foram secos em estufa a 100°C. Dessa forma, foram mantidas as mesmas condições para todos os agregados.

Tabela 9 – Granulometria usada nas misturas de concreto permeável

Tipo de Agregado	Tamanho do agregado (mm)	Porcentagem utilizada (%)	Parâmetros de granulometria		
			D60 (mm)*	D10 (mm)**	Cu***
AGN	9,5-6,3	100	6,3	6,3	1

*D60: Tamanho do agregado representando que 60% das partículas são menores que esse tamanho.

**D10: Tamanho do agregado representando que 10% das partículas são menores que esse tamanho.

*** Cu: Coeficiente de uniformidade = D60/D10.

Fonte: Elaborada pela autora

A escolha da granulometria empregada tanto para o AGN quanto para o AGRC, justifica-se pelo fato de se obter maior grau de intertravamento em agregados com menores dimensões. Dessa forma, oferecendo maior resistência à compactação e maior quantidade de vazios. (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016a)

Na Figura 37 pode ser visualizada a forma dos grãos e a rugosidade superficial dos AGN utilizados.

Figura 37 – Forma dos grãos e a rugosidade superficial dos AGN



Fonte: Elaborada pela autora

No Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Unisinos foram determinados os seguintes ensaios, cujos resultados estão expressos na Tabela 11: massa unitária conforme NBR NM 45 (ABNT, 2006), massa específica e absorção de água segundo NBR NM 53 (ABNT, 2009), abrasão "Los Angeles" NBR NM 51 (ABNT, 2001) e índice de forma do grão de acordo com a norma NBR 7809 (ABNT, 2019). Este último ensaio, de acordo com as especificações da norma, é realizado em agregados graúdos com dimensão máxima característica maior que 9,5 mm pelo método do paquímetro. No entanto, adotou-se esse processo, nesta pesquisa, visto que o fator forma é um item relevante na produção de concreto permeável.

Tabela 10 – Caracterização física do AGN

Características / Unidades	Resultados
Massa unitária (g/cm ³)	1,43
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,45
Massa específica do agregado saturado com superfície seca (g/cm ³)	2,56
Massa específica (g/cm ³)	2,74
Absorção (%)	4,21
Perda de massa por abrasão (%)	17,75
Índice de forma do grão	2,27

Fonte: Elaborada pela autora

Uma característica fundamental na produção de concretos permeáveis é a massa unitária, a qual pode interferir na quantidade de poros interconectados na mistura. Tal interferência será considerada prejudicial quando se obtiver um elevado grau de empacotamento, em virtude da granulometria utilizada, aumentando a densidade da mistura. (FULLER; THOMPSON, 1907).

A massa específica do agregado natural utilizado foi semelhante a outros estudos que também empregaram agregados de origem basáltica. Costa et al. (2018) encontraram o valor de 2,8 g/cm³ e Rangelov et al. (2017) o valor de 2,73 g/cm³ para as massas específicas.

O resultado de perda de massa que consta na Tabela 11 para os AGN está entre os valores 15%-22%, os quais foram encontrados por Chandrappa e Biligiri (2016 a).

Em relação ao índice de forma do AGN utilizado, destaca-se que este é inferior ao valor de 3, considerando-se o resultado dentro das especificações da norma NBR 7809 (ABNT, 2019).

3.2.4 Agregado graúdo reciclado de concreto

Nesta pesquisa utilizou-se resíduo de concreto com resistências entre 30 a 45 MPa proveniente de uma empresa de serviço de concretagem que realiza o controle tecnológico de concreto aos 28 dias.

A escolha do intervalo de resistência retratado anteriormente para o resíduo de concreto, foi a partir de estudos de Werle (2010) e Troian (2010), pois concretos mais resistentes resultaram em agregados reciclados mais resistentes, proporcionando concretos permeáveis de melhor desempenho mecânico.

Os corpos de prova, cilíndricos 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, foram curados de forma submersa em água em temperatura ambiente. Ao completarem 28 dias, os corpos de prova passaram pelo ensaio de compressão axial, cujos resultados se encontram no APÊNDICE A. Após isso, as amostras fissuradas passaram por cominuição em britador de mandíbulas com abertura de 20 mm, conforme Figura 38.

Figura 38 – Processo de cominuição dos corpos de prova



Fonte: Hentges (2018, p.80)

O material gerado pela britagem (AGRC) foi separado em peneiras com aberturas de malhas de 9,5 mm e 6,3 mm. A Tabela 12 apresenta a granulometria do AGRC usada na produção do concreto permeável.

Tabela 11 – Granulometria do AGRC usada nas misturas de concreto permeável

Tipo de Agregado	Tamanho do agregado (mm)	Porcentagem utilizada (%)	Parâmetros de granulometria		
			D60 (mm)*	D10 (mm)**	Cu***
AGRC	9,5-6,3	100	6,3	6,3	1

*D60: Tamanho do agregado representando que 60% das partículas são menores que esse tamanho.

**D10: Tamanho do agregado representando que 10% das partículas são menores que esse tamanho.

*** Cu: Coeficiente de uniformidade = D60/D10.

Fonte: Elaborada pela autora

Na Figura 39 pode ser visualizada a forma dos grãos e a rugosidade superficial do AGRC.

Figura 39 – Forma dos grãos e a rugosidade superficial dos AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

Os mesmos ensaios realizados com o AGN foram efetuados nos AGRC. Com a finalidade de manter as mesmas condições para todos os agregados, assim como foi realizado com os AGN, os agregados graúdos reciclados de concreto foram lavados e secos em estufa antes de serem aplicados na produção do concreto permeável. Os resultados dos ensaios se encontram na Tabela 13.

Tabela 12- Caracterização física do AGRC

Características / Unidades	Resultados
Massa unitária (g/cm ³)	1,28
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,29
Massa específica do agregado saturado com superfície seca (g/cm ³)	2,46
Massa específica (g/cm ³)	2,75
Absorção (%)	7,42
Perda de massa por abrasão (%)	33,40
Índice de forma do grão	2,33

Fonte: Elaborada pela autora

Diante dos resultados encontrados, assim como mencionado por Verian, Ashraf e Cao (2018), pode-se verificar que o AGRC é um material com grande capacidade de absorção de água, apresentam menor massa unitária e maior porosidade quando comparados com o AGN.

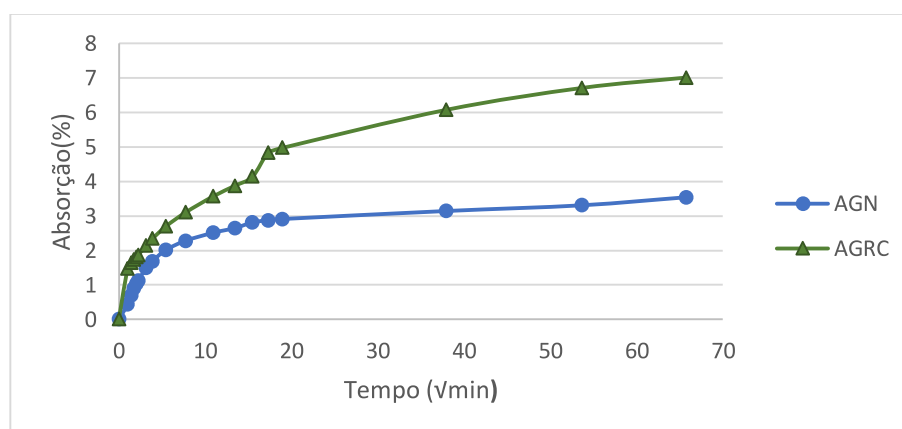
De acordo com os resultados de caracterização dos materiais, verificou-se que a perda de massa por abrasão do AGRC foi mais significativa comparada ao valor obtido com AGN. Esse resultado está de acordo com os estudos desenvolvido por El-Hassan; Kianmehr e Zouaoui (2019).

Segundo a ACI 522 (2010) agregados triturados com forma cúbica têm sido muito utilizados para a produção de concreto permeável. Com intuito de atender as recomendações do Relatório sobre Concreto Permeável, seguiu-se as informações disponibilizadas em Silva, Brito e Dhir (2014), o qual menciona que para se obter um agregado reciclado com formas mais arredondadas e uma melhor distribuição de tamanho de grão, utiliza-se o britador de mandíbula como dispositivo de britagem.

Em relação ao índice de forma do AGRC utilizado, destaca-se que este é inferior ao valor de 3, considerando-se o resultado dentro das especificações da norma NBR 7809 (ABNT, 2019).

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado conforme elaborado por Leite (2001) e adaptado por Werle (2010). O passo a passo para a realização desse ensaio está descrito no APÊNDICE B. Os resultados de absorção de água do AGN e AGRC ao longo do tempo estão registrados na Figura 40.

Figura 40 - Absorção de água ao longo do tempo do AGN e AGRC



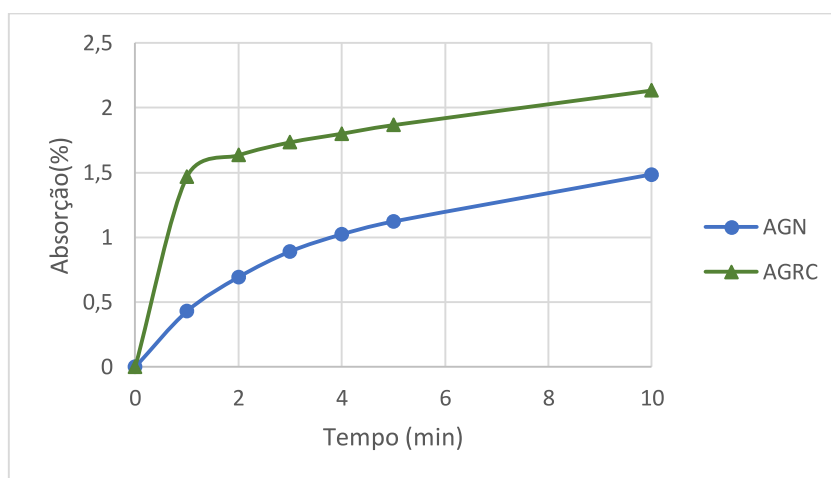
Fonte: Elaborada pela autora

É possível verificar, na Figura 40, a diferença entre a absorção do agregado natural e do agregado reciclado. A influência dessa propriedade é mais relevante quando se utiliza concretos com a incorporação de agregados reciclados do que ao se produzir com agregado natural, pois o AGRC irá absorver mais água da pasta de

cimento diminuindo a relação a/c efetiva⁸. A presença de argamassa ao entorno do agregado graúdo é responsável pela alta absorção, maior porosidade e redução da massa específica dos AGRC quando comparados com AGN. (WERLE et al., 2010).

Para facilitar a visualização da absorção de água pelos AGN e AGRC nos minutos iniciais de ensaio, a Figura 41 apresenta as curvas de evolução dessa absorção nos primeiros 10 minutos.

Figura 41 – Absorção média nos minutos iniciais do AGN e AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

Além dos valores mencionados na Tabela 13, outra característica física do AGRC será abordada na Tabela 14. Foi realizado o ensaio para a determinação do teor de argamassa aderida ao agregado graúdo pelo método realizado na pesquisa de Heineck (2012). Esse método foi executado a partir de choque térmico e ataque químico e o passo a passo para a sua realização está mencionado no APÊNDICE C. Nesta pesquisa foi utilizado ácido clorídrico 37% P.A.

O percentual de área superficial recoberta por argamassa foi determinado por meio de análise visual com auxílio do programa *ImageJ* cujo processo está descrito no APÊNDICE D.

⁸ Relação a/c efetiva considera a quantidade de água existente na pasta após parte da água inicial ter sido absorvida pelo agregado.

Tabela 13 – Métodos de verificar/quantificar a argamassa aderida no AGRC

Característica / Unidade	Método / Programa	Resultados
Teor de argamassa aderida (%)	Heineck (2012)	64,67
Área superficial recoberta por argamassa (%)	<i>ImageJ</i>	74,72

Fonte: Elaborada pela autora

3.2.5 Água

A água utilizada na confecção dos concretos e pastas foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade de São Leopoldo.

3.3 Espessura de Pasta Cimentícia

Com a finalidade de verificar a capacidade de formação de película e analisar o processo de aderência das pastas de cimento, foi executado, conforme será apresentado neste item, o conceito de espessura de pasta cimentícia, abordado por alguns autores, como parte no processo de dosagem do concreto permeável.

3.3. 1 Determinação da superfície padrão

A espessura ideal de pasta foi determinada segundo Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015). Esse método foi desenvolvido nesta pesquisa, no entanto apresentou algumas adaptações e estão descritos no item 3.3.6. O dispositivo utilizado pelos pesquisadores para a determinação desse tipo de espessura foi uma haste de plástico de polietileno maciça e cilíndrica, considerada como uma superfície padrão, lisa e não absorvente. Neste experimento foi utilizado um outro tipo de material para caracterizar a superfície padrão como por exemplo o vidro, visto que a haste de vidro apresenta características similares a haste mencionada pelos autores.

Utilizando a mesma linha de pensamento de Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015) foi sugerido nesta pesquisa a aplicação da espessura ideal de pasta considerando uma superfície também padrão, no entanto, com características porosas. Dessa forma o material escolhido para caracterizar essa superfície foi a argamassa.

A utilização da haste de vidro e da haste de argamassa, nesta pesquisa, teve o propósito de representar, de forma mais aproximada, tanto a superfície quanto a forma de um agregado grão natural e um agregado grão reciclado de concreto, respectivamente. Salientando que a escolha da argamassa como uma superfície porosa se deu ao fato desse componente estar presente nas superfícies dos resíduos reciclados.

3.3.2 Características das superfícies padrão

Para o desenvolvimento deste programa experimental foram utilizadas 6 hastes de vidro com diâmetro médio de 9,88 mm e comprimento 15 cm, provenientes do Laboratório de Química da Unisinos. Foram produzidas 150 hastes de argamassa com diâmetro médio de 8,51 mm e comprimento 10 cm, argamassa disponibilizada por uma empresa de serviço de concretagem. O método desenvolvido para a produção das hastes de argamassa está descrito no item 3.3.3.

Para a determinação da espessura de pasta, foi usado o comprimento de 5 cm tanto na haste de vidro quanto na haste de argamassa. Esses materiais juntamente com as marcações estão retratados na Figura 42.

Figura 42 – (a) hastes de vidro e (b) hastes de argamassa



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pela autora

Optou-se neste trabalho, utilizar um diâmetro próximo da granulometria dos agregados constituintes na produção do concreto permeável.

Com o equipamento chamado Tridimensional óptica, do Laboratório da Mecânica da Unisinos, foi possível observar as superfícies dos materiais utilizados na fabricação das hastes. Na Figura 43 (a) é possível identificar uma superfície mais homogênea e lisa, sendo representada pela haste de vidro e na Figura 43 (b) uma superfície mais heterogênea e irregular, caracterizando a haste de argamassa.

Figura 43 – textura superficial: (a)hastes de vidro e (b) hastes de argamassa



Fonte: Elaborada pela autora

3.3.3 Produção da haste de argamassa

A escolha da produção da haste de argamassa se deu com o objetivo de representar, de forma aproximada, a superfície e a forma do AGRC. Em virtude disso, as hastes foram confeccionadas com as argamassas que originaram os corpos de prova (resíduos de concreto) os quais foram cominuídos no britador de mandíbula e produziram o AGRC utilizado nessa pesquisa.

A argamassa utilizada no trabalho foi resultante do peneiramento do concreto no estado fresco. As características do concreto o qual foi peneirado para se obter a argamassa foram fornecidas pela empresa e estão descritas na Tabela 15. Para realizar o peneiramento foi necessário o uso da peneira de malha de 4,8 mm e de um recipiente para a coleta do material passante. Esse processo foi realizado na mesma empresa de serviço de concretagem que forneceu os resíduos de concreto para serem britados.

Tabela 14 – Características do concreto que resultou a argamassa

Características / Unidades	Informações
Areia de britagem (%)	15
Areia Natural (%)	75

Tipo de cimento	CP II F-40
Consumo de cimento (kg/m ³)	320
Relação a/c	0,51
Aditivo plastificante (lignosulfonato) (%)	0,5
Aditivo superplastificante (policarboxilato) (%)	0,35

Fonte: Dados fornecidos pela empresa de serviço de concretagem

Quando a argamassa, material passante na peneira de malha 4,8 mm, atingiu a metade do recipiente destinado a sua coleta, ou seja, quando ocupou um volume de 11,25 litros, Figura 44 (b), adicionava-se 0,3% de aditivo estabilizador para que pudesse ser realizado o transporte dessa argamassa para o Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Unisinos e fazer a moldagem das hastes.

Figura 44 - Processo de peneiramento do concreto no estado fresco: (a) Material retido na peneira de malha de 4,8 mm e (b) Argamassa utilizada para a confecção das hastes



(a)

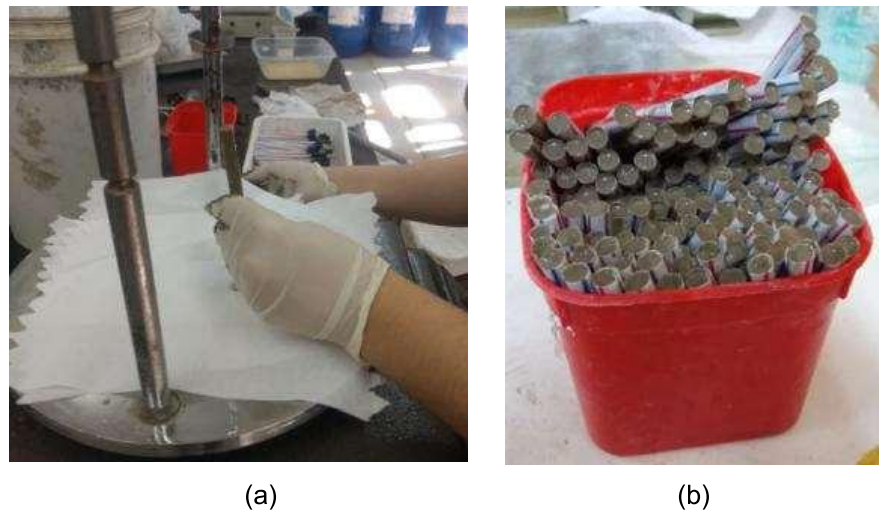
(b)

Fonte: Elaborada pela autora

Após finalizar o peneiramento na empresa de serviço de concretagem, as argamassas foram levadas para o LMC da Unisinos para prosseguir com as moldagens. As hastes foram moldadas em canudos plásticos com diâmetro de $10 \pm 0,5$ mm. O processo de adensamento das 150 hastes de argamassa foi realizado com o agitador de peneiras, marca Tamises, na potência de regulagem 1, aproximadamente por 10 segundos, como pode ser visualizado na Figura 45 (a). As

hastes de argamassa foram armazenadas na sala climatizada com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5 \%$, até a realização dos ensaios, conforme apresentado na Figura 45 (b). A desforma das hastes foi realizada 21 dias após a moldagem.

Figura 45 - Moldagem das hastes de argamassa⁹



Fonte: Elaborada pela autora

Posterior ao processo de desforma foi efetuado um lixamento superficial com intuito deixar o material com rugosidades similares a dos AGRC.

Dessa forma cada comprimento de 5 cm sinalizados nas hastes de argamassa, Figura 46, passou por um processo de lixamento.

Figura 46 – Hastes de argamassas após o processo de lixamento



Fonte: Elaborada pela autora

⁹ (a) Processo de adensamento e (b) moldagem de 150 hastes de argamassa

3.3.4 Rugosidade da haste de argamassa

Considerando que a superfície da haste de argamassa apresenta maiores rugosidades, assim como AGRC, optou-se por meio da utilização da máquina Tridimensional Óptica do Laboratório da Mecânica medir essas imperfeições. A finalidade desse ensaio foi analisar a quantidade de pasta de cimento que preencheu os poros da haste de argamassa, após o processo de imersão. O valor encontrado nesse ensaio seria subtraído do EPT calculado (item 3.3.6). Com isso obterá uma espessura de pasta teórica com menor valor.

Para a determinação da rugosidade foi utilizado 3 hastes de argamassa, como apresentado na Figura 47.

Figura 47 – Hastes utilizadas no ensaio para a determinação da rugosidade nas argamassas.



Fonte: Elaborada pela autora

Inicialmente cada amostra foi colocada em um molde de madeira confeccionado. Em seu interior continha areia, como retratado na Figura 48, a qual possibilitou que a haste ficasse melhor posicionada e não sofresse nenhum tipo de movimentação no decorrer do ensaio.

Figura 48 – Molde para posicionamento das hastes de argamassa.



Fonte: Elaborada pela autora

Dando sequência no ensaio cada amostra, uma de cada vez, foi colocada na máquina Tridimensional Óptica, conforme Figura 49, aonde foi estabelecido alguns comandos, como por exemplo, a quantidade de pontos que o equipamento iria captar no comprimento estipulado. Salienta-se que a distância percorrida para a captura dos pontos era referente a profundidade de imersão das hastes (5 cm). Devido alguns experimentos realizados anteriormente, como encontrados na pesquisa de Tonietto et al. (2019), foi possível determinar que a captura de 1000 pontos era suficiente para a determinação da rugosidade das amostras.

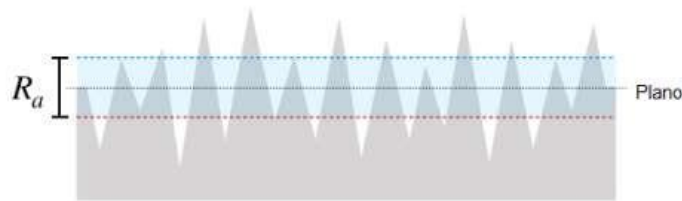
Figura 49 – Posicionamento das hastes de argamassa na máquina Tridimensional Óptica



Fonte: Elaborada pela autora

Nesta pesquisa será considerado apenas o parâmetro referente a rugosidade média (R_a) cuja a representação de como é calculado se encontra na Figura 50.

Figura 50 – Rugosidade média (Ra)



Fonte: Adaptado de Tonietto et al. (2019)

Na Tabela 16 estão listados os resultados da rugosidade média, anteriormente mencionada, referentes ao material utilizado nesta pesquisa.

Tabela 15 – Parâmetros calculados de três amostras

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Ra (mm)	0,0153	0,0088	0,0107

Fonte: Elaborada pela autora

Diante dos resultados apresentados na Tabela 16, pode-se constatar que a rugosidade média (Ra) de cada amostra não se apresentou significativa, em virtude disso, esses valores foram desconsiderados, ou seja, adotou-se apenas o valor calculado da espessura de pasta teórica (EPT), o qual será explicado no item 3.3.6.

3.3.5 Caracterização da argamassa utilizada para confecção das hastes

Com a argamassa proveniente do peneiramento do concreto no estado fresco realizado na empresa de serviço de concretagem, também, foram moldados 12 corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16 cm, de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Utilizou-se o desmoldante à base de água apenas para os moldes que foram ensaiados para a verificação da absorção de água. Os moldes ficaram armazenados na sala climatizada com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$ até os 28 dias para a realização dos ensaios no estado endurecido. A desforma dos corpos de prova foi realizada com 48 horas após a moldagem.

Aos 28 dias, após a moldagem, dois corpos de prova prismáticos de argamassa foram ensaiados de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005) para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica; três moldes para a

determinação da resistência à tração na flexão e seis corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 16 – Ensaio realizados nos corpos de prova de argamassa

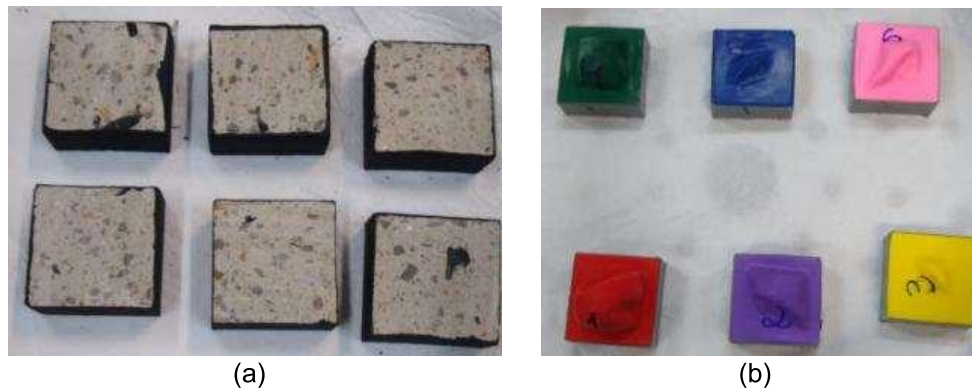
Normas	Ensaio	Resultados
NBR 9778 (ABNT,2005)	absorção de água (%)	10,32
	Índice de vazios (%)	20,73
	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	2,01
	Massa específica da amostra saturada (g/cm ³)	2,22
	Massa específica real (g/cm ³)	2,54
NBR 13279 (ABNT, 2005)	Resistência à compressão média (MPa)	8,14
NBR 13279 (ABNT, 2005)	Resistência à tração média (MPa)	43,06

Fonte: Elaborada pela autora

Outro ensaio também realizado foi o de absorção de água por capilaridade executado segundo RILEM TC 116 PCD modificado por Werle (2010). Para a realização do ensaio foi necessário cortar um corpo de prova prismático 4 cm x 4 cm x 16 cm em 8 fatias, obtendo-se fatias com 4 cm x 4 cm x 2 cm, no entanto a primeira e a última fatia foram descartadas e apenas 6 fatias foram ensaiadas.

Primeiramente as amostras foram mantidas em estufa a 60°C até a estabilização de massa. Atingido a constância de massa, os corpos de prova permaneceram em dessecador com sílica gel até alcançarem a temperatura ambiente, em sala com temperatura controlada de 23 ± 2°C e umidade relativa de 60 ± 5 %. Retiradas do dessecador, as laterais das amostras foram impermeabilizadas tanto com a aplicação de uma tinta de alto desempenho muito usada em meio automotivo, Figura 51 (a), quanto com fita adesiva extra-forte, Figura 51 (b). Foram inseridos um revestimento de látex não aderido à superfície das amostras, Figura 51 (b), com o intuito de permitir a saída de ar na parte superior da amostra causada pela absorção de água na parte inferior.

Figura 51 – Ensaio de absorção de água por capilaridade¹⁰.



Fonte: Elaborada pela autora

O ensaio consiste em posicionar as amostras em estrados dentro de bandejas plásticas de maneira que a superfície inferior dos corpos de prova permaneça em contato com uma lâmina de água de altura de 3 mm. A bandeja utilizada no ensaio apresentava aberturas nas laterais para que o nível de água não fosse elevado e a lâmina de água estabelecida fosse mantida.

A taxa de absorção (S), a porosidade efetiva (P efetiva) e a absorção capilar final determinadas pelo ensaio de absorção de água por capilaridade são apresentados na Tabela 18.

Tabela 17 – Taxa de absorção capilar, porosidade efetiva e absorção final capilar para os concretos produzidos

$S(g/cm^2 \cdot h^{1/2})$	P efetiva (%)	Absorção (g/cm^2)
0,162	13,061	0,383

Fonte: Elaborada pela autora

3.3.6 Cálculo para a determinação da Espessura de Pasta Teórica (EPT)

Os valores obtidos de espessura ideal de pasta, assim identificados por Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015), nesta pesquisa, foram retratados como espessura de pasta teórica (EPT). Importante mencionar que o método não

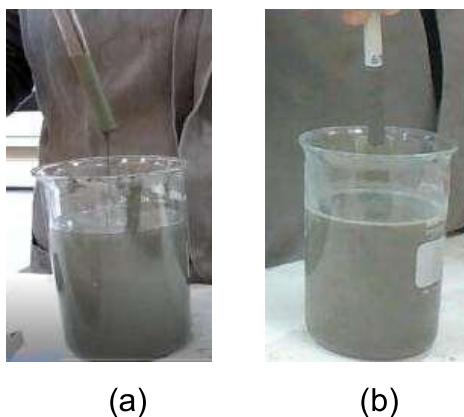
¹⁰ (a) Aplicação da tinta de alto desempenho nas laterais das amostras e (b) Aplicação da fita adesiva nas laterais e revestimentos de látex na superfície superior das amostras

apresenta nenhum processo de adensamento e, para a sua realização nesta pesquisa, foi utilizado as relações a/c descritas no item 3.4.1.

Em seguida foi determinada a consistência da pasta. Este ensaio apresentou algumas alterações se comparadas com o método realizado por Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015). A adaptação foi mencionada por Gentil, Kazmierczak e Sentena (2019) os quais salientam que o resultado do ensaio é obtido a partir da diferença da leitura de massa das hastes, antes e depois da imersão na pasta de cimento. O ganho de massa pelas hastes é traduzido em EPT, utilizando a geometria da haste e a densidade da pasta.

A metodologia adotada para a determinação da EPT apresentou a seguinte sequência: Imediatamente após o ensaio de mini-cone de Kantro, despejou-se 400 cm³ de pasta em um béquer, registrou-se a massa seca das hastes e, logo após procedeu-se a imersão de apenas 5 cm da haste. A imersão das hastes nas pastas cimentícias se iniciou primeiramente com a haste de vidro, posterior com a haste de argamassa. Por exemplo, considerando a relação a/c 0,25 com o teor de 0,2% de aditivo a imersão ocorreu com 6 hastes de vidro e, na sequência, foram submergidas 6 hastes de argamassa. Esse processo foi executado para as demais misturas. A haste imersa foi girada manualmente, 1 revolução por segundo, totalizando 11 revoluções. Em seguida a haste foi retirada lentamente, dentro do intervalo de 2 segundos e mantida na posição vertical por 1 minuto até que a pasta parasse de escorrer, como pode ser observado na Figura 52. A pasta solta na extremidade da haste foi removida e o peso da haste foi registrado.

Figura 52 – Imersão das hastes na pasta de cimento¹¹



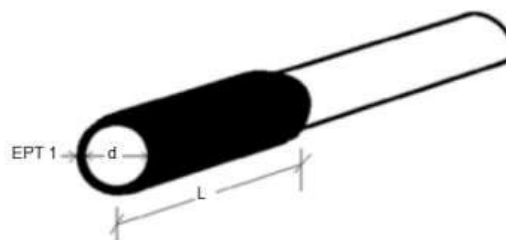
Fonte: Elaborada pela autora

¹¹ (a) haste de vidro e (b) haste de argamassa

Anterior a imersão das hastes na pasta de cimento, foram coletadas as dimensões das mesmas fazendo a média de três medidas de diâmetro. A próxima etapa foi registrar a massa da haste juntamente com a pasta de cimento aderida em sua superfície. Com um pano úmido, foi retirada toda a pasta que estava ao entorno da haste e, novamente, anotou a massa da haste. Esse processo possibilitou determinar a absorção da haste por meio da diferença entre os dois valores registrados anteriormente. Para determinar apenas a massa da pasta de cimento, subtraiu-se a massa da haste mais a pasta de cimento aderida com a massa da haste seca. Para encontrar o volume de pasta presente em cada haste foi realizado a divisão da massa de pasta de cimento por sua densidade de massa.

Na Figura 53 é possível visualizar os parâmetros necessários para encontrar a equação que foi utilizada para determinar a EPT.

Figura 53 – Esquema da haste revestida com pasta, sinalizada com os parâmetros de medição do EPT



Fonte: Adaptado de Jimma e Rangaraju (2015)

Dando sequência, o cálculo para a determinação do EPT foi estabelecido a partir das características geométricas da haste. Como pode ser visualizado na Figura 53 o volume de pasta é obtido de acordo com a Equação 5:

$$V_p = A \times L \quad \text{Equação 5}$$

Onde

V_p = Volume de pasta (cm³);

A = Área total (cm²);

L = comprimento de imersão da haste (cm).

Considerando $A = A2 - A1$ e substituindo na Equação 5, tem-se,

$$Vp = (A2 - A1) \times L$$

$$Vp = (\pi \times R2^2 - \pi \times R1^2) \times L$$

Equação 6

Onde

$R2$ = Raio (cm) referente a camada mais externa da haste;

$R1$ = Raio (cm) referente a camada mais interna da haste.

Sendo que $R2 = R1 + EPT$ e substituindo essa relação na Equação 6 obtêm-se,

$$Vp = \{[\pi \times (R1 + EPT)^2] - [\pi \times R1^2]\} \times L$$

Equação 7

Onde

EPT = espessura de pasta teórica (cm).

Desenvolvendo a Equação 7,

$$\pi \times (EPT + R1)^2 + (2 \times \pi \times R1 \times EPT) - \frac{Vp}{L} = 0$$

Equação 8

A partir de uma equação polinomial, Equação 8, foi possível calcular os valores médios de EPT apresentados na Tabela 19. O memorial de cálculo com todos os valores dos itens anteriormente mencionados está apresentado no APÊNDICE E.

Tabela 18 – Valores médios de EPT (mm)

a/c	Teor de aditivo* (%)	Tipo de haste	Tipo de agregado	EPT (mm) médio	Desvio padrão médio	
0,25	0,7	1-6	Vidro	AGN	0,19	0,0028
			argamassa	AGRC	0,81	0,0126
		1-6	Vidro	AGN	0,31	0,0048

0,25	0,6		argamassa	AGRC	0,98	0,0132
			Vidro	AGN	0,63	0,0114
0,25	0,5	1-6	argamassa	AGRC	1,47	0,0372
			Vidro	AGN	1,08	0,0070
0,25	0,4	1-6	argamassa	AGRC	2,06	0,0177
			Vidro	AGN	0,08	0,0130
0,25	0,3	1-6	argamassa	AGRC	1,50	0,0979
			Vidro	AGN	NA**	-
0,25	0,2	1-6	argamassa	AGRC	NA**	-
			Vidro	AGN	0,09	0,0021
0,30	0,7	1-6	argamassa	AGRC	0,48	0,0056
			Vidro	AGN	0,09	0,0014
0,30	0,6	1-6	argamassa	AGRC	0,51	0,0068
			Vidro	AGN	0,10	0,0014
0,30	0,5	1-6	argamassa	AGRC	0,57	0,0055
			Vidro	AGN	0,30	0,0026
0,30	0,4	1-6	argamassa	AGRC	1,01	0,0148
			Vidro	AGN	0,61	0,0096
0,30	0,3	1-6	argamassa	AGRC	1,44	0,0171
			Vidro	AGN	0,43	0,0208
0,30	0,2	1-6	argamassa	AGRC	1,17	0,0994
			Vidro	AGN	0,04	0,0020
0,34	0,7	1-6	argamassa	AGRC	0,14	0,0067
			Vidro	AGN	0,06	0,0033
0,34	0,6	1-6	argamassa	AGRC	0,33	0,0059
			Vidro	AGN	0,08	0,0015
0,34	0,5	1-6	argamassa	AGRC	0,36	0,0096
			Vidro	AGN	0,09	0,0015
0,34	0,4	1-6	argamassa	AGRC	0,39	0,0095
			Vidro	AGN	0,19	0,0023
0,34	0,3	1-6	argamassa	AGRC	0,62	0,0124
		1-6	Vidro	AGN	0,51	0,0149

0,34	0,2		argamassa	AGRC	1,31	0,0304
			Vidro	AGN	0,02	0,0010
0,40	0,7	1-6	argamassa	AGRC	0,09	0,0029
			Vidro	AGN	0,03	0,0011
0,40	0,6	1-6	argamassa	AGRC	0,08	0,0051
			Vidro	AGN	0,03	0,0016
0,40	0,5	1-6	argamassa	AGRC	0,11	0,0020
			Vidro	AGN	0,05	0,0010
0,40	0,4	1-6	argamassa	AGRC	0,12	0,0033
			Vidro	AGN	0,07	0,0015
0,40	0,3	1-6	argamassa	AGRC	0,23	0,0034
			Vidro	AGN	0,19	0,0032
0,40	0,2	1-6	argamassa	AGRC	0,53	0,0194

* Valor em massa do aditivo é obtido a partir do peso do cimento.

** Pasta de cimento com pouca fluidez.

Fonte: Elaborada pela autora

As espessuras de pasta teórica (EPT), nesta pesquisa, foram utilizadas para determinar a dosagem dos concretos permeáveis.

3.3.7 Determinação da Espessura Real de Pasta (ERP)

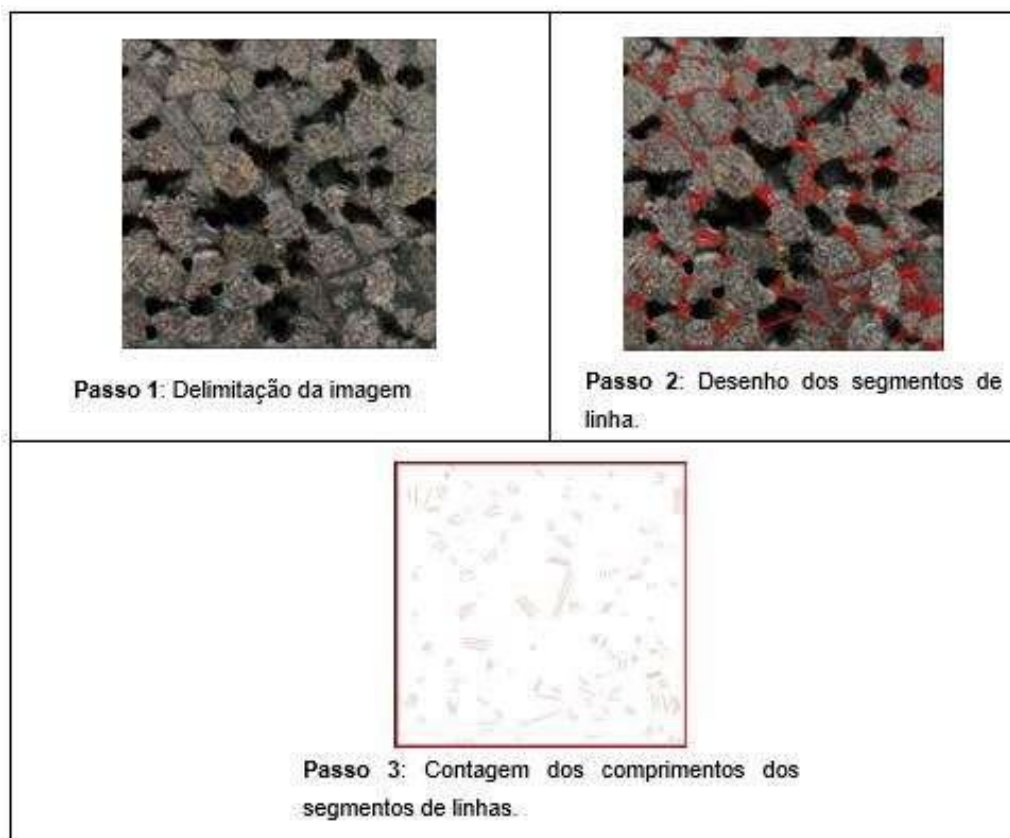
Com a finalidade de validação dos ensaios para a definição da EPT, tentou-se realizar a determinação da espessura real de pasta (ERP) em alguns corpos de prova de concreto permeável no estado endurecido. Yu, Sun, Wang e Hu (2019) definiram a ERP com auxílio de um *software*.

Para a realização desse processo, primeiramente, efetuou-se o corte das amostras em seções transversais em uma retífica do Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos. As peças foram lavadas em água corrente para a retirada dos resíduos presentes nos poros e, enquanto ainda úmidas, foram capturadas as imagens destas, uma vez que umedecidas facilitariam a identificação dos elementos utilizados na produção do concreto permeável.

Depois, as imagens foram inseridas no programa *Autocad*, delimitando-se um retângulo 5 x 5 cm para a medição das espessuras reais de pasta. Essa medição compreendeu desde a borda de um agregado até a borda do agregado adjacente, indicada por segmento de linha no *Autocad*. De acordo com Yu, Sun, Wang e Hu (2019) espessura de pasta cimentícia é definida como a espessura média de pasta que envolve cada agregado individualmente. Por isso neste experimento foi necessário dividir o resultado dessa medição por dois para definir a ERP do concreto permeável. No entanto os valores de ERP encontrados não apresentaram coerentes com as EPT.

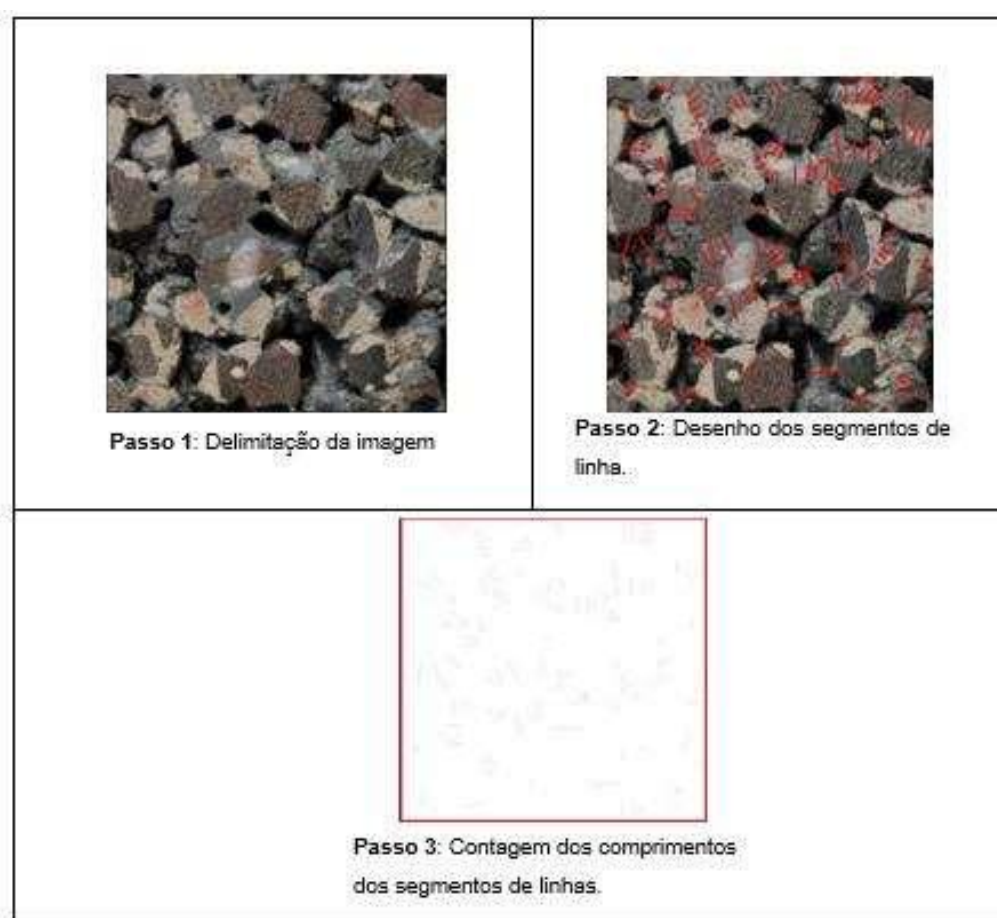
Nas imagens como mencionado, os segmentos de linha foram marcados no *Autocad*, em seguida deletadas e com o comando list do programa foi possível medir cada um dos comprimentos. Dessa forma, obtiveram-se as espessuras. Nos Quadros abaixo estão apresentadas duas amostras uma de concreto permeável com AGN E AGRC para exemplificar como foi realizado o método.

Quadro 1 – Método de medição da ERP em concretos permeáveis com AGN, relação a/c 0,25 com EPT 1 de 0,4 mm.



Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 2 – Método de medição da ERP em concretos permeáveis com AGRC, relação a/c 0,25 com EPT 1 de 0,4 mm.



Fonte: Elaborado pela autora

3.4 Produção de Pastas Cimentícias

3.4.1 Consumo de Pasta Cimentícia

Para o desenvolvimento deste experimento as relações a/c adotadas foram de acordo com o método de dosagem do concreto permeável recomenda por NRMCA (2009) que consiste em analisar as propriedades das pastas formadas com as possíveis relações a/c entre o intervalo de 0,27-0,40. As relações a/c investigadas nessa pesquisa foram 0,25; 0,30; 0,34 e 0,40.

Segundo a ACI 522 (2010) a relação a/c é importante para obter valores adequados de resistência e estruturas de poros na produção do concreto permeável. Uma alta relação a/c reduz a adesão da pasta ao agregado ocorrendo a precipitação da pasta e colmatando os vazios, mesmo quando a mistura for levemente

compactada. No entanto uma baixa relação a/c impedirá que ocorra uma adequada mistura no material na betoneira, prejudicando a distribuição uniforme da pasta de cimento, assim reduzindo a resistência e a durabilidade do concreto.

Tanto a ACI 522 (2010) quanto a NRMCA (2009) abordam em seus procedimentos a utilização de aditivos, no entanto, não recomendam as quantidades ótimas para se obter um concreto permeável com bons desempenhos mecânicos e de permeabilidade.

Segundo o fabricante do aditivo superplastificante utilizado nesta pesquisa, levando em consideração o concreto convencional, a dosagem mínima para esse tipo de aditivo é de 0,2% sobre o peso do cimento e a máxima é de 1%. Optou-se por utilizar diferentes teores de aditivo (0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,5%; 0,6% e 0,7%), com o intuito de observar o espalhamento da pasta de cimento, visto que a fluidez da pasta pode ser correlacionada com a trabalhabilidade do concreto permeável. Dessa forma buscou-se relacionar o comportamento do fluxo das pastas com as propriedades mecânicas e de permeabilidade na produção desses concretos.

Para a produção das pastas de cimento empregadas no desenvolvimento do método para a determinação da espessura de pasta, a quantidade de cimento se manteve fixa, variando os teores de aditivo e a água. Desta forma para análise foram produzidas 24 pastas cimentícias. A Tabela 20 apresenta os consumos utilizados na produção das pastas cimentícias, considerando as respectivas relações a/c.

Tabela 19 – Consumo de materiais para a produção das pastas cimentícias

Relação a/c	Cimento (g)	Água (g)	Aditivo (%)*
0,25	1110,30	277,57	0,2 - 0,7
0,30	1110,30	333,09	0,2 - 0,7
0,34	1110,30	377,50	0,2 - 0,7
0,40	1110,30	444,12	0,2 - 0,7

* Valor em massa do aditivo é obtido a partir do peso do cimento.

Fonte: Elabora pela autora

3.4.2 Processo de mistura

As pastas para a determinação da espessura de pasta teórica (EPT) foram preparadas em um misturador da marca *EMIC*. Inicialmente adicionou na cuba toda a água com o aditivo superplastificante, em seguida foi acrescentado todo o cimento.

Quando o cimento tocou na água foi acionado no misturador, a velocidade lenta que permaneceu por 30 segundos. Logo após esse período, a máquina foi parada e, realizou-se o processo de raspagem que constituiu, com a ajuda de uma colher, desprender o material que ainda ficou retido nas paredes da cuba, com o objetivo de garantir uma correta mistura dos componentes. Essa etapa de raspagem aconteceu por 30 segundos. Ao término desse processo, novamente o misturador foi ligado e acionado na velocidade alta por um período de 30 segundos. Para finalizar o processo a pasta ficou por dois minutos e meio em repouso, totalizando um tempo total de mistura de 4 minutos.

3.4.3 Características no estado fresco para a determinação da EPT

Após a etapa de mistura foi determinada a densidade e a consistência em cada pasta produzida cujos valores estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 20 – Densidade e consistência das pastas cimentícias

Relação a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade (g/cm³)	Consistência (mm)
0,25	0,7	2,16	126,0
	0,6	2,14	119,0
	0,5	2,15	96,0
	0,4	2,13	40,0
	0,3	2,12	40,0
	0,2	-	40,0
0,30	0,7	2,08	155,3
	0,6	2,08	148,7
	0,5	2,05	124,7
	0,4	2,07	119,0
	0,3	2,03	95,3
	0,2	2,06	40,0
0,34	0,7	1,99	195,3
	0,6	2,01	141,7
	0,5	2,00	144,7
	0,4	2,00	132,3
	0,3	2,02	120,7
	0,2	1,98	78,7
0,40	0,7	1,89	215,7
	0,6	1,86	203,0
	0,5	1,87	205,3

0,4	1,89	200,7
0,3	1,91	154,3
0,2	1,90	121,3

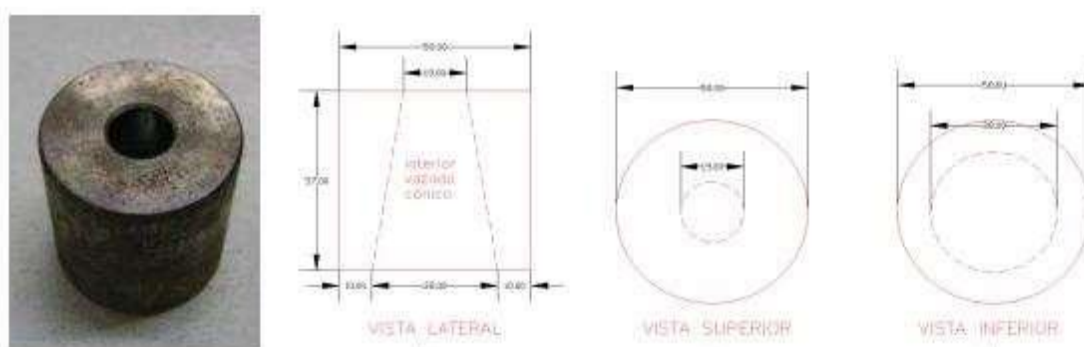
Fonte: Elaborada pela autora

A NBR 13278 (ABNT, 2005) apresenta procedimentos para encontrar a densidade de massa em argamassa, no entanto, neste experimento, aplicou o mesmo método para estabelecer a densidade de massa em pasta. A consistência da pasta foi medida de acordo com o processo desenvolvido por Kantro (1980), conhecido como ensaio de mini-tronco de Kantro ou miniabatimento. Esse método é amplamente utilizado como uma medida alternativa para se obter as propriedades reológicas de pastas de cimento. (JIMMA; RANGARAJU, 2014; JIMMA; RANGARAJU, 2015).

O objetivo de executar o teste de mini-tronco de Kantro foi medir a fluidez das pastas cimentícias por meio da medição da área de espalhamento dessas misturas, visto que segundo Jimma e Rangaraju (2015) a fluidez das pastas de cimento apresenta uma relação direta com a fluidez da mistura de concreto permeável no estado fresco, dessa forma, maior fluidez da pasta, acarretará maior trabalhabilidade no concreto permeável.

O equipamento utilizado, Figura 54, tem a forma tronco-cônica, conforme apresentado por Gentil, Kazmierczak e Sentena (2019), com altura de 58 mm, diâmetro inferior de 40 mm e diâmetro superior de 18,60 mm.

Figura 54 – Mini-tronco de Kantro



Fonte: Krug (2011)

O resultado do ensaio de consistência da pasta, realizado em todas as misturas produzidas, foi obtido a partir da média de três valores de diâmetro, coletados, com auxílio de uma régua como pode ser observado na Figura 55.

Figura 55 – Avaliação da consistência da pasta



Fonte: Elaborada pela autora

Segundo Jimma e Rangaraju (2014) é necessário um mínimo de 8 cm de espalhamento para que uma pasta seja misturada, de forma satisfatória com o agregado. Quando o espalhamento da pasta é inferior a 8 cm, o manuseio da mesma se torna difícil. Quando o espalhamento for alto o suficiente, maior que 12 cm, a pasta apresentará fluidez adequada e torna-se mais fácil de manusear. Esse tipo de pasta pode ser facilmente vertida e, também, pode revestir o agregado com êxito. Entretanto, a propriedade de formação de película da pasta diminui à medida que o espalhamento aumenta. A partir de uma determinada fluidez a pasta escorre na superfície do agregado, acumulando-se no fundo e diminuindo a permeabilidade da mistura. Dessa forma, é significativo atender tanto a fluidez quanto as propriedades de formação de película durante a seleção da pasta.

3.4.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Como já mencionado anteriormente foram moldadas 4 relações água/cimento (a/c) com diferentes teores de aditivo, com a finalidade de determinar a espessura de pasta teórica (EPT) em superfícies impermeáveis e permeáveis.

Com o objetivo de estabelecer as relações a/c que seriam utilizadas na produção dos concretos permeáveis, foram confeccionados corpos de prova em tamanhos reduzidos e submetidos a ensaios mecânicos, como resistência à compressão axial e à tração na compressão diametral.

As pastas de cimento foram moldadas em PVC de aproximadamente 20 mm de diâmetro por 33 mm de altura. Esse método também foi realizado por Fernandes (2018) e Baldusco, Nobre, ângulo e Quarcioni (2017). As amostras, como pode ser visualizado na Figura 56, apresentavam um corte longitudinal que anterior ao processo de moldagem, eram unidas com uma fita adesiva resistente. A parte inferior do molde foi vedado com um disco de borracha com espessura de 3,5 mm.

Figura 56 – Moldagem das pastas de cimento



Fonte: Elaborada pela autora

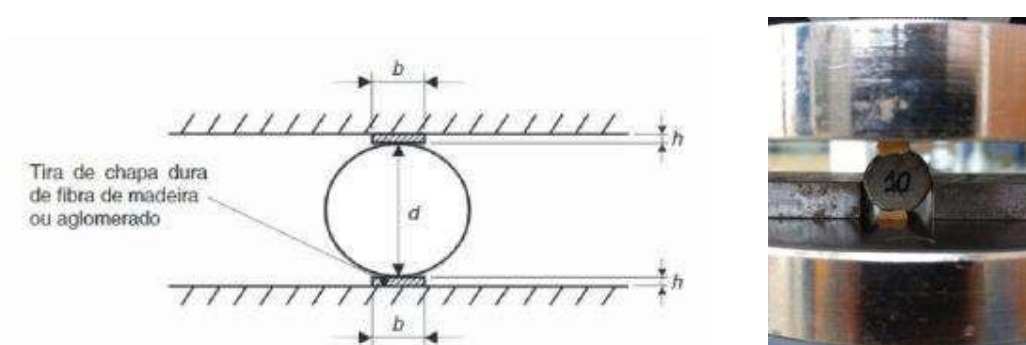
As pastas foram moldadas e adensadas mecanicamente em um agitador de peneiras da marca Tamises na potência de regulagem 1, por um período de 15 segundos. Em seguida, os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida, onde permaneceram até a realização dos ensaios no estado endurecido. A retificação das faces superiores e inferiores das amostras foi realizada em um torno NODUS, modelo 220 GOLD, com potência de 8 kW.

A determinação da resistência à compressão axial e da resistência à tração por compressão diametral foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos na prensa da *EMIC-INSTRON*, modelo DL-200, classe I, com capacidade de carga de 2000 kgf, com erro menor de 0,5%, faixa de velocidade de 0,01 a 1000 mm/min. A velocidade de carregamento usada no ensaio de resistência à compressão

axial foi de 0,008 mm/s, já para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi de 0,08 mm/s.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi executado segundo a norma NBR 7222 (ABNT, 2011), conforme pode ser visualizado na Figura 57. A norma determina que para a realização do ensaio, é necessária a utilização de chapa de madeira com tamanho igual ao do comprimento do corpo de prova, com largura de aproximadamente 15% do diâmetro do corpo de prova.

Figura 57 – Posicionamento do corpo de prova na prensa



Fonte: NBR 7222 (ABNT, 2011)

Onde

d = Diâmetro do corpo de prova (mm);

$b = (0,15 \pm 0,01)d$ (mm);

$h = (3,5 \pm 0,5)$ (mm).

3.5 Produção dos concretos permeáveis

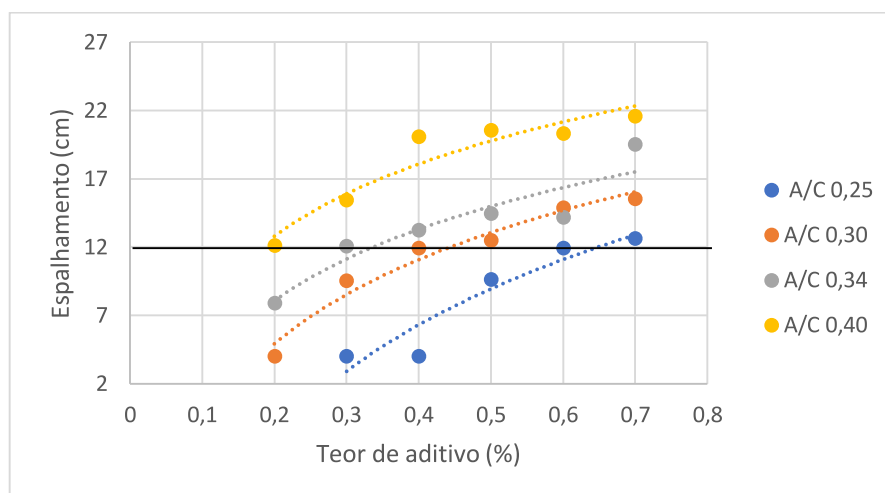
3.5.1 Determinação da relação a/c

Anterior ao processo de moldagem dos concretos permeáveis foi necessário estabelecer quais relações a/c seriam executadas, visto que foram investigadas quatro relações a/c.

Para a confecção das pastas de cimento nos moldes de PVC (20 mm Ø e 33 mm de altura) foi preciso fixar o valor da consistência para poder encontrar o teor de aditivo correspondente a cada relação a/c. Segundo Jimma e Rangaraju (2014) a pasta de cimento com espalhamento maior que 12 cm apresentará fluidez adequada e será mais fácil de ser manuseada. Diante disso nessa pesquisa, fixou-se o valor de

12 cm para o espalhamento, como representado na Figura 58 que foi gerada a partir dos ensaios relatados no item 3.4.3 cujos resultados serão discutidos no item 4.1.

Figura 58 – Espalhamento (cm) em função do teor de aditivo (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Como pode ser observado na Figura 58, o modelo de regressão logarítmico foi escolhido, pois foi o que melhor relacionou os parâmetros espalhamento e teor de aditivo. Tal modelo gerou equações que estão apresentadas na Tabela 22. Com o uso das equações para cada curva, ou seja, para cada relação a/c, foi possível determinar a porcentagem de aditivo a ser utilizada nas composições das pastas. Na mesma tabela, também, estão apresentados os consumos de cimento e água usados para a produção de cada mistura.

Tabela 21 – Materiais utilizados na produção das pastas de cimento

a/c	Equação logarítmica	Coef. de determinação (R ²)	Teor de aditivo * (%)	Consumos	
				Cimento (g)	Água** (g)
0,25	$y = 11,799\ln(x) + 17,106$	0,89	0,649	1110,3	273,73
0,30	$y = 8,8864\ln(x) + 19,219$	0,96	0,444	1110,3	330,46
0,34	$y = 7,5361\ln(x) + 20,201$	0,86	0,337	1110,3	375,51
0,40	$y = 7,5991\ln(x) + 25,039$	0,90	0,180	1110,3	443,05

* Valor em massa do aditivo é obtido a partir do peso do cimento.

** Valor de água ajustado levando em consideração a quantidade de água presente no aditivo.

Fonte: Elaborada pela autora

Segundo Jimma e Rangaraju (2014) a pasta de cimento influencia tanto as propriedades no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto permeável. Considerando que a matriz do concreto permeável é formada pela aglomeração dos agregados revestidos por pasta, dessa forma, no estado endurecido a resistência é desenvolvida na pasta e transferida para o agregado por meio da ligação entre eles. Em virtude de fortalecer essa ligação e obter concretos permeáveis com melhores desempenhos mecânicos, foram selecionadas as relações a/c que proporcionaram elevados resultados de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral nas amostras de pastas de cimento. Os valores médios dos ensaios mecânicos estão apresentados na Tabela 23. As demais informações necessárias para a obtenção desses resultados estão descritas no APÊNDICE F.

Tabela 22 – Resultados dos ensaios mecânicos para cada relação a/c

a/c	Resistência à compressão f_c , med (MPa)	Resistência à tração na compressão diametral $f_{ct,sp}$ med (MPa)
0,25	100,32	11,79
0,30	69,08	9,46
0,34	60,87	8,47
0,40	35,52	7,48

Fonte: Elaborada pela autora

Diante dos resultados da Tabela 23 foi possível identificar as relações a/c que seriam usadas nessa pesquisa para a produção dos concretos permeáveis, tais como a/c: 0,25; 0,30 e 0,34.

3.5.2 Determinação dos traços

Após a definição das relações a/c, o próximo passo foi determinar o traço a ser utilizado em concretos permeáveis com AGN e com AGRC. Para a escolha do traço, foi levado em consideração a homogeneidade do revestimento do agregado pela pasta de cimento. O traço que proporcionou maior cobertura da superfície do agregado foi selecionado para a confecção dos concretos permeáveis. Em virtude disso, foram investigados os seguintes traços: pobre (1:5); intermediário (1:4); rico (1:3) e um traço mais rico (1:2,5). Devido ao tempo limitante entre a obtenção dos

materiais para realização dos ensaios, análises destes e discussão dos resultados com a literatura até a conclusão da pesquisa, optou-se por fixar somente a relação a/c 0,30.

Importante mencionar que o teor de cimento segundo Kia, Wong e Cheeseman (2017), é um fator que influencia na resistência à compressão do concreto permeável. O excesso de cimento utilizado nas misturas contribui para o preenchimento dos vazios, ocasionando a redução da porosidade. Caso for suficiente o uso de cimento não haverá um adequado revestimento dos agregados, assim o concreto apresentará baixas resistências. Diante dessas informações, optou-se por analisar qual traço utilizar considerando os respectivos tipos de agregados estudados nesta pesquisa.

Para determinação do traço adaptou-se o método descrito por Nguyen et al. (2014). O procedimento desse ensaio seguiu a ordem:

1. Utiliza-se a absorção de cada tipo de agregado, obtido nos 30 minutos de ensaio de absorção por imersão conforme descrito no item 3.2.4;
2. Coloca-se 400 g de AGN e AGRC na estufa à $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ onde permaneceram até a constância de massa;
3. Retira-se os agregados da estufa e realiza-se a separação de 300 g que representou a massa seca (M_2);
4. Pesou-se 100 g de cimento para as misturas com AGN;
5. Pesou-se 120 g de cimento para as misturas com AGRC;
6. Utilizou-se as relações a/c descritas no item 3.5.1 (0,25; 0,30 e 0,34);
7. As porcentagens de aditivo foram as mesmas descritas no item 3.5.2, considerando para o AGN os EPT de 0,2 mm; 0,4 mm e 0,6 mm e para os AGRC as espessuras 0,3 mm; 0,5 mm e 0,7 mm.
8. Utilizou-se a argamassadeira da marca *EMIC* para realizar a homogeneização da mistura. O processo de mistura se deu no período de 4 min, conforme descrito no item 3.4.2, sendo que a única diferença foi a incorporação do agregado.
9. Descarregou-se a mistura no estado fresco em uma peneira metálica. O diâmetro da peneira depende do tamanho dos agregados e, representa de forma similar o tamanho dos poros presentes no concreto permeável. Essa analogia pode ser observada por meio da Equação 9:

$$D_p = 1,44 + 0,36 * d$$

$$D_p = 1,44 + 0,36 * (6,3)$$

$$D_p = 3,708 \text{ mm}$$

Onde

D_p = Diâmetro da peneira (mm);


d = diâmetro médio dos agregados (mm).

Assim, neste experimento, foi utilizado uma peneira metálica cuja abertura da malha é de 4 mm, valor mais próximo disponível no Laboratório de Materiais de Construção na Unisinos. Essa peneira foi acoplada a uma base fechada que retinha o excesso de pasta em decorrência da vibração. 10.As misturas foram adensadas mecanicamente em um agitador de peneiras da marca Tamises na potência de regulagem 1, por um período de 15 segundos;

11.Os traços foram selecionados levando em consideração aquele que proporcionou o melhor recobrimento da superfície dos agregados.

Os resultados obtidos estão ilustrados no Quadro 3, no qual constam imagens do invólucro dos agregados grãos naturais e dos agregados grãos reciclados de concreto.

Quadro 3- Determinação do traço para a produção do concreto permeável

Agregado grão natural (AGN)	Agregado grão reciclado de concreto (AGRC)
TRAÇO 1:5	TRAÇO 1:5
	



TRAÇO 1:4



TRAÇO 1:4

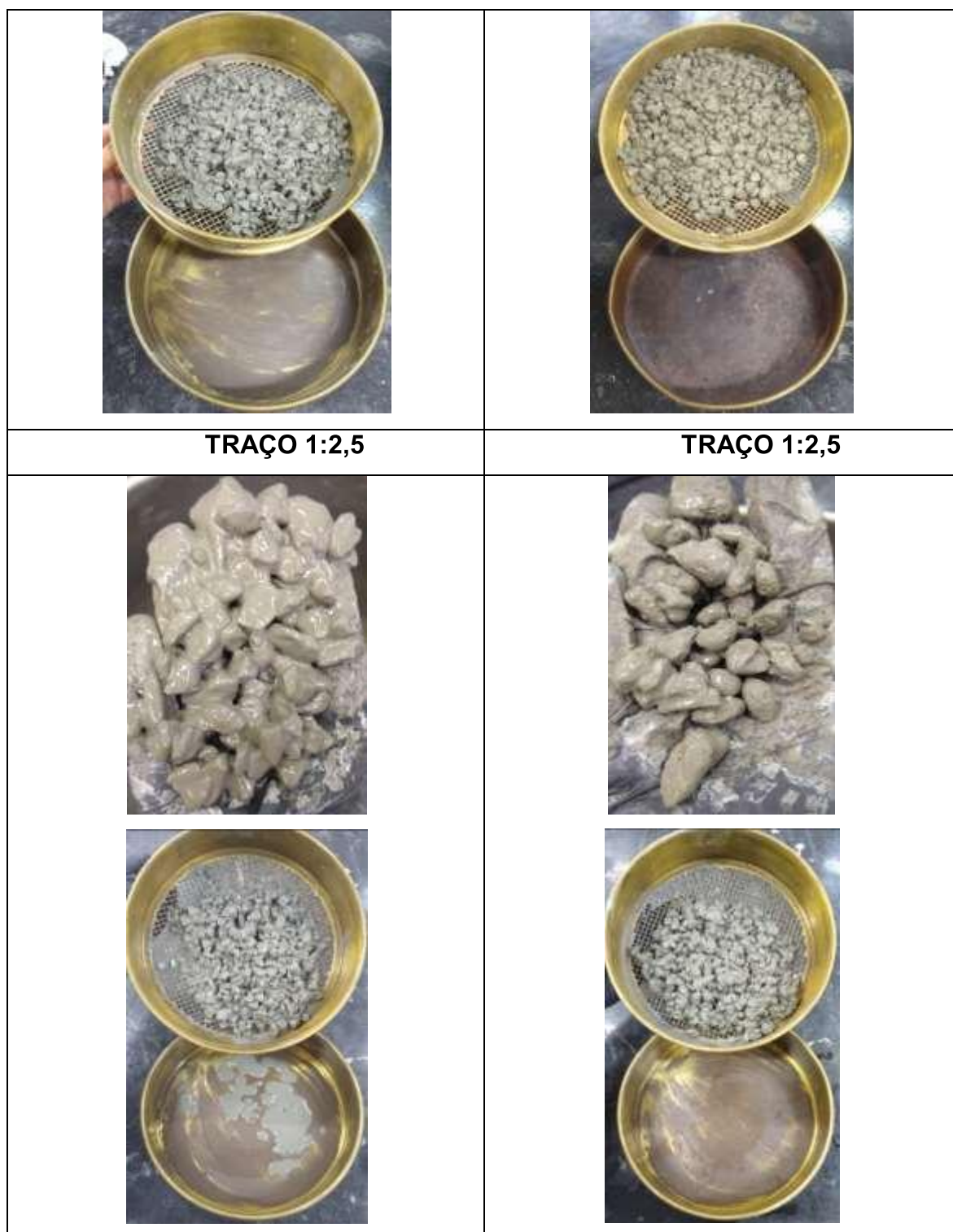


TRAÇO 1:3



TRAÇO 1:3





Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o Quadro 3, é possível identificar que tanto para o AGN quanto para o AGRC o traço mais pobre 1:5 gerou uma pasta seca que não cobriu de forma homogênea a superfície dos agregados. Dessa forma, a aderência entre os grãos não se deu de maneira adequada para o produto final que este estudo se propõe.

O traço intermediário 1:4 gerou uma pasta de cimento que não preencheu de maneira uniforme a superfície de ambos os agregados. Salienta-se, entretanto, que no AGRC a pasta utilizada apresentou-se com menor adesão.

Para os AGN o traço rico 1:3 garantiu a melhor cobertura da superfície dos agregados pela pasta de cimento. Já nos AGRC a distribuição da pasta se estabeleceu de forma heterogênea.

Após a execução da etapa de vibração recomendada pelo método de Nguyen et al. (2014) na mistura com AGN, considerando o traço mais rico 1:2,5, verificou-se a presença de pasta na parte inferior da peneira. Assim, o traço mais rico originou a geração de muita pasta, o que não é recomendado para a produção de concreto permeável. Entretanto, na mistura com AGRC esse traço apresentou-se apropriado, pois a distribuição da pasta se deu de forma homogênea entorno dos grãos e, após o processo de adensamento não houve precipitação da pasta.

Na sequência da escolha das relações a/c e dos traços a serem utilizados na produção dos concretos permeáveis, elaborou-se um cálculo para determinação do quantitativo de cimento e agregado empregados nas misturas. A sequência do cálculo está descrita abaixo:

1. Determinação do volume de concreto considerando uma relação a/c e uma espessura de pasta teórica (EPT), caso tenha mais combinações fazer as devidas correções;
2. Consideração da massa unitária do agregado;
3. Verificação do volume de agregado necessário para fazer um m^3 de concreto permeável. Obtido por meio da multiplicação da parte que corresponde ao agregado, no traço escolhido, pelo valor da massa unitária do agregado.
4. Determinação do volume de agregado necessário para produzir o volume estabelecido no item 1. Obtido a partir da multiplicação do valor correspondente ao item 3 pelo valor do item 1.
5. Determinação da massa de agregado necessária para produzir o volume de concreto determinado no item 1. Obtido a partir da multiplicação do valor do item 4 pela massa unitária do agregado.
6. Determinação da massa de cimento que foi determinada a partir da divisão do valor do item 5 pela parte correspondente ao agregado no traço selecionado.

7. Determinação da quantidade de água. Obtida, multiplicando a massa de cimento pela relação a/c selecionada.

Importante mencionar que os quantitativos encontrados nos itens 5, 6 e 7 precisam ser adequados à capacidade da betoneira que realizará a mistura.

Como já relatado anteriormente, o primeiro teste realizado determinou a espessura de pasta teórica (EPT) em superfícies impermeáveis, com a utilização das hastes de vidro e superfícies permeáveis, tais como a haste de argamassa. As hastes de vidro e de argamassa foram usadas com a finalidade de representar, de forma mais aproximada, tanto a superfície quanto a forma de um AGN e um AGRC, respectivamente.

A partir dos ensaios com as hastes foi possível gerar correlações cujos resultados serão explorados no item 4. Uma das relações verificadas foi a espessura de pasta teórica EPT em função do teor de aditivo para ambas as hastes. A partir desses resultados elaborou-se a dosagem das misturas de concreto permeável. Tais correlações foram identificadas em todas as relações a/c, e para cada relação a/c foi desenvolvido um modelo de regressão exponencial que melhor representou os parâmetros estudados.

De acordo com estudos realizados por Jimma e Rangaraju (2014), em todas as relações a/c investigadas foram encontradas espessuras ideais de pasta variando entre 0,1 mm a 1,0 mm. Assim, optou-se, nesta pesquisa, por produzir concretos permeáveis com espessuras de 0,2 mm; 0,4 mm e 0,6 mm. Utilizando as curvas exponenciais, substituíam-se as espessuras selecionadas e encontravam-se os respectivos teores de aditivo. Essas espessuras teóricas serviram para a dosagem de misturas com AGN nas três relações a/c (0,25; 0,30 e 0,34).

Observando as características superficiais do AGRC, conforme abordadas no item 3.2.4, a parte externa é composta por argamassa e a parte interna por agregado gráudo natural. A haste de argamassa que foi usada com o viés de representar o AGRC, apresentava em sua superfície 100% de argamassa. Fazendo a mesma analogia da situação real, foi necessário adequar as dosagens para a confecção dos concretos permeáveis com AGRC. Nessa readequação foram considerados os resultados encontrados a partir do programa *ImageJ*, apresentado no item 3.2.4 – a presença de 74,72% de argamassa na superfície do agregado e da haste. Dessa forma, o parâmetro que sofreu alteração foi a porcentagem de aditivo. Tal alteração

fez com que fossem calculadas outras espessuras de pasta teórica para os AGRC, tais como 0,3 mm; 0,5 mm e 0,7 mm, a partir da utilização das curvas exponenciais, as quais foram estudadas nas três relações a/c selecionadas (0,25; 0,30 e 0,34).

Após a execução dessas etapas foi possível estabelecer o consumo real de materiais para a produção de concretos permeáveis, cujos valores estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 23 – Consumo de materiais

Traço Unitário	Tipo de Agregado	a/c	EPT 1 (mm)	Volume de pasta (%)	Consumos (kg/m ³)			
					Cimento	Água	Aditivo*	Agregado
1:3	AGN	0,25	0,2	23	700,08	175,02	4,80	2100,23
			0,4	23	700,08	175,02	3,98	2100,23
			0,6	23	700,08	175,02	3,50	2100,23
1:3	AGN	0,30	0,2	26	700,08	210,02	3,02	2100,23
			0,4	26	700,08	210,02	2,48	2100,23
			0,6	25	700,08	210,02	2,16	2100,23
1:3	AGN	0,34	0,2	25	700,08	238,03	2,12	2100,23
			0,4	25	700,08	238,03	1,56	2100,23
			0,6	26	700,08	238,03	1,24	2100,23
1:2,5	AGRC	0,25	0,3	29	711,20	177,80	6,71	1778,00
			0,5	29	711,20	177,80	5,50	1778,00
			0,7	29	711,20	177,80	4,81	1778,00
1:2,5	AGRC	0,30	0,3	26	711,20	213,36	4,67	1778,00
			0,5	27	711,20	213,36	3,74	1778,00
			0,7	27	711,20	213,36	3,19	1778,00
1:2,5	AGRC	0,34	0,3	30	711,20	241,81	3,21	1778,00
			0,5	30	711,20	241,81	2,46	1778,00
			0,7	30	711,20	241,81	2,03	1778,00

* Valores de aditivos ajustados para os AGRC, considerando os dados obtidos no programa *ImageJ*.

Fonte: Elaborada pela autora

3.5.3 Processo de mistura

As misturas de concreto permeável foram realizadas em uma betoneira de eixo vertical com capacidade para 0,15 m³. O procedimento de mistura foi executado visando obter uma melhor trabalhabilidade ao concreto. A sequência do processo de mistura está apresentada a seguir:

1. Imprimação da betoneira com pasta de mesmo traço dos concretos;
2. Adição de todo o agregado;
3. Adição de todo o cimento;
4. Ligar a betoneira;
5. Nos primeiros 30 segundos adicionar toda a água com o aditivo;
6. Misturar por um período de 240 segundos (4 min).

O tempo de mistura do concreto permeável não pode ser elevado devido seu baixo tempo de trabalhabilidade. Ao exceder esse tempo, haverá dificuldades no processo de adensamento levando a se obter um material de baixa performance.

3.5.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Assim que o ensaio de consistência foi executado, realizou-se a homogeneização da mistura do concreto permeável. Logo após efetuou-se uma análise visual da mistura pronta, observando a distribuição da pasta de cimento entorno dos grãos e se a mistura apresentou um aspecto brilhoso. Em seguida procedeu-se o teste tátil visual (teste empírico), verificando-se ao pressionar uma porção de mistura com a mão se haveria a formação de uma pequena aglomeração de partículas. A moldagem dos corpos de prova deu na seguinte ordem:

1. Um recipiente cilíndrico feito de aço ou outro metal com uma capacidade de $7,0 \pm 0,6$ L e um diâmetro igual a 0,75 a 1,25 vezes a altura para a determinação da massa específica;
2. Três corpos de prova cilíndricos de 100 Ø x 200 mm para a resistência à compressão aos 28 dias;
3. Três corpos de prova cilíndricos de 100 Ø x 200 mm para a resistência à abrasão aos 28 dias;
4. Três corpos de prova prismáticos de 100 x 100 x 400 mm para a resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Nesse experimento foram moldados no total 162 corpos de prova, considerando que se utilizaram dois tipos de agregados, três relações a/c, três

espessuras de pasta teórica e os ensaios executados no estado endurecido como foi descrito anteriormente.

A compactação nas amostras cilíndricas foi executada em duas camadas, com 20 golpes por camada, usando o soquete *Proctor* de 2,5 kg com altura de queda de 305 mm. Esse mesmo processo foi realizado por Chandrappa e Biligiri (2016 a); Chandrappa e Biligiri (2016 b); Saboo; Shivhare; Kori e Chandrappa (2019); Costa (2019).

Com a finalidade de se manter a mesma energia de aplicação tanto nos corpos de prova cilíndricos quanto nos prismáticos foi necessário fazer as conversões de energia levando em consideração os volumes dos recipientes utilizados para a moldagem do concreto permeável, para isso foi seguida a Equação 10 proposto por Pinto (2006).

$$E = \frac{P \times h \times N \times n}{V}$$

Equação 10

Onde

E = Energia de compactação por unidade de volume;
 P = Peso do soquete (kg);
 h = Altura de queda do soquete (cm);
 N = Número de golpes por camada;
 n = Número de camadas;
 V = Volume de solo compactado (cm³).

A energia de compactação exercida em cada corpo de prova cilíndrico 100 Ø x 200 mm foi:

$$E = \frac{2,5 \times 30,5 \times 20 \times 2}{1570,8}$$

Equação 11

$$E = 1,94 J$$

Onde

P = 2,5 kg;
 h = 30,5 cm;
 N = 20 golpes;
 n = 2 camadas;
 V = 1570,8 cm³ de volume de solo compactado.

Mantendo a mesma energia de compactação e a mesma quantidade de camadas, o número de golpes utilizados para o adensamento dos moldes prismáticos 100 x 100 x 400 mm:

$$1,94 = \frac{2,5 \times 30,5 \times N \times 2}{4000} \quad \text{Equação 12}$$

$$N = 50,93 \cong 51 \text{ golpes por camada}$$

Onde

$$E = 1,94 \text{ J};$$

$$P = 2,5 \text{ kg};$$

$$h = 30,5 \text{ cm};$$

$$n = 2 \text{ camadas};$$

$$V = 4000 \text{ cm}^3 \text{ de volume de solo compactado.}$$

De forma resumida para se manter a mesma energia de compactação(1,94J) nos corpos de prova cilíndricos foram realizados 20 golpes por camada com o soquete *Proctor* de 2,5 kg e, nos corpos de prova prismáticos foram, também, moldadas 2 camadas, sendo que em cada camada foram aplicados 51 golpes com o *Proctor*.

Ao se concluir a moldagem, as amostras foram envolvidas por plástico com intuito de evitar a perda da água de amassamento da mistura que permaneceu no molde pelo período de 24 horas até a desmoldagem do mesmo. Após a desmoldagem, o concreto foi levado à uma câmara úmida com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95% de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), onde permaneceu por 28 dias de cura até a execução dos ensaios no estado endurecido.

3.6 Métodos

A seguir serão descritos os métodos para a produção do concreto permeável considerando misturas com AGN e amostras com a incorporação de AGRC.

3.6.1 Consistência da mistura

No estado fresco do concreto permeável foi determinado a sua trabalhabilidade por meio da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Este ensaio não é normalmente utilizado para a determinação da consistência do concreto permeável, contudo, foi empregado como um parâmetro qualitativo do estado fresco do concreto.

3.6.2 Densidade no estado fresco

Para a realização do ensaio de densidade no estado fresco foi utilizada a ASTM C1688 (2014), apresentada na Figura 59. Esta norma é própria para a realização do ensaio em concreto permeável. Valores considerados ideais de densidade, segundo a norma, precisam estar entre 1750 - 2000 kg/m³. O método utiliza o soquete *Proctor* de 2,5 kg com uma altura de queda de 305 mm.

Figura 59 – Ensaio de Massa específica



Fonte: Elaborada pela autora

A NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda o método de ensaio para a determinação da massa específica do concreto moldado no local, por soquete *Proctor* de 4,5 kg e altura de 45 cm. No entanto, nessa pesquisa, não foi utilizado tal soquete, com intuito de padronizar para todos os ensaios um único método de compactação dessa forma, optou-se por executar o procedimento sugerido pela norma ASTM C 1688 (2014). Outra questão levada em consideração a escolha do soquete *Proctor* de 2,5 kg, neste experimento, foi que o AGRC é um material com características inferiores ao agregado natural, assim decidiu-se utilizar um instrumento que exercesse menores impactos.

3.6.3 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na prensa marca INSTRON, modelo PCE100+ que se encontra no IIT Performance, a partir da adaptação da norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Em relação à moldagem dos corpos

de prova cilíndricos 10Ø x 20 cm foram compactados com a utilização do soquete *Proctor* 2,5 kg, conforme mencionado anteriormente e representada na Figura 60.

Figura 60 – Compactação dos corpos de prova 10Ø x 20 cm com a utilização do soquete *Proctor* 2,5 kg.



Fonte: Elaborado pela autora

O capeamento foi realizado com enxofre em uma proporção de 1 de cinza volante para 1,5 de enxofre. Estudos realizados por Harber (2005) mostraram que o capeamento com enxofre eliminou alguns defeitos de ruptura causados pelo deslocamento do agregado na borda superior em relação aos corpos de prova que não foram capeados. Isso gerou também um aumento significativo na resistência à compressão.

3.6.4 Resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados a partir da adaptação da norma NBR 12142 (ABNT, 2010). Utilizando-se a prensa marca *INSTRON*, modelo *EMIC 23-300* que se encontra no itt Performance, adotou-se a velocidade de 12 kN/min para aplicação de carga.

Os corpos de prova prismáticos 10 cm x 10 cm x 40 cm, foram submetidos ao ensaio de resistência à tração na flexão e compactados com a utilização do Martelo *Proctor* 2,5 kg.

Segundo Balbo (2005) os pavimentos de concreto simples, no Brasil, apresentam resistências à tração na flexão entre 2,5 a 4,5 MPa. A NBR 16416 (ABN, 2015) especifica para a produção de concreto permeável moldado no local para tráfegos de pedestre resistência característica à tração na flexão sendo maior ou igual a 1,0 MPa e para tráfego leve resistência mecânica característica maior ou igual a 2,0 MPa.

3.6.5 Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado a partir da adaptação da norma ASTM C1747 (2013). Para a realização do ensaio foi utilizado uma balança, martelo *Proctor* 2,5 kg, máquina *Los Angeles* (Figura 61), colher e régua. A norma ASTM C1747 (2013) menciona sobre utilizar o martelo *Marshall* para realizar o processo de compactação, no entanto, com intuito de padronizar para todos os testes a mesma forma de compactação, optou-se por utilizar o martelo *Proctor* 2,5 kg.

Figura 61 – Máquina *Los Angeles*



Fonte: Elaborada pela autora

Para a realização do ensaio são necessárias três amostras cilíndricas de dimensões 10Ø x 20 cm. Neste ensaio o desgaste é causado apenas pelo contato dos três corpos de prova. Antes de iniciar o ensaio, aos 28 dias, determina-se a massa

inicial das três amostras secas. Após o registro das massas, coloca-se os três moldes na máquina de *Los Angeles*. O tambor da máquina é girado a uma velocidade de 30 a 33 r / min para 500 revoluções. Após essa etapa, é retirado o material da máquina e passado em uma peneira de 25 mm. Gira-se as partículas, se necessário, para determinar se elas passarão pela abertura da peneira; no entanto, não forçar as partículas a passar. Registra-se a massa final do material retido na peneira de 25 mm.

Calcula-se a perda de massa como a diferença entre a massa original das três amostras e a massa final retida na peneira. Dividi-se a perda de massa pela massa original das amostras e multiplicar por 100.

De acordo com a norma ASTM C1747 (2013) os resultados de perda de massa, dos concretos permeáveis, para serem válidos precisam estar entre 19% e 95%.

3.6.6 Permeabilidade

O ensaio para obtenção do coeficiente de permeabilidade foi realizado conforme o procedimento estabelecido pela norma ACI 522 (2010). Para a execução desse procedimento foi utilizado o permeâmetro de carga variável, conforme pode ser visualizado na Figura 62.

Figura 62 - Montagem do permeâmetro



Fonte: Elaborado pela autora

Os corpos de prova foram envolvidos com filme de PVC (Policloreto de vinila) e *silver tape* para impedir que a água passasse pela lateral da amostra, como

mostrado na Figura 63. Em seguida, foram inseridos no permeâmetro para o início dos testes.

Figura 63 – Preparação dos corpos de prova para o ensaio de permeabilidade



Fonte: Elaborada pela autora

Segundo a norma é necessário que o processo de medição do tempo seja repetido três vezes em cada amostra e assim, considerar o tempo médio entre os três valores.

O tempo médio será utilizado na Equação 13 da *Lei de Darcy* para o cálculo do coeficiente de permeabilidade K da amostra. Com intuito de melhor visualização, na Figura 64 está representado a simbologia utilizada na equação.

$$K = \frac{A \times L}{a \times t} \times \log\left(\frac{h_i}{h_f}\right) \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

K = Coeficiente de permeabilidade em m/s;

A = Área de seção da amostra em m²;

a = Área do tubo em m²;

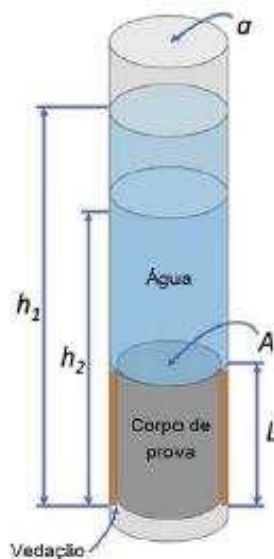
L = Comprimento da amostra em m;

t = Tempo em s;

h_i = Altura inicial (indicado 0,29 m);

h_f = Altura final (indicado 0,07 m).

Figura 64 – Medidas utilizadas no cálculo do coeficiente de permeabilidade K.



Fonte: Adaptado de Gaedicke, Marines e Miankodila (2014).

Conforme as normas ACI 522 (2010) e NBR 16416 (ABNT, 2015) pavimentos com nível satisfatório de permeabilidade devem apresentar um coeficiente de permeabilidade $K \geq 10^{-3}$ m/s.

3.6.7 Densidade e Índice de vazios no estado endurecido

Para a realização do ensaio de densidade e determinação de índice de vazios no estado endurecido foi utilizado a ASTM C1754 (2012), cujo procedimento está ilustrado na Figura 65.

Figura 65 – (a) molde confeccionado para a colocação dos corpos de prova e (b) equipamento utilizado para a execução do teste.



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pela autora

Esta norma é própria para a realização do ensaio em concreto permeável. Valores considerados ideais de densidade, segundo a norma, precisam estar entre 1650 - 1943 kg/m³.

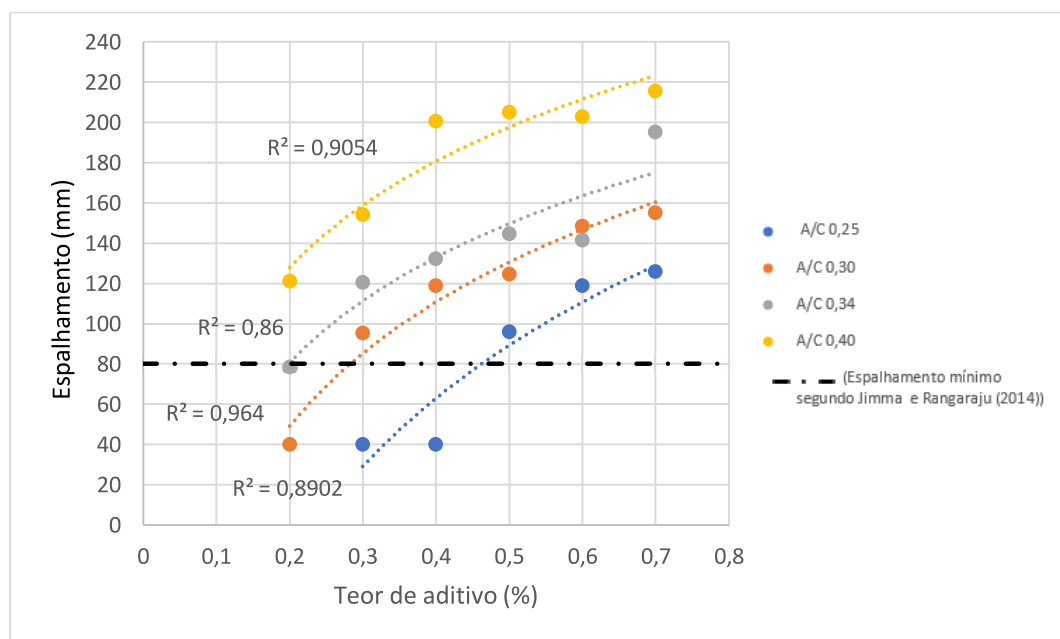
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Espessura de pasta cimentícia

4.1.1 Fluidez da pasta de cimento

A partir da Figura 66, pode-se constatar uma forte relação entre os fatores espalhamento versus teor de aditivo para cada relação a/c. Essa conclusão pode ser observada nos valores gerados de R^2 . Esses fatores estudados são diretamente proporcionais, ou seja, a medida que se aumenta a quantidade de aditivo há um acréscimo da fluidez da pasta de cimento. Esse comportamento foi constatado nas quatro relações a/c. O menor espalhamento encontrado foi na ordem de 40 mm, sendo que abaixo disso não há trabalhabilidade suficiente na pasta.

Figura 66 – Espalhamento (mm) em função do teor de aditivo (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Comparando os resultados das curvas de relação a/c, a partir da Figura 66, pode-se verificar que à medida que se aumenta o teor de aditivo, há um decréscimo do poder de espalhamento. A melhor relação de ajuste dos valores plotados no gráfico foi encontrado com a curva logarítmica, com isso demonstrando que o poder de espalhamento, em função do aumento do teor de aditivo, diminui com o teor.

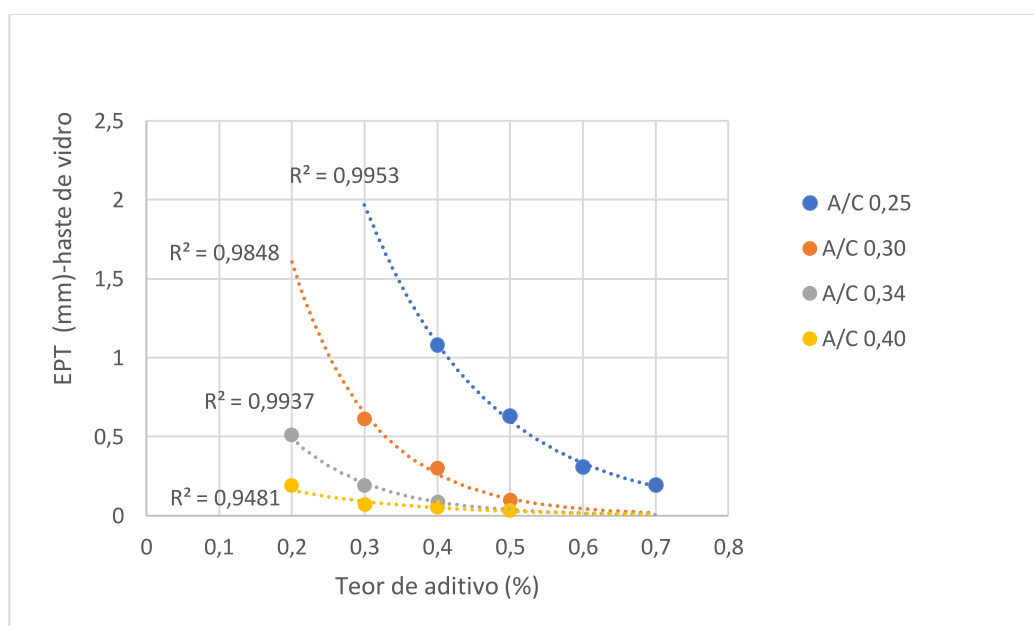
Assim como Chindaprasirt et al. (2008), neste experimento, também se verificou que a fluidez das pastas de cimento aumentou à medida que se aumentaram as relações a/c. Considerando que o mesmo traço foi utilizado para todas as relações a/c, o aumento da relação a/c foi acompanhado pelo aumento do teor de água, ou seja, a fluidez aumentou à medida que se aumentou a quantidade de água presente na mistura.

Comparando os espalhamentos obtidos, nesta pesquisa, considerando todas as relações a/c investigadas, é possível constatar que as relações a/c 0,25 e 0,30 somente atingem uma trabalhabilidade adequada com o uso do aditivo.

4.1.2 Capacidade de formação de película em superfícies padrão e Espessura de pasta teórica (EPT)

Nas pesquisas desenvolvidas por Jimma e Rangaraju (2014) e Xie et al. (2018) foi verificado uma redução constante na espessura da pasta com o aumento na dosagem de aditivo. Esse comportamento é observado nas quatro relações a/c testadas neste estudo, conforme pode ser observado na Figura 67. Constata-se que a redução da espessura de pasta em função do uso de aditivo é mais expressiva nas menores relações a/c.

Figura 67 – EPT (haste de vidro-mm) em função do teor de aditivo (%)



Fonte: Elaborada pela autora

A redução na espessura de pasta teórica (EPT) segue uma tendência exponencial. Isto mostra a importância de controlar a dosagem de aditivo em misturas de concreto permeável com base na espessura de pasta.

Segundo Jimma e Rangaraju (2014) o aumento da dosagem de aditivo acima da dosagem ótima resultará na redução da espessura de pasta, dessa forma se a pasta for fluida demais, não será capaz de formar uma película estável na superfície dos agregados. Isso pode levar a precipitação da pasta, o que pode causar baixa permeabilidade devido à vedação da superfície inferior do pavimento.

Na Tabela 25 estão indicadas as EPT para cada relação a/c e os valores máximos de teor de aditivo recomendado, obtidos neste experimento. Constata-se que maiores quantidades de aditivo, além do que apresentado na tabela abaixo para cada relação a/c, exercem influência pouco relevante na trabalhabilidade das misturas. Tais acréscimos contribuem para que ocorram a precipitação da pasta nos concretos permeáveis. Relação a/c e teores de aditivo foram determinados no item 3.4.1.

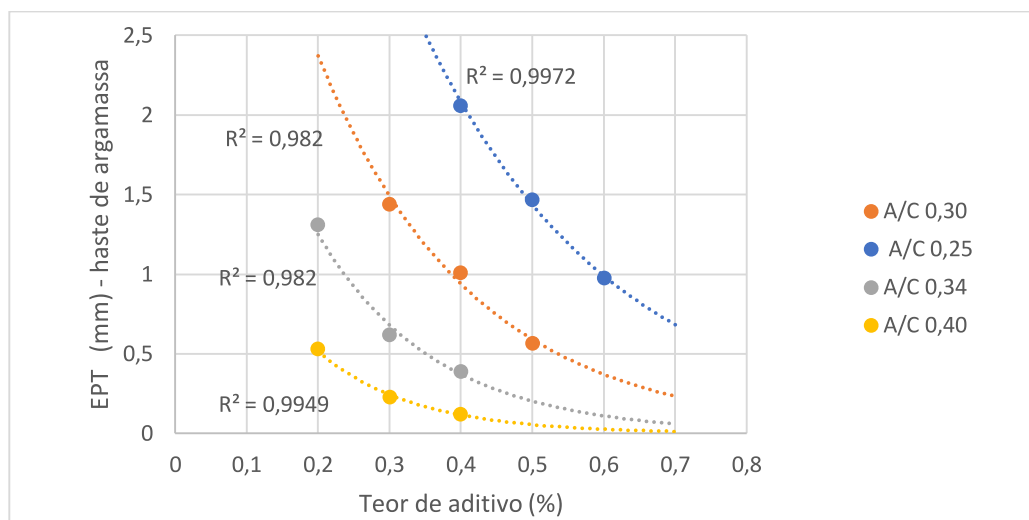
Tabela 24 – Espessuras e tores de aditivos máximos obtidas com a haste de vidro

a/c	Teor de aditivo (%)	Espalhamento (mm)	EPT– haste de vidro (mm)
0,25	0,6	119,0	0,31
0,30	0,5	124,7	0,10
0,34	0,4	132,3	0,09
0,40	0,3	154,3	0,07

Fonte: Elaborada pela autora

Utilizando a haste de argamassa (que simula o agregado reciclado) para a determinação da espessura de pasta teórica (EPT), observa-se uma mesma tendência de comportamento quando comparado com os valores de espessura de pasta encontrados com a haste de vidro, conforme pode ser visualizado na Figura 68.

Figura 68 – EPT (haste de argamassa-mm) em função do teor de aditivo (%)



Fonte: Elaborada pela autora

A redução na espessura de pasta teórica (EPT) segue uma tendência exponencial, mesmo modelo de regressão obtido no ensaio com a haste de vidro. Identifica-se a partir dos coeficientes de determinação (R^2) uma forte relação entre esses parâmetros considerando diferentes relações a/c.

Na Figura 68 é possível verificar que os teores máximos de aditivo se mantiveram os mesmos para os pontos de inflexão comparados com os valores obtidos no ensaio com a haste de vidro, ou seja, os pontos limites que determinam quando as espessuras de pasta não são praticamente influenciadas com o teor de aditivo, conforme pode ser visualizado na Tabela 26.

Tabela 25 – Espessuras e teores de aditivo obtidas com a haste de argamassa

a/c	Teor de aditivo (%)	Espalhamento (mm)	EPT – haste de vidro (mm)
0,25	0,6	119,0	0,98
0,30	0,5	124,7	0,57
0,34	0,4	132,3	0,39
0,40	0,3	154,3	0,23

Fonte: Elaborada pela autora

As espessuras de pastas teóricas (EPT) utilizando as hastes de argamassa, para todas as relações a/c, foram maiores que os valores encontrados com as hastes de vidro. Esse fenômeno deve-se ao fato de se ter uma superfície rugosa e absorvente, diferente da haste de vidro que é lisa e não absorvente.

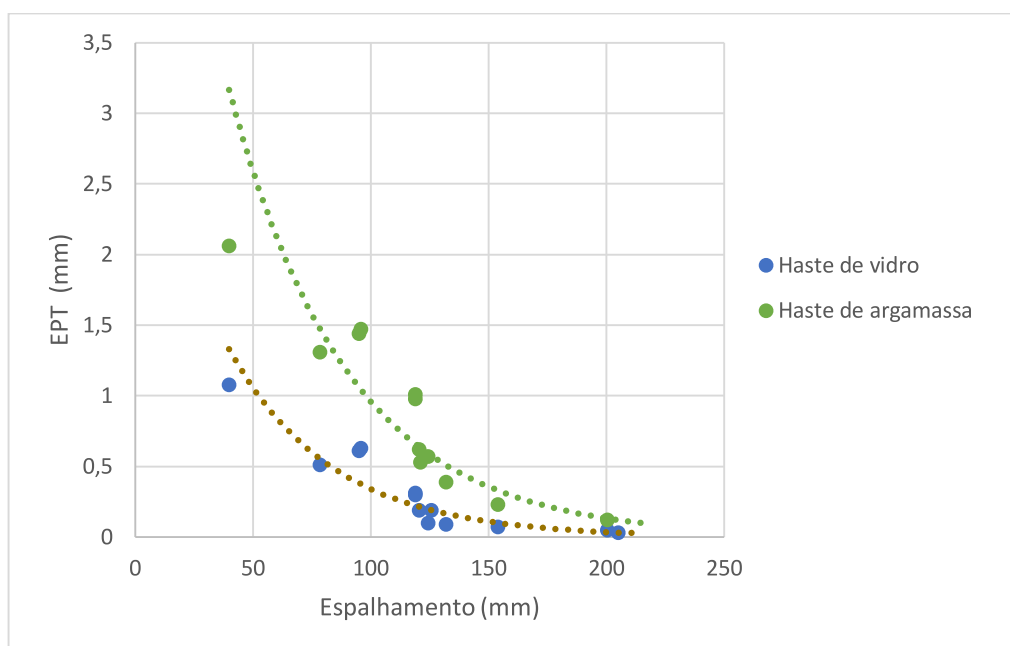
Tanto no ensaio realizado com a haste de vidro quanto com a haste de argamassa, pode-se constatar que a continuidade das curvas apresentadas nas Figura 67 e 68 para menores quantidades de aditivo, não é possível, pois as pastas de cimento ficam pouco fluidas, assim perde-se a capacidade de formação de película.

Nos estudos de Jimma e Rangaraju (2014) foram encontradas diferentes espessuras de pasta entre 0,1 mm a 1,0 mm a partir da variação da dosagem de aditivo superplastificante. De acordo com as análises mencionadas pelos autores anteriormente, optou-se a partir do ensaio realizado com a haste de vidro, produzir concretos permeáveis com AGN com espessuras de pasta teórica (EPT) de tamanhos 0,2 mm; 0,4 mm e 0,6 mm, conforme descrito no item 3.5.2. E por meio do ensaio executado com a haste de argamassa foi possível confeccionar concretos permeáveis com AGRC com EPT de 0,3 mm; 0,5 mm e 0,7 mm, como também foi relatado no item 3.5.2.

As hastes de argamassa que representam os agregados reciclados necessitam de maior volume de pasta para fazer o recobrimento da superfície, visto que tal superfície é formada por argamassa e, portanto, apresenta maior coeficiente de atrito e respectiva retenção de pasta durante o processo de escorrimento. Já na haste de vidro, verificou-se maior escorrimento da pasta na sua superfície, resultando em uma espessura de camada menor.

Segundo Jimma e Rangaraju (2014) há correlação entre a espessura de pasta teórica (EPT) e o espalhamento a qual pode ser observada em todas as relações a/c tanto nos ensaios com as hastes de vidro quanto com as hastes de argamassa. Nesta pesquisa o modelo de regressão exponencial ajusta os dados mais apropriadamente do que outros métodos de ajuste de curvas, com valor R^2 de 0,87 para ambas as hastes, como apresentado na Figura 69.

Figura 69 – EPT (mm) em função do Espalhamento (mm)



Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com Xie et al. (2018) a espessura diminui com o aumento da fluidez da pasta de cimento. Esse fenômeno, também foi verificado nesta pesquisa, nos dois ensaios realizados com as hastes e em todas as relações a/c , conforme foi apresentado na Figura 69.

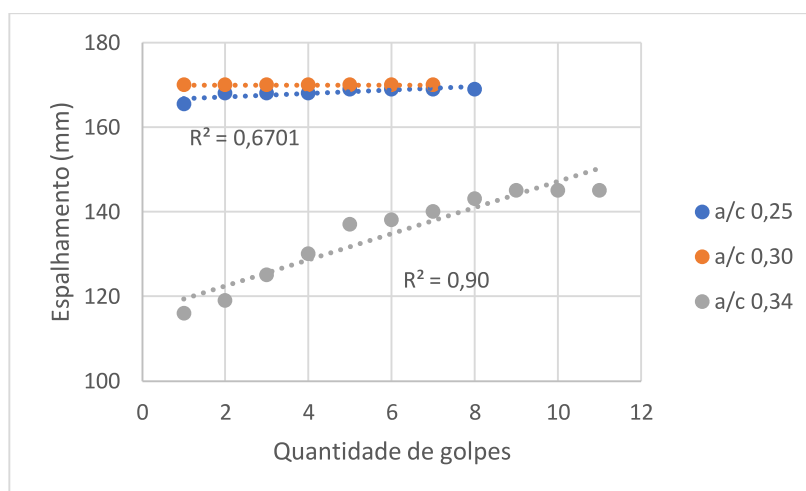
Verifica-se que a relação entre espessura de pasta teórica (EPT) e espalhamento apresentou o mesmo comportamento encontrado na relação entre EPT e teor de aditivo.

Como mencionado anteriormente a partir da seleção das EPT considerando as hastes de vidro e a de argamassa, foi possível fazer a dosagem dos concretos permeáveis desta pesquisa (descrita no item 3.5.2), a partir disso foi determinado o percentual de volume de pasta em cada mistura produzida. Dessa forma, foi possível relacionar o volume de pastas com todas as propriedades que serão apresentadas nos próximos itens tanto para concretos permeáveis com AGN e misturas com AGRC.

Após a caracterização dos concretos no estado endurecido, percebeu-se que a EPT não permitiu a previsão adequada da espessura de pasta. Estima-se que a discordância foi decorrente do processo de adensamento do concreto permeável, que foi realizado por meio de soquete *Proctor*, gerando um esforço dinâmico que não foi reproduzido no ensaio com as hastes nem no espalhamento.

Dessa forma, novamente, foram produzidas as pastas de cimento com as relações a/c 0,25; 0,30 e 0,34, determinadas no item 3.5.1, e que haviam sido utilizadas na produção dos concretos permeáveis. Para cada relação a/c mencionada foram usados os teores de aditivo encontrados na EPT de 0,6 mm. Tais pastas foram colocadas sobre a mesa de queda presente no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos, na qual aplicou-se uma sequência de golpes. Em seguida, com auxílio de uma régua, mediu-se o espalhamento. A aplicação de golpes foi interrompida ao se perceber que o espalhamento começou a se manter constante. Esse processo pode ser visualizado na Figura 70.

Figura 70 – Espalhamento (mm) das pastas de cimento após aplicação de golpes



Fonte: Elaborada pela autora

A partir da Figura 70, verificou-se que somente para a relação a/c 0,34 o aumento da quantidade de golpes proporcionou obter espalhamento maiores. Diante desses resultados constatou-se que a compactação influencia a trabalhabilidade da pasta, fazendo com que a incorporação de energia decorrente dos golpes torne a consistência da pasta mais fluida, em relação a trabalhabilidade inicial.

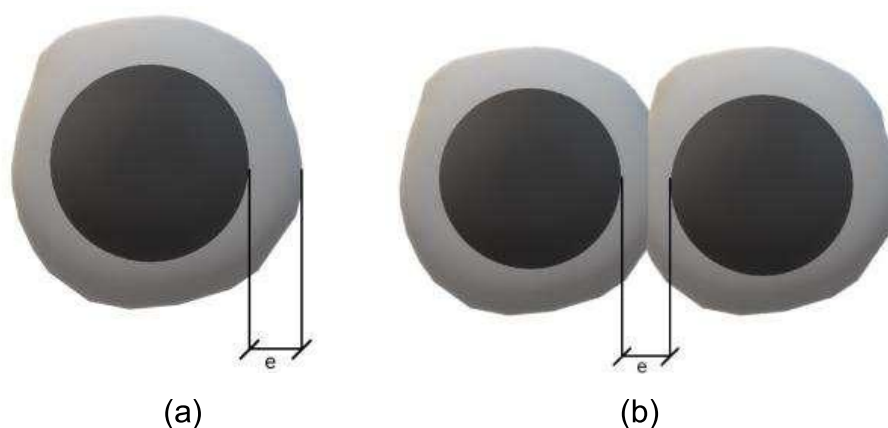
4.1.3 Espessura real de pasta (ERP)

Conforme mencionado no item 3.3.7, foi feita a tentativa de medir a espessura real de pasta em algumas amostras fatiadas dos corpos de prova cilíndricos, tanto com AGN quanto com AGRC, de acordo com o método de Yu, Sun, Wang e Hu (2019).

No entanto, os resultados não se apresentaram coerentes e não foi observado uma tendência de comportamento.

Para melhor visualização, a Figura 71 (a) representa o conceito de espessura de pasta cimentícia apresentada pelos autores Jimma e Rangaraju (2014), Xie et al. (2018), Yu, Sun, Wang e Hu (2019), Liu et al. (2019). Enquanto que a Figura 71 (b) representa a forma como foi medida a espessura real de pasta pelos pesquisadores Yu, Sun, Wang e Hu (2019) e, nesta pesquisa, discutiu-se a execução desse método. Salienta-se que nas imagens, a cor cinza escuro, representa o agregado e o cinza claro, a espessura de pasta de cimento.

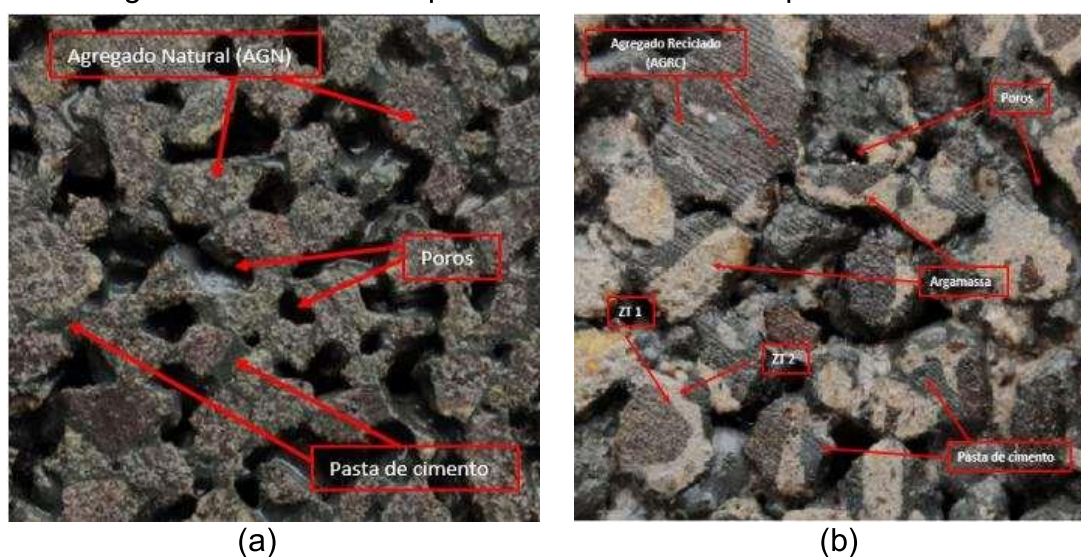
Figura 71 – Determinação da espessura real de pasta (ERP)¹²



Fonte: Elaborada pela autora

Para a medição da espessura real de pasta foram capturadas as imagens de algumas fatias dos concretos permeáveis. Nessas imagens, retratadas na Figura 72, foram identificados elementos, como por exemplo, tipo de agregado, pasta de cimento, poros, no caso dos concretos permeáveis com AGRC foram, também, sinalizadas as zonas de transição ZT1 (zona de transição entre o agregado e a argamassa aderida) e ZT2 (zona de transição entre a argamassa aderida e a nova pasta).

¹² (a) representação do conceito de espessura de pasta cimentícia e (b) forma de medição da ERP pelos autores Yu, Sun, Wang, Hu (2019).

Figura 72 – Elementos presentes nos concretos permeáveis¹³

Fonte: Elaborada pela autora

A partir da realização desta pesquisa outra questão observada, e importante de ser discutida, é sobre a determinação da espessura real de pasta em concretos permeáveis com AGRC. Para essas amostras, também, houve a tentativa de medição da espessura de acordo com o método Yu, Sun, Wang e Hu (2019).

Como mencionado anteriormente entende-se, nesta pesquisa, que não é um procedimento adequado para a determinação da espessura de pasta em concretos permeáveis com AGN e nem para amostras com AGRC. Neste último, um processo que intensifica a dificuldade de encontrar o real valor de espessura é a compactação, que por ser um material com menor resistência, o soquete *Proctor* provoca a desintegração do agregado reciclado, fazendo com que a parte de argamassa se desprenda do agregado natural, e nesse material considerado como agregado reciclado, também passa a se contabilizar a formação de espessura de pasta.

De acordo com as imagens capturadas de amostras com AGRC, observou-se que o processo de compactação proporcionou a desintegração do agregado reciclado de várias formas, como pode ser visto nas figuras abaixo. A Figura 73 está mostrando, de forma ilustrativa, a pasta de cimento envolvendo os agregados reciclados, considerando uma situação sem aplicação do adensamento. Já as Figuras 74 (b) e (c) mostram umas das possíveis maneiras encontradas, nas imagens capturadas, da influência da compactação nos AGRC, dessa forma dificultando a obtenção da espessura real de pasta.

¹³ (a) concretos permeáveis com AGN e (b) concretos permeáveis com AGRC.

Para melhor entendimento das imagens, considera-se a cor cinza claro para o agregado, a cor amarela representando a argamassa aderida ao agregado e a cor cinza escuro a pasta de cimento que envolve o conjunto.

Figura 73 – Pasta de cimento envolvendo os agregados reciclados, sem a realização de adensamento



Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 74 (a) apresenta um exemplo da primeira camada preenchida no corpo de prova cilíndrico de concreto permeável com AGRC, após o processo de compactação. Observou-se na Figura 74 (b) que a compactação pode desintegrar uma parte da argamassa aderida ao agregado, que em função da semelhança de cor será considerado como agregado reciclado, na qual também será medida a espessura de pasta. A Figura 74 (c) representa outra forma de separação dos componentes do AGRC, em virtude da compactação. Duas partes da argamassa podem se desprender do agregado.

Figura 74 – Diferentes formas de acontecer a desintegração do agregado reciclado, em virtude do processo de compactação



(a)



(b)

(c)

Fonte: Elaborada pela autora

Outras maneiras de ocorrer a desintegração do agregado reciclado de concreto foram constatadas, no entanto neste experimento só foram mostradas duas, para poder explicar a complexidade da determinação da espessura real de pasta em concretos permeáveis com AGRC.

4.2 Consistência da mistura

Utilizou-se, neste experimento, o teste empírico mencionado por Xie et al. (2018) cujo processo tem por objetivo verificar a adesão da pasta de cimento entorno dos grãos do concreto permeável, após o período de mistura na betoneira. Esse teste tátil e visual consiste em apertar uma porção da mistura com a mão e analisar se há a formação de uma pequena aglomeração de partículas.

Todas as misturas de concreto permeável com AGN produzidos, considerando as diferentes relações a/c, apresentaram alta fluidez da pasta de cimento ao redor dos agregados, provocando a desagregação do concreto no ensaio de abatimento realizado segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Tal fato ocorrido devido à falta de coesão entre os grãos da mistura. Tais observações estão representadas na Figura 75.

Figura 75 – Ensaio no estado fresco do concreto permeável com AGN



Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se na Figura 75 que os resultados obtidos não se mostraram de acordo com o especificado pelos autores Xie et al. (2018) para se produzir concretos permeáveis com bons desempenhos mecânicos e de permeabilidade, ou seja, não houve a formação de uma pasta de cimento com adesão adequada nem mesmo a formação do concreto permeável em formato de uma esfera nas misturas. No entanto, os concretos permeáveis feitos com AGN, nesta pesquisa, apresentaram valores elevados de resistências cujos resultados são apresentados no item 4.4 e 4.5.

Os coeficientes de permeabilidade, para os concretos permeáveis com AGN, se mostraram dentro do recomendado pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015), mas foram relativamente baixos se comparados a outras pesquisas como a de Chandrappa e Biligiri (2016a), em virtude de se ter maior quantidade de pasta nas amostras, acredita-se que houve a precipitação dessa pasta no interior do material, o que em alguns corpos de prova ocasionou colmatação dos poros na parte inferior, impossibilitando a passagem de água.

Outra questão que intensificou o processo de obstrução dos poros, além da alta fluidez da pasta, foi a aplicação do processo de compactação com soquete *Proctor*.

As misturas com AGRC apresentaram um comportamento diferente dos concretos permeáveis com AGN. Assim como verificado por Rizvi et al. (2010), nesta pesquisa, também foi possível obter slump zero para todas as misturas com as diferentes relações a/c. Neste caso, todas as combinações produziram pasta de cimento com adesão adequada para agregar os grãos, assim formou-se esferas com os concretos permeáveis. Esse comportamento é considerado adequado segundo Xie et al. (2018). Na Figura 76, para melhor visualização, constam as informações relatadas.

Figura 76 – Ensaios no estado fresco do concreto permeável com AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

A utilização de AGRC na produção de concretos permeáveis possibilitou a obtenção de resultados de resistência elevados, apresentados no item 4.4 e 4.5, ao serem comparados com os valores disponibilizados na literatura por Rizvi, Tighe, Henderson e Norris (2010). Com relação ao coeficiente de permeabilidade, descritos no item 4.7, também se apresentou dentro dos limites recomendados pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015). Entretanto, foi observado a colmatação da parte inferior de alguns corpos de prova impedindo a passagem da água, mesmo comportamento obtido com as misturas com AGN.

4.3 Massa específica no estado fresco

Os resultados obtidos para a massa específica no estado fresco dos concretos permeáveis estão apresentados na Tabela 27, na qual, também consta o tipo de agregado, as relações a/c , os respectivos volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica.

Tabela 26 – Massa específica no estado fresco (kg/m³)

Tipo de agregado	a/c	Volume de Pasta (%)	EPT (mm)	Massa específica (kg/m ³)
AGN	0,25	23	0,2	1715,04
		23	0,4	1727,78*
		23	0,6	1842,49
AGRC	0,25	26	0,3	1630,73
		26	0,5	1642,49
		25	0,7	1613,08
AGN	0,30	25	0,2	1908,18
		25	0,4	1873,86
		26	0,6	1957,20
AGRC	0,30	29	0,3	1890,53**
		29	0,5	1920,92
		29	0,7	1921,90
AGN	0,34	26	0,2	1961,12**
		27	0,4	1979,75
		27	0,6	1979,75
AGRC	0,34	30	0,3	2008,18**
		30	0,5	2022,88
		30	0,7	1954,25

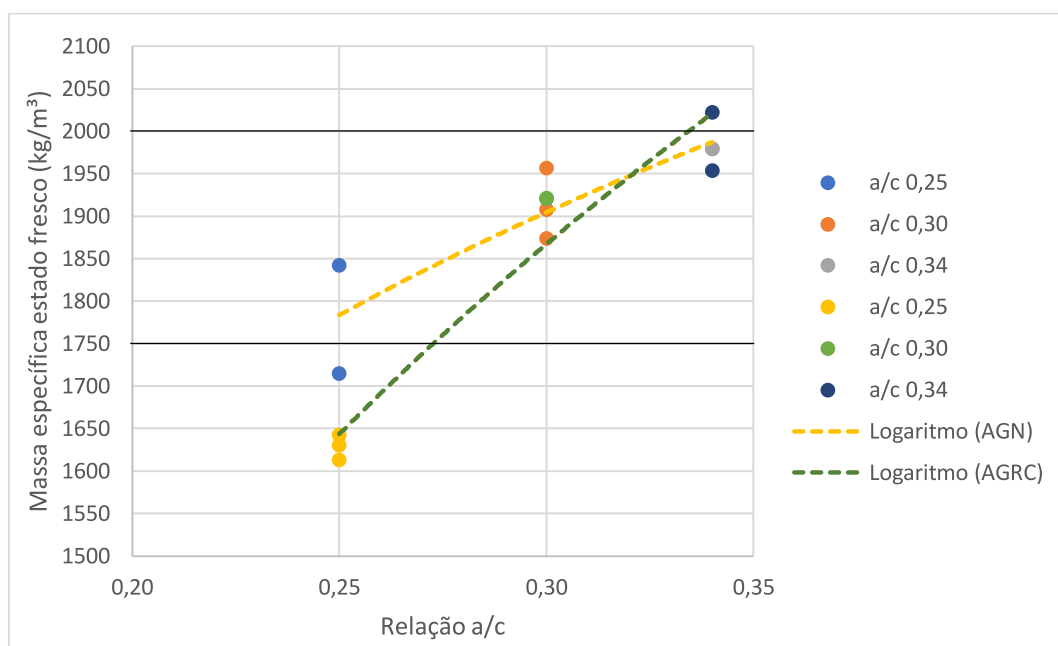
* Obtenção de um valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

** Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 77 apresenta os valores de massa específica no estado fresco tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC considerando as diferentes relações a/c. As duas propriedades compartilham uma relação logarítmica, dessa forma, uma análise de regressão logarítmica foi empregada com coeficiente de determinação R² de 0,78 para AGN e R² de 0,94 para as amostras com AGRC.

Figura 77 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função da relação a/c



Fonte: Elaborada pela autora

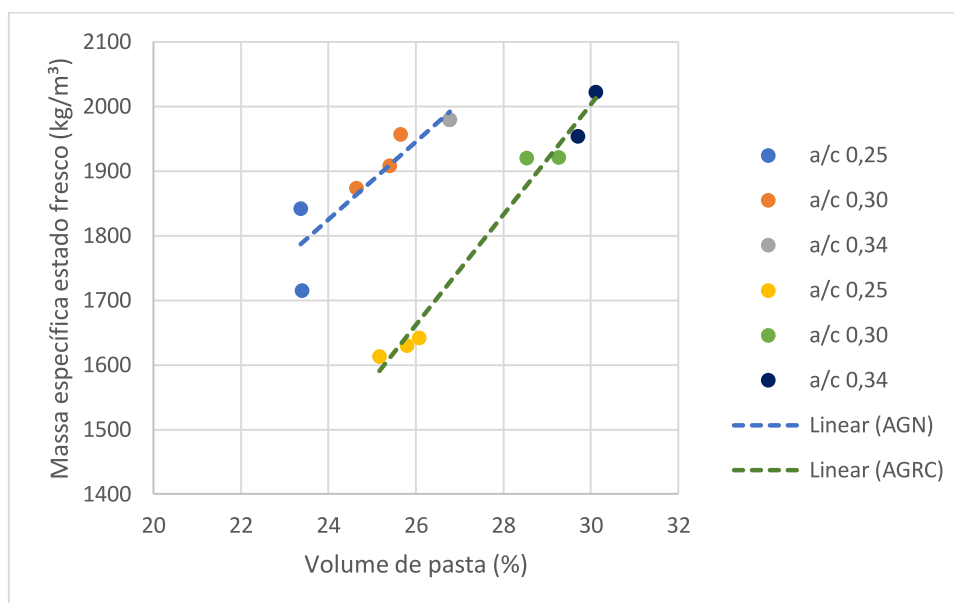
Observa-se que à medida que se aumentou a relação a/c houve uma elevação dos valores de massa específica. Esse fenômeno foi similar em ambos concretos produzidos com diferentes tipos de agregado.

Segundo Batezini (2013) a densidade depende do tipo de material utilizado, em virtude disso, os menores valores dessa propriedade, obtidos nesta pesquisa para as misturas com AGRC, estão relacionados com as características inferiores do agregado reciclado comparadas com as do AGN. Conforme apresentado anteriormente a massa específica do AGRC é menor que a do AGN.

A ASTM C1688 (2014) recomenda que as massas específicas do concreto permeável estejam entre 1750 a 2000 kg/m^3 . Em virtude disso, verificou-se apenas que a relação a/c 0,25 para o concreto permeável com AGRC não proporcionou resultados dentro do limite inferior estabelecido em norma.

Pode-se identificar uma relação entre o volume de pasta e a massa específica tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, visualizada na Figura 78.

Figura 78 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função do volume de pasta (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Constatou-se, a partir da Figura 78, que tanto a massa específica quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação linear com coeficiente de determinação R^2 de 0,81 para concretos com AGN e R^2 de 0,98 para as misturas com AGRC. As retas geradas em ambos casos representaram fortemente os valores encontrados na pesquisa. Verificou-se, em ambas as retas, que elevados volumes de pasta proporcionaram a obtenção de maiores massas específicas nas amostras. Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram maiores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram menores teores de aditivo.

4.4 Resistência à compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão média f_c , med (MPa) aos 28 dias dos concretos permeáveis estão apresentados na Tabela 28. Na tabela, também, constam os desvios padrão entre as amostras, o tipo de agregado, as relações a/c, os respectivos volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica. Salienta-se que foi realizado uma média dos resultados com o objetivo de poder plotar os pontos e, assim, verificar a consistência do conjunto de dados.

Tabela 27 – Resistência à compressão média $f_{c, med}$ (MPa)

Tipo de agregado	a/c	Volume de pasta (%)	EPT (mm)	Resistência à compressão média ($f_{c, med}$ -MPa)	Desvio Padrão médio
AGN	0,25	23	0,20	15,54	0,70
		23	0,40	16,23*	0,85
		23	0,60	20,32	1,44
AGRC	0,25	26	0,30	8,50	0,65
		26	0,50	7,10	1,00
		25	0,70	6,21	0,82
AGN	0,30	25	0,20	19,93	2,86
		25	0,40	21,01	0,42
		26	0,60	28,00	2,04
AGRC	0,30	29	0,30	17,20**	2,04
		29	0,50	19,59	1,90
		29	0,70	17,36	1,20
AGN	0,34	26	0,20	18,30**	1,22
		27	0,40	24,61	0,96
		27	0,60	25,83	1,99
AGRC	0,34	30	0,30	20,44**	2,76
		30	0,50	19,60	1,68
		30	0,70	18,00	0,88

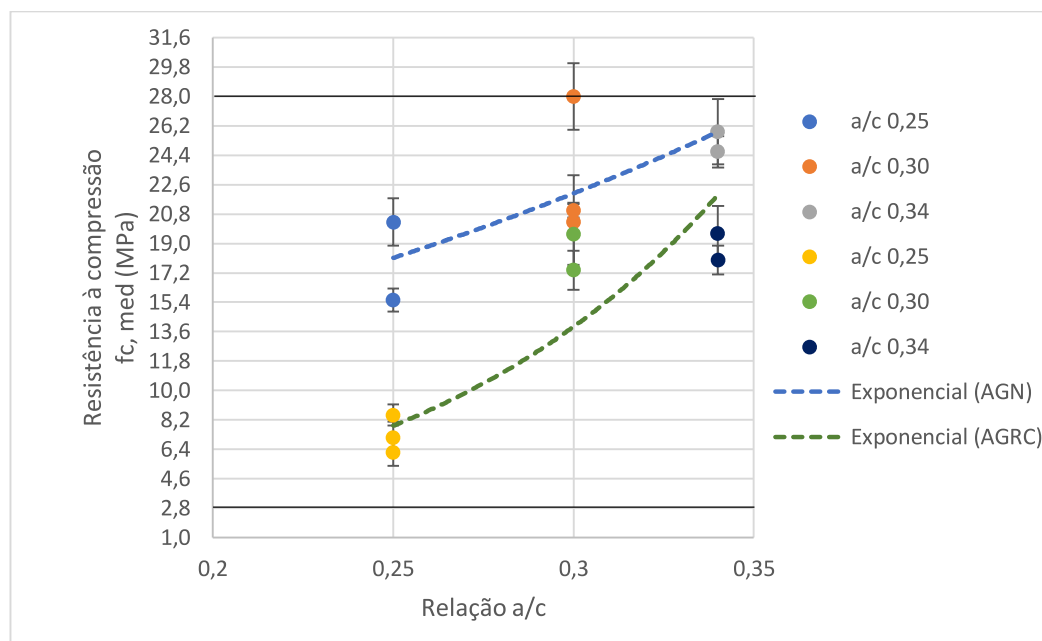
* Obtenção de um valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

** Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 79 apresenta os valores de resistência à compressão média ($f_{c, med}$) tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC considerando as diferentes relações a/c. As duas propriedades compartilham uma relação exponencial, dessa forma, uma análise de regressão exponencial foi empregada com coeficiente de determinação R^2 de 0,54 para AGN e R^2 de 0,82 para as amostras com AGRC.

Figura 79 – Resistência à compressão média $f_{c, med}$ (MPa) em função da relação a/c



Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se, a partir da Figura 79, que a resistência à compressão média aumentou exponencialmente com o aumento da relação a/c. Esse fenômeno foi similar em ambos concretos produzidos com diferentes tipos de agregado.

O comportamento é oposto ao observado em concretos plásticos não permeáveis. Como explicação para o fenômeno, estima-se que em função do processo de adensamento, os agregados ficaram muito próximos entre si, praticamente se encostando um no outro. A pasta tem a função de preencher parte dos vazios entre os grãos, sendo que maiores volumes de argamassa tendem a diminuir o volume de vazios e propiciar maior resistência ao concreto. Considerando que todos os traços elaborados com um determinado tipo de agregado possuem a mesma quantidade de cimento, o aumento da quantidade de água em maiores relações água/cimento gera um maior volume de pasta, que preenche maior quantidade de vazios entre os grãos e, conseqüentemente, aumenta a resistência do concreto.

Ao se associar os valores de resistência a compressão dos concretos permeáveis e os valores de resistência a compressão das pastas, que são respectivamente de 100,32 MPa para a/c 0,25; 69,08 MPa para a/c 0,30 e 60,87 MPa para a/c 0,34 (item 3.5.1), observa-se que a influência do volume de vazios supera fortemente a da resistência da pasta, uma vez que a resistência do concreto apresenta um comportamento inverso ao da resistência das pastas.

Assim como verificado por Rizvi et al. (2010), nesta pesquisa, constata-se a partir da Figura 79, que as amostras com AGN apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos encontrados para os concretos com AGRC.

Segundo Yap et al. (2018) a fraca união entre agregado e pasta dos concretos com agregado reciclado foi devido a deficiências do concreto que deu origem ao agregado graúdo reciclado. Esse fato foi atribuído a argamassa aderida ao agregado reciclado. Os autores abordam que em virtude da presença de argamassa haverá uma redução da quantidade de pasta de cimento, pois esse material absorverá água da mistura. Diante desses fenômenos relatados, os pesquisadores constataram que misturas com agregado reciclado obtiveram pouca aderência entre a pasta de cimento e o agregado graúdo e, conseqüentemente, apresentaram uma redução da resistência à compressão.

Outra justificativa para a redução das resistências à compressão dos concretos permeáveis com AGRC em comparação aos concretos com AGN, segundo Guneyisi et al. (2016), é pelo fato da presença de duas zonas de transição no AGRC uma proveniente da argamassa antiga nas partículas de agregado natural e a outra formada entre a argamassa antiga e a nova pasta de cimento. Aliabdo, Elmoaty e Fawzy (2018) também apontaram que essa redução pode ser devido a elevados índices de vazios presentes nos concretos permeáveis com resíduos da construção.

Os autores Guneyisi et al. (2016) mencionaram que aumentar a qualidade da pasta de cimento e aumentar a espessura dessa camada é uma forma eficaz de melhorar a resistência à compressão do concreto permeável com AGRC. No entanto, nesta pesquisa, essas constatações foram identificadas apenas nas misturas com AGN.

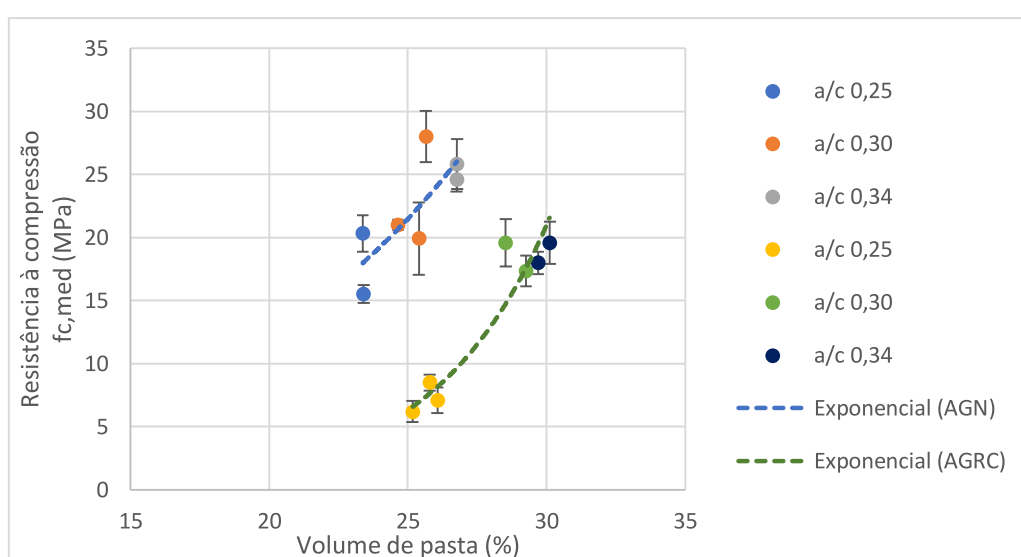
Apesar do uso do agregado reciclado afetar a resistência à compressão do concreto permeável, os resultados alcançados com AGRC, assim como os obtidos com AGN, atingiram os intervalos típicos abordados pela ACI 522 (2010), entre 2,8 MPa a 28 MPa.

Os valores encontrados de resistência à compressão média nesta pesquisa são tidos como elevados na produção do concreto permeável com AGRC se comparados a pesquisas realizadas por Yap et al. (2018) e Guneyisi et al. (2016) que utilizaram materiais semelhantes. Pode justificar esse fato, segundo Guneyisi et al. (2016) e Mohammed et al. (2018), devido a utilização do agregado graúdo de menor dimensão

que proporciona o aumento na área de ligação entre a pasta cimentícia e o agregado, resultando em maiores valores de resistência à compressão do concreto permeável.

Identificou-se uma relação entre o volume de pasta e resistência à compressão tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 80 na qual, também, constam os desvios padrão dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Figura 80– Resistência à compressão $f_{c,med}$ (MPa) em função do volume de pasta (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Verificou-se, a partir da Figura 80, que tanto a resistência à compressão quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação exponencial com coeficiente de determinação R^2 de 0,61 para concretos com AGN e R^2 de 0,92 para as misturas com AGRC. Verificou-se, em ambas as curvas, que elevados volumes de pasta originaram maiores resultados de resistência à compressão nas amostras, como também foi constatado por Costa (2019). Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram maiores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram menores teores de aditivo

Conclui-se que nos concretos permeáveis o volume de pasta é uma variável importante para a definição da resistência a compressão, sendo a relação entre o volume de pasta e a resistência a compressão é mais expressiva do que a encontrada entre a relação água/cimento e a resistência a compressão. Através da análise de

variância ANOVA, Costa (2019), identificou que há influência do volume de pasta nos resultados de resistência à compressão.

Ao analisar, nesta pesquisa, verificou-se que o uso de aditivo teve o intuito de alterar a espessura de pasta aderida ao agregado o qual, em geral, resultou na diminuição da resistência, uma vez que o aumento no teor de aditivo gerou diminuição da resistência a compressão. Desta forma, a dosagem do concreto permeável deve dar ênfase ao volume de pasta no concreto, seguida da definição da relação a/c da pasta.

Diante dos resultados encontrados, neste estudo, é possível identificar que a resistência à compressão, no concreto permeável, depende de algumas variáveis, como por exemplo, densidade; porosidade e controle da relação a/c a partir da consistência – adesão pasta/agregado e precipitação da pasta. Dentro dessa relação, também, deve-se levar em consideração, assim como mencionado por Costa (2019), as propriedades físicas do agregado os quais influenciam tanto nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto permeável.

O mesmo comportamento observado nos concretos convencionais, também, é identificado nos concretos permeáveis quanto a fragilidade da zona de transição que pode ser gerada pela falta ou excesso de água na mistura e falta de aderência. Tal fenômeno afeta os resultados de resistência. Assim, para a produção do concreto permeável é importante considerar o controle da consistência, densidade, índice de vazios e zona de transição para se obter materiais com melhores desempenhos mecânicos. (COSTA, 2019).

Assim como identificado nos estudos de Costa (2019), nesta pesquisa, também se verificou a dificuldade de comparação dos resultados de resistência à compressão obtidos neste estudo com as demais pesquisas realizadas por outros pesquisadores, em virtude das divergências dos métodos de dosagem e compactação.

4.5 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão média $f_{ct,sp}$ med (MPa) aos 28 dias dos concretos permeáveis estão apresentados na Tabela 29. Na tabela também constam os desvios padrão das amostras, o tipo de agregado, as relações a/c, os volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica.

Salienta-se que foi realizado uma média dos resultados com o objetivo de poder plotar os pontos e, assim, verificar a consistência do conjunto de dados.

Tabela 28 – Resistência à tração na flexão média $f_{ct,sp}$ (MPa)

Tipo de agregado	a/c	Volume de pasta (%)	EPT (mm)	Resistência à tração na flexão média ($f_{ct,sp}$ med-MPa)	Desvio Padrão médio
AGN	0,25	23	0,20	3,15	0,24
		23	0,40	2,86*	0,71
		23	0,60	3,14	0,37
AGRC	0,25	26	0,30	1,72	0,08
		26	0,50	1,29	0,14
		25	0,70	0,85	0,14
AGN	0,30	25	0,20	4,43	0,76
		25	0,40	4,56	0,64
		26	0,60	3,95	0,51
AGRC	0,30	29	0,30	3,06**	0,22
		29	0,50	3,15	0,09
		29	0,70	2,83	0,17
AGN	0,34	26	0,20	3,46**	0,14
		27	0,40	3,35	0,25
		27	0,60	3,04	0,03
AGRC	0,34	30	0,30	4,06**	0,11
		30	0,50	3,17	0,21
		30	0,70	3,25	0,12

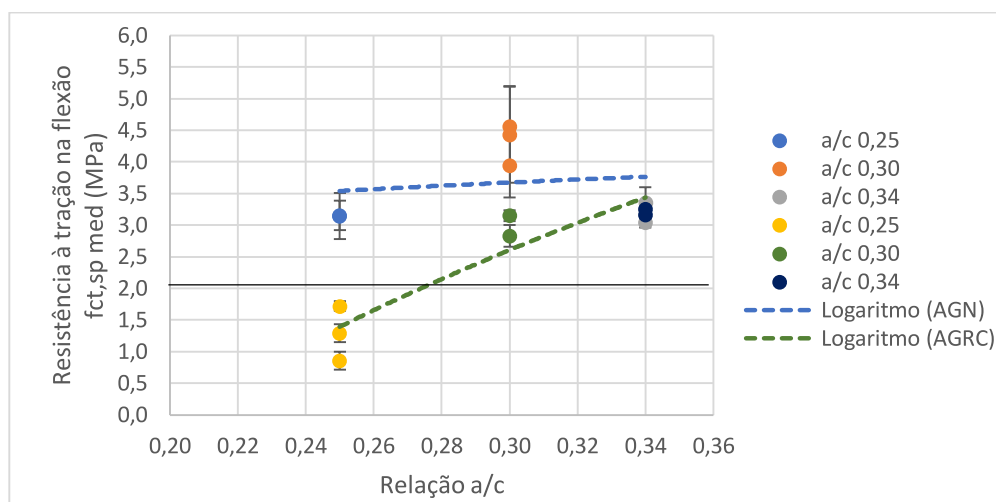
*Obtenção de um valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

** Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 81 apresenta os valores de resistência à tração na flexão média ($f_{ct,sp}$ med) tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC considerando as diferentes relações a/c. As duas propriedades compartilham uma relação logarítmica, dessa forma, uma análise de regressão logarítmica foi empregada com coeficiente de determinação R^2 de 0,02 para AGN e com R^2 de 0,86 para as amostras com AGRC. Constata-se que a curva gerada para o concreto permeável com AGN não representou fortemente os valores encontrados.

Figura 81 – Resistência à tração na flexão média $f_{ct,sp\ med}$ (MPa) em função da relação a/c



Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se, a partir da Figura 81, que a resistência à tração na flexão média aumentou com o aumento da relação a/c . Esse fenômeno foi similar em ambos concretos produzidos com diferentes tipos de agregado, mostrando-se mais expressivo as amostras com AGRC.

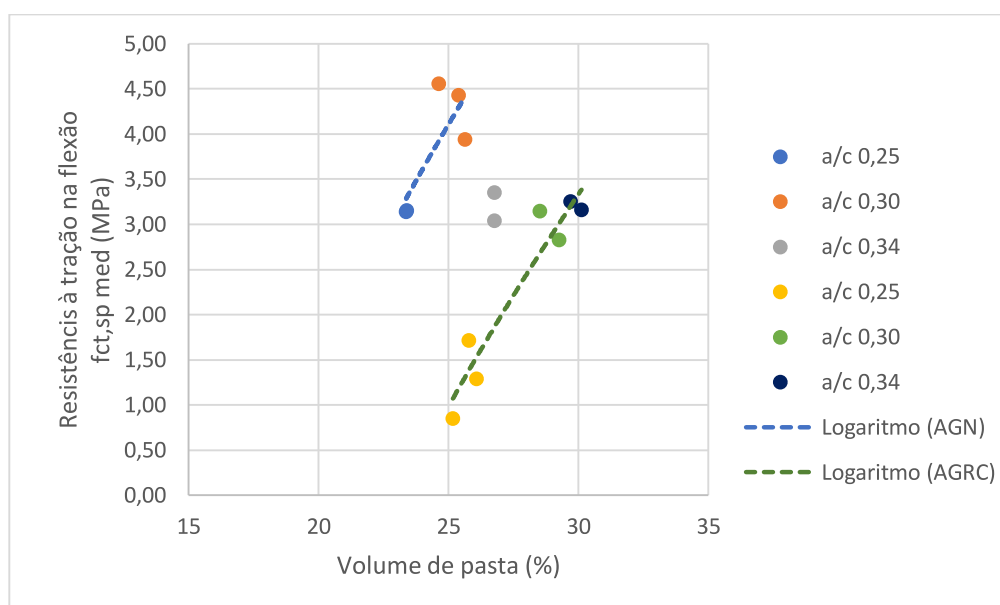
Assim como verificado por El-Hassan; Kianmehr e Zouaoui (2019), é possível constatar nesta pesquisa, a partir da Figura 81, que as amostras com AGN apresentaram valores de resistência à tração na flexão superiores aos encontrados para os concretos com AGRC.

Segundo Balbo (2005) os pavimentos de concreto simples, no Brasil, apresentam resistência à tração na flexão entre 2,5 a 4,5 MPa. Considerando que para tráfego mais intenso utiliza-se resistências acima de 4,0 MPa, em virtude disso, o uso do concreto permeável nesse tipo de tráfego não é viável, visto que esse material possui altos índices de vazios e baixa resistência o que acarretaria, no processo de aplicação, a necessidade da produção de elevadas espessuras. (COSTA, 2019).

É possível verificar, diante dos resultados de resistência à tração na flexão encontrados neste experimento, que todas as amostras produzidas com AGN e concretos permeáveis com AGRC de relações a/c 0,30 e 0,34, de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), atingiram a resistência à tração na flexão mínima de projeto mencionada na NBR 16416 (ABNT, 2015).

Identificou-se uma relação entre o volume de pasta e resistência à tração na flexão tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 82 na qual, também, constam os desvios padrão da respectiva propriedade mecânica.

Figura 82– Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp\ med}$ (MPa) em função do volume de pasta (%)



Fonte: Elaborada pela autora

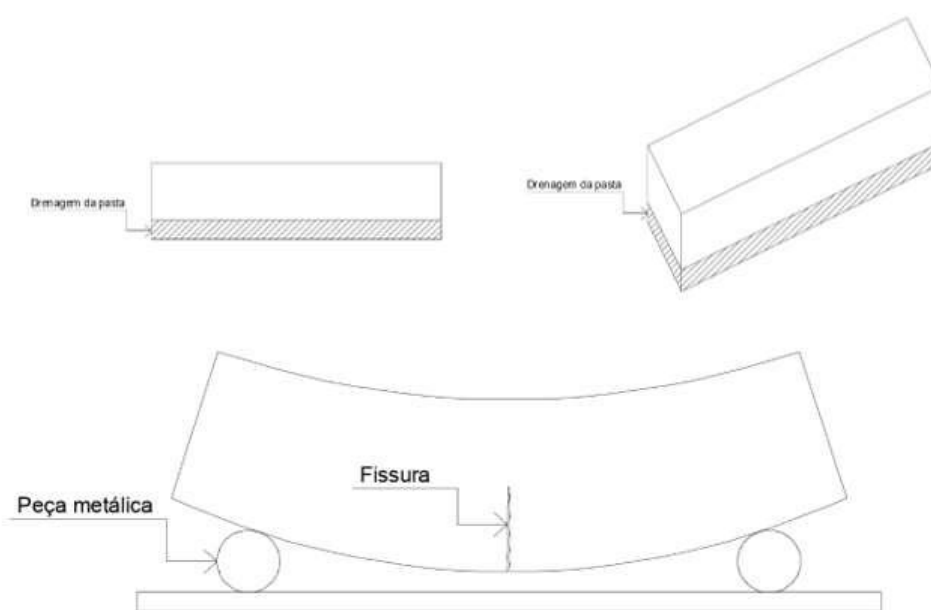
Constatou-se, a partir da Figura 82, que tanto a resistência à tração na flexão quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação logarítmica com coeficiente de determinação R^2 de 0,63 para concretos com AGN e R^2 de 0,92 para as misturas com AGRC. Verificou-se, em ambas as curvas, que elevados volumes de pasta originaram maiores resultados de resistência à tração na flexão nas amostras. Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram maiores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram menores teores de aditivo.

A partir da Tabela 29, ao relacionar os valores de resistência à tração na flexão com o volume de pasta e espessura de pasta teórica, pode-se observar que os maiores valores de resistência à tração na flexão foram atingidos com menores volumes de pasta tanto em concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC (menores espessuras de pasta). Esse comportamento foi diferente do obtido no ensaio de resistência à compressão. Esse fato pode estar relacionado com a

precipitação de pasta para a camada inferior que aconteceu em alguns dos corpos de prova. Acredita-se que as espessuras selecionadas para este estudo, contribuíram para a formação de misturas muito fluidas, com isso, houve o escorrimento da pasta. Como já mencionado essa pasta se acumulou na camada inferior dos corpos de prova que, ao serem submetidos para o ensaio de tração na flexão, acabaram apresentando maiores resultados, visto que, no ensaio o rompimento ocorre na parte inferior da amostra, onde se encontram a maior quantidade de pasta, conforme pode ser observado na ilustração Figura 83.

É importante considerar, também, que a resistência à compressão das pastas segue a lei de *Abrams*, sendo provável que as pastas de maior resistência apresentam uma zona de transição com o agregado de melhor qualidade, fatores que proporcionam melhor resistência à tração.

Figura 83 – Rompimento dos corpos de prova no ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborada pela autora

Conclui-se que nos concretos permeáveis o volume de pasta é a variável mais importante para a definição da resistência à tração na flexão, sendo mais expressiva do que a relação água/cimento

Ao analisar, por exemplo, uma relação a/c e suas respectivas espessuras de pasta teórica (volume de pasta), pode-se constatar que a influência do uso de aditivo

com o intuito de alterar a espessura de pasta aderida ao agregado foi relevante para a determinação da resistência à tração na flexão, ou seja, o aumento de aditivo proporcionou maiores valores de resistência à tração.

4.6 Perda de massa por abrasão

Para avaliar os aspectos relacionados à segurança e a durabilidade de concretos permeáveis foi realizado o ensaio de resistência à abrasão (aos 28 dias) cujos resultados estão apresentados na Tabela 30, na qual também constam o tipo de agregado, as relações a/c, os volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica.

Tabela 29 – Perda de massa (%)

Tipo de agregado	a/c	Volume de pasta (%)	EPT (mm)	Perda de massa (%)
AGN	0,25	23	0,20	32,15
		23	0,40	32,68*
		23	0,60	33,24
AGRC	0,25	26	0,30	65,03
		26	0,50	69,05
		25	0,70	80,95
AGN	0,30	25	0,20	32,49
		25	0,40	23,34
		26	0,60	20,38
AGRC	0,30	29	0,30	21,14**
		29	0,50	20,00
		29	0,70	18,34
AGN	0,34	26	0,20	23,66**
		27	0,40	16,55***
		27	0,60	22,67
AGRC	0,34	30	0,30	18,79**
		30	0,50	20,01
		30	0,70	19,58

* Obtenção de um valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

** Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

*** Valor obtido com dois corpos de prova.

Fonte: Elaborada pela autora

Na Figura 84 foi apresentado algumas imagens dos corpos de prova após serem submetidos ao ensaio de abrasão, com intuito de melhor visualização de como

ocorreu esse processo de perda. A Figura 84 (a) mostra o formato de como ficaram as amostras de concreto permeável com AGN com relação a/c 0,25 referente a espessura de pasta (EPT) de 0,6 mm. Já na Figura 85 (b) é apresentado corpos de prova de concreto permeável com AGRC, relação a/c 0,25 com EPT 0,6 mm.

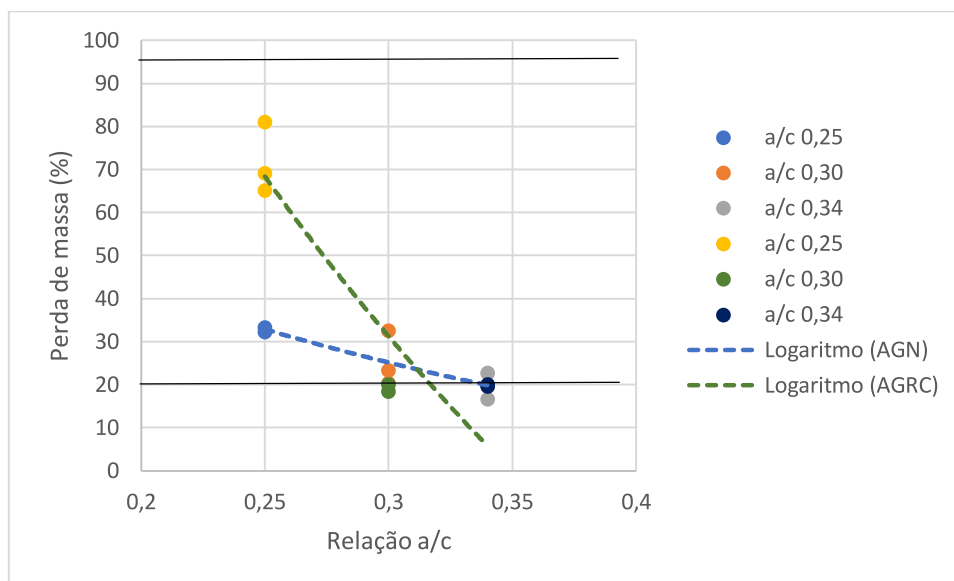
Figura 84 – Formato dos corpos de prova de concretos permeáveis após serem submetidos ao ensaio de abrasão



Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 85 apresenta os valores de perda de massa tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC considerando as diferentes relações a/c . As duas propriedades compartilham uma relação logarítmica, dessa forma, uma análise de regressão logarítmica foi empregada com coeficiente de determinação R^2 de 0,63 para AGN e com R^2 de 0,84 para as amostras com AGRC.

Figura 85 – Perda de massa (%) em função da relação a/c



Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se, a partir da Figura 85, que maiores valores de relação a/c possibilitaram menores perdas de massa. Esse fenômeno foi similar em ambos concretos produzidos com diferentes tipos de agregado e se mostrou mais expressivo nas amostras com AGRC. Essas conclusões foram também verificadas por Aliabdo, Elmoaty e Fawzy (2018); Yap et al. (2018).

Os valores obtidos de perda de massa, nesta pesquisa, estão dentro dos limites inferiores e superiores que foram mencionados tanto na norma ASTM C1747 (2013) quanto nos estudos de Aliabdo, Elmoaty e Fawzy (2018) e que foram retratados na Figura 88.

As amostras com AGRC e de relação a/c inferiores a 0,30 apresentaram maiores perdas de massa comparados com os concretos com AGN, ou seja, são materiais mais suscetíveis a serem desgastadas sob processo de abrasão.

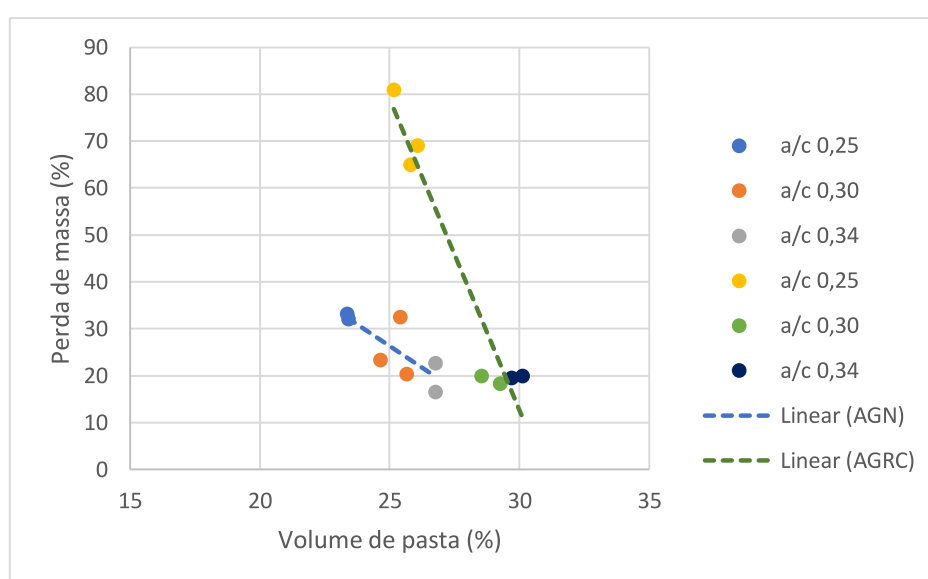
Um das possibilidades levantadas pelos autores Yap et al. (2018) que justifica o fato de concretos permeáveis com AGRC apresentarem maiores perdas de massa decorre das características inferiores do agregado reciclado comparadas a dos AGN, em função da presença de argamassa aderida ao agregado. Os autores El-Hassan; Kianmehr e Zouaoui (2019), também, salientam que o uso de agregados reciclados proporciona uma fraca ligação entre a pasta cimentícia e o agregado, devido a presença de poros e a possibilidade de conter fissuras na argamassa.

Segundo Kia; Wong e Cheeseman (2017) a vida útil do concreto permeável varia de 6 a 20 anos e o fim de sua vida útil é geralmente causado pela degradação

ou desgaste excessivo da superfície. Pode-se observar no que existem outros parâmetros que interferem diretamente na perda de massa, por exemplo, o aumento do índice de vazios acarreta a redução dos valores de resistência à compressão e, conseqüentemente, diminui a resistência à abrasão.

Diante dos resultados obtidos na Tabela 30, foi possível identificar uma relação entre o volume de pasta e a perda de massa tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 86.

Figura 86 – Perda de massa (%) em função do volume de pasta (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Constatou-se, a partir da Figura 86, que tanto a perda de massa quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação linear com coeficiente de determinação R^2 de 0,60 para concretos com AGN e R^2 de 0,94 para as misturas com AGRC. A reta gerada nas amostras com apenas AGRC representou fortemente os valores encontrados na pesquisa, havendo mais dispersão nos concretos com AGN.

Verificou-se, em ambas as retas, que menores volumes de pasta originaram maiores perdas de massa nas amostras. Esse comportamento se justifica principalmente pelo menor volume de pasta ser encontrado nos concretos com menor resistência a compressão.

4.7 Coeficiente de Permeabilidade

Os resultados dos coeficientes de permeabilidade K (m/s) aos 28 dias dos concretos permeáveis estão apresentados na Tabela 31, na qual também são apresentados o tipo de agregado, as variações de relação a/c, os respectivos volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica.

Tabela 30 – Coeficiente de permeabilidade K (m/s)

Tipo de agregado	a/c	Volume de pasta (%)	EPT (mm)	Coeficiente de permeabilidade K (m/s)
AGN	0,25	23	0,20	0,006173
		23	0,40	0,001680*
		23	0,60	0,004573
AGRC	0,25	26	0,30	0,005368
		26	0,50	0,006331
		25	0,70	0,007716
AGN	0,30	25	0,20	0,003527
		25	0,40	0,003741
		26	0,60	0,002245
AGRC	0,30	29	0,30	0**
		29	0,50	0,001506
		29	0,70	0,002129
AGN	0,34	26	0,20	0**
		27	0,40	0,00110
		27	0,60	0,001037
AGRC	0,34	30	0,30	0**
		30	0,50	0,001046
		30	0,70	0,001193

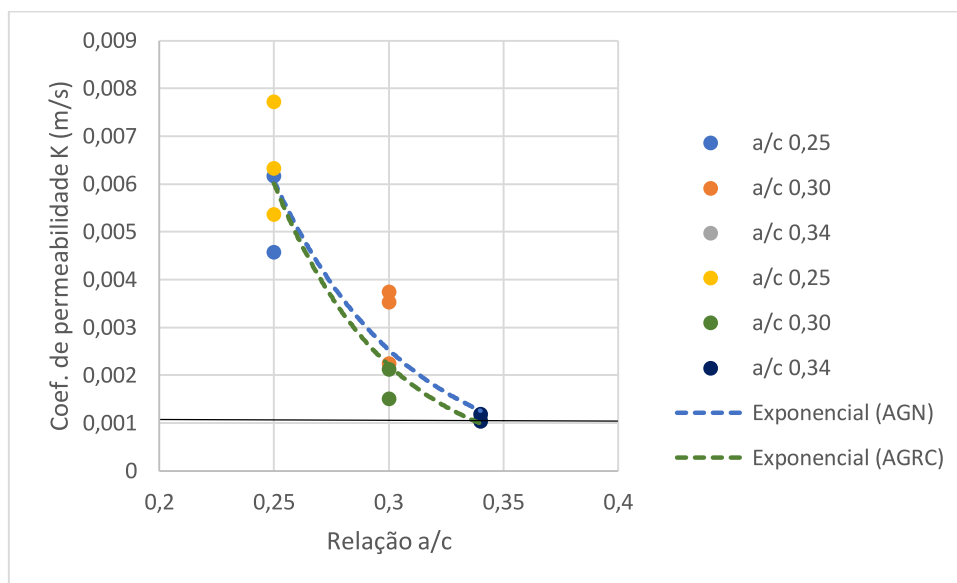
*Valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

** Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 87 apresenta os valores do coeficiente de permeabilidade tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC considerando as diferentes relações a/c. As duas propriedades compartilham uma relação exponencial, dessa forma, uma análise de regressão exponencial foi empregada com coeficiente de determinação R^2 de 0,86 para AGN e R^2 de 0,94 para as amostras com AGRC. Constata-se que as curvas geradas representam fortemente os valores encontrados.

Figura 87 – Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em função da relação a/c



Fonte: Elaborada pela autora

É possível observar que os parâmetros retratados na Figura 87, assim como verificados por Chandrappa e Biligiri (2016a), são inversamente proporcionais, ou seja, pode-se obter elevados valores de coeficiente de permeabilidade utilizando menores relações a/c.

Kia, Wong e Cheeseman (2017) e Yap et al. (2018) mencionam que concretos com valores de permeabilidade situados entre 0,00003 a 0,033 m/s são adequados para serem utilizados como camada de drenagem para pavimentos ou blocos de concreto. Autores como Schaefer, Wang, Suleimman e Kevern (2006); Montes e Halselbach (2006) obtiveram condutividade hidráulica entre cerca de 0,0001 m/s a 0,015 m/s e 0,00014 m/s a 0,0119 m/s, respectivamente. Os valores apresentados, nessa pesquisa, tanto para concretos permeáveis com AGN quanto com AGRC, estão entre os mencionados pelos autores e, estão acima do valor limite estabelecido na norma NBR 16416 (ABNT, 2015) que é de 0,001 m/s.

Assim como identificado por Rizvi et al. (2010); Girardi e Finocchiaro (2017), neste experimento foi possível, verificar que a utilização de AGRC nas misturas contribuiu para que um elevado coeficiente de permeabilidade comparado com amostras com apenas AGN. Isso deve-se ao fato de possuir menor quantidade de pasta de cimento conectando os agregados, devido ao uso elevado do teor de agregado reciclado na mistura (100%) que é responsável por parte da água presente na mistura. Dessa forma, quanto menor o volume de pasta de cimento ligando os

agregados, maior a presença de uma rede porosa que contribuíra para penetração da água.

De acordo com Chandrappa e Biligiri (2016b) existem duas possíveis razões para se obter um concreto com maiores valores de permeabilidade utilizando baixas relações a/c. A primeira possibilidade é que menores relações a/c proporcionem uma redução do revestimento da pasta de cimento ao redor dos agregados sem comprometer os vazios dos agregados. Esse fenômeno faz com que se tenha mais espaços para que a água possa permear, dessa forma contribuíra para se obter maior permeabilidade. A segunda razão mencionada pelos autores é que a trabalhabilidade do concreto permeável está relacionada diretamente com as propriedades da pasta de cimento. Diante disso, menores quantidades de pasta, proporcionará menor lubrificação dos agregados, assim maior será o grau de intertravamento entre os grãos, com isso a mistura apresentará maior resistência ao processo de compactação, maior porosidade e menor densidade. Em virtude disso, menores relação a/c acarretarão maiores permeabilidades ao concreto.

Nas análises de Chandrappa e Biligiri (2016a) é mencionado que a escolha do método para executar o processo de compactação influência nos valores de coeficiente de permeabilidade ao serem comparados com diferentes relações a/c. Tanto esses pesquisadores quanto Saboo, Shivhare, Kori e Chandrappa (2019) utilizaram o mesmo processo de compactação executado nessa pesquisa. Como justificativa do uso dessa forma de compactação Chandrappa e Biligiri (2016a); Chandrappa e Biligiri (2016b); Putman e Neptune (2011) relatam em seus estudos que a utilização do soquete *Proctor* para o adensamento de amostras cilíndricas de concreto permeável em laboratório apresentou uma correlação aceitável com o processo de compactação realizado nos pavimentos de concreto em consideração a estrutura de poros.

Alguns concretos permeáveis exibiram permeabilidade praticamente nula, apesar de terem índice de vazios maior que 15%. Esse acontecimento ocorreu devido a precipitação de parte da pasta para a camada inferior, que provocou a colmatação dos poros, como apresentado na Figura 88, em concretos elaborados com AGN, na relação a/c 0,34 (índice de vazios: 18,51%) e com maiores teores de aditivo. A obstrução dos poros também foi identificada, como apresentado nas Figuras 89 e 90, em concretos elaborados com AGRC, na relação a/c 0,30 (índice de vazios: 18,8%) e a/c 0,34 (índice de vazios: 16,31%) com maiores teores de aditivo.

Figura 88 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGN¹⁴



(a)

(b)

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 89 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGRC a/c 0,30¹⁵



(a)

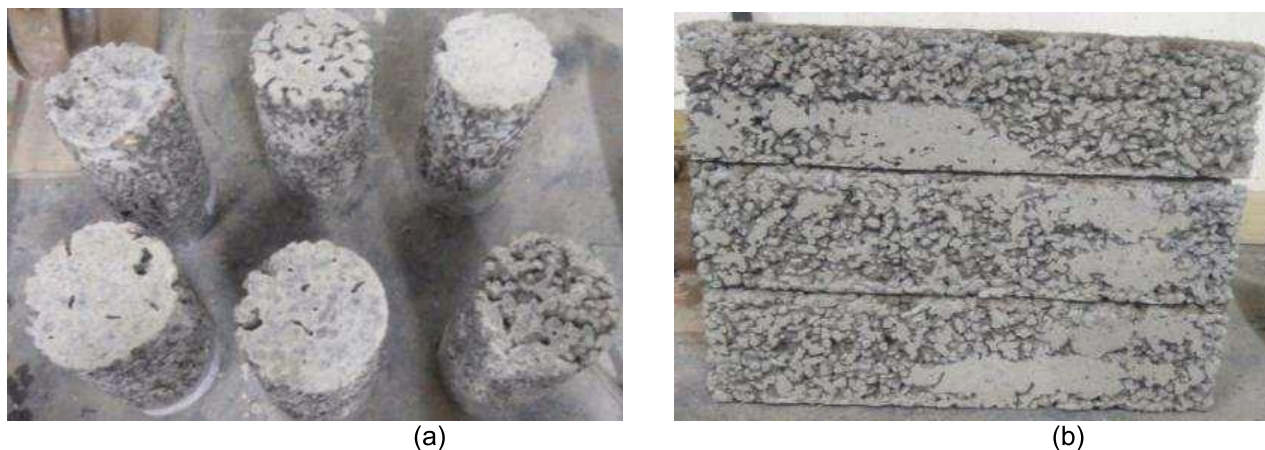
(b)

Fonte: Elaborada pela autora

¹⁴ (a) corpos de prova cilíndricos e (b) corpos de prova prismáticos.

¹⁵ (a) corpos de prova cilíndricos e (b) corpos de prova prismáticos.

Figura 90 – Precipitação da pasta para a camada inferior em concretos permeáveis com AGRC a/c 0,34¹⁶.

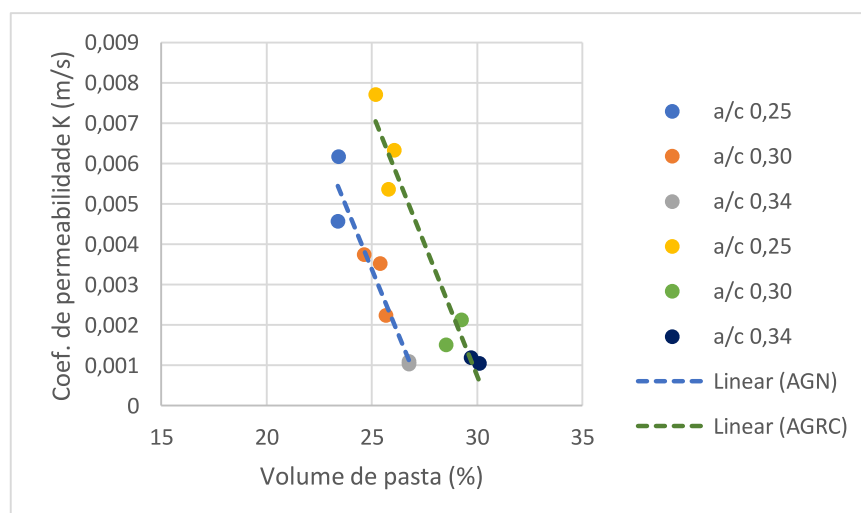


Fonte: Elaborada pela autora

Meininger (1988) salienta que menores relações a/c acarretam aglomerações e maior aderência do concreto durante o processo de mistura, enquanto que maiores relações a/c produzem uma pasta fina que pode escorrer do agregado durante a aplicação, colmatando os poros.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 30, foi possível identificar uma relação entre o volume de pasta e o coeficiente de permeabilidade tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 91.

Figura 91 – Coeficiente de permeabilidade K(m/s) em função do volume de pasta (%)



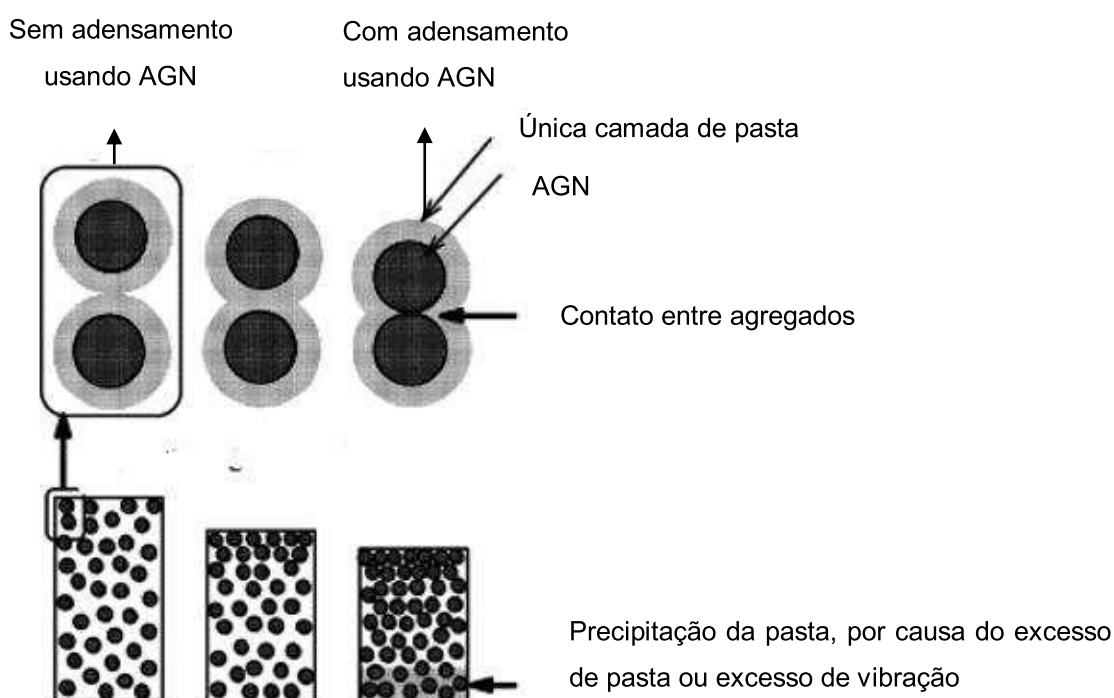
Fonte: Elaborada pela autora

¹⁶ (a) corpos de prova cilíndricos e (b) corpos de prova prismáticos

Constatou-se, a partir da Figura 91, que tanto o coeficiente de permeabilidade quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação linear com coeficiente de determinação R^2 de 0,91 para concretos com AGN e R^2 de 0,93 para as misturas com AGRC. As retas geradas, em ambas situações, representaram fortemente os valores encontrados na pesquisa. Verificou-se, em ambas as retas, que menores volumes de pasta originaram maiores coeficientes de permeabilidade nas amostras. Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram menores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram maiores teores de aditivo.

Um esquema ilustrativo está apresentado na Figura 92 o processo de compactação, ocorrido em amostras com AGN, que também pode influenciar na permeabilidade do concreto permeável. Antes do processo de compactação as pastas dos agregados estão próximas umas das outras e a área de contato é pequena. Já com o processo de adensamento o concreto permeável é compactado gradualmente. A aplicação da energia é maior na parte superior do concreto e a área de contato entre as pastas aumenta. A medida que vai ocorrendo o adensamento os agregados adjacentes na parte superior começam a se aproximar uns dos outros. O excesso de pasta ou de compactação faz com que parte dessa pasta preencha os vazios e seja drenada para a parte inferior do concreto, prejudicando dessa forma a passagem de água pelo material.

Figura 92 – Processo de compactação no concreto permeável com AGN

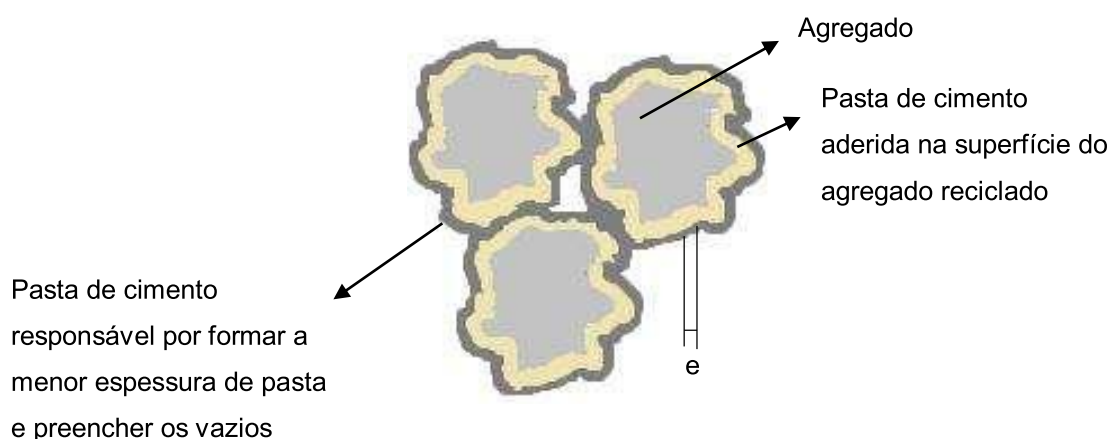


Fonte: Adaptado de Chindaprasirt (2008)

O processo de compactação ilustrado na Figura 92, também, foi verificado nos corpos de prova produzidos com AGRC, no entanto tais concretos, para um mesmo volume de pasta, apresentaram maiores coeficientes de permeabilidade se comparados com as amostras com AGN. Essa diferença está relacionada com a textura superficial presente nos AGRC, em virtude da presença de argamassa aderida na superfície. Dessa forma, após o processo de compactação, a área de contato entre as pastas aumenta, mas só que um percentual de pasta, representada na Figura 96, tem a finalidade de preencher os poros presentes nessa argamassa. Assim parte da pasta de cimento é perdida para a argamassa presente no agregado reciclado de concreto.

Ocorrendo o adensamento, a outra parte da pasta se formará, e, será responsável pela formação da espessura de pasta (e) ao entorno do agregado que, comparada com a dos AGN, se apresentarão menores nos AGRC. Já na Figura 93, verifica-se que ao redor do AGN é formada uma única camada. Devido esse processo, acredita-se que os concretos permeáveis com AGRC são mais permeáveis que os concretos com AGN.

Figura 93 – Esquema da formação da espessura de pasta no AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

4.8 Densidade e Índice de vazios no estado endurecido

Os resultados de densidade (kg/m^3) e índice de vazios IV (%) aos 28 dias dos concretos permeáveis estão apresentados na Tabela 32, na qual também são

mostrados o tipo de agregado, as variações de relação a/c, os respectivos volumes de pasta das misturas e as espessuras de pasta teórica.

Tabela 31 – Densidade no estado endurecido (kg/m^3) e Índice de vazios (%)

Tipo de agregado	a/c	Volume de pasta (%)	EPT (mm)	Densidade (kg/m^3)	Índice de vazios (%)
AGN	0,25	23	0,20	1803,18	25,47
		23	0,40	1718,46*	30,21*
		23	0,60	1800,62	25,68
AGRC	0,25	26	0,30	1732,09	28,90
		26	0,50	1760,17	27,60
		25	0,70	1679,85	32,21
AGN	0,30	25	0,20	1919,47	18,93
		25	0,40	1830,76	22,61
		26	0,60	1900,65	17,79
AGRC	0,30	29	0,30	1965,03**	18,80**
		29	0,50	1895,99	19,74
		29	0,70	1976,58	16,79
AGN	0,34	26	0,20	1930,82**	18,51**
		27	0,40	1928,92	15,31
		27	0,60	1949,16	15,28
AGRC	0,34	30	0,30	1963,81**	16,31**
		30	0,50	1991,14	15,75
		30	0,70	1950,81	17,39

*Obtenção de um valor não coerente para a permeabilidade. Em virtude disso esse resultado foi desconsiderado nas análises.

**Valores desconsiderados nas análises, pois o concreto não apresentou permeabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora

A norma ASTM C 1754 (2012) estabelece um intervalo entre 1650 a 1943 kg/m^3 para a densidade dos concretos permeáveis, dessa forma os todos valores apresentados para concretos permeáveis com AGN e parte das amostras com AGRC estão de acordo com as recomendações da norma.

Segundo a norma ASTM C 1754 (2012) é recomendado que os teores de vazios no concreto permeável estejam entre 22,6% a 37%. Diferentes valores são encontrados levando em consideração a análise desse parâmetro na literatura, compreendidos entre 15% a 35%. Os resultados de índice de vazios apresentados na Tabela x estão entre os mencionados por alguns pesquisadores (ACI 522, 2010; NEITHALATH; SUMANASOORIYA; DEO, 2010; MANAHILOH; MUHUNTHAN; KAYHANIAN; GEBREMARIAM, 2012; TORRES; HU; RAMOS, 2015; GUNEYISI et

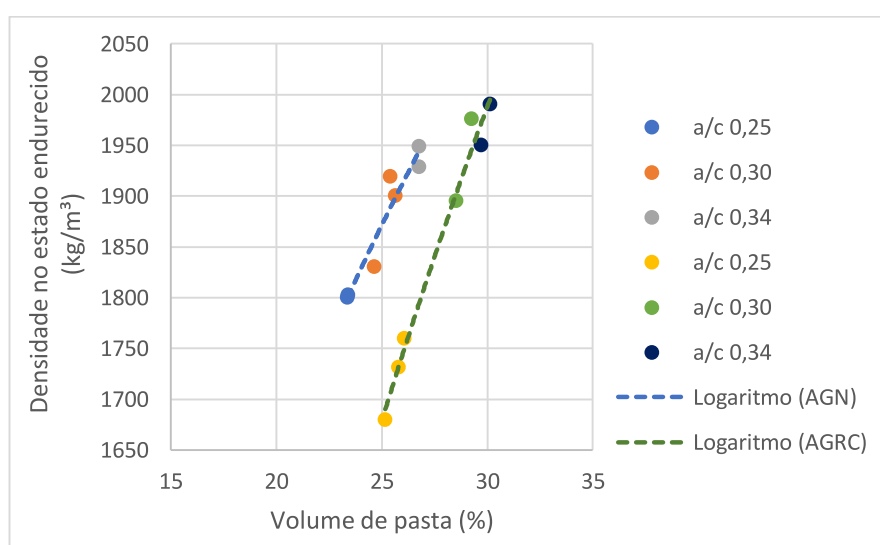
al., 2016; KIA; WONG; CHEESEMAN, 2017). De acordo com a ACI 522 (2010) não há percolação da água pelos concretos permeáveis com índices de vazios inferiores a 15%, em virtude da falta de interconectividade suficiente entre os vazios para permitir a infiltração rápida da água. Neste experimento todas as amostras produzidas com ambos agregados apresentaram índices de vazios superiores ao recomendado pela ACI.

Constata-se que a utilização de agregados reciclados de concreto nas misturas eleva o índice de vazios no estado endurecido, conseqüentemente esse fenômeno contribui para a redução da densidade nos concretos permeáveis com AGRC. O comportamento é coerente com o encontrado por Rizvi et al (2010).

Assim como as constatações de Chandrappa e Biligiri (2016b), neste estudo, também foi possível identificar que maiores relações a/c resultaram em menores índices de vazios. Os autores mencionam que a compactação gera um aumento de trabalhabilidade da pasta, cujo efeito é maior em maiores relações a/c e, em consequência elevadas relações a/c resultam em maior densidade e menor porosidade.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 32, foi possível identificar uma relação entre o volume de pasta e densidade tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 94.

Figura 94 – Densidade no estado endurecido (kg/m^3) em função do volume de pasta (%)

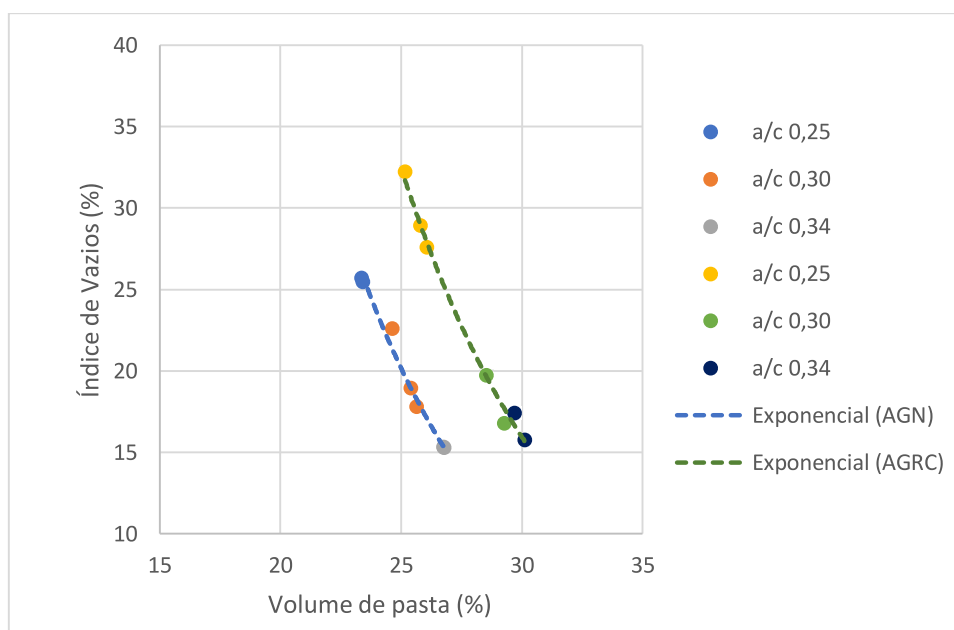


Fonte: Elaborada pela autora

Constatou-se, a partir da Figura 94, que tanto a densidade quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação logarítmica com coeficiente de determinação R^2 de 0,92 para concretos com AGN e R^2 de 0,98 para as misturas com AGRC. Verificou-se, em ambas as retas, que maiores volumes de pasta originaram maiores densidades nas amostras. Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram maiores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram menores teores de aditivo.

Outra relação identificada foi entre o volume de pasta e índice de vazios tanto para concretos permeáveis com AGN e com AGRC, conforme representado na Figura 95.

Figura 95 – Índice de vazios (%) em função do volume de pasta (%)



Fonte: Elaborada pela autora

Constatou-se, a partir da Figura 95, que tanto a densidade quanto o percentual de volume de pasta apresentaram uma relação exponencial com coeficiente de determinação R^2 de 0,99 para concretos com AGN e misturas com AGRC. As curvas geradas, em ambas situações, representaram fortemente os valores encontrados na pesquisa. Verificou-se, em ambas as retas, que menores volumes de pasta originaram maiores índices de vazios nas amostras. Esse comportamento foi atingido em misturas que apresentaram menores relações a/c e, na composição do traço, apresentaram maiores teores de aditivo.

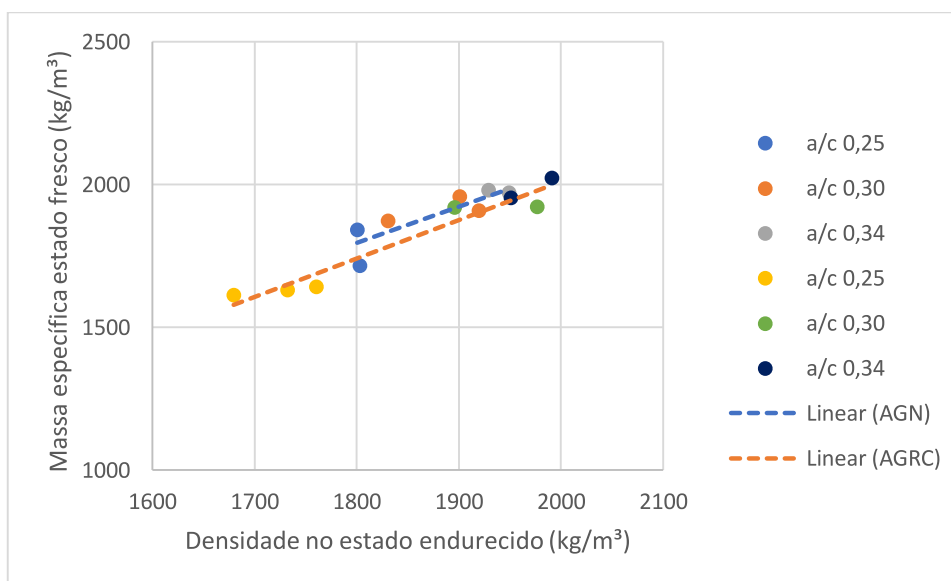
4.9 Relação entre os parâmetros

A seguir estão apresentadas as possíveis relações entre os parâmetros que puderam ser estabelecidas a partir dos valores obtidos neste experimento para concretos permeáveis com a utilização de agregado natural e agregados reciclados de concreto.

4.9.1 Massa específica no estado fresco x Densidade no estado endurecido

Na Figura 96 é possível verificar a relação entre massa específica no estado fresco e densidade no estado endurecido para concretos permeáveis com AGN e AGRC.

Figura 96 – Massa específica no estado fresco (kg/m^3) em função da densidade no estado endurecido (kg/m^3) em concretos permeáveis com AGN e AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se identificar na Figura 96 o mesmo comportamento em ambos concretos permeáveis, ou seja, a massa específica no estado fresco tende a aumentar com o aumento da densidade no estado endurecido. Os dois parâmetros compartilham uma relação linear, dessa forma, uma análise de regressão linear foi empregada, representada na Equação 14 para concretos permeáveis com AGN e na Equação 15

para amostras com AGRC. O coeficiente de determinação obtido foi R^2 de 0,73 e R^2 de 0,95, respectivamente.

$$\text{Massa específica est. fresco}(kg/m^3) = 1,2723 \times (\text{Densidade est. endurecido}) - 494,63 \text{ Equação 14}$$

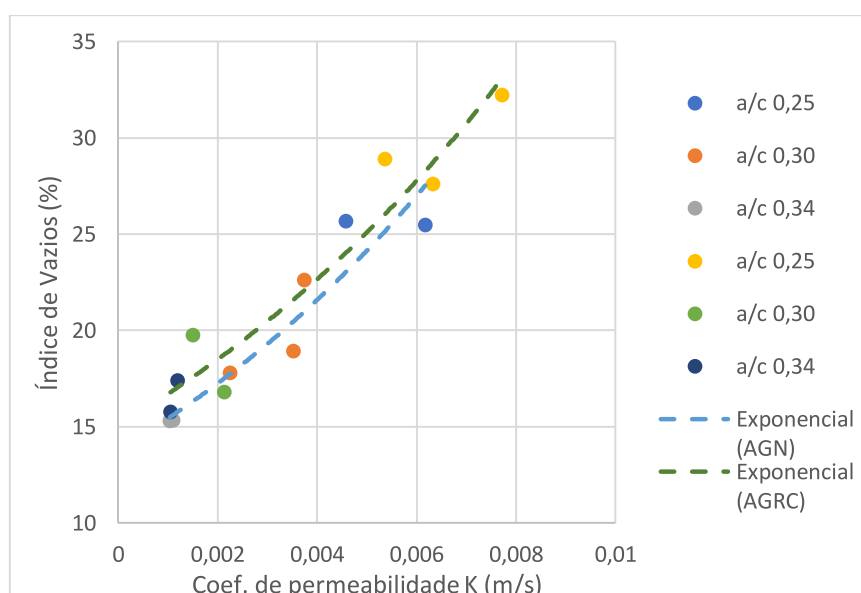
$$\text{Massa específica est. fresco}(kg/m^3) = 1,3477 \times (\text{Densidade est. endurecido}) - 685,06 \text{ Equação 15}$$

Assim como foi constatado por Costa (2019) é possível observar, nesta pesquisa, que a massa específica no estado fresco foi ligeiramente maior que a densidade no estado endurecido tanto nos concretos com AGN quanto com AGRC. Tal fato deve-se a perda de água pelos produtos de hidratação.

4.9.2 Índice de vazios x Coeficiente de permeabilidade

Nos estudos realizados, verificou-se que a porosidade do concreto permeável está diretamente relacionada com a propriedade de permeabilidade. A Figura 97 correlaciona dois parâmetros para os concretos permeáveis com AGN e com AGRC. Sendo que essa comparação foi realizada considerando diferentes relações a/c.

Figura 97 – Índice de Vazios IV (%) em função do Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGN e AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

Resultados apresentados por Neithalat; Sumanasooriya e Deo (2010); Guneyisi et al. (2016); Girardi e Finocchiaro (2017); Kia, Wong e Cheeseman (2017); El-

Hassan; Kianmehr e Zouaoui (2019); Lu, Yan, He e Poon (2019); Costa (2019) retratam o mesmo comportamento constatado nessa pesquisa, ou seja, elevados valores de permeabilidade são resultantes do aumento do índice de vazios. Neste estudo esse comportamento é atingido em amostras com menor relação a/c. Um modelo de regressão exponencial foi desenvolvido para relacionar os dois parâmetros, conforme ilustrado na Figura 97, para ambos concretos. O gráfico de dispersão foi utilizado para estabelecer a Equação 16 e Equação 17, para os concretos permeáveis com AGN e AGRC respectivamente. Assim, prever o índice de vazios IV (%) a partir do coeficiente de permeabilidade K (m/s). Foi evidenciado um coeficiente de determinação R² de 0,90 para amostras com AGN e R² de 0,92 para misturas com AGRC.

$$\text{Índice de vazios IV (\%)} = 13,791e^{111,99(K)} \quad \text{Equação 16}$$

$$\text{Índice de vazios IV (\%)} = 15,092e^{101,65(K)} \quad \text{Equação 17}$$

O Efeito mostrado na Figura 97 é diferente do comportamento obtido em concretos convencionais com relações a/c maiores que 0,40. Nos concretos convencionais o aumento da relação a/c acarreta um aumento da perda de água, assim o índice de vazios aumenta à medida que a água, presente no interior do material, é evaporada.

Neithalat; Sumanasooriya e Deo (2010) descobriram que concretos permeáveis com agregados naturais e com porosidades semelhantes tinham permeabilidade muito diferente. Justifica-se esse fato pela porosidade ser uma propriedade volumétrica do material, enquanto o coeficiente de permeabilidade é um parâmetro que define o mecanismo de transporte através do material que depende tanto do volume dos poros quanto da distribuição do tamanho dos poros e sua conectividade. Dessa forma é necessário explorar outras características da estrutura de poros para compreender o comportamento da permeabilidade.

4.9.3 Resistência à compressão x Coeficiente de permeabilidade

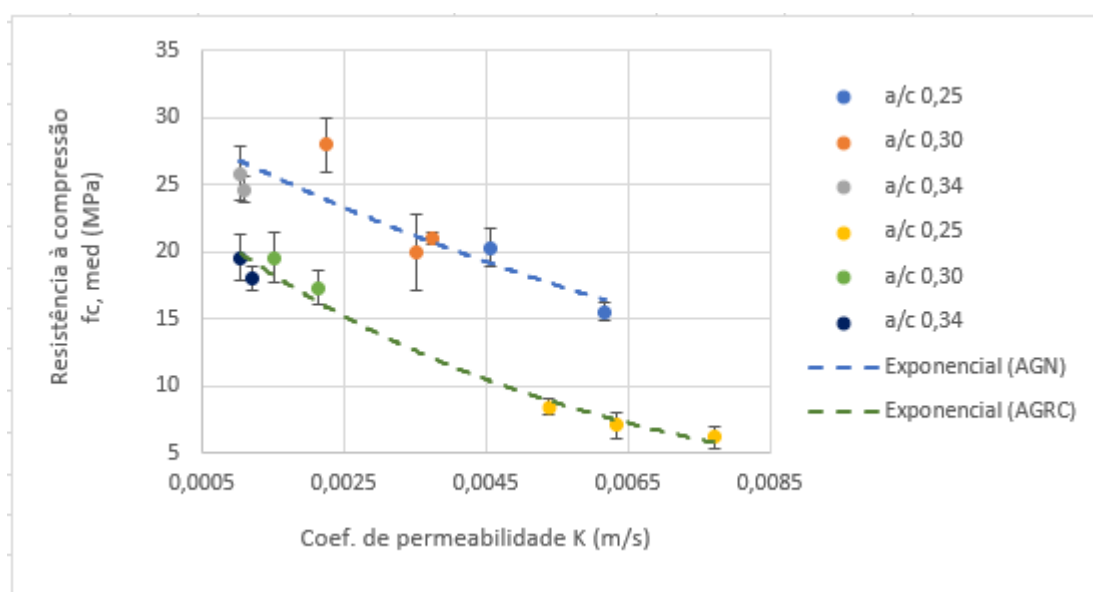
Outra propriedade que está diretamente relacionada a resistência à compressão é a permeabilidade. Assim como foi encontrado por Yap et al. (2018), pode-se identificar na Figura 98, que o coeficiente de permeabilidade tende a diminuir

com o aumento da resistência à compressão. Os dois parâmetros compartilham uma relação exponencial, dessa forma, uma análise de regressão exponencial foi empregada, representada na Equação 18 para concretos permeáveis com AGN e na Equação 19 para amostras com AGRC. O coeficiente de determinação obtido foi R^2 de 0,81 e R^2 de 0,98, respectivamente. Na figura, também, foram identificados os desvios padrão para a propriedade mecânica.

$$\text{Resistência à compressão, } f_{c, med}(\text{MPa}) = 29,595e^{-95,31(K)} \quad \text{Equação 18}$$

$$\text{Resistência à compressão, } f_{c, med}(\text{MPa}) = 24,131e^{-184,4(K)} \quad \text{Equação 19}$$

Figura 98 – Resistência à compressão $f_{c, med}$ (MPa) em função do Coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGN e AGRC.



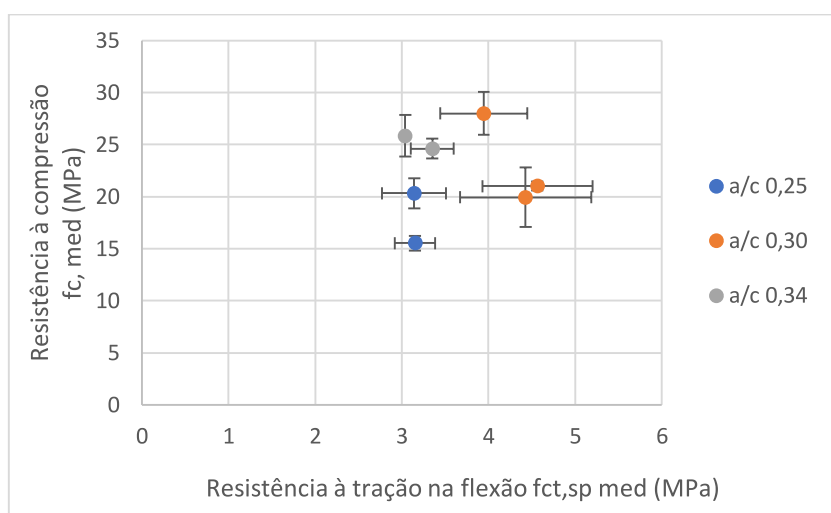
Fonte: Elaborada pela autora

A partir da Figura 98 percebe-se que a resistência à compressão do concreto exerce uma alta influência sobre o coeficiente de permeabilidade. O aumento do coeficiente de permeabilidade diminui a resistência à compressão do concreto permeável produzidos com ambos tipos de agregados. Esse comportamento foi atingido em menores relações a/c. O aumento do índice de vazios contribui no aumento do coeficiente de permeabilidade e este reduz a resistência à compressão. Essa mesma relação foi verificada nos estudos de Aliabdo, Elmoaty e Fawzy (2018); Yap et al. (2018).

4.9.4 Resistência à compressão x Resistência à tração na flexão

Na Figura 99 é possível verificar que não há uma correlação entre resistência à compressão f_c , med (MPa) e a resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) aos 28 dias para concretos permeáveis com AGN. Na figura foram identificados os desvios padrão para ambos os parâmetros.

Figura 99 – Resistência à compressão f_c , med (MPa) em função da Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) em concretos permeáveis com AGN



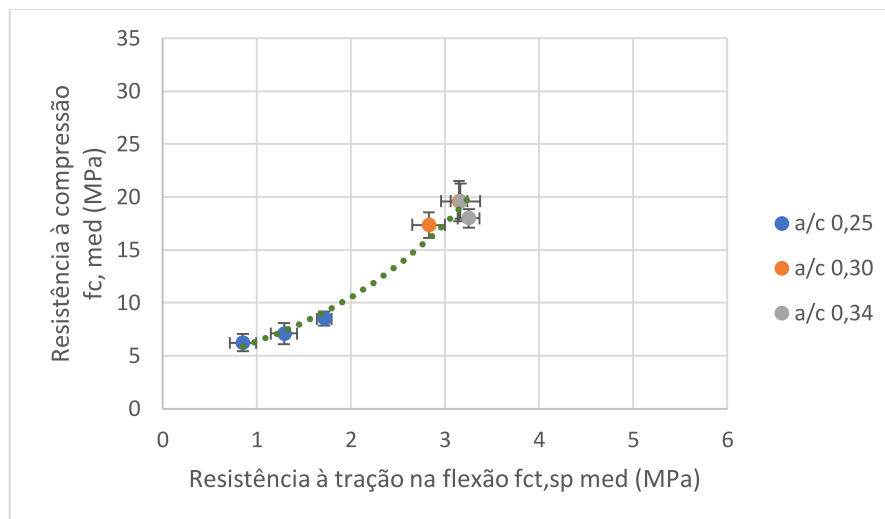
Fonte: Elaborada pela autora

Como mencionado anteriormente não se verificou uma tendência de comportamento entre resistência à compressão e à tração na flexão, para concretos permeáveis com AGN, no entanto, é possível identificar que maiores relações a/c proporcionaram concretos permeáveis com propriedades mecânicas mais significativas.

Já Figura 100 apresenta uma correlação entre resistência à compressão f_c , med (MPa) e a resistência à tração na flexão $f_{ct,sp}$ med (MPa) aos 28 dias para concretos permeáveis com AGRC. Na figura, também, foram identificados os desvios padrão para ambos os parâmetros. As duas propriedades mecânicas compartilham uma relação exponencial, dessa forma, uma análise de regressão exponencial foi empregada, representada na Equação 20. Foi evidenciado um alto coeficiente de determinação R^2 de 0,98.

$$\text{Resistência à compressão, } f_{c, med}(\text{MPa}) = 3,8108e^{0,5077(f_{ct,sp med})} \quad \text{Equação 20}$$

Figura 100 – Resistência à compressão $f_{c, med}$ (MPa) em função da Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp med}$ (MPa) em concretos permeáveis com AGRC.



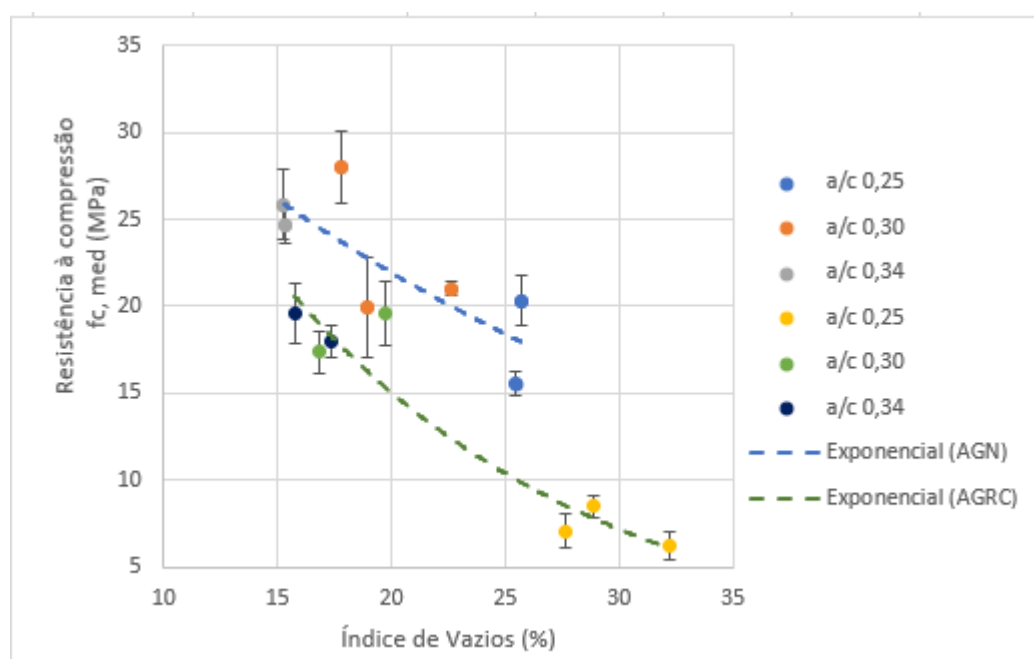
Fonte: Elaborada pela autora

Ao analisar a Figura 100 foi possível verificar que maiores valores de resistência à compressão e tração na flexão, em concretos permeáveis com AGRC, também foram obtidos com maiores relações a/c. Girardi e Finocchiaro (2017) também constatou esse comportamento e salientou ser um processo diferente ao apresentado na curva de *Abrams*.

4.9.5 Resistência à compressão x Índice de Vazios

A Figura 101 retrata uma tendência de comportamento entre a resistência à compressão $f_{c, med}$ (MPa) e índice de vazios IV (%). Na figura, também, foram identificados os desvios padrão para a resistência à compressão.

Figura 101 – Resistência à compressão (MPa) em função do Índice de Vazios (%) em concretos permeáveis com AGN e AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

Assim como constatado por Dellate e Cleary (2011), Ibrahim, Mahmoud, Yamin e Platibandla (2014), nesta pesquisa, foi possível observar de acordo com a Figura 101, que os valores de resistência à compressão diminuíram com o aumento do índice de vazios. Os dois parâmetros compartilham uma relação exponencial, dessa forma, uma análise de regressão exponencial foi empregada, representada na Equação 21 para concretos permeáveis com AGN e na Equação 22 para amostras com AGRC. O coeficiente de determinação obtido foi R^2 de 0,62 e R^2 de 0,93, respectivamente.

$$\text{Resistência à compressão, } f_c, \text{ med (MPa)} = 44,207e^{-0,035(IV)} \quad \text{Equação 21}$$

$$\text{Resistência à compressão, } f_c, \text{ med (MPa)} = 65,824e^{-0,074(IV)} \quad \text{Equação 22}$$

É possível identificar a influência da relação a/c nas propriedades de resistência à compressão e índice de vazios. Nota-se que menores relações a/c proporcionam concretos permeáveis com menores valores de resistência à compressão e elevados índices de vazios.

4.9.6 Perda de massa x Resistência à compressão

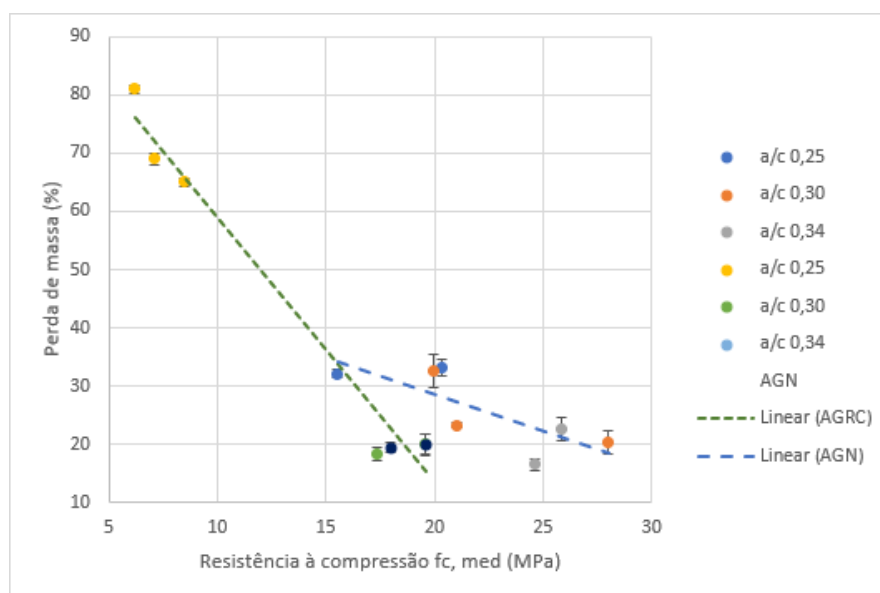
Uma relação entre perda de massa por abrasão e resistência à compressão aos 28 dias foi desenvolvida, conforme ilustrado na Figura 102. A partir da figura é possível identificar os desvios padrão para a propriedade de resistência à compressão. Foi constatado a função linear como sendo a melhor relação entre esses parâmetros para concretos permeáveis com ambos tipos de agregados, conforme mostrada na Equação 23 para concretos com AGN. O modelo desenvolvido pode prever a perda de massa (%) com um coeficiente de determinação R^2 de 0,61.

$$\text{Perda de massa (\%)} = -1,2476 \times (f_c, \text{med}) + 53,499 \quad \text{Equação 23}$$

A Equação 24 mostra o modelo desenvolvido que pode prever a perda de massa (%) para concretos com AGRC. O coeficiente de determinação encontrado foi R^2 de 0,97.

$$\text{Perda de massa (\%)} = -4,5267 \times (f_c, \text{med}) + 104,16 \quad \text{Equação 24}$$

Figura 102 – Perda de Massa (%) em função da Resistência à compressão f_c , med (MPa) em concretos permeáveis com AGN e AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

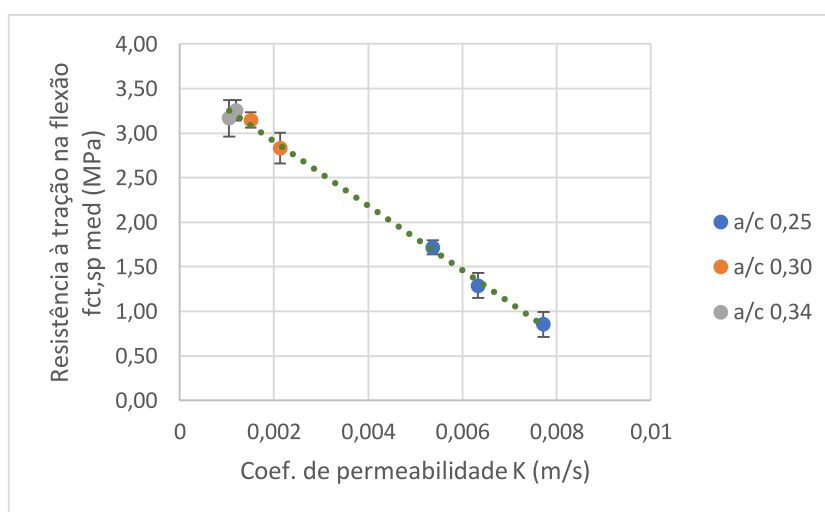
Ao analisar a Figura 102, foi possível verificar que menores relações a/c proporcionaram maiores perdas de massa por abrasão em amostras com menores resistências à compressão.

4.9.7 Resistência à tração na flexão x Coeficiente de permeabilidade

A tendência de comportamento entre resistência à tração na flexão $f_{ct,sp,med}$ (MPa) e coeficiente de permeabilidade K (m/s) foi possível ser identificada apenas nas misturas com AGRC, conforme mostrado na Figura 103. Na figura, também, foram identificados os desvios padrão para a resistência à tração na flexão. As duas propriedades compartilham uma relação linear, dessa forma, uma análise de regressão linear foi empregada, representada na Equação 25. Foi evidenciado um alto coeficiente de determinação R^2 de 0,99.

$$\text{Resistência à tração na flexão, } f_{ct,sp,med}(\text{MPa}) = -362,32 \times (K) + 3,6323 \quad \text{Equação 25}$$

Figura 103 – Resistência à tração na flexão $f_{ct,sp,med}$ (MPa) em função do coeficiente de permeabilidade K (m/s) em concretos permeáveis com AGRC.



Fonte: Elaborada pela autora

A partir da Figura 103 constatou-se que o aumento do coeficiente de permeabilidade proporcionou produzir concretos permeáveis com menores valores de resistência à tração na flexão. Esse fenômeno foi alcançado com menores relações a/c.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais

A utilização da haste de vidro, como sendo uma superfície padrão, nesta pesquisa, para a produção de concreto permeável com AGN, apresentou tendência similares de comportamentos ao encontrados nos estudos de Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015). Dessa forma, a EPT caracteriza a capacidade da pasta de cimento de formar uma película estável em superfícies regulares, homogêneas e não absorvente.

Nesta pesquisa, foi inserido a haste de argamassa como, também, sendo uma superfície padrão, mas para a produção de concreto permeável com AGRC. Os resultados obtidos foram similares aos valores designados a partir da utilização da haste de vidro. A diferença é que foram encontradas faixas de espessuras mais elevadas se comparadas aos valores gerados com a haste de vidro. Com este ensaio, também, foi possível verificar a capacidade da pasta cimentícia de formar película em superfícies irregulares, heterogêneas e absorventes.

A partir do desenvolvimento do método proposto por Jimma e Rangaraju (2014), Jimma e Rangaraju (2015), constatou-se que em relações a/c baixas, a quantidade de aditivo utilizada interfere diretamente na capacidade de fluidez e formação de película da pasta de cimento. Recomenda-se que o teor de aditivo a ser utilizado deve ser devidamente determinado para se obter uma propriedade adequada de formação de película e, conseqüentemente, obter uma fluidez satisfatória. O aumento do teor de aditivo, acima da dosagem ótima, resultará na redução da espessura de pasta.

As EPT obtidas com as hastes de vidro e de argamassa demonstraram a diferença de comportamento das pastas sobre diferentes superfícies sendo considerado um processo excelente como conceito, porém não é um método eficiente para representar a situação real. Constatou-se que o volume de pasta foi o parâmetro que melhor ajustou as curvas entre as relações estabelecidas com as propriedades mecânicas e de permeabilidade do material estudado.

O método descrito por Yu, Sun, Wang e Hu (2019) não é adequado para encontrar essa referida espessura. Em virtude disso, são necessários mais estudos para se estimar a espessura no estado endurecido do concreto permeável.

A resistência à compressão média aumentou exponencialmente tanto com o aumento da relação a/c quanto com o aumento do volume de pasta, em ambos concretos produzidos com diferentes tipos de agregado e que as amostras com AGN, apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos encontrados para concretos com AGRC. Ressaltando que a resistência à compressão obtidas nos concretos permeáveis com AGRC, variando entre 8,50 a 19,6 MPa, foram superiores aos observados em média na literatura. Apesar do uso de agregado reciclado de concreto afetar à resistência à compressão do concreto permeável, os resultados alcançados nesta pesquisa, assim como os alcançados com AGN, atingiram os intervalos típicos estabelecidos pela ACI 522 (2010).

Sobre os resultados de resistência à tração na flexão, foi verificado que, o volume de pasta é a variável mais importante para a definição dessa propriedade mecânica, diante disso, o aumento do volume de pasta, a partir de um modelo de regressão logarítmica, proporcionou maiores valores de resistência à tração na flexão em concretos permeáveis com AGN e AGRC. Também, constatou-se que todos os concretos produzidos, exceto as amostras com AGRC e relação a/c 0,25, atingiram a resistência à tração na flexão mínima de projeto mencionada na NBR 16416 (ABNT, 2015).

Os concretos permeáveis com AGRC apresentaram maiores perda de massa por abrasão que os com AGN. Pode-se verificar que concretos permeáveis com maiores relações a/c e volume de pasta apresentaram elevadas resistências, conseqüentemente, menor foi a perda de massa desses materiais.

Outra propriedade importante investigada, nesta pesquisa, foi a permeabilidade. Ao relacionar tal propriedade com a relação a/c por meio de um modelo de regressão exponencial, observou-se que são inversamente proporcionais, ou seja, elevados valores de coeficiente de permeabilidade foram atingidos com menores relações a/c em ambos concretos permeáveis. Outro resultado obtido foi que maiores volumes de pasta contribuíram para a produção de concretos com menor permeabilidade, também, verificou que as amostras com AGRC se apresentaram mais permeáveis que os concretos com apenas AGN. A partir dos ensaios de permeabilidade, todos os concretos permeáveis apresentaram coeficientes de permeabilidade maiores que o limite inferior determinado na norma NBR 16416 (ABNT, 2015).

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir do desenvolvimento do trabalho foram aparecendo dúvidas que acabam não sendo sanadas, sendo por restrição de recursos e/ou falta de tempo hábil. Assim, alguns itens verificados que podem vir a complementar a realização deste estudo que são:

- Desenvolver um método para realizar o adensamento da pasta no ensaio com as hastes de vidro e de argamassa.
- Uma alternativa para obter maior resistência à compressão sem afetar de maneira negativa o índice de vazios e a permeabilidade é melhorar a zona de transição. Como sugestão utilizar materiais pozolânicos que possibilitem a melhoria da microestrutura da zona de transição.
- Aprofundar estudos sobre a zona de transição pasta/agregado por meio de análises microestruturais.
- Correlacionar campo-laboratório. Existem lacunas no desenvolvimento de correlações da produção de concreto permeável em laboratório e no campo em termos de processo de compactação, porosidade, cura, resistências entre outros. Mais pesquisas nessa área ajudarão no desenvolvimento de testes adequados para que as condições de campo sejam reproduzidas em um laboratório.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2014.

ABRELPE. Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**.2015.

ABRELPE. Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**.2017.

ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Relatório pesquisa setorial** .2017/2018

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

ALVES, P. B. **Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de resíduos de construção e demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade UNESP, Ilha Solteira., 2016.

ALIABDO, A.A.; ELMOATY, A.E.M.; FAWZY, A.M. Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v.193, p. 105-127, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1688-14**: Standard Test. Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete. United States of America, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1747-13**: Standard Test. Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion. United States of America, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1754-12**: Standard Test. Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. United States of America, 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 522. **ACI Report on Pervious Concrete**. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto- Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 47**: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Disponível em <http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes>.1999. Acesso em: Agosto de 2017.

ARAÚJO, G. G. Concreto permeável para pavimentação. 2017.

AZZOUT, Y. et. al. **Tecniques alternatives em assainissement pluvial**. Paris: Technique et Documentation- Lavoisier, 372 ,1994.

BALBO, J.T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BALBO, J.T. **Pavimentos viários e pisos industriais de concreto**. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, v.2, p. 1297-1332, 2005.

BALDUSCO, R.; NOBRE, T.R.S.; ÂNGULO, S.C.; QUARCIONI, V.A. Reatividade e resistência mecânica de pastas reidratadas de cimento de alto forno. Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção (**ENARC**), 2017.

BARBOSA, M.P.; PEREIRA, K. K. **Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil na região de Campinas**. Anais do XX Encontro de Iniciação Científica, 2015.

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

BECKER, N. **Efeito do pavimento de concreto permeável dosado por diferentes métodos na qualidade da água do escoamento superficial percolado**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

BECKER, N.; PINHEIRO, I. G. Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.11, 2019.

BROWN, D. Pervious concrete pavement: a win-win system. **Concrete Technology Today**, v.24, p. 1–3, 2003.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CARLS, B. **Coeficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de concreto permeável dosado por três diferentes métodos**.2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

CAVALHEIRO, A. P. **Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Comprehensive investigation of permeability characteristics of pervious concrete: A hydrodynamic approach. **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 627–637, 2016a

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Influence of mix parameters on pore properties and modulus of pervious concrete: an application of ultrasonic pulse velocity. **Materials and Structures**, v. 49, p.5255 – 5271, 2016b.

CHAPUIS, R.P.; DALLAIRE, V.; SAUCIER, A. Getting information from modal decomposition of grain size distribution curves. **Geotechnical Testing Journal**,v. 37, 2014.

CHEN, Y.; WANG, K.; WANG, X.; ZHOU, W. Strength , fracture and fatigue of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 42, p. 97–104, 2013.

CHINDAPRASIRT, P.; et al. Cement paste characteristics and porous concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 894–901, 2008.

COSIC, K.; KORAT, L.; DUCMAN, V.; NETINGER, I. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**,v.78, p.69-76, 2015.

COSTA, F.B.P. et al. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. **RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal**, v.11, p. 1151-1159, 2018.

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

CURVO, F. O. **Estudo da drenabilidade de calçadas experimentais em concreto permeável no Campus Armando Salles de Oliveira da USP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2017.

DELLATE, N; CLEARY, J. **Developing a Structural Design Method for Pervious Concrete Pavement**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265042581_developing_a_structural_design_method_for_pervious_concrete_pavement. Acesso: 29 out. 2018

DUAN, P. et al. Effects of metakaolin, sílica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 44, p. 1-6, 2013.

EPA. **Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices**. EPA-821-R-99-012. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C., August 1999. Disponível em: <http://www.epa.gov/ost/stormwater>. Acesso em: junho de 2015.

EVARISTO, F. A. F.et. al. Avaliação da permeabilidade de pavimentos com revestimento de concreto permeável. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da agronomia CONTECC**, 2017

EL-HASSAN, H.; KIANMEHR, P.; ZOUAOUI, S. Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag. **Construction and Building Materials**, v.212,p. 164 -175, 2019.

FERNANDES, A. J. M. M. **Influência do teor de sílica e alumina no comportamento pozolânico de materiais cimentícios suplementares**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

FONSECA, E.A. **Avaliação do desempenho de concreto permeável com o uso de fibras**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília, 2016.

FULLER, William B.; THOMPSON, Sanford E. **The laws of proportioning concrete**. Amekioan S ed. New York.1907.

GAEDICKE, C.; MARINES, A.; MIANKODILA, F. **A method for comparing cores and cast cylinders in virgin and recycled aggregate pervious concrete**, v. 52, p. 494-503, 2014.

GENTIL, F.S., KAZMIERCZAK, C.S., SENTENA, J.A.A. **La influencia de la trabajabilidad y adherencia de la pasta en el concreto permeable producido con agregado de concreto reciclado**. Primeiro Congresso Internacional de Engenharia Viária, Universidad del Cauca, Colômbia, 2019.

GESOGLU, M.; GÜNEYISI, E.; KHOSHNAW, G.; IPEK, S. Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers. **Construction and Building Materials**, v. 63, p. 206–213, 2014.

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

GUO, H.et. al. Durability of recycled aggregate concrete - A review. **Cement and Concrete Composites**, v. 89, p. 251–259, 2018.

GUNEYISI, E., GESOGLU, M., KAREEM, Q., IPEK, S. Effect of different substitution of natural aggregate by recycled aggregate on performance characteristics of pervious concrete. **Materials and Structures**, v.49, p. 521-536, 2016.

HARBER, P. J. **Applicability of no-fines concrete as a road pavement a dissertation submitted by**. University of Southern Queensland, 2005.

HARIYADI; TAMAI, H. Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate. **Procedia Engineering**, v. 125, p. 732-738, 2015.

HENDERSON, V., TIGHE, S. Evaluation of pervious concrete pavement performance in cold weather climates. **Int. J. Pavement Eng**, v.13, p. 197-208, 2012.

HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

HENTGES, T.I. **Tratamento do agregado reciclado de concreto por carbonatação e por impregnação com microfios de crâmica vermelha.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

HESAMI, S.; AHMADI, S.; NEMATZADEH, M. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. **Construction and Building Materials**, v. 53, p. 680–691, 2014.

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

HUANG, B; WU, H.; SHU, X.; BURDETTE, E.G. Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer- modified pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v.24, p. 818–23, 2010.

IBRAHIM, A.; MAHMOUD, E.; YAMIN, M.; PATIBANDLA, V.C. Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 524-529, 2014.

IBRAHIM, H.A., ABDUL RAZAK, H. Effect of palm oil clinker incorporation on properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 115, p. 70-77, 2016.

JIMMA, B. E.; RANGARAJU, P. R. Film-forming ability of flowable cement pastes and its application in mixture proportioning of pervious concrete. **Computers and Chemical Engineering**, v. 71, p. 273–282, 2014.

JIMMA, B. E.; RANGARAJU, P. R. Chemical admixtures dose optimization in pervious concrete paste selection – A statistical approach. **Construction and Building Materials** v.101, p. 1047–1058, 2015.

JUNIOR, A. C. P. **Estudo do potencial de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

KANTRO, D. L. “Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste--A Miniature Slump Test”. *Cement Concrete. and Aggregates, CCAGDP*, Vol. 2, No. 2, Winter 1980, pp. 95-102.

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Clogging in permeable concrete : A review. **Journal of Environmental Management**, v. 193, p. 221–233, 2017.

KRUG, L.F. **Influência do beneficiamento por peneiramento no comportamento**

da cinza de casca de arroz: Estudo como adição pozolânica em concretos. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo. 2011.

LAMB, G.S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIU, T. et al. Strength enhancement of recycled aggregate pervious concrete using a cement paste redistribution method. **Cement and Concrete Research**, v. 122, p. 72-82, 2019.

LU, J.X; YAN, X.; HE, P.; POON, C. S. Sustainable design of pervious concrete using waste glass and recycled concrete aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 1102-1112, 2019.

MANAHILOH, K.N., MUHUNTHAN, B., KAYHANIAN, M., GEBREMARIAM, S.Y. X-ray computed tomography and nondestructive evaluation of clogging in porous concrete field samples. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.24, p.1103-1109, 2012.

MARIANO, H. R. **Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MARTINS, R.M. **Reologia de pasta de cimento com aditivos superplastificantes e modificador de viscosidade.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2011.

MEDDAH, M.S.; AL-JABRI, K.; HAGO, A. W.; AL-HINAI, A.S. Effect of granular fraction combinations on pervious concrete performance. **Materials Today: Proceedings**, v.4, p.9700-9704, 2017.

MEININGER, R.C. No-fines pervious concrete for paving. **Concr. Int**, v.10, p. 20-27, 1988.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEURER, E.F. **Estudo de granulometria para concretos asfálticos drenantes.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MIRANDA, L. Operação de Usina de reciclagem de Entulho. **Curso sobre Gestão de**

Resíduos da Construção Civil e Operação de Usina de Reciclagem de Entulho, 13ª edição, São Paulo: Abrecon, 2017

MOHAMMED, B. S. et. al. Case Studies in Construction Materials Properties of nano-silica modi fi ed pervious concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 8, p. 409–422, 2018.

MONTES, F.; HASELBACH, L. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete. **Environmental Engineering Science**, v.23, p. 960-969, 2006.

MOURA, J.M.B.M. Análise técnica de pavimentos permeáveis: aspecto físico, hidráulico e manifestações patológicas. **Mix Sustentável**, v. 5, p. 75-84, 2019.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA). **Pervious Pavement**. Disponível em: < <http://www.perviouspavement.org/>>. Acesso em: 13 de set. 2018.

NEITHALATH, N; WEISS, J; OLEK, J. Characterizing enhanced porosity concrete using electrical impedence to predict acoustic and hydraulic performance. **Cement and Concrete Research**, v.36, p.2074–85, 2006.

NEITHALATH N.; SUMANASOORIYA, M. S.; DEO, O. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction, **Materials Characterization**, v.61, p. 802–813, 2010.

NGUYEN et al. A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construction and Building Materials**, v.73, p 271- 282, 2014.

OH et al. Reduzir a emissão de CO2 do parque pela reutilização de resíduos de material de construção na indústria de cimento japonesa Renovar. Sustentar. **Energia Ver**, v.38, p.796 – 810, 2014.

OLIVEIRA, D. D. **Análise do desempenho mecânico em concretos permeáveis com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo da construção civil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

PADOVAN, R.G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

PUTMAN, B.J., NEPTUNE, A.I. Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 3480-3485, 2011.

RANGELOV, M. *et al.* Using carbon fiber composites for reinforcing pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 875-885, 2016. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>>. Acesso em: 01 out. 2019.

RIZVI, R., TIGHE, S., HENDERSON, V., NORRIS, J. Evaluating the use of recycled concrete aggregate in pervious concrete pavement. **Transportation Research Record**, p.132-140, 2010.

RODRÍGUEZ, C. et. al. The incorporation of construction and demolition wastes as recycled mixed aggregates in non-structural concrete precast pieces. **Journal of Cleaner Production**, v.127, p. 152 - 161, 2016.

ROHDEN, A.B.; MENDES, J.; MATOS, L.F.S. Concreto permeável com vidro moído. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO,60, 2018.**Anais [...] IBRACON**, 2018.

SABOO,N; SHIVHARE, S.; KORI, K.K.; CHANDRAPP, A.K. Effect of fly ash and metakaolin on pervious concrete properties. **Construction and Building Materials**, v.223, p 322-328, 2019.

SILVA, R.V; BRITO, J.; DHIR, R.K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201–217, 2014.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix design development for pervious concrete in cold weather climates**. Technical Report. Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

STEVENSON CONCRETE. **Pervious Concrete: High porosity concrete**. Disponível em:< <https://www.stevensonconcrete.co.nz/concrete/pervious-concrete/>>. Acesso em: 13 de Agosto 2018.

SUN, X., et al. Investigation of internal curing effects on microstructure and permeability of interface transition zones in cement mortar with SEM imaging, transport simulation and hydration modeling techniques. **Construction and Building Materials**, v.76, p. 366-379, 2015.

TAM, V.W.Y., BUTERA, A., LE, K.N. Carbon-conditioned recycled aggregate in concrete production. **Journal of Cleaner Production**, v.133, p. 672-680, 2016.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete.**Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.9, n.1, p. 75-89, 2016.

TONIETTO, L. et al. New Method for Evaluating Surface Roughness Parameters Acquired by Laser Scanning. **Scientific Reports**, v. 9, p.15038, 2019.

TORRES, A.; HU, J.; RAMOS, A. The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 95, p. 850–859, 2015.

TRINDADE, A.L.B.; LOPES, P.H.F. Caracterização de concreto para pavimento permeável baseado em materiais de construção reciclados. **Relatório técnico do**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, 2018.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

TUCCI, C.E.M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.2, p. 5-12, 1997.

ULSEN, C. **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P. Stormwater Best Management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p, 1993.

VALENTINI, P.; HENTGES, T.I.; KULAKOWSKI, M.P.; KAZMIERCZAK, C. Incorporação de agregado reciclado de concreto em argamassas e concretos: desafios e oportunidades. **7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**. 2016

VERIAN, K.P.; ASHRAF, W.; CAO, Y. Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 133, p. 30-49, 2018.

VIDAL, A.S. **Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

WEIDMANN, D.F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

WERLE, A.P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

WERLE, A.P.; TROIAN, A.; ALCÂNTARA, J.; KULAKOWSKI, M.P.; KAZMIERCZAK, C.S. **Análise de metodologias utilizadas para a determinação da absorção de água de agregados reciclados**. In: ENTAC, 2010.

WILBERT, D.G.B. **Análise da interface entre argamassas de concreto com adição**

de fino basáltico e cinza da casca de arroz por meio de nanoindentação. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

WOODS BALLARD, B. et al. **The SUDS manual.** London: Ciria, 2007.

XIE, X. et. al. Maximum paste coating thickness without voids clogging of pervious concrete and its relationship to the rheological properties of cement paste. **Construction and Building Materials**, v. 168, p. 732–746, 2018.

YAHIA, A.; KABAGIRE, K. D. New approach to proportion pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 62, p. 38–46, 2014.

YAP, S. P. et. al. Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 155–165, 2018.

YU, F., SUN, D., WANG, J., HU, M. Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 463–475, 2019.

ZHANG, Z., ZHANG, Y., YAN, C., LIU, Y. Influence of crushing index on properties of recycled aggregates pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 112–118, 2017.

ZHONG, R.; WILLE, K. Material design and characterization of high performance pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 51–60, 2015.

APÊNDICE A

Resistência à compressão, aos 28 dias, dos corpos de prova fornecidos pela
empresa de concretagem

Tabela A – Resistência à compressão f_c (MPa) dos corpos de prova fornecidos pela
empresa de concretagem

30,28	32,93	41,15	34,04	40,86	31,98	32,59
30,41	32,94	41,39	34,05	40,91	31,81	32,64
30,43	33,02	41,56	34,09	40,96	31,64	32,80
30,52	33,04	41,65	34,11	41,29	31,61	32,83
30,75	33,08	41,74	34,25	41,31	31,37	32,84
30,78	33,14	42,11	34,30	41,39	31,28	32,93
30,80	33,32	42,22	34,45	41,49	31,27	33,14
30,92	33,49	43,30	34,46	41,75	31,23	33,14
31,28	33,52	45,08	34,51	41,79	31,16	33,18
31,38	33,68	29,98	34,68	42,39	31,12	33,22
31,47	33,75	30,36	34,74	42,45	30,93	33,27
31,49	33,76	30,72	34,86	43,50	30,87	33,39
31,54	33,83	30,92	35,09	44,33	30,66	33,42
32,42	33,90	30,94	35,10	43,93	30,62	33,43
32,67	33,94	31,16	35,12	42,80	30,62	33,45
32,77	33,94	31,22	35,24	42,39	30,58	33,47
32,78	34,00	31,22	35,25	42,36	30,35	33,57
33,05	34,14	31,33	35,26	42,34	30,35	33,57
33,14	34,16	31,42	35,26	41,86	30,30	33,62
33,25	34,19	31,44	35,32	41,28	30,23	33,68
33,93	34,25	31,57	35,40	40,68	30,22	33,71
34,09	34,41	31,68	35,45	40,59	30,07	33,81
34,28	34,46	31,93	35,46	39,60	30,06	33,86
37,11	34,58	31,99	35,50	39,02	30,02	33,95
37,51	34,60	31,99	35,50	38,82	30,13	33,98
38,46	34,60	32,18	35,59	38,79	30,26	34,06
38,72	34,63	32,24	35,69	38,17	30,37	34,11
38,79	34,76	32,29	35,71	38,17	30,43	34,14
38,91	34,84	32,45	35,85	37,82	30,43	34,29
39,04	35,19	32,48	35,99	37,71	30,43	34,36
39,34	35,25	32,48	36,07	37,62	30,48	34,41
39,88	35,29	32,50	36,21	37,55	30,51	34,46
40,43	35,32	32,59	36,45	37,35	30,55	34,51
40,49	35,39	32,64	36,46	37,30	30,61	34,81
41,13	35,41	32,73	36,67	37,22	30,61	34,90

41,90	35,45	32,75	36,71	36,92	30,62	34,91
43,04	35,45	32,75	36,91	36,61	30,62	34,96
44,08	35,66	32,79	37,02	36,58	30,66	34,98
44,52	36,16	32,84	37,02	36,42	30,76	35,05
44,60	36,31	32,85	37,07	35,35	30,78	35,11
30,35	36,60	32,87	37,08	35,12	30,84	35,25
30,40	36,61	33,00	37,67	35,06	30,84	35,36
30,50	36,67	33,02	38,06	34,85	30,87	35,69
30,57	36,67	33,17	38,08	34,76	30,89	35,71
30,72	36,78	33,17	38,12	34,68	30,91	35,91
30,72	37,06	33,18	38,13	34,49	30,96	36,19
30,78	37,60	33,25	38,14	34,09	31,03	36,44
30,83	37,94	33,33	38,19	34,09	31,14	36,50
30,93	38,51	33,40	38,39	34,01	31,17	36,50
30,96	38,93	33,40	38,42	33,91	31,28	36,56
31,22	39,21	33,48	38,49	33,90	31,34	36,83
31,33	39,28	33,50	38,52	33,81	31,37	36,91
31,33	39,29	33,52	38,72	33,54	31,49	37,11
31,47	39,42	33,58	38,82	33,47	31,49	37,41
31,61	39,62	33,71	39,45	33,25	31,51	37,43
31,77	39,69	33,76	39,54	33,02	31,53	38,14
31,79	39,75	33,81	39,64	33,02	31,86	38,14
31,98	39,79	33,90	39,65	32,69	32,06	38,32
32,18	39,85	33,91	40,10	32,50	32,35	38,37
32,28	40,19	33,91	40,29	32,50	32,48	38,84
32,59	40,29	33,91	40,48	32,34	32,50	39,18
32,64	40,54	33,96	40,73	32,11	43,19	30,71
43,57	30,73	39,44	36,66	36,67	32,07	34,06
39,85	36,72	32,92	43,82	36,67	32,29	34,19
39,94	36,86	32,97	44,13	36,78	32,42	34,30
40,04	36,87	33,00	44,42	36,85	32,45	34,33
40,48	37,03	33,09	45,01	36,92	32,93	34,44
40,48	37,32	33,10	45,02	37,11	32,99	34,51
40,90	37,32	33,22	30,08	37,60	33,02	34,81
41,54	37,36	33,40	30,31	37,72	33,05	35,06
41,55	37,36	33,47	30,32	37,82	33,43	35,62
41,89	37,43	33,79	30,33	37,94	33,59	35,69
42,14	37,46	33,86	30,38	37,96	33,62	35,86
42,47	37,83	33,88	30,51	38,01	33,71	36,19
42,62	37,91	34,03	30,52	38,04	33,91	36,29
43,14	37,96	34,14	30,58	38,43	34,06	36,31
43,72	38,36	34,39	32,75	38,49	34,25	36,46
30,05	38,44	34,39	43,81	38,51	34,56	36,67
30,20	38,63	34,76	30,78	38,54	34,86	36,70
30,41	38,74	34,79	30,83	38,68	34,88	36,91

30,63	38,81	34,83	30,83	38,69	35,11	36,97
30,82	38,83	35,09	30,83	39,09	35,82	37,12
30,84	38,99	35,21	30,84	39,21	36,19	37,13
30,98	39,12	35,32	31,09	39,23	36,36	37,15
31,18	39,29	35,32	31,14	39,28	36,45	37,46
31,53	39,99	35,41	31,22	39,29	36,51	37,46
31,56	40,24	35,41	31,23	39,34	36,60	37,85
31,63	41,06	35,76	31,34	39,45	36,71	37,93
31,79	41,35	35,89	31,42	39,59	36,97	38,06
32,52	41,56	36,05	31,47	39,70	37,06	38,19
32,59	41,64	36,51	31,52	39,74	37,32	38,77
32,60	41,78	37,40	31,65	39,77	37,41	38,84
32,63	41,85	37,96	35,35	39,79	37,72	38,89
32,98	41,94	37,96	35,41	40,04	37,94	39,07
33,13	42,07	38,33	35,66	40,19	38,24	39,07
33,19	42,11	38,79	35,75	40,32	38,64	39,14
33,37	42,42	38,86	36,51	40,43	38,84	39,29
33,50	42,45	38,93	36,61	40,48	39,50	39,52
33,58	43,44	39,07	36,62	40,58	39,62	39,89
33,62	43,58	39,21	37,77	40,59	39,67	39,93
34,05	30,66	39,24	37,94	40,68	39,89	40,02
34,25	30,67	39,29	38,17	40,70	40,04	40,32
34,30	30,67	39,34	38,26	40,86	40,15	40,34
34,30	30,77	39,47	38,36	40,98	40,32	40,54
34,31	30,82	39,58	38,52	41,09	40,43	40,89
34,40	30,93	40,09	38,84	41,15	40,49	41,00
34,44	31,11	40,19	39,49	41,31	40,84	41,03
34,53	31,22	40,54	39,74	41,39	40,95	41,09
34,70	31,31	40,58	39,74	41,58	41,08	41,40
34,73	31,32	40,63	40,13	41,74	41,74	41,49
35,03	31,43	41,03	40,19	42,11	42,31	41,49
35,40	31,43	41,63	40,24	42,19	42,79	42,05
35,42	31,54	41,69	40,40	42,20	42,80	42,59
35,69	31,64	41,78	40,57	42,22	43,20	42,75
35,79	31,83	41,86	40,70	42,49	43,34	42,92
35,85	31,86	41,88	40,70	42,57	43,42	43,35
36,01	31,87	41,89	41,51	42,72	43,47	43,57
36,45	32,23	42,09	41,70	42,82	43,48	43,75
36,51	32,28	42,14	41,85	42,96	43,48	43,90
36,51	32,34	42,22	42,11	43,25	43,82	43,96
36,55	32,43	42,39	42,20	43,68	43,88	44,08
36,57	32,62	42,87	42,24	44,15	43,91	44,43
36,62	32,70	42,89	42,24	44,26	44,00	44,86
31,67	33,32	34,69	42,27	44,45	44,25	30,45
31,82	33,34	34,69	42,45	44,52	44,35	30,80

31,83	33,35	34,79	42,50	30,07	44,57	30,81
31,87	33,35	34,84	43,12	30,12	30,22	32,44
31,87	33,45	35,19	43,29	30,33	30,33	32,67
31,87	33,49	35,32	43,44	30,46	30,43	32,77
31,91	33,55	35,32	43,55	30,61	30,66	33,03
31,98	33,57	35,35	43,58	31,29	31,27	33,19
32,07	33,57	35,41	43,58	31,39	31,29	33,25
32,28	33,57	35,42	43,81	31,57	31,57	33,84
32,39	33,68	35,46	43,91	31,69	31,83	34,06
32,39	33,76	35,47	44,12	31,74	31,97	34,40
32,45	33,81	35,61	44,30	31,83	32,02	34,95
32,55	34,09	35,75	36,32	33,25	32,50	43,21
32,64	34,16	35,79	36,44	33,47	32,67	30,72
32,90	34,21	36,29	36,55	33,60	32,79	-
33,08	34,68	36,31	36,61	33,75	33,03	-

APÊNDICE B

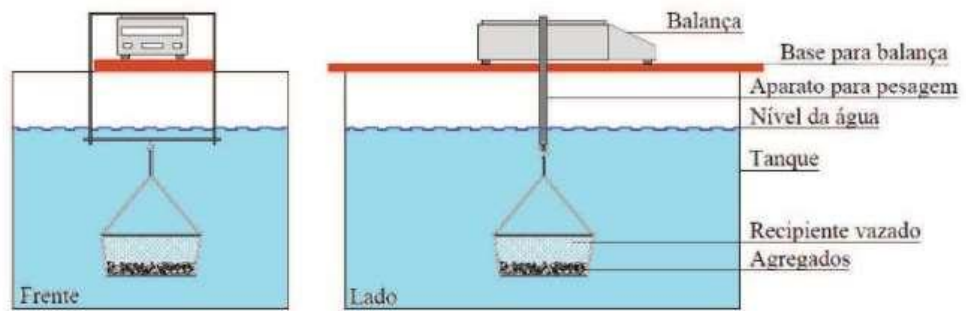
Absorção de água do agregado por imersão

Passo a passo para a realização do ensaio de absorção de água por imersão do AGN/ AGRC:

- 1) Colocar as amostras em estufa em temperatura $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ até a constância de massa;
- 2) Retirar as amostras da estufa e colocá-las em dessecadores contendo sílica gel para serem resfriadas. Esse processo deve ser realizado antes das amostras serem submetidas ao ensaio de absorção;
- 3) Registrar a absorção de água no primeiro minuto:
 - Determinar a massa seca da amostra;
 - Colocar o material dentro de um recipiente vazado e submergir em água; por um 1 minuto e registrar a massa com auxílio de uma balança hidrostática;
 - Retirar o material da água, secá-lo superficialmente com um pano úmido;
 - Determinar a massa da amostra;
 - Realizar esse processo com 3 amostras de 500g.
- 4) Registrar a absorção ao longo do tempo:
- 5) Uma amostra de 500g de agregado foi colocada em um recipiente vazado, acoplado a uma balança hidrostática;
- 6) Submergir o sistema em água;
- 7) Registrar os valores de aumento de massa, por meio da utilização da balança hidrostática, nos seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 3, 4,5, 10, 15, 30 e 60 minutos; 2, 3, 4, 5,6, 24, 48 e 72 horas.
- 8) Permanecer com a amostra, ininterruptamente, submersa durante as 72 h do ensaio.

Na Figura B é possível verificar o esquema de montagem para o ensaio de absorção de água do AGRC.

Figura B – Esquema de montagem para o ensaio de absorção de água do AGRC



Fonte: Hentges (2018 , p.91)

APÊNDICE C

Teor de argamassa aderida no AGRC

Processo de determinação do teor de argamassa aderida no AGRC de acordo com Heineck (2012):

- 1) Utilizar a massa de 1 kg de AGRC;
- 2) Colocar as amostras em estufa em temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ até constância de massa;
- 3) Determinar a massa seca inicial (M_i);
- 4) Colocar as amostras em um forno mufla com temperatura de pré-aquecida de 800°C , por aproximadamente 3 horas;
- 5) Colocar o material, após retirado do forno mufla, em um recipiente com água fria sobre uma tela metálica, como apresentado na Figura C1;

Figura C1 – AGRC inserido em um recipiente com água fria



Fonte: Elaborada pela autora

- 6) Retirar o material da água fria e remover o excesso da mesma;
- 7) Colocar, novamente, a amostra na estufa a uma temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas;
- 8) Retirar a amostra a estufa, envolvê-la em um pano e com um martelo de borracha, provocar a desintegração agregado/argamassa. Essa etapa pode ser visualizada na Figura C2;

Figura C2 – Desintegração agregado/argamassa



Fonte: Elaborada pela autora

- 9) Peneirar a amostra anterior com a finalidade de eliminar o material passante na peneira de 4,8 mm e, em seguida, determinar a massa final;
- 10) Imergir a amostra retida na peneira 4,8 mm em uma solução de ácido clorídrico em temperatura ambiente por 72 h, conforme mostrado na Figura C3;

Figura C3 – AGRC em solução de ácido clorídrico



Fonte: Elaborada pela autora

- 11) Retirar os agregados do ácido clorídrico e lavá-los;
- 12) Secar o material em estufa à temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 h e depois esfriá-los em temperatura ambiente;
- 13) Realizar o peneiramento dos agregados, eliminando as partículas de granulometria inferior a 4,8 mm;
- 14) Registrar a massa final dos grãos retidos na peneira de 4,8 mm (M_f);
- 15) Calcular o teor de argamassa aderida no AGRC por meio da Equação C

$$\text{Teor de argamassa aderida} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação C}$$

APÊNDICE D

Percentual de argamassa presente na área superficial do AGRC

Processo de determinação do percentual de argamassa presente na área superficial do AGRC por meio do software *ImageJ*:

- 16) Selecionar uma amostragem de 100 AGRC;
- 17) Colocar os AGRC em uma superfície lisa com uma coloração diferente da presente nos agregados;
- 18) Posicionar os 100 AGRC em linhas verticais e horizontais com intuito de melhor focalizá-los na câmera fotográfica, conforme pode ser visualizado na Figura D1;

Figura D1 – Posicionamento dos AGRC



Fonte: Elaborada pela autora

- 19) Realizar do processamento de imagem com a utilização do programa *ImageJ*;
- 20) No programa:
 - Identificar a cor de fundo retratado na imagem;
 - Remover a cor de fundo, conforme Figura D2;

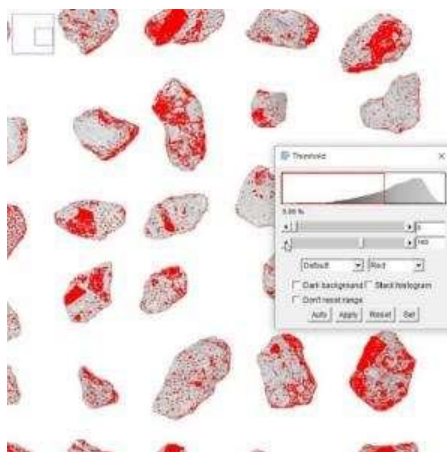
Figura D2 – Remoção do fundo



Fonte: Elaborada pela autora

- Identificar o valor limite de cor na escala de cinza utilizando o histograma, como apresentado na Figura D3. Salientando que a parte cinza representa a presença de argamassa.

Figura D3– Histograma



Fonte: Elaborada pela autora

- Identificar nos AGRC a parte que corresponde apenas aos agregados. Após utilizar o histograma é possível identificar tanto a parte correspondente de argamassa quanto a parte de agregado graúdo, o qual é representado na cor preta na Figura D4.

Figura D4– Identificação no AGRC da parte correspondente a argamassa e ao agregado natural



Fonte: Elaborada pela autora

- Transformar, no *Script Python* com a utilização da biblioteca *OpenCV*, a imagem dos 100 AGRC com o fundo removido em uma matriz em escala de cinza,
- Identificar as quantidades de pixels correspondentes ao agregado graúdo e a argamassa, a partir de um valor limite de cor na escala de cinza.
- Calcular as porcentagens totais de agregado graúdo e argamassa correspondentes na amostra considerada.
- Os tópicos anteriormente mencionados são mostrados, na Figura D5, em linguagem de programação desenvolvida para a execução desse processo.

Figura D5– Elaboração de uma linguagem de programação para a determinação do percentual de argamassa presente na área superficial do AGRC

```
In [12]: import cv2
...: import numpy as np
...:
...: #Carregar imagem em uma variável
...: image = cv2.imread("fundo.png")
...:
...: #Transformar a imagem para a escala de cinza
...: gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
...:
...: #Transformar imagem em matriz de uma dimensão
...: itemlist = np.asarray(gray).flatten()
...: sum(itemlist[itemlist < 160])
...:
...: #Salvar a quantidade de pixels que representam brita
...: brita = len([i for i in itemlist if i < 160 and i > 0])
...:
...: #Salvar a quantidade de pixels que representam argamassa
...: argm = len([i for i in itemlist if i >= 160 and i < 255])
...:
...: #Quantidade de pixels que representam o fundo
...: fundo = len([i for i in itemlist if i == 255])
...:
...: #Calcular o total de pixels considerados para cálculo
...: total = brita + argm
...:
...: #Exibir as porcentagens
...: print("Porcentagem argamassa = " + str(round(argm/total*100,2)) + "%")
...: print("Porcentagem brita = " + str(round(brita/total*100,2)) + "%")
Porcentagem argamassa = 74.72%
Porcentagem brita = 25.28%
```

Fonte: Elaborada pela autora

APÊNDICE E

Memorial de Cálculo para a determinação das EPT (mm)

Tabela E – Memorial de cálculo para a determinação das EPT (mm)

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,250	0,700	2,165	5,000	26,250	27,100	26,250	0,000	0,850	0,652	0,100	0,992	0,995	0,993	0,993	3,142	3,121	0,079	10,725	0,025	0,190	0,003
2			2,165	5,000	26,210	26,800	26,210	0,000	0,590			0,992	0,994	0,995	0,994	3,142	3,122	0,055	10,430	0,017		
3			2,165	5,000	26,080	26,700	26,080	0,000	0,620			0,992	0,987	0,989	0,989	3,142	3,108	0,057	10,380	0,018		
4			2,165	5,000	25,820	26,400	25,820	0,000	0,580			0,990	0,983	0,982	0,985	3,142	3,094	0,054	10,249	0,017		
5			2,165	5,000	25,880	26,500	25,880	0,000	0,620			0,982	0,983	0,984	0,983	3,142	3,088	0,057	10,257	0,018		
6			2,165	5,000	25,850	26,500	25,850	0,000	0,650			0,986	0,987	0,985	0,986	3,142	3,098	0,060	10,350	0,019		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
7	0,250	0,700	2,165	5,000	11,800	14,500	11,900	0,100	2,700	2,517	0,426	0,828	0,825	0,822	0,825	3,142	2,592	0,249	9,852	0,087	0,808	0,013
8			2,165	5,000	11,900	15,000	12,000	0,100	3,100			0,850	0,819	0,830	0,833	3,142	2,617	0,286	10,448	0,098		
9			2,165	5,000	11,400	13,800	11,500	0,100	2,400			0,839	0,833	0,843	0,838	3,142	2,634	0,222	9,723	0,077		
10			2,165	5,000	11,200	13,000	11,300	0,100	1,800			0,827	0,819	0,838	0,828	3,142	2,601	0,166	8,856	0,060		
11			2,165	5,000	11,600	14,200	11,700	0,100	2,600			0,859	0,845	0,825	0,843	3,142	2,648	0,240	10,033	0,083		
12			2,165	5,000	12,300	14,800	12,400	0,100	2,500			0,819	0,851	0,840	0,837	3,142	2,628	0,231	9,812	0,080		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
1	0,250	0,600	2,138	5,000	26,250	27,370	26,250	0,000	1,120	1,057	0,168	0,992	0,995	0,993	0,993	3,142	3,121	0,105	11,055	0,033	0,309	0,005	
2			2,138	5,000	26,210	27,200	26,210	0,000	0,990			0,992	0,994	0,995	0,994	3,142	3,122	0,093	10,909	0,029			
3			2,138	5,000	26,080	26,870	26,080	0,000	0,790			0,992	0,987	0,989	0,989	3,142	3,108	0,074	10,589	0,023			
4			2,138	5,000	25,820	26,830	25,820	0,000	1,010			0,990	0,983	0,982	0,985	3,142	3,094	0,095	10,763	0,030			
5			2,138	5,000	25,880	27,030	25,880	0,000	1,150			0,982	0,983	0,984	0,983	3,142	3,088	0,108	10,889	0,034			
6			2,138	5,000	25,850	27,130	25,850	0,000	1,280			0,986	0,987	0,985	0,986	3,142	3,098	0,120	11,100	0,037			

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
1	0,250	0,600	2,138	5,000	11,420	14,500	11,480	0,060	3,080	3,108	0,464	0,842	0,848	0,832	0,841	3,142	2,641	0,288	10,596	0,098	0,982	0,013	
2			2,138	5,000	11,120	13,690	11,180	0,060	2,570			0,846	0,846	0,843	0,845	3,142	2,655	0,240	10,069	0,083			
3			2,138	5,000	11,120	15,050	11,300	0,180	3,930			0,838	0,841	0,848	0,842	3,142	2,646	0,368	11,624	0,121			
4			2,138	5,000	11,530	14,310	11,650	0,120	2,780			0,844	0,846	0,826	0,839	3,142	2,635	0,260	10,211	0,089			
5			2,138	5,000	11,480	14,630	11,550	0,070	3,150			0,826	0,859	0,849	0,845	3,142	2,654	0,295	10,745	0,099			
6			2,138	5,000	11,930	15,070	12,050	0,120	3,140			0,846	0,840	0,850	0,845	3,142	2,656	0,294	10,745	0,099			

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
1	0,250	0,500	2,154	5,000	26,250	27,900	26,250	0,000	1,650	2,235	0,421	0,992	0,995	0,993	0,993	3,142	3,121	0,153	11,664	0,047	0,628	0,011	
2			2,154	5,000	26,210	28,200	26,210	0,000	1,990			0,992	0,994	0,995	0,994	3,142	3,122	0,185	12,067	0,056			
3			2,154	5,000	26,080	28,300	26,080	0,000	2,220			0,992	0,987	0,989	0,989	3,142	3,108	0,206	12,251	0,062			
4			2,154	5,000	25,820	28,100	25,820	0,000	2,280			0,990	0,983	0,982	0,985	3,142	3,094	0,212	12,236	0,064			
5			2,154	5,000	25,880	28,800	25,880	0,000	2,920			0,982	0,983	0,984	0,983	3,142	3,088	0,271	12,944	0,081			
6			2,154	5,000	25,850	28,200	25,850	0,000	2,350			0,986	0,987	0,985	0,986	3,142	3,098	0,218	12,337	0,066			

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
13	0,250	0,500	2,154	5,000	11,800	16,600	11,900	0,100	4,800	4,933	1,384	0,837	0,847	0,836	0,840	3,142	2,639	0,446	12,565	0,144	1,469	0,037	
14			2,154	5,000	11,600	17,300	11,800	0,200	5,700			0,841	0,833	0,844	0,839	3,142	2,637	0,529	13,604	0,167			
15			2,154	5,000	11,900	16,500	18,000	6,100	4,600			0,849	0,842	0,838	0,843	3,142	2,648	0,427	12,381	0,139			
16			2,154	5,000	11,800	16,700	12,000	0,200	4,900			0,835	0,836	0,831	0,834	3,142	2,620	0,455	12,583	0,148			
17			2,154	5,000	11,500	18,400	11,800	0,300	6,900			0,833	0,830	0,827	0,830	3,142	2,608	0,641	14,851	0,198			
18			2,154	5,000	11,700	14,400	11,700	0,000	2,700			0,847	0,846	0,854	0,849	3,142	2,667	0,251	10,265	0,085			

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
1	0,25	0,400	2,131	5,000	26,250	30,300	26,250	0,000	4,050	3,985	0,288	0,992	0,995	0,993	0,993	3,142	3,121	0,380	14,514	0,110	1,085	0,007	
2			2,131	5,000	26,210	30,200	26,210	0,000	3,990			0,992	0,994	0,995	0,994	3,142	3,122	0,374	14,450	0,108			
3			2,131	5,000	26,080	30,300	26,080	0,000	4,220			0,992	0,987	0,989	0,989	3,142	3,108	0,396	14,636	0,114			
4			2,131	5,000	25,820	29,900	25,820	0,000	4,080			0,990	0,983	0,982	0,985	3,142	3,094	0,383	14,387	0,111			
5			2,131	5,000	25,880	29,300	25,880	0,000	3,420			0,982	0,983	0,984	0,983	3,142	3,088	0,321	13,570	0,095			
6			2,131	5,000	25,850	30,000	25,850	0,000	4,150			0,986	0,987	0,985	0,986	3,142	3,098	0,389	14,489	0,113			

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
37	0,25	0,400	2,131	5,000	11,700	18,200	11,800	0,100	6,500	7,383	0,736	0,843	0,849	0,852	0,848	3,142	2,664	0,610	14,762	0,187	2,063	0,018	
38			2,131	5,000	11,500	17,900	11,600	0,100	6,400			0,865	0,871	0,886	0,874	3,142	2,746	0,601	15,086	0,181			
39			2,131	5,000	11,600	19,300	11,800	0,200	7,700			0,838	0,877	0,844	0,853	3,142	2,680	0,723	16,260	0,215			
40			2,131	5,000	11,800	19,500	11,800	0,000	7,700			0,899	0,877	0,876	0,884	3,142	2,777	0,723	16,792	0,210			
41			2,131	5,000	11,400	19,400	11,400	0,000	8,000			0,850	0,842	0,853	0,848	3,142	2,665	0,751	16,536	0,223			
42			2,131	5,000	11,400	19,400	11,400	0,000	8,000			0,875	0,882	0,827	0,861	3,142	2,706	0,751	16,755	0,221			

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
1	0,25	0,300	2,120	5,000	26,250	26,700	26,250	0,000	0,450	0,287	0,441	0,992	0,995	0,993	0,993	3,142	3,121	0,042	10,272	0,013	0,085	0,013	
2			2,120	5,000	26,210	26,210	26,210	0,000	0,000			0,992	0,994	0,995	0,994	3,142	3,122	0,000	9,745	0,000			
3			2,120	5,000	26,080	27,200	26,080	0,000	1,120			0,992	0,987	0,989	0,989	3,142	3,108	0,106	10,988	0,033			
4			2,120	5,000	25,820	25,900	25,820	0,000	0,080			0,990	0,983	0,982	0,985	3,142	3,094	0,008	9,671	0,002			
5			2,120	5,000	25,880	25,900	25,880	0,000	0,020			0,982	0,983	0,984	0,983	3,142	3,088	0,002	9,561	0,001			
6			2,120	5,000	25,850	25,900	25,850	0,000	0,050			0,986	0,987	0,985	0,986	3,142	3,098	0,005	9,654	0,002			

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA (g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	ESPESSURA DE PASTA $e^{2*\pi} + 2*r1*\pi*e$ -Vol. Pasta/profundidade=0						e médio (mm)	desvio padrão
																a	b (+)	c(+)	Δ	e (+)			
43	0,25	0,300	2,120	5,000	11,800	21,700	11,800	0,000	9,900	5,283	3,776	0,829	0,859	0,877	0,855	3,142	2,686	0,934	18,952	0,265	1,498	0,098	
44			2,120	5,000	11,500	13,600	11,500	0,000	2,100			0,831	0,839	0,868	0,846	3,142	2,658	0,198	9,554	0,069			
45			2,120	5,000	11,500	19,700	11,700	0,200	8,200			0,855	0,863	0,866	0,861	3,142	2,706	0,774	17,044	0,226			
46			2,120	5,000	11,600	14,300	11,800	0,200	2,700			0,864	0,854	0,836	0,851	3,142	2,675	0,255	10,354	0,086			
47			2,120	5,000	11,800	19,600	11,900	0,100	7,800			0,852	0,874	0,842	0,856	3,142	2,689	0,736	16,480	0,218			
48			2,120	5,000	11,500	12,500	11,600	0,100	1,000			0,854	0,858	0,866	0,859	3,142	2,700	0,094	8,474	0,034			

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,700	2,08	5	26,25	26,6	26,25	0	0,35	0,29	0,07	0,992	0,995	0,993	0,993	10,16	0,011	0,09	0,0021
2			2,08	5	26,21	26,5	26,21	0	0,29			0,992	0,994	0,995	0,994	10,10	0,009		
3			2,08	5	26,08	26,3	26,08	0	0,22			0,992	0,987	0,989	0,989	9,93	0,007		
4			2,08	5	25,82	26,2	25,82	0	0,38			0,99	0,983	0,982	0,985	10,03	0,012		
5			2,08	5	25,88	26,1	25,88	0	0,22			0,982	0,983	0,984	0,983	9,80	0,007		
6			2,08	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,90	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
7	0,30	0,700	2,08	5	11,6	13	11,8	0,2	1,4	1,42	0,16	0,84	0,863	0,862	0,855	8,90	0,047	0,48	0,0056
8			2,08	5	11,7	13,2	11,8	0,1	1,5			0,861	0,852	0,828	0,847	8,89	0,051		
9			2,08	5	11,9	13,4	11,9	0	1,5			0,884	0,879	0,86	0,874	9,36	0,050		
10			2,08	5	12	13,1	12	0	1,1			0,85	0,89	0,889	0,876	8,91	0,037		
11			2,08	5	11,5	13	11,5	0	1,5			0,856	0,862	0,861	0,860	9,10	0,050		
12			2,08	5	11,5	13	11,6	0,1	1,5			0,831	0,837	0,839	0,836	8,70	0,052		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,600	2,08	5	26,25	26,6	26,25	0	0,35	0,29	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	10,16	0,011	0,09	0,0014
2			2,08	5	26,21	26,5	26,21	0	0,29			0,992	0,994	0,995	0,994	10,10	0,009		
3			2,08	5	26,08	26,4	26,08	0	0,32			0,992	0,987	0,989	0,989	10,05	0,010		
4			2,08	5	25,82	26,1	25,82	0	0,28			0,99	0,983	0,982	0,985	9,91	0,009		
5			2,08	5	25,88	26,1	25,88	0	0,22			0,982	0,983	0,984	0,983	9,80	0,007		
6			2,08	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,90	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,600	2,08	5	12	13,3	12,1	0,1	1,3	1,5	0,22	0,885	0,88	0,864	0,876	9,15	0,043	0,51	0,0068
2			2,08	5	11,3	12,8	11,3	0	1,5			0,833	0,837	0,852	0,841	8,79	0,051		
3			2,08	5	11,9	13,4	11,9	0	1,5			0,871	0,882	0,874	0,876	9,38	0,050		
4			2,08	5	11,8	13,7	11,9	0,1	1,9			0,857	0,877	0,864	0,866	9,70	0,063		
5			2,08	5	11,5	13	11,6	0,1	1,5			0,827	0,839	0,831	0,832	8,65	0,052		
6			2,08	5	11,3	12,6	11,5	0,2	1,3			0,837	0,842	0,839	0,839	8,52	0,045		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,500	2,05	5	26,25	26,5	26,25	0	0,25	0,32	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	10,04	0,008	0,10	0,0014
2			2,05	5	26,21	26,5	26,21	0	0,29			0,992	0,994	0,995	0,994	10,10	0,009		
3			2,05	5	26,08	26,4	26,08	0	0,32			0,992	0,987	0,989	0,989	10,05	0,010		
4			2,05	5	25,82	26,2	25,82	0	0,38			0,99	0,983	0,982	0,985	10,04	0,012		
5			2,05	5	25,88	26,2	25,88	0	0,32			0,982	0,983	0,984	0,983	9,93	0,010		
6			2,05	5	25,85	26,2	25,85	0	0,35			0,986	0,987	0,985	0,986	10,02	0,011		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
13	0,30	0,500	2,05	5	11,9	13,6	12	0,1	1,7	1,66	0,16	0,853	0,871	0,861	0,862	9,41	0,057	0,57	0,0055
14			2,05	5	11,8	13,4	11,9	0,1	1,6			0,871	0,882	0,878	0,877	9,55	0,053		
15			2,05	5	11,8	13,2	11,8	0	1,4			0,831	0,858	0,856	0,848	8,82	0,048		
16			2,05	5	11,9	13,6	11,9	0	1,7			0,838	0,842	0,843	0,841	9,06	0,059		
17			2,05	5	11,3	13	11,4	0,1	1,7			0,869	0,864	0,875	0,869	9,54	0,057		
18			2,05	5	11,6	13,5	11,7	0,1	1,9			0,827	0,853	0,849	0,843	9,34	0,065		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,400	2,07	5	26,25	27,3	26,25	0	1,05	0,99	0,09	0,992	0,995	0,993	0,993	11,01	0,032	0,30	0,0026
2			2,07	5	26,21	27,1	26,21	0	0,89			0,992	0,994	0,995	0,994	10,83	0,027		
3			2,07	5	26,08	27	26,08	0	0,92			0,992	0,987	0,989	0,989	10,78	0,028		
4			2,07	5	25,82	26,8	25,82	0	0,98			0,99	0,983	0,982	0,985	10,77	0,030		
5			2,07	5	25,88	27	25,88	0	1,12			0,982	0,983	0,984	0,983	10,90	0,034		
6			2,07	5	25,85	26,8	25,85	0	0,95			0,986	0,987	0,985	0,986	10,75	0,029		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
37	0,30	0,400	2,07	5	11,3	14	11,4	0,1	2,7	3,12	0,47	0,873	0,868	0,855	0,865	10,67	0,087	1,01	0,0148
38			2,07	5	11,2	14,4	11,4	0,2	3,2			0,849	0,835	0,837	0,840	10,86	0,104		
39			2,07	5	11,9	15	12	0,1	3,1			0,841	0,868	0,873	0,861	11,08	0,099		
40			2,07	5	11,6	15,6	11,8	0,2	4			0,837	0,828	0,824	0,830	11,65	0,129		
41			2,07	5	11,5	14,3	11,6	0,1	2,8			0,861	0,847	0,839	0,849	10,52	0,092		
42			2,07	5	11,6	14,5	11,8	0,2	2,9			0,859	0,852	0,858	0,856	10,76	0,094		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,300	2,03	5	26,25	28,9	26,25	0	2,65	2,04	0,35	0,992	0,995	0,993	0,993	13,02	0,078	0,61	0,0096
2			2,03	5	26,21	28,4	26,21	0	2,19			0,992	0,994	0,995	0,994	12,46	0,065		
3			2,03	5	26,08	27,8	26,08	0	1,72			0,992	0,987	0,989	0,989	11,79	0,052		
4			2,03	5	25,82	27,7	25,82	0	1,88			0,99	0,983	0,982	0,985	11,90	0,057		
5			2,03	5	25,88	27,9	25,88	0	2,02			0,982	0,983	0,984	0,983	12,04	0,061		
6			2,03	5	25,85	27,6	25,85	0	1,75			0,986	0,987	0,985	0,986	11,76	0,053		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,30	0,300	2,03	5	11,4	15,6	11,5	0,1	4,2	4,67	0,63770422	0,879	0,868	0,873	0,873	12,73	0,131	1,44	0,0171
44			2,03	5	11,7	15,9	11,8	0,1	4,2			0,872	0,879	0,887	0,879	12,83	0,130		
45			2,03	5	11,7	17	11,9	0,2	5,3			0,859	0,875	0,884	0,873	14,08	0,161		
46			2,03	5	11,8	17,4	11,8	0	5,6			0,87	0,862	0,876	0,869	14,39	0,169		
47			2,03	5	11,1	15,7	11,3	0,2	4,6			0,862	0,868	0,864	0,865	13,07	0,143		
48			2,03	5	11,1	15,2	11,2	0,1	4,1			0,86	0,857	0,855	0,857	12,33	0,130		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π+2*r1*π*e-VolPasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,30	0,200	2,06	5	26,25	27,2	26,25	0	0,95	1,44	0,73	0,992	0,995	0,993	0,993	10,90	0,029	0,43	0,0208
2			2,06	5	26,21	27,7	26,21	0	1,49			0,992	0,994	0,995	0,994	11,57	0,044		
3			2,06	5	26,08	28,8	26,08	0	2,72			0,992	0,987	0,989	0,989	12,98	0,079		
4			2,06	5	25,82	27,3	25,82	0	1,48			0,99	0,983	0,982	0,985	11,38	0,045		
5			2,06	5	25,88	27,3	25,88	0	1,42			0,982	0,983	0,984	0,983	11,27	0,043		
6			2,06	5	25,85	26,4	25,85	0	0,55			0,986	0,987	0,985	0,986	10,27	0,017		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π+2*r1*π*e-Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,30	0,200	2,06	5	11,5	21,1	11,6	0,1	9,6	3,88333	3,66628786	0,856	0,847	0,849	0,851	18,88	0,266	1,17	0,0994
44			2,06	5	11,5	18,8	11,6	0,1	7,3			0,834	0,828	0,838	0,833	15,78	0,215		
45			2,06	5	11,9	12,9	12	0,1	1			0,857	0,854	0,844	0,852	8,38	0,035		
46			2,06	5	11,7	14,5	11,9	0,2	2,8			0,839	0,845	0,841	0,842	10,41	0,093		
47			2,06	5	11,4	12,6	11,5	0,1	1,2			0,833	0,828	0,833	0,831	8,29	0,043		
48			2,06	5	11,1	12,5	11,1	0	1,4			0,83	0,83	0,824	0,828	8,48	0,049		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,700	1,99	5	26,25	26,4	26,25	0	0,15	0,14	0,06	0,992	0,995	0,993	0,993	9,93	0,005	0,04	0,0020
2			1,99	5	26,21	26,3	26,21	0	0,09			0,992	0,994	0,995	0,994	9,86	0,003		
3			1,99	5	26,08	26,2	26,08	0	0,12			0,992	0,987	0,989	0,989	9,81	0,004		
4			1,99	5	25,82	25,9	25,82	0	0,08			0,99	0,983	0,982	0,985	9,68	0,003		
5			1,99	5	25,88	26	25,88	0	0,12			0,982	0,983	0,984	0,983	9,69	0,004		
6			1,99	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,91	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
7	0,34	0,700	1,99	5	11,8	11,9	11,8	0	0,1	0,38	0,183	0,818	0,836	0,831	0,828	6,90	0,004	0,14	0,0067
8			1,99	5	11,5	11,8	11,6	0,1	0,3			0,877	0,879	0,87	0,875	7,94	0,011		
9			1,99	5	11,5	12,1	11,6	0,1	0,6			0,875	0,85	0,87	0,865	8,14	0,022		
10			1,99	5	11,9	12,4	12	0,1	0,5			0,839	0,833	0,848	0,840	7,59	0,019		
11			1,99	5	11,9	12,4	12	0,1	0,5			0,856	0,85	0,853	0,853	7,81	0,018		
12			1,99	5	11,8	12,1	11,9	0,1	0,3			0,899	0,859	0,849	0,869	7,83	0,011		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,600	2,01	5	26,25	26,5	26,25	0	0,25	0,19	0,10	0,992	0,995	0,993	0,993	10,05	0,008	0,06	0,0033
2			2,01	5	26,21	26,3	26,21	0	0,09			0,992	0,994	0,995	0,994	9,86	0,003		
3			2,01	5	26,08	26,1	26,08	0	0,02			0,992	0,987	0,989	0,989	9,69	0,001		
4			2,01	5	25,82	26,1	25,82	0	0,28			0,99	0,983	0,982	0,985	9,93	0,009		
5			2,01	5	25,88	26,1	25,88	0	0,22			0,982	0,983	0,984	0,983	9,81	0,007		
6			2,01	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,91	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,600	2,01	5	11,1	12,1	11,3	0,2	1	0,93	0,175	0,889	0,884	0,88	0,884	8,97	0,034	0,33	0,0059
2			2,01	5	11,4	12,4	11,6	0,2	1			0,845	0,866	0,858	0,856	8,49	0,035		
3			2,01	5	12	12,9	12,1	0,1	0,9			0,86	0,862	0,881	0,868	8,55	0,032		
4			2,01	5	11,3	12	11,4	0,1	0,7			0,855	0,861	0,857	0,858	8,13	0,025		
5			2,01	5	12	13,2	12,2	0,2	1,2			0,887	0,863	0,845	0,865	8,88	0,042		
6			2,01	5	11,5	12,3	11,6	0,1	0,8			0,877	0,884	0,868	0,876	8,58	0,028		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,500	2,00	5	26,25	26,5	26,25	0	0,25	0,25	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	10,05	0,008	0,08	0,0015
2			2,00	5	26,21	26,4	26,21	0	0,19			0,992	0,994	0,995	0,994	9,98	0,006		
3			2,00	5	26,08	26,3	26,08	0	0,22			0,992	0,987	0,989	0,989	9,94	0,007		
4			2,00	5	25,82	26,1	25,82	0	0,28			0,99	0,983	0,982	0,985	9,93	0,009		
5			2,00	5	25,88	26,2	25,88	0	0,32			0,982	0,983	0,984	0,983	9,94	0,010		
6			2,00	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,91	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
13	0,34	0,500	2,00	5	11,6	12,6	11,8	0,2	1	1	0,276	0,835	0,83	0,83	0,832	8,08	0,037	0,36	0,0096
14			2,00	5	11,1	12,4	11,3	0,2	1,3			0,844	0,84	0,838	0,841	8,61	0,047		
15			2,00	5	12	13,3	12,1	0,1	1,3			0,832	0,844	0,842	0,839	8,59	0,047		
16			2,00	5	12,1	12,9	12,2	0,1	0,8			0,83	0,829	0,83	0,830	7,80	0,030		
17			2,00	5	10,5	11,1	10,5	0	0,6			0,844	0,835	0,843	0,841	7,73	0,022		
18			2,00	5	11,5	12,5	11,5	0	1			0,843	0,835	0,844	0,841	8,23	0,036		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,400	2,00	5	26,25	26,6	26,25	0	0,35	0,27	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	10,18	0,011	0,09	0,0015
2			2,00	5	26,21	26,5	26,21	0	0,29			0,992	0,994	0,995	0,994	10,11	0,009		
3			2,00	5	26,08	26,3	26,08	0	0,22			0,992	0,987	0,989	0,989	9,94	0,007		
4			2,00	5	25,82	26,1	25,82	0	0,28			0,99	0,983	0,982	0,985	9,93	0,009		
5			2,00	5	25,88	26,1	25,88	0	0,22			0,982	0,983	0,984	0,983	9,81	0,007		
6			2,00	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,91	0,008		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
37	0,34	0,400	2,00	5	11,5	12,5	11,6	0,1	1	1,13	0,294	0,878	0,888	0,855	0,874	8,79	0,035	0,39	0,0095
38			2,00	5	11,5	12,9	11,6	0,1	1,4			0,897	0,89	0,87	0,886	9,50	0,048		
39			2,00	5	11,4	12,6	11,5	0,1	1,2			0,886	0,88	0,86	0,875	9,07	0,042		
40			2,00	5	11,3	12	11,4	0,1	0,7			0,869	0,873	0,861	0,868	8,31	0,025		
41			2,00	5	11,3	12,3	11,4	0,1	1			0,858	0,872	0,869	0,866	8,66	0,035		
42			2,00	5	11,6	13,1	11,8	0,2	1,5			0,89	0,891	0,881	0,887	9,66	0,051		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,300	2,021	5	26,25	26,81	26,25	0	0,56	0,59	0,07	0,992	0,995	0,993	0,993	10,43	0,017	0,19	0,0023
2			2,021	5	26,21	26,71	26,21	0	0,5			0,992	0,994	0,995	0,994	10,37	0,016		
3			2,021	5	26,08	26,72	26,08	0	0,64			0,992	0,987	0,989	0,989	10,46	0,020		
4			2,021	5	25,82	26,4	25,82	0	0,58			0,99	0,983	0,982	0,985	10,30	0,018		
5			2,021	5	25,88	26,59	25,88	0	0,71			0,982	0,983	0,984	0,983	10,42	0,022		
6			2,021	5	25,85	26,41	25,85	0	0,56			0,986	0,987	0,985	0,986	10,29	0,018		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,34	0,300	2,021	5	11,56	12,85	11,6	0,04	1,29	1,74	0,38	0,835	0,827	0,824	0,829	8,38	0,046	0,62	0,0124
44			2,021	5	12,02	13,9	12,03	0,01	1,88			0,835	0,842	0,823	0,833	9,19	0,066		
45			2,021	5	11,65	13,25	11,67	0,02	1,6			0,825	0,839	0,839	0,834	8,86	0,057		
46			2,021	5	12,08	14,02	12,13	0,05	1,94			0,838	0,826	0,828	0,831	9,22	0,068		
47			2,021	5	11,52	12,95	11,54	0,02	1,43			0,812	0,811	0,822	0,815	8,33	0,052		
48			2,021	5	11,36	13,68	11,44	0,08	2,32			0,820	0,828	0,827	0,825	9,60	0,081		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,34	0,200	1,98	5	26,25	27	26,25	0	0,75	1,65	0,50	0,992	0,995	0,993	0,993	10,69	0,024	0,51	0,0149
2			1,98	5	26,21	27,8	26,21	0	1,59			0,992	0,994	0,995	0,994	11,76	0,049		
3			1,98	5	26,08	27,7	26,08	0	1,62			0,992	0,987	0,989	0,989	11,71	0,050		
4			1,98	5	25,82	27,9	25,82	0	2,08			0,99	0,983	0,982	0,985	12,21	0,064		
5			1,98	5	25,88	28	25,88	0	2,12			0,982	0,983	0,984	0,983	12,22	0,065		
6			1,98	5	25,85	27,6	25,85	0	1,75			0,986	0,987	0,985	0,986	11,81	0,054		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0			
																Δ	e (+)	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,34	0,200	1,98	5	11,3	14,2	11,5	0,2	2,9	4,017	1,094	0,859	0,835	0,84	0,845	10,72	0,099	1,31	0,0304
44			1,98	5	10,9	13,7	11,1	0,2	2,8			0,81	0,83	0,84	0,827	10,29	0,097		
45			1,98	5	11,1	16,8	11,5	0,4	5,7			0,855	0,87	0,843	0,856	14,46	0,177		
46			1,98	5	11,7	15,5	11,9	0,2	3,8			0,82	0,823	0,842	0,828	11,59	0,128		
47			1,98	5	11,3	15,8	11,5	0,2	4,5			0,826	0,819	0,907	0,851	12,85	0,145		
48			1,98	5	12	16,4	12,2	0,2	4,4			0,875	0,85	0,842	0,856	12,80	0,142		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*π} +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,700	1,89	5	26,25	26,3	26,25	0	0,05	0,05	0,03	0,992	0,995	0,993	0,993	9,80	0,02	0,0010
2			1,89	5	26,21	26,3	26,21	0	0,09			0,992	0,994	0,995	0,994	9,86		
3			1,89	5	26,08	26,1	26,08	0	0,02			0,992	0,987	0,989	0,989	9,69		
4			1,89	5	25,82	25,9	25,82	0	0,08			0,99	0,983	0,982	0,985	9,68		
5			1,89	5	25,88	25,9	25,88	0	0,02			0,982	0,983	0,984	0,983	9,56		
6			1,89	5	25,85	25,9	25,85	0	0,05			0,986	0,987	0,985	0,986	9,66		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*π} +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
7	0,40	0,700	1,89	5	11,9	12	12	0,1	0,1	0,22	0,08	0,837	0,832	0,837	0,835	7,02	0,09	0,0029
8			1,89	5	11,9	12,1	12	0,1	0,2			0,843	0,833	0,846	0,841	7,24		
9			1,89	5	11,4	11,6	11,5	0,1	0,2			0,831	0,825	0,831	0,829	7,05		
10			1,89	5	11,1	11,4	11,3	0,2	0,3			0,83	0,824	0,833	0,829	7,18		
11			1,89	5	11,5	11,8	11,6	0,1	0,3			0,862	0,859	0,854	0,858	7,67		
12			1,89	5	12,3	12,5	12,4	0,1	0,2			0,837	0,841	0,839	0,839	7,21		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,600	1,86	5	26,25	26,3	26,25	0	0,05	0,08	0,03	0,992	0,995	0,993	0,993	9,81	0,03	0,0011
2			1,86	5	26,21	26,3	26,21	0	0,09			0,992	0,994	0,995	0,994	9,87		
3			1,86	5	26,08	26,2	26,08	0	0,12			0,992	0,987	0,989	0,989	9,82		
4			1,86	5	25,82	25,9	25,82	0	0,08			0,99	0,983	0,982	0,985	9,68		
5			1,86	5	25,88	26	25,88	0	0,12			0,982	0,983	0,984	0,983	9,70		
6			1,86	5	25,85	25,9	25,85	0	0,05			0,986	0,987	0,985	0,986	9,66		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,600	1,86	5	11,8	12	11,9	0,1	0,2	0,20	0,13	0,835	0,833	0,836	0,835	7,15	0,08	0,0051
2			1,86	5	11,7	12	11,9	0,2	0,3			0,843	0,848	0,84	0,844	7,43		
3			1,86	5	12	12,1	12	0	0,1			0,846	0,847	0,845	0,846	7,20		
4			1,86	5	11,9	12	11,9	0	0,1			0,839	0,834	0,843	0,839	7,08		
5			1,86	5	11,6	12	11,8	0,2	0,4			0,831	0,834	0,828	0,831	7,36		
6			1,86	5	11,8	11,9	11,8	0	0,1			0,832	0,83	0,839	0,834	6,99		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,500	1,87	5	26,25	26,4	26,25	0	0,15	0,08	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	9,94	0,03	0,0016
2			1,87	5	26,21	26,3	26,21	0	0,09			0,992	0,994	0,995	0,994	9,87		
3			1,87	5	26,08	26,1	26,08	0	0,02			0,992	0,987	0,989	0,989	9,69		
4			1,87	5	25,82	25,9	25,82	0	0,08			0,99	0,983	0,982	0,985	9,68		
5			1,87	5	25,88	26	25,88	0	0,12			0,982	0,983	0,984	0,983	9,70		
6			1,87	5	25,85	25,9	25,85	0	0,05			0,986	0,987	0,985	0,986	9,66		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
13	0,40	0,500	1,87	5	11,3	11,5	11,4	0,1	0,2	0,267	0,052	0,837	0,84	0,84	0,839	7,22	0,11	0,0020
14			1,87	5	11,2	11,4	11,3	0,1	0,2			0,837	0,834	0,831	0,834	7,13		
15			1,87	5	11,8	12,1	12	0,2	0,3			0,827	0,826	0,832	0,828	7,17		
16			1,87	5	11,5	11,8	11,7	0,2	0,3			0,833	0,832	0,842	0,836	7,29		
17			1,87	5	11,4	11,7	11,6	0,2	0,3			0,84	0,846	0,835	0,840	7,37		
18			1,87	5	11,5	11,8	11,6	0,1	0,3			0,841	0,849	0,84	0,843	7,42		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,400	1,89	5	26,25	26,4	26,25	0	0,15	0,15	0,03	0,992	0,995	0,993	0,993	9,94	0,05	0,0010
2			1,89	5	26,21	26,4	26,21	0	0,19			0,992	0,994	0,995	0,994	10,00		
3			1,89	5	26,08	26,2	26,08	0	0,12			0,992	0,987	0,989	0,989	9,82		
4			1,89	5	25,82	26	25,82	0	0,18			0,99	0,983	0,982	0,985	9,81		
5			1,89	5	25,88	26	25,88	0	0,12			0,982	0,983	0,984	0,983	9,70		
6			1,89	5	25,85	26	25,85	0	0,15			0,986	0,987	0,985	0,986	9,79		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ^{2*} π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
37	0,40	0,400	1,89	5	12,1	12,5	12,2	0,1	0,4	0,300	0,089	0,855	0,847	0,854	0,852	7,70	0,12	0,0033
38			1,89	5	11,4	11,7	11,5	0,1	0,3			0,816	0,836	0,865	0,839	7,35		
39			1,89	5	11,7	11,9	11,7	0	0,2			0,862	0,856	0,835	0,851	7,41		
40			1,89	5	12	12,2	12,1	0,1	0,2			0,837	0,827	0,829	0,831	7,08		
41			1,89	5	11,9	12,3	12,1	0,2	0,4			0,884	0,889	0,867	0,880	8,17		
42			1,89	5	11,9	12,2	12	0,1	0,3			0,874	0,864	0,835	0,858	7,66		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,300	1,91	5	26,25	26,4	26,25	0	0,15	0,22	0,05	0,992	0,995	0,993	0,993	9,94	0,07	0,0015
2			1,91	5	26,21	26,4	26,21	0	0,19			0,992	0,994	0,995	0,994	9,99		
3			1,91	5	26,08	26,3	26,08	0	0,22			0,992	0,987	0,989	0,989	9,95		
4			1,91	5	25,82	26,1	25,82	0	0,28			0,99	0,983	0,982	0,985	9,94		
5			1,91	5	25,88	26,1	25,88	0	0,22			0,982	0,983	0,984	0,983	9,83		
6			1,91	5	25,85	26,1	25,85	0	0,25			0,986	0,987	0,985	0,986	9,92		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,40	0,300	1,91	5	11,5	12	11,6	0,1	0,5	0,60	0,09	0,843	0,842	0,839	0,841	7,64	0,23	0,0034
44			1,91	5	12,1	12,7	12,1	0	0,6			0,843	0,838	0,836	0,839	7,73		
45			1,91	5	11,6	12,1	11,6	0	0,5			0,825	0,824	0,824	0,824	7,36		
46			1,91	5	12,1	12,8	12,2	0,1	0,7			0,842	0,836	0,833	0,837	7,83		
47			1,91	5	11,5	12,1	11,6	0,1	0,6			0,821	0,822	0,82	0,821	7,44		
48			1,91	5	11,3	12	11,4	0,1	0,7			0,831	0,828	0,828	0,829	7,70		

HASTE DE VIDRO	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
1	0,40	0,200	1,90	5	26,25	26,8	26,25	0	0,55	0,57	0,10	0,992	0,995	0,993	0,993	10,47	0,19	0,0032
2			1,90	5	26,21	26,7	26,21	0	0,49			0,992	0,994	0,995	0,994	10,39		
3			1,90	5	26,08	26,6	26,08	0	0,52			0,992	0,987	0,989	0,989	10,35		
4			1,90	5	25,82	26,3	25,82	0	0,48			0,99	0,983	0,982	0,985	10,21		
5			1,90	5	25,88	26,6	25,88	0	0,72			0,982	0,983	0,984	0,983	10,49		
6			1,90	5	25,85	26,5	25,85	0	0,65			0,986	0,987	0,985	0,986	10,46		

HASTE DE ARGAMASSA	a/c	Teor de aditivo (%)	Densidade de massa (g/cm ³)	Profundidade de imersão da haste na pasta (cm)	HASTE (g)	HASTE +PASTA (g)	HASTE LIMPA(g)	P. ÁGUA ABS (g)	P.PASTA (g)	P.PASTA MÉDIO (g)	DESVIO PADRÃO P. PASTA	Ø1 (cm)	Ø2 (cm)	Ø3 (cm)	Ø médio (cm)	e ² *π +2*r1*π*e -Vol. Pasta/profundidade=0		
																Δ	e médio (mm)	desvio padrão
43	0,40	0,200	1,90	5	11,9	12,7	12	0,1	0,8	1,42	0,55	0,849	0,85	0,845	0,848	8,16	0,53	0,0194
44			1,90	5	11,5	12,5	11,6	0,1	1			0,84	0,848	0,841	0,843	8,34		
45			1,90	5	12	13,9	12,2	0,2	1,9			0,844	0,844	0,838	0,842	9,51		
46			1,90	5	11,9	14,1	12,1	0,2	2,2			0,834	0,843	0,849	0,842	9,91		
47			1,90	5	11,4	12,9	11,6	0,2	1,5			0,846	0,84	0,839	0,842	8,98		
48			1,90	5	12,2	13,3	12,2	0	1,1			0,845	0,84	0,843	0,843	8,46		

APÊNDICE F

Resistência à compressão f_c (MPa), aos 28 dias, das pastas cimentícias

Tabela F1 – Resistência à compressão f_c (MPa) das pastas cimentícias

a/c	Corpo de prova	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø 3 (mm)	Ø med (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H med (mm)	Proporção Hmed/Ø med	Fator correção H/Ø (NBR 5739:2018)	Carga (N)	Carga Corrigida (N)	f_c (MPa)	f_c , med (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
0,25	1	17,24	17,24	17,17	17,22	35,00	35,02	34,93	34,98	2,03	-	12521,00	-		100,32	11,77	11,73
	2	17,18	17,17	16,41	16,92	35,62	35,69	35,55	35,62	2,11	-	19938,85	-	88,68			
	3	17,23	17,22	16,93	17,13	33,68	33,74	33,78	33,73	1,97	-	21987,13	-	95,44			
	4	17,13	16,88	16,61	16,87	28,62	28,61	28,64	28,62	1,70	0,98	26648,65	26009,08	116,31			
	5	17,22	17,33	17,31	17,29	35,18	35,07	35,16	35,14	2,03	-	15096,45	-	64,32			
	6	17,05	16,99	17,16	17,07	34,63	34,73	34,66	34,67	2,03	-	23074,94	-	100,87			
0,30	1	16,58	16,54	16,65	16,59	33,76	33,76	33,73	33,75	2,03	-	10916,04	-	50,50	69,08	10,14	14,68
	2	17,08	17,05	17,03	17,05	34,39	34,53	34,50	34,47	2,02	-	18202,03	-	79,69			
	3	16,51	16,49	16,50	16,50	36,11	36,02	36,25	36,13	2,19	-	14500,34	-	67,81			
	4	16,42	16,38	16,46	16,42	34,23	34,12	34,27	34,21	2,08	-	13551,94	-	64,00			
	5	16,70	16,66	16,78	16,71	33,22	32,90	32,92	33,01	1,98	-	12176,21	-	55,50			
	6	16,77	16,65	16,70	16,71	32,91	32,90	32,85	32,89	1,97	-	17189,72	-	78,42			
0,34	1	17,14	17,15	17,03	17,11	34,30	34,37	34,33	34,33	2,01	-	12900,68	-	56,13	60,87	4,78	7,86
	2	17,31	17,36	17,15	17,27	35,19	35,31	35,21	35,24	2,04	-	19431,62	-	82,92			
	3	17,08	17,03	17,02	17,04	34,55	34,66	34,63	34,61	2,03	-	16296,38	-	71,43			
	4	17,20	17,17	17,19	17,19	35,15	35,30	35,22	35,22	2,05	-	16112,71	-	69,45			
	5	17,15	17,12	17,11	17,13	35,43	35,42	35,42	35,42	2,07	-	14006,02	-	60,80			
	6	17,07	17,15	17,06	17,09	33,43	33,43	33,47	33,44	1,96	-	15075,49	-	65,69			
0,40	1	17,16	17,09	17,09	17,11	35,14	35,09	35,20	35,14	2,05	-	10037,97	-	43,64	35,52	14,38	40,47

2	17,12	17,25	17,22	17,20	35,30	35,12	35,35	35,26	2,05	-	6200,87	-	26,70
3	16,59	16,58	16,52	16,56	35,53	33,73	33,75	34,34	2,07	-	5519,24	-	25,61
4	15,92	16,61	16,56	16,36	32,20	32,27	32,32	32,26	1,97	-	13920,59	-	66,19
5	17,28	17,30	17,37	17,32	34,09	34,03	34,10	34,07	1,97	-	5788,10	-	24,58
6	16,42	16,59	16,62	16,54	33,48	33,61	33,47	33,52	2,03	-	12270,17	-	57,08

Valores em vermelhos foram desconsiderados nas análises.

APÊNDICE F

Resistência à tração por compressão diametral fct,sp (MPa), aos 28 dias, das pastas cimentícias

Tabela F2 – Resistência à tração por compressão diametral fct,sp (MPa) das pastas cimentícias

a/c	Corpo de prova	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø 3 (mm)	Ø med (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H med (mm)	Carga (N)	fct,sp (MPa)	fct,sp med (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
0,25	7	17,24	17,25	16,99	17,16	35,36	35,35	35,42	35,38	11129,00	11,67	11,79	1,14	9,69
	8	17,35	17,34	17,27	17,32	34,01	34,02	34,02	34,02	11653,00	12,59			
	9	17,29	17,26	17,27	17,27	34,56	34,75	34,66	34,66	12003,00	12,76			
	10	16,28	17,10	17,13	16,84	34,75	34,77	34,93	34,82	10836,00	11,77			
	11	17,19	17,16	17,23	17,19	32,87	33,09	32,98	32,98	10949,00	12,29			
	12	17,25	17,28	17,20	17,24	34,25	34,45	34,42	34,37	8967,00	9,63			
0,30	7	16,70	17,16	17,14	17,00	35,74	35,78	35,97	35,83	10182,00	10,64	9,46	1,63	17,24
	8	17,21	17,23	17,27	17,24	35,58	35,62	35,67	35,62	8769,00	9,09			
	9	17,32	17,14	17,20	17,22	33,76	33,69	33,62	33,69	7037,00	7,72			
	10	17,28	17,29	17,26	17,28	33,74	33,88	33,75	33,79	10620,00	11,58			
	11	16,53	16,85	17,22	16,87	35,68	35,93	35,80	35,80	9651,00	10,17			
	12	17,12	17,22	16,73	17,02	34,19	34,25	34,26	34,23	6891,00	7,53			
0,34	7	16,24	16,36	16,19	16,26	29,21	29,25	29,29	29,25	8345,00	11,17	8,47	1,91	22,53
	8	17,31	17,28	17,24	17,28	34,30	34,31	34,34	34,32	7053,00	7,57			
	9	17,25	17,13	17,05	17,14	33,47	33,56	33,51	33,51	5338,00	5,91			
	10	17,21	17,22	17,21	17,21	33,98	34,11	34,17	34,09	7535,00	8,18			
	11	17,04	17,13	17,15	17,11	34,20	34,35	34,24	34,26	9401,00	10,21			
	12	17,15	17,14	17,16	17,15	33,97	34,00	34,16	34,04	7131,00	7,78			

0,40	7	16,99	17,24	17,18	17,14	34,80	34,86	34,88	34,85	9653,00	10,29	7,48	1,52	20,31
	8	16,09	16,35	16,10	16,18	34,66	35,62	35,65	35,31	5965,00	6,65			
	9	17,12	17,06	17,06	17,08	35,80	35,74	35,79	35,78	7143,00	7,44			
	10	16,47	16,63	16,85	16,65	34,92	34,85	34,75	34,84	7077,00	7,77			
	11	17,00	17,22	17,20	17,14	34,93	35,00	35,01	34,98	5597,00	5,94			
	12	17,32	17,33	17,30	17,32	35,01	35,02	34,99	35,01	6455,00	6,78			

APÊNDICE G

Resistência à compressão f_c (MPa), aos 28 dias, dos concretos permeáveis

Tabela G – Resistência à compressão f_c (MPa) dos concretos permeáveis

Tipo de agregado	Traço	a/c	EPT 1 (mm)	EPT 2 (mm)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø 3 (mm)	Ø med (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H med (mm)	Carga (kN)	f_c (MPa)	f_c , med (MPa)	Desvio padrão
AGN	1:3	0,25	0,20	0,16	100,88	100,10	98,26	99,75	200,00	200,00	200,00	200,00	138,20	17,69	15,54	0,70
					101,05	99,61	100,45	100,37	220,00	210,00	200,00	210,00	119,02	15,04		
					99,10	100,75	100,57	100,14	230,00	210,00	220,00	220,00	126,24	16,03		
			0,40	0,19	98,50	100,45	98,65	99,20	230,00	198,00	200,00	209,33	132,76	17,18	16,23	0,85
					100,94	100,55	98,72	100,07	210,00	220,00	200,00	210,00	122,38	15,56		
					99,91	100,08	98,73	99,57	200,00	210,00	200,00	203,33	124,22	15,95		
			0,60	0,25	100,15	99,25	100,72	100,04	210,00	220,00	200,00	210,00	172,01	21,88	20,32	1,44
					99,31	100,84	99,89	100,01	200,00	198,00	200,00	199,33	149,50	19,03		
					100,38	100,36	100,77	100,50	200,00	210,00	220,00	210,00	159,18	20,06		
AGN	1:3	0,3	0,20	0,12	101,01	100,58	100,35	100,65	190,00	190,00	191,00	190,33	177,24	22,28	19,93	2,86
					102,15	101,85	101,05	101,68	200,00	201,00	203,00	201,33	135,96	16,74		
					100,16	100,21	100,85	100,41	200,00	198,00	200,00	199,33	164,41	20,76		
			0,40	0,18	100,66	101,04	101,20	100,97	204,00	202,00	202,00	202,67	164,34	20,53	21,01	0,42
					100,70	101,22	100,58	100,83	200,00	199,00	200,00	199,67	169,25	21,19		
					100,67	101,09	100,31	100,69	200,00	200,00	201,00	200,33	169,70	21,31		
			0,60	0,25	100,50	100,62	101,01	100,71	198,00	198,00	198,00	198,00	207,05	25,99	28,00	2,04
					101,58	100,29	100,74	100,87	200,00	200,00	198,00	199,33	240,23	30,06		
					99,88	101,05	100,50	100,48	201,00	201,00	200,00	200,67	221,57	27,94		
AGN	1:3	0,34	0,20	0,15	99,79	100,73	100,92	100,48	201,00	199,00	198,00	199,33	155,87	19,66	18,30	1,22
					101,03	100,50	100,39	100,64	203,00	201,00	203,00	202,33	142,63	17,93		
					100,34	101,01	100,78	100,71	202,00	204,00	203,00	203,00	137,79	17,30		

			0,40	0,23	101,33	100,35	100,05	100,58	201,00	200,00	200,00	200,33	200,89	25,29	24,61	0,96	
					101,37	101,46	99,99	100,94	201,00	203,00	202,00	202,00	202,00	191,50			23,93
					100,72	100,02	100,89	100,54	202,00	201,00	202,00	201,67	220,54	27,78			
			0,60	0,32	100,98	101,31	100,72	101,00	203,00	201,00	199,00	201,00	195,67	24,42	25,83	1,99	
					101,80	100,33	100,06	100,73	204,00	203,00	204,00	203,67	217,04	27,24			
					100,97	101,19	100,73	100,96	203,00	204,00	202,00	203,00	171,25	21,39			
AGRC	1:2,5	0,25	0,30	0,46	101,18	100,81	101,47	101,15	200,00	202,00	196,00	199,33	64,01	7,97	8,50	0,65	
					100,26	99,83	101,26	100,45	201,00	201,00	202,00	201,33	65,85	8,31			
					100,28	101,33	100,51	100,71	204,00	203,00	203,00	203,33	73,48	9,22			
			0,50	0,48	100,14	100,19	100,88	100,40	200,00	201,00	201,00	200,67	49,06	6,20	7,10	1,00	
					100,05	100,14	100,73	100,31	201,00	202,00	201,00	201,33	54,71	6,92			
					100,85	101,08	99,90	100,61	202,00	203,00	203,00	202,67	64,98	8,17			
			0,70	0,52	101,44	100,76	100,54	100,91	200,00	199,00	197,00	198,67	49,34	6,17	6,21	0,82	
					100,58	101,53	100,52	100,88	201,00	202,00	201,00	201,33	43,29	5,42			
					100,37	100,82	100,45	100,55	202,00	201,00	202,00	201,67	55,96	7,05			
AGRC	1:2,5	0,3	0,30	0,29	101,19	100,68	100,82	100,90	200,00	200,00	201,00	200,33	125,95	15,75	17,20	2,04	
					100,83	100,17	100,78	100,59	200,00	200,00	199,00	199,67	148,13	18,64			
			0,50	0,35	100,78	100,73	101,25	100,92	203,00	204,00	201,00	202,67	146,02	18,25	19,59	1,90	
					100,45	101,18	99,82	100,48	202,00	202,00	203,00	202,33	165,95	20,93			
			0,70	0,51	100,25	100,62	101,06	100,64	199,00	199,00	200,00	199,33	131,34	16,51	17,36	1,20	
					99,63	99,72	101,38	100,24	201,00	201,00	202,00	201,33	143,72	18,21			
AGRC	1:2,5	0,34	0,30	0,19	100,75	101,19	100,60	100,85	199,00	201,00	200,00	200,00	147,64	18,48	20,44	2,76	
					98,66	100,75	101,60	100,34	201,00	202,00	200,00	201,00	177,00	22,39			
			0,50	0,28	100,69	99,97	100,61	100,42	198,00	200,00	200,00	199,33	145,79	18,41	19,60	1,68	
					100,10	102,34	100,40	100,95	198,00	200,00	199,00	199,00	166,39	20,79			
			0,70	0,40	100,05	100,32	100,40	100,26	200,00	200,00	198,00	199,33	137,11	17,37	18,00	0,88	
					100,31	101,30	100,27	100,63	200,00	200,00	200,00	200,00	148,07	18,62			

Valores em vermelho foram desconsiderados nas análises

APÊNDICE H

Resistência à tração na flexão fct, sp (MPa), aos 28 dias, dos concretos permeáveis

Tabela H – Resistência à tração na flexão fct,sp (MPa) dos concretos permeáveis

Tipo de agregado	Traço	a/c	EPT 1 (mm)	EPT 2 (mm)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø 3 (mm)	Ø med (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	B3 (mm)	B med (mm)	L (mm)	Carga (N)	fct, sp (MPa)	fct,sp med (MPa)	Desvio padrão		
AGN	1:3	0,25	0,20	0,16	102,00	101,00	101,00	101,33	100,00	100,00	99,00	99,67	300,00	9948,96	2,92	3,15	0,24		
					100,00	102,00	101,00	101,00	100,00	100,00	99,00	99,67	300,00	10685,28	3,15				
					105,00	105,00	104,00	104,67	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	12382,02	3,39				
			0,40	0,19	100,00	99,00	100,00	99,67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	7787,96	2,35	2,86	0,71
					100,00	102,00	100,00	100,67	100,00	99,00	100,00	99,67	300,00	14186,07	4,21				
					100,00	99,00	100,00	99,67	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	11124,93	3,36				
			0,60	0,25	100,00	101,00	101,00	100,67	102,00	102,00	102,00	102,00	102,00	102,00	300,00	9392,85	2,73	3,14	0,37
					100,00	101,00	99,00	100,00	99,00	99,00	100,00	99,33	300,00	10809,12	3,26				
					100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	11457,13	3,44				
AGN	1:3	0,3	0,20	0,12	99,00	100,00	99,00	99,33	97,00	100,00	99,00	98,67	300,00	11581,67	3,57	4,43	0,76		
					100,00	102,00	100,00	100,67	99,00	100,00	100,00	99,67	300,00	16870,01	5,01				
					103,00	100,00	100,00	101,00	97,00	100,00	98,00	98,33	300,00	15743,39	4,71				
			0,40	0,18	101,00	100,00	102,00	101,00	99,00	97,00	100,00	98,67	300,00	17715,85	5,28	4,56	0,64		
					101,00	100,00	98,00	99,67	100,00	99,00	99,00	99,33	300,00	13386,72	4,07				
					101,00	97,00	98,00	98,67	100,00	100,00	101,00	100,33	300,00	14129,54	4,34				
			0,60	0,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,00	99,00	99,00	300,00	14704,44	4,46	3,95	0,51		
					100,00	100,00	100,00	100,00	98,00	100,00	99,00	99,00	300,00	12965,35	3,93				
					100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	11507,96	3,45				

AGN	1:3	0,34	0,20	0,15	100,24	99,77	99,20	99,74	99,51	100,80	100,38	100,23	300,00	12029,00	3,62	3,46	0,14
					100,97	100,57	100,89	100,81	100,77	100,78	100,09	100,55	300,00	11557,26	3,39		
					104,96	103,52	100,85	103,11	100,31	101,03	100,55	100,63	300,00	12052,84	3,38		
			0,40	0,23	103,25	100,60	104,17	102,67	101,43	102,52	101,43	101,79	300,00	12244,56	3,42	3,35	0,25
					100,36	100,70	100,75	100,60	101,06	103,27	101,86	102,06	300,00	10608,82	3,08		
					99,75	101,64	101,39	100,93	100,96	102,45	101,50	101,64	300,00	12293,13	3,56		
			0,60	0,32	100,53	101,17	101,06	100,92	100,00	100,65	100,12	100,26	300,00	10297,40	3,03	3,04	0,03
					103,14	100,46	102,64	102,08	99,87	100,59	99,83	100,10	300,00	10672,46	3,07		
					101,54	100,70	102,25	101,50	99,92	99,99	101,13	100,35	300,00	10419,95	3,02		
AGRC	1:2,5	0,25	0,30	0,46	101,00	100,00	101,00	100,67	104,00	103,06	101,13	102,73	300,00	6099,64	1,76	1,72	0,08
					99,00	97,00	100,00	98,67	100,80	101,27	101,00	101,02	300,00	5786,86	1,77		
					99,00	102,00	102,00	101,00	101,52	102,84	100,91	101,76	300,00	5627,23	1,63		
			0,50	0,48	100,00	101,00	100,00	100,33	101,45	102,52	100,80	101,59	300,00	4039,87	1,19	1,29	0,14
					101,00	100,00	98,00	99,67	101,82	101,92	100,52	101,42	300,00	6091,07	1,81		
					100,00	101,00	100,00	100,33	101,50	102,95	101,28	101,91	300,00	4764,00	1,39		
			0,70	0,52	95,00	101,00	95,00	97,00	101,64	102,37	101,68	101,90	300,00	3149,51	0,99	0,85	0,14
					101,00	101,00	103,00	101,67	101,02	101,50	101,15	101,22	300,00	2990,22	0,86		
					94,00	100,00	100,00	98,00	101,74	102,49	101,12	101,78	300,00	2329,18	0,71		
AGRC	1:2,5	0,30	0,30	0,29	100,27	99,88	100,02	100,06	101,59	102,44	100,99	101,67	300,00	10427,13	3,07	3,06	0,22
					99,54	100,77	100,19	100,17	100,24	100,19	99,96	100,13	300,00	9525,79	2,84		
					100,70	101,35	100,71	100,92	99,73	100,33	99,82	99,96	300,00	11114,40	3,28		
			0,50	0,35	101,24	101,27	100,81	101,11	100,40	100,85	100,36	100,54	300,00	10661,22	3,11	3,15	0,09
					98,65	100,57	99,39	99,54	100,78	100,83	100,49	100,70	300,00	10284,51	3,09		
					101,58	102,13	100,62	101,44	99,38	100,38	99,62	99,79	300,00	11133,47	3,25		
			0,70	0,51	100,83	100,78	100,90	100,84	100,95	102,08	101,89	101,64	300,00	9893,69	2,87	2,83	0,17
					100,12	100,40	99,55	100,02	102,26	103,49	101,02	102,26	300,00	10177,87	2,98		
					102,61	102,39	101,69	102,23	99,88	99,75	99,74	99,79	300,00	9179,68	2,64		
AGRC	1:2,5	0,34	0,30	0,19	100,55	100,53	102,70	101,26	100,93	101,48	100,72	101,04	300,00	14133,87	4,09	4,06	0,11

				103,32	101,42	101,91	102,22	101,13	103,39	101,03	101,85	300,00	13983,94	3,94		
				102,36	103,06	102,36	102,59	100,99	101,91	101,05	101,32	300,00	14760,83	4,15		
		0,50	0,28	100,86	101,49	101,22	101,19	101,55	100,60	100,42	100,86	300,00	10916,74	3,17	3,17	0,21
				100,04	100,22	100,59	100,28	101,83	102,78	101,07	101,89	300,00	11514,50	3,37		
				100,57	101,27	101,00	100,95	101,44	102,30	101,40	101,71	300,00	10234,21	2,96		
		0,70	0,40	101,21	101,88	100,55	101,21	101,06	102,58	101,10	101,58	300,00	11263,87	3,25	3,25	0,12
				103,07	103,00	102,34	102,80	100,91	102,11	101,49	101,50	300,00	12041,80	3,37		
				101,43	100,50	101,73	101,22	100,72	101,85	101,33	101,30	300,00	10874,90	3,14		

Valores em vermelho foram desconsiderados nas análises

