

1 **ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO ELABORADO COM OS AGREGADOS**  
2 **COMUMENTE UTILIZADOS NAS OBRAS DA CIDADE DE RIO PARANAÍBA - MG**

4 (1) Natasha de Carvalho Rodrigues

5 (2) Maria Cláudia Sousa Alvarenga

7 (1) Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

8 (2) Professora Adjunta do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio  
9 Paranaíba

11 Presidente da banca: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

12 Membro 1: Ana Luiza Ferreira Costa Mendes

13 Membro 2: Rafael Braga de Souza

15 Data: 17/01/2019

16 **RESUMO:** O concreto tradicionalmente utilizado é composto por cimento, água, areia e brita.  
17 Entender o comportamento dos insumos que compõe o concreto é de suma importância por se tratar  
18 de um material convencionalmente utilizado na maioria das obras em todo país, e que as propriedades  
19 dos agregados podem diferenciar-se de região para região. Sendo assim, o objetivo do presente  
20 trabalho foi analisar o comportamento do concreto elaborado com os agregados comumente utilizados  
21 na cidade de Rio Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Para isto, foi realizado um estudo de  
22 proporcionamento ideal de misturas de agregados, a fim de diminuir o índice de vazios, no intuito de  
23 garantir ao produto final uma maior resistência à compressão axial. Foram elaboradas misturas com  
24 os traços em massa nas proporções de 1:3; 1:5; 1:7; 1:9 e 1:11 e as seguintes relações água/cimento  
25 (a/c) de 0,45; 0,50; 0,55; 0,60 e 0,65. Verificou-se que as misturas mais ricas em cimento com relações  
26 a/c entre 0,62 e 0,65 obtiveram resistência acima de 35 MPa. Já as misturas com maior número de  
27 agregados em sua composição, com traços acima de 1:7, atingiram valores de resistência inferiores  
28 ao esperado para concreto estrutural (20 MPa).

29 **Palavras-chave:** comportamento mecânico, índice de vazios, minitab.

31 **ANALYSIS OF RESISTANCE OF THE CONCRETE ELABORATED WITH THE**  
32 **COMMONLY ADDED AGGREGATES USED IN THE WORKS OF THE CITY OF RIO**  
33 **PARANAÍBA - MG**

34 **ABSTRACT:** The concrete used traditionally consists of cement, water, sand and gravel. Understand  
35 the behavior of the inputs that make up the concrete is of utmost importance as it is a material

36 conventionally used in most of the works in any country, and that the properties of aggregates will  
37 differ from region to region. Therefore, the objective of this work was to analyze the behavior of  
38 concrete made with aggregates commonly used in the city of Rio Paranaíba in Minas Gerais. For this,  
39 we conducted a study of ideal--the same proportion of mixtures of aggregates, in order to reduce the  
40 voids content, in order to assure the final product a greater resistance to axial compression. Mixes  
41 were made with the bulk in the traits of 1:3 proportions; 1:5; 1:7; 1:9 and 1:11 and the following  
42 water/cement ratios (a/c) of 0.45; 0.50; 0.55; 0.60 and 0.65. It was found that the richest in concrete  
43 mixtures with a/c relations between 0.62 and 0.65 obtained resistance above 35 MPa. The mixtures  
44 with the highest number of aggregates in your composition, with traces of 1:7 above, hit resistance  
45 values less than expected for structural concrete (20 MPa).

46 **KEYWORDS:** mechanical behaviour, empty index, minitab.

47

## 48 1. INTRODUÇÃO

49 O concreto de cimento Portland tem um papel de destaque, tanto no Brasil, como em outros  
50 países do mundo, sendo o principal e mais consumido material estrutural e da construção civil  
51 (HELENE, ANDRADE, 2010, p. 905).

52 Duas das mais desenvolvidas e poderosas sociedades atuais, os Estados Unidos e o Canadá,  
53 consideram o investimento no estudo das estruturas de concreto, como um dos mais importantes  
54 investimentos na ciência e tecnologia para obter e manter a qualidade de vida de seu povo e a liderança  
55 de seu parque industrial. Essas sociedades entendem que o profundo conhecimento sobre concreto  
56 posiciona e mantém a sua indústria na fronteira do conhecimento, assegurando sua alta  
57 competitividade (HELENE, ANDRADE, 2010, p. 906).

58 Entende-se que é necessário conhecer as propriedades físicas e mecânicas dos agregados que  
59 compõe o concreto, visto que isso afeta o desempenho esperado, além da importância de analisar a  
60 influência dos outros fatores inerentes na sua resistência, como: relação a/c e dosagem.

61 É essencial que se conheça o desempenho do concreto com seus constituintes locais, de forma  
62 a assegurar um controle tecnológico de qualidade nas obras, assim como evitar desperdícios de  
63 dosagens e consumo exagerado de materiais, garantindo tranquilidade e segurança aos construtores e  
64 projetistas.

65 Diante deste cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de ensaios de  
66 resistência à compressão axial, o comportamento mecânico do concreto elaborado com os agregados  
67 utilizados na cidade de Rio Paranaíba – MG, variando-se a proporção de agregados no traço.

68

69

70

## 71           **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

72           Este referencial teórico elucidada os principais tópicos relacionados a resistência à compressão  
73 do concreto, com base no acervo de pesquisas existentes sobre o tema.

### 74           **2.1 IMPORTÂNCIA DO CONCRETO**

75           O concreto é composto pela mistura de cimento, água e agregados, além da possibilidade de  
76 contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais (HELENE,  
77 ANDRADE, 2010, p. 920). É um dos poucos materiais de construção em que os engenheiros civis e  
78 arquitetos ainda têm acesso direto a sua produção. Ainda, segundo Helene e Andrade (2010), os  
79 engenheiros devem ter o conhecimento de que a durabilidade, a resistência à compressão, a relação  
80 água/cimento, o consumo de cimento e o abatimento do concreto têm uma interdependência entre si,  
81 ou seja, um parâmetro não pode estar totalmente dissociado do outro.

82           Como o concreto é um dos materiais mais tradicionais e mais utilizados na construção civil, os  
83 estudos sobre os seus constituintes e sobre a otimização dos processos produtivos tem objetivado um  
84 produto com características e propriedades uniformes, com desempenho e durabilidade de acordo  
85 com as mais variadas exigências do mercado (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 49).

86           Estima-se que anualmente são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto no mundo, o  
87 que dá, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), aproximadamente,  
88 um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao  
89 consumo de água. No Brasil, o concreto que é produzido por meio de centrais dosadoras gira em torno  
90 de 30 milhões de metros cúbicos por ano (REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES, n. 53,  
91 jan./mar. 2009, p.13).

92           “Em termos de sustentabilidade, o concreto armado consome muito menos energia do que o  
93 alumínio, o aço, o vidro e também emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes”,  
94 ressalta Arnaldo Forti Battagin, chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland  
95 - ABCP. (REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES, n. 53, jan./mar. 2009, p.14).

96           As medidas necessárias para a diminuição da variabilidade envolvem o controle de qualidade  
97 de cada uma das variáveis e quanto mais eficiente é este controle, mais homogêneo é o concreto  
98 produzido. Portanto, entender o comportamento do concreto com seus constituintes locais, visando  
99 manter os padrões de durabilidade e resistência, viabiliza a otimização do processo como um todo.

### 100           **2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO** 101           **CONCRETO**

102           A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro  
103 principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras correntes (TUTIKIAN,  
104 HELENE, 2011, p. 439).

105 Segundo Mehta e Monteiro (2014), embora a relação a/c seja importante tanto na determinação  
106 da porosidade da matriz quanto da zona de transição na interface e, portanto, na resistência do  
107 concreto, fatores como grau de compactação e condições de cura (grau de hidratação do cimento),  
108 propriedades e proporções dos materiais que formam o traço do concreto, geometria do corpo de  
109 prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento podem, também, ter efeito importante na  
110 resistência.

111 De acordo com Brooks e Neville (2013), a zona de transição, interface entre o agregado e a  
112 pasta de cimento hidratada, tem uma maior porosidade, sendo, portanto, de menor resistência que a  
113 pasta hidratada mais afastada do agregado. Agregados calcários produzem uma zona de transição  
114 mais densa e o mesmo acontece com agregados leves de superfície porosa.

115 Na maioria dos casos, a relação água/cimento determina a porosidade da matriz da pasta de  
116 cimento a um dado grau de hidratação. Entretanto, quando vazios de ar são incorporados ao sistema,  
117 como resultado do adensamento inadequado, também têm efeito de aumentar a porosidade e diminuir  
118 a resistência do sistema (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 55).

119 Na Tabela 1 são apresentadas características que têm grande influência na resistência do  
120 concreto.

121 Tabela 1: Fatores correlacionados à resistência mecânica do concreto.

Fatores	Características
Cimento	Tipo, Composição Química, Finura
Agregado	Dimensão, Textura, Granulometria
Relação a/c	Porosidade da zona de transição, Grau de hidratação do cimento
Dosagem	Proporção entre materiais, Tecnologia de preparo, Controle do material

122 Fonte: Adaptado Mehta; Monteiro (2014) e Helene; Terzian (1992).

123

124 Como exposto na Tabela 1, a finura do cimento é um fator que tem grande influência na  
125 velocidade da reação de hidratação. Ressalta-se que quanto maior a finura do cimento, mais rápido é  
126 o processo de hidratação da pasta, já que quanto maior a finura dos grãos maior sua superfície de  
127 contato com a água, aumentando a velocidade das reações, diminuindo a exsudação e permeabilidade,  
128 aumentando a coesão e trabalhabilidade (HELENE, TERZIAN, 1992, p. 226).

129 A seguir, serão apresentados os fatores de interdependência para resistência do concreto.

### 130 **2.2.1 Forma, textura superficial e granulometria do agregado**

131 De acordo com Mehta e Monteiro (2014), além da resistência, a forma, a dimensão, a textura  
132 superficial, a granulometria e a mineralogia dos agregados são características capazes de afetar a  
133 resistência do concreto.

134 Ainda, segundo os mesmos autores, agregados naturais são geralmente densos e resistentes e,  
135 assim, a porosidade da pasta de cimento e a zona de transição na interface entre a matriz e o agregado  
136 graúdo normalmente determinam a resistência característica do concreto de densidade normal.

137 A forma e textura do agregado graúdo também afetam as propriedades do concreto. Em geral,  
138 o cascalho natural tem a forma arredondada e uma textura superficial lisa. Rochas britadas têm uma  
139 textura áspera. Dependendo do tipo de rocha e da escolha do britador, o agregado britado pode conter  
140 uma proporção considerável de partículas achatadas ou alongadas que afetam negativamente muitas  
141 propriedades do concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 25).

142 Segundo Neville e Brooks (2013), em misturas com a mesma trabalhabilidade, um agregado  
143 arredondado demanda menor quantidade de água que agregados angulosos. Em geral, mantendo-se  
144 os demais fatores constantes, quanto maior o tamanho do agregado, mais alta será a relação  
145 água/cimento localizada na zona de transição da interface e, conseqüentemente, menos resistente e  
146 mais permeável seria o concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 46).

147 Em estudo desenvolvido por Drago (2009), verificou-se que quanto maior o teor de agregado  
148 miúdo britado na composição da mistura de concreto, visando não alterar a faixa de consistência pré-  
149 estabelecida, maior será o consumo de água adicionada. Isto se aplica pelo maior teor de finos da  
150 areia de britagem, e conseqüente maior superfície específica em relação ao agregado natural.

151 Silva, Mendes e Silva (2016) avaliaram que a substituição parcial do agregado miúdo, em 10%,  
152 20% e 30%, por finos de magnetita gerados do beneficiamento de rocha fosfáltica, apresentaram  
153 melhores resultados aos ensaios de compressão que aqueles sem substituição.

154 Santos e Lopes (2018), verificaram um aumento na resistência à compressão do concreto com  
155 a substituição parcial de 5% e 10% de areia natural por areia de fundição, salientando ainda que a  
156 substituição do agregado miúdo em proporções de 15% e 20% tiveram valores inferiores de  
157 resistência, mas ainda próximos do valor do concreto de referência. Ainda constataram que o módulo  
158 de finura da areia de fundição foi inferior ao da areia natural. Desta maneira, a areia de fundição  
159 preencheu melhor os vazios do concreto e ocorreu uma melhor hidratação, aumentando sua  
160 resistência.

161 Sendo assim, verifica-se que alterações no tipo de agregado podem influenciar nas proporções  
162 de outros fatores relacionados à resistência do concreto.

### 163 **2.2.2 Relação água/cimento**

164 A relação água/cimento é o parâmetro mais importante do concreto estrutural (HELENE,  
165 TERZIAN, 1992, p. 232).

166 De acordo com Mehta e Monteiro (2014), em concretos de baixa e média resistência feitos com  
167 agregado normal, a porosidade da zona de transição na interface e da matriz mantém relação direta  
168 com a relação a/c, mostrando que a resistência do concreto decresce com o aumento do fator a/c, o  
169 que é exposto pela lei de Abrams.

170 Drago (2009) constatou que em concretos mais pobres, para a relação água/cimento de 0,65, a  
171 substituição de 100% de agregados miúdos por areia de britagem na composição do concreto,

172 apresentou resultado superior de resistência à compressão axial em relação ao traço referência (com  
173 areia natural), devido ao maior teor de finos na areia artificial, o que possibilitou o preenchimento de  
174 vazios na mistura e um possível refinamento de poros.

175 Ainda, o referido autor verificou que, fixando os valores de relação água/cimento em 0,55 e  
176 0,60, a substituição no traço de 30% e 60% do agregado miúdo por areia artificial atingiu valores  
177 superiores de resistência à compressão axial, tanto ao traço referência, quanto ao traço com  
178 substituição total por areia de britagem.

179 Portanto, constata-se que a correlação existente entre o aumento da relação água/cimento e a  
180 perda na resistência do concreto, dependem ainda do tipo de agregado constituinte na mistura, pois  
181 sua textura, tamanho ou forma podem influenciar diretamente na porosidade da zona de transição, de  
182 forma a auxiliar ou não no preenchimento dos poros.

### 183 **2.2.3 Dosagem do concreto**

184 De acordo com Helene e Terzian (1992), a ideia generalizada de que todo mestre ou pedreiro  
185 experiente sabe fazer concreto não motiva o engenheiro mais jovem a um estudo mais aprofundado  
186 no assunto e, quando muito recorre às famosas tabelas de traços de concreto, sem levar em conta a  
187 grande diversidade de materiais existentes no nosso país.

188 Segundo Helene e Tutikian (2011), um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a  
189 mistura ideal e mais econômica, numa determinada região e com os materiais ali disponíveis, para  
190 atender uma série de requisitos. Um bom desempenho nas propriedades exigidas ao concreto depende  
191 dos materiais constituintes, da proporção entre eles e da tecnologia de preparo e controle do material  
192 (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 49).

193 Existem diferentes métodos de dosagem para concretos, mas, apesar das peculiaridades de cada  
194 um, algumas etapas são comuns à maioria deles, como a determinação da resistência-alvo, a  
195 correlação entre resistência à compressão e a relação água/cimento para determinado tipo e classe de  
196 cimento, dentre outros (TUTIKIAN, HELENE, 2011, p. 440).

197 Em experimento realizado por Ricci, Akasaki e Pereira (2017), buscou-se comparar a dosagem  
198 experimental com a dosagem empírica de concretos realizados em obras na cidade de Ilha Solteira –  
199 SP. Destacou-se que na dosagem empírica a falta de controle no fator a/c das misturas implicou num  
200 alto índice de vazios, produzindo concretos ricos (traço 1:3) com resistências inferiores à 13,64 MPa,  
201 se comparado à dosagem experimental com o traço mais pobre de 1:6,5 que atingiu 17,16 MPa, para  
202 mesma relação a/c 0,66, aos 28 dias.

203 Ainda, para cada incremento da relação a/c de 0,010 houve um aumento no abatimento do  
204 concreto, uma redução na resistência à compressão e um menor consumo de cimento para uma mesma  
205 quantidade de agregado (RICCI, AKASAKI, PEREIRA, 2017, p.191).

206 Desta forma, torna-se evidente de que a falta de controle em algum dos parâmetros na hora da  
207 produção do concreto, como o fator relação a/c, pode ocasionar perdas significativas em sua  
208 resistência, mesmo em dosagens mais ricas, o que do ponto de vista econômico e de segurança na  
209 construção civil não é conveniente.

### 210 3. METODOLOGIA

211 A metodologia aduziu de maneira a esclarecer cronologicamente as etapas empregadas para  
212 desenvolvimento da pesquisa em questão.

#### 213 3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

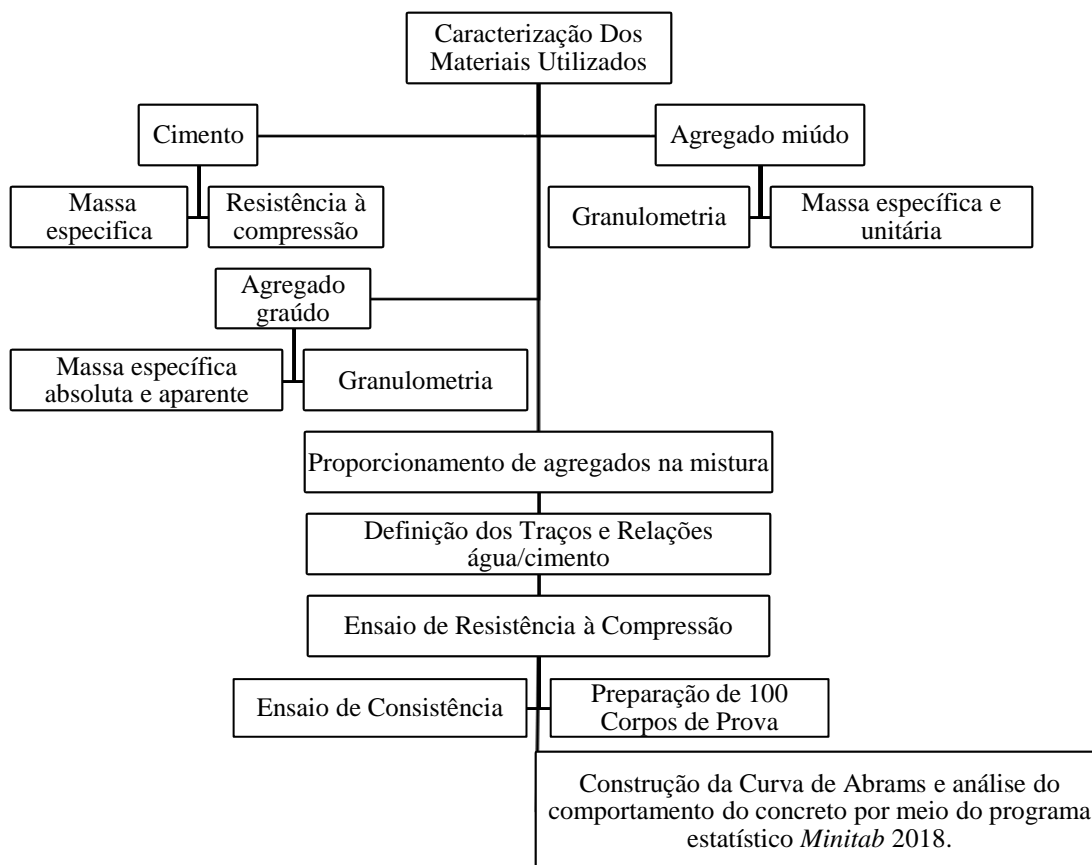
214 Para o desenvolvimento deste trabalho foram executados 100 corpos de prova utilizando-se  
215 diferentes dosagens e relações a/c abrangendo um intervalo requerido previamente, a fim de se  
216 conhecer o comportamento do concreto elaborado com os materiais comumente utilizados em obras  
217 na cidade de Rio Paranaíba - MG.

218 Na Figura 1 é apresentado um resumo do programa experimental deste trabalho.

219

220

Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental.



221

222

223

224

Fonte: Autor (2018).

### 225 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

226 Desta forma, inicialmente realizou-se a aquisição dos materiais empregados nas misturas  
227 utilizadas para a confecção dos corpos de prova em concreto, como: areia de origem natural  
228 quartzosa, proveniente da Lagoa da Prata - MG, cimento CP V-ARI da marca Cauê e brita 0 oriunda  
229 da cidade Bambuí - MG.

230 A caracterização dos materiais procedeu-se conforme as prescrições das normas  
231 regulamentadoras, conforme apresentado na Tabela 2.

232

233

Tabela 2: Normatização dos ensaios de caracterização dos materiais.

Material	Ensaio	Normatização
Cimento CP V-ARI	Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
	Resistência à Compressão	ABNT NBR 7215:1996
Agregado Miúdo	Massa específica	ABNT NBR NM 52:2009
	Massa Unitária estado Solto	ABNT NBR NM 45:2006
	Massa Unitária estado Compactado	ABNT NBR NM 45:2006
	Dimensão Máxima Característica	ABNT NBR NM 248:2003
	Módulo de finura	ABNT NBR NM 248:2003
Agregado Graúdo/ Brita 0	Massa específica	ABNT NBR NM 53:2009
	Massa Unitária estado Solto	ABNT NBR NM 45:2006
	Massa Unitária estado Compactado	ABNT NBR NM 45:2006
	Dimensão Máxima Característica	ABNT NBR NM 248:2003
	Módulo de finura	ABNT NBR NM 248:2003

234

Fonte: Autor (2018).

235

### 236 3.3 PROPORCIONAMENTO DE AGREGADOS NA MISTURA

237 Com base no experimento elaborado por Alvarenga (2016), utilizou-se um proporcionamento  
238 da mistura de agregados, a fim de se obter uma mistura com maior compacidade e menor número de  
239 vazios, visando a otimização do seu empacotamento e aumento na resistência do concreto.

240 Sendo assim, foram pré-estabelecidas as misturas experimentais em porcentagem de agregados  
241 para realização dos ensaios de massa unitária ( $\delta$ ) nos estados solto e compactado, conforme expresso  
242 na Tabela 3. Com base nos resultados foi calculado o índice de vazios ( $Iv$ ) de acordo com as Equações  
243 1, 2, 3 e 4.

244

Tabela 3: Porcentagem de agregados na mistura.

Mistura	Brita (%)	Areia (%)
1	50	50
2	40	60
3	30	70
4	20	80
5	10	90

245

Fonte: Autor (2018).

246

247

$$V_{\text{vazios}} = V_{\text{recipiente}} - \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$



248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275

$$Va = \frac{ma}{\gamma a} \quad (2)$$

$$Vb = \frac{mb}{\gamma b} \quad (3)$$

$$Iv (\%) = \frac{Vvazios}{Vrecipiente} \times 100 \quad (4)$$

Em que,

*Va*: Volume de areia;

*Vb*: Volume de brita;

*Vi*: Volume real de cada material em proporção;

*ma*: Massa em Kg da mistura multiplicada pela % de areia contida na mesma;

*mb*: Massa em Kg da mistura multiplicada pela % de brita contida na mesma;

$\gamma$ : Massa específica de cada material;

*Iv*: Índice de vazios em porcentagem de cada mistura.

Tendo como base o menor *Iv*, fixou-se a quantidade ideal em porcentagem (%) de brita e areia, que foi utilizada na composição dos traços de cada mistura traço-relação a/c (TR-a/c).

### 3.4 DEFINIÇÃO DO INTERVALO DE DOSAGENS E RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Após realizadas a caracterização desses materiais e o proporcionamento ideal, definiu-se os diferentes traços e relações água/cimento para o intervalo requerido na análise do comportamento do concreto. Para isto, fixaram-se os seguintes traços, 1:3; 1:5; 1:7; 1:9; 1:11 e as respectivas relações água/cimento, 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65, nomeando cada par Traço - Relação água/cimento por (TR - a/c), conforme apresentado na Tabela 4. Destaca-se que os traços são em massa, e que o segundo valor corresponde a soma da proporção de areia e de brita.

Tabela 4: Organização dos exemplares produzidos.

Traço a/c	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
1:3	TR1-0,45	TR1-0,50	TR1-0,55	TR1-0,60	TR1-0,65
1:5	TR2-0,45	TR2-0,50	TR2-0,55	TR2-0,60	TR2-0,65
1:7	TR3-0,45	TR3-0,50	TR3-0,55	TR3-0,60	TR3-0,65
1:9	TR4-0,45	TR4-0,50	TR4-0,55	TR4-0,60	TR4-0,65
1:11	TR5-0,45	TR5-0,50	TR5-0,55	TR5-0,60	TR5-0,65

Fonte: Autor (2018).

276

277 **3.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

278 A resistência do concreto foi determinada de acordo com as exigências requeridas pela ABNT  
279 NBR 5739:2007, por meio de uma prensa manual da marca Contenco. No ensaio, moldaram-se 4  
280 (quatro) corpos de prova para cada mistura TR – a/c conforme apresentado na Tabela 4, totalizando  
281 100 corpos de prova, que foram submetidos à compressão aos pares para cada relação TR – a/c, nas  
282 idades de 7 e 21 dias.

283 Nas Figuras 2 e 3 estão representados alguns corpos de prova (csp) antes da realização do ensaio  
284 de compressão.

285

286 Figura 2: À esquerda estão enfileirados 3 csp TR1-0,65 e 2 csp TR2-0,65.



287 Fonte: acervo pessoal (2018).

288

289

290

Figura 3: Corpos de prova traços 1:5 e 1:3 respectivamente, com mesma relação a/c de 0,65.



291 Fonte: acervo pessoal (2018).

292

293

294 Os resultados de resistência foram obtidos por meio de média aritmética dos resultados  
295 individuais de cada par de mistura nas idades de rompimento especificadas.

296 **3.5.1 Estudo do comportamento do concreto**

297 Com os resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão, foi construído um diagrama  
de dosagem, através do modelo de comportamento do concreto expresso pela Lei de Abrams, para

298 possibilitar as correlações entre a resistência dos concretos estudados e as variáveis que influenciam  
299 esse parâmetro, bem como, analisar as áreas de influência de resistência aos 7 e 21 dias por meio de  
300 gráficos de contorno.

301 Sendo assim, foram expressos gráficos com auxílio do Excel e criadas regressões vinculando a  
302 resistência à compressão com a relação a/c e dosagem, por meio do programa estatístico *Minitab*  
303 2018.

#### 304 **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

305 Após a caracterização dos materiais e os experimentos laboratoriais, foi possível analisar e  
306 prever alguns comportamentos do concreto estudado com o auxílio de ferramentas estatísticas para  
307 avaliar os resultados obtidos nos ensaios de proporcionamento de misturas de agregados.

##### 308 **4.1 Caracterização dos materiais utilizados**

309 Foi realizada a caracterização dos insumos utilizados na elaboração do concreto, conforme  
310 prescrevem as normas regulamentadoras vigentes e os resultados são expressos na Tabela 5.

311

312

Tabela 5: Caracterização dos materiais.

<b>Material</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>
<b>Cimento CPV ARI</b>	Massa específica	<b>3,14 Kg/cm<sup>3</sup></b>
	Resistência à Compressão	<b>≥ 34MPa</b>
<b>Agregado Miúdo</b>	Massa específica	<b>2,557 g/cm<sup>3</sup></b>
	Massa Unitária estado Solto	<b>1,364 Kg/cm<sup>3</sup></b>
	Massa Unitária estado Compactado	<b>1,481 Kg/cm<sup>3</sup></b>
	Dimensão Máxima Característica	<b>2,40 mm</b>
	Módulo de finura	<b>2,62</b>
<b>Agregado Graúdo Brita 0</b>	Massa específica	<b>2,595 g/cm<sup>3</sup></b>
	Massa Unitária estado Solto	<b>1,318 Kg/cm<sup>3</sup></b>
	Massa Unitária estado Compactado	<b>1,434 Kg/cm<sup>3</sup></b>
	Dimensão Máxima Característica	<b>9,50 mm</b>
	Módulo de finura	<b>4,67</b>

313

##### 314 **4.2 Proporcionamento de agregados na mistura**

315 De posse de parte dos resultados descritos na Tabela 5, calculou-se os índices de vazios ( $I_v$ ) e  
316 as massas unitárias ( $\delta$ ) nos estados solto e compactado das misturas de agregados estabelecidas na  
317 Tabela 3. Nas Figuras 4 e 5 é apresentado o comportamento das misturas com relação ao índice de  
318 vazios.

319

320

321

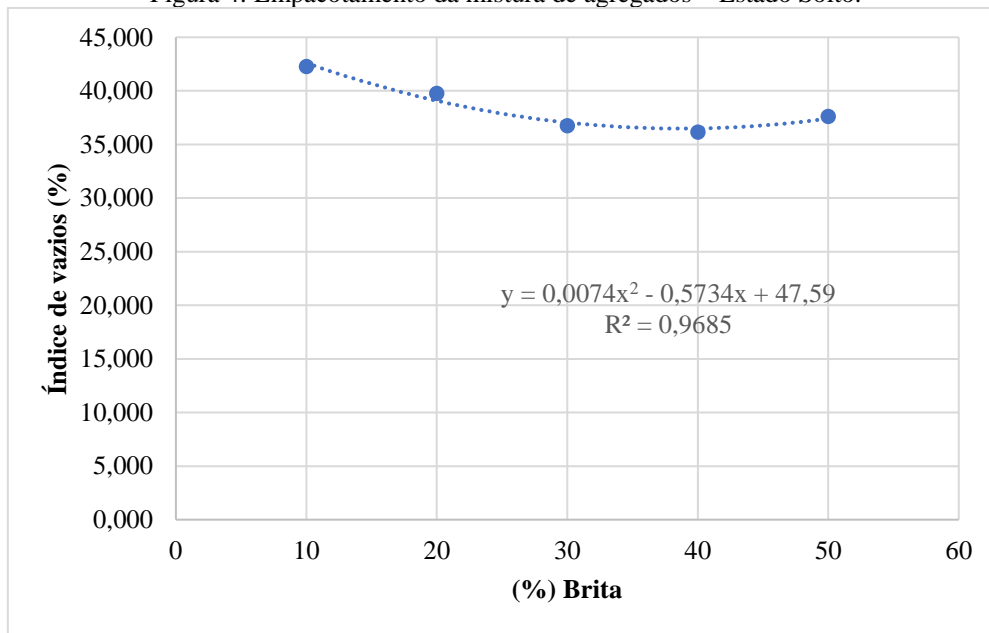
322

323

324

325

Figura 4: Empacotamento da mistura de agregados – Estado Solto.

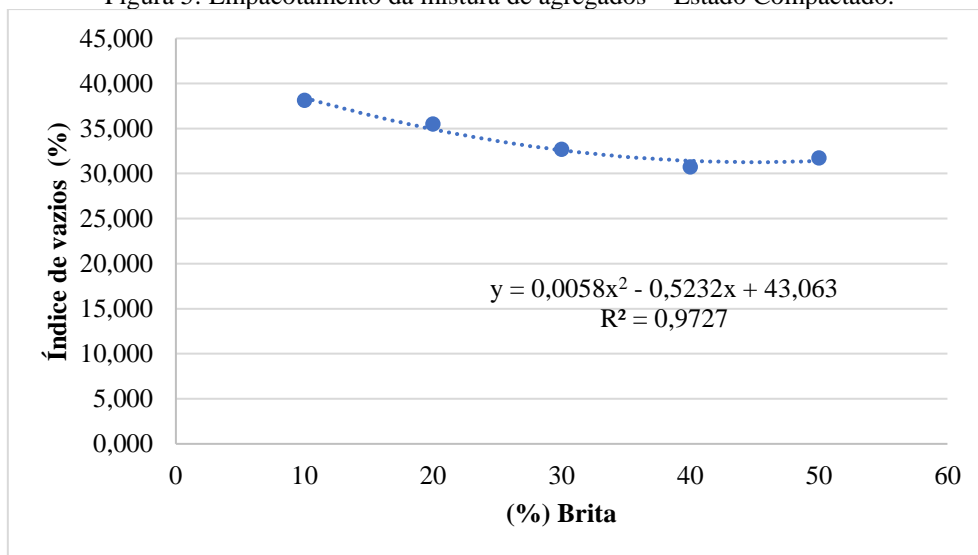


326

327

328

Figura 5: Empacotamento da mistura de agregados – Estado Compactado.



329

330

331 Nota-se por meio das Figuras 4 e 5 que o índice de vazios decresce com o aumento do percentual  
332 de brita. No entanto, existe um ponto ótimo nas curvas, representado pelo ponto de mínimo das  
333 parábolas. Portanto, na dosagem do concreto, é fundamental que seja escolhida a mistura cujo índice  
334 de vazios seja menor, pois isso acarretará em um concreto mais denso e, portanto, mais durável. Desta  
335 forma, como na elaboração do concreto a mistura encontra-se compactada, utilizou-se a Figura 5 para  
336 o prosseguimento da pesquisa.

337 Sendo assim, para o proporcionamento mais eficiente da mistura de agregados, buscou-se  
338 utilizar o percentual de brita que fornecesse o menor  $I_v$  (%), para obtenção de uma mistura com maior  
339 grau de compactidade, obtido por meio do mínimo da função polinomial expressa na Figura 5. O  
340 resultado desta proporção é apresentado na Tabela 6.

341  
342

Tabela 6: Porcentagem ideal de agregados para composição dos traços.

(%) Areia	(%) Brita
54,9	45,1

343

344

Para a porcentagem de agregados na mistura escolhida, conforme Tabela 6, o índice de vazios calculado foi de 31,26%.

345

346

### 4.3 Ensaio de resistência à compressão

347

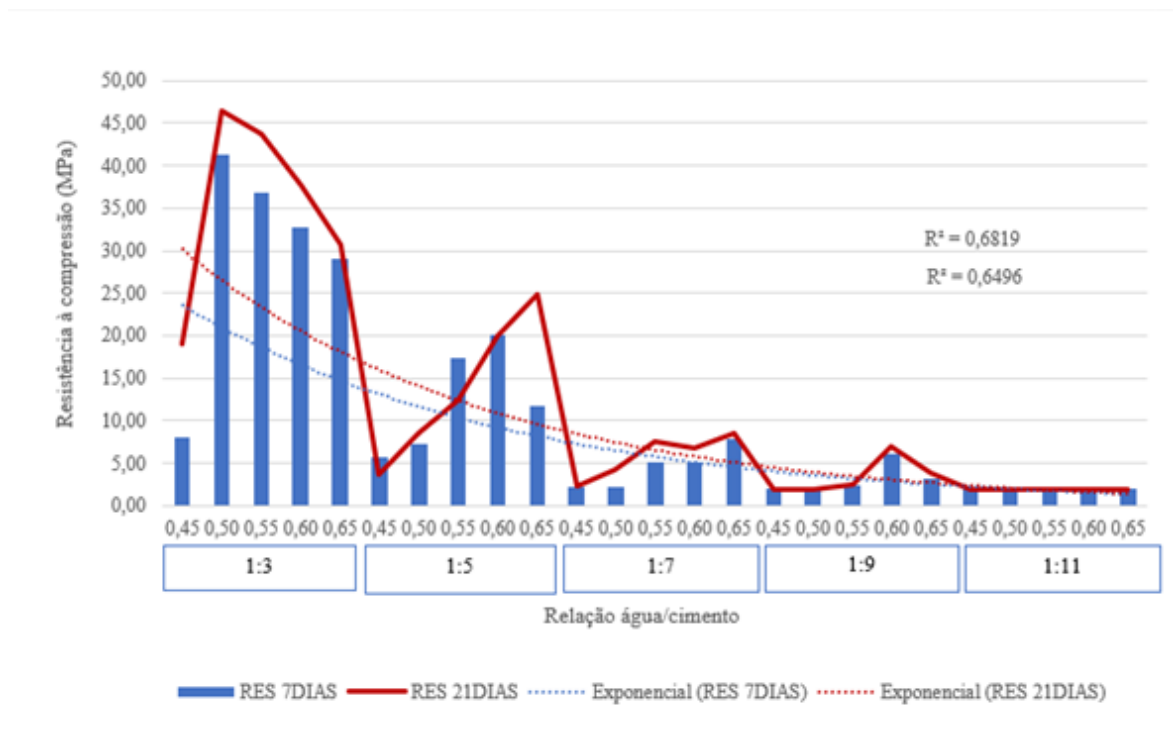
Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados aos 7 e 21 dias, e os resultados estão expostos na Figura 6.

348

349

350

Figura 6: Resistência dos corpos de prova obtida no ensaio de compressão aos 7 e 21 dias.



351

352

Conforme esperado, no geral houve um acréscimo de resistência aos 21 dias em relação aos 7 dias, o que pode ser explicado pelo processo de cura do concreto que garante as reações de hidratação necessárias para aumento na resistência.

354

355

Ainda, percebe-se que ocorreu uma discrepância entre as resistências esperadas com 7 e 21 dias para o traço 1:5, quando se analisa as relações a/c 0,45; 0,55 e 0,60, em que houve um decréscimo na resistência de 2; 4,9 e 0,1 MPa respectivamente. Acredita-se que este fato pode estar relacionado com uma falha no adensamento dos corpos de prova durante o processo de moldagem.

358

359

Ao analisar a correlação gráfica de ajuste ( $R^2$ ) das curvas de 7 e 21 dias, na Figura 6, nota-se que não é conveniente proceder com a análise dos traços como um todo. No entanto, ao analisar o ajuste das curvas de cada traço (Figura 7) separadamente, conforme Tabela 7, foram obtidos valores mais satisfatórios de ajuste ( $R^2$ ) para proceder com a análise.

362

363

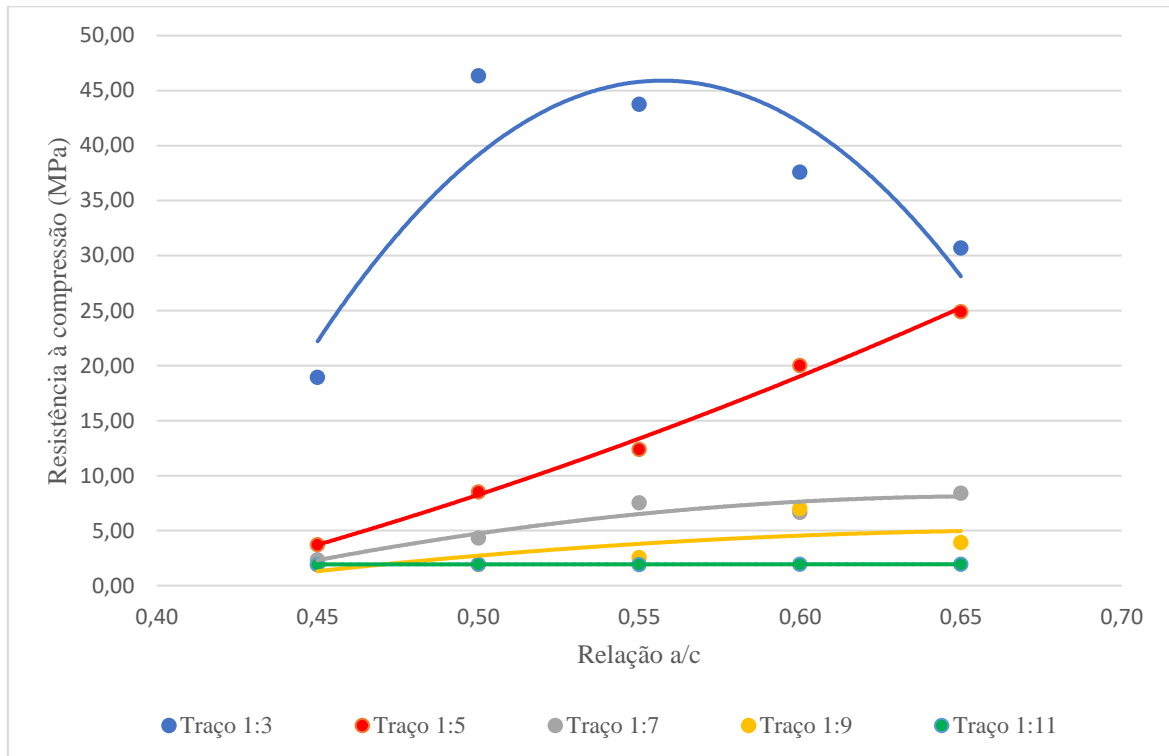
Tabela 7: Equações e ajustes das curvas por traço aos 21 dias.

Traço	Equações	Ajuste (R <sup>2</sup> )
1:3	$y = -2063x^2 + 2298,9x - 594,53$	0,8079
1:5	$y = 111,57x^2 - 14,998x - 12,131$	0,9929
1:7	$y = 129,42x^2 - 171,37x - 48,59$	0,9100
1:9	$y = -66,254x^2 - 91,123x - 26,273$	0,4744
1:11	$y = 0,0589x^2 - 1,9071x$	0,0835

364

365

Figura 7: Resistência Vs Relação a/c aos 21 dias, por traço.



366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

De acordo com a Figura 7, nota-se que para obtenção de um concreto com resistência esperada de 20 MPa, os traços 1:3 e 1:5 atendem à demanda, alterando apenas o fator a/c de 0,45 para 0,60 respectivamente. No entanto, do ponto de vista econômico, o traço 1:5 seria uma escolha mais apropriada, por se tratar de um traço elaborado com menor consumo de cimento e, conseqüentemente, mais barato, visto que o cimento no concreto é o material com maior valor agregado.

Ainda sobre a Figura 7, é possível identificar um ganho de resistência nos traços 1:5, 1:7 e 1:9 com o incremento do fator água/cimento, diferente do esperado, segundo Mehta e Monteiro (2014), que afirma que a resistência do concreto decresce com o aumento do fator a/c. E ainda difere do constatado por Ricci, Akasaki e Pereira (2017), que em sua pesquisa perceberam que para cada incremento da relação a/c de 0,01 houve uma redução na resistência à compressão.

Vale ressaltar também que a correlação existente entre o aumento da relação a/c e a perda na resistência do concreto dependem ainda do tipo de agregado constituinte na mistura, pois os agregados utilizados neste experimento foram de origem natural e angulosos, o que pode ter

380 influenciado diretamente na porosidade da zona de transição, de forma a não auxiliar no  
381 preenchimento dos poros, o que aumentou a porosidade do concreto, diminuindo sua resistência. Em  
382 geral, mantendo-se os demais fatores constantes, quanto maior o tamanho do agregado, mais alta será  
383 a relação a/c localizada na zona de transição da interface e, conseqüentemente, menos resistente e  
384 mais permeável seria o concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 46).

385 Salienta-se que o traço 1:11 não foi mencionado na análise devido ao ajuste de sua curva ter  
386 sido muito baixo.

387 Os resultados de resistência à compressão das misturas foram avaliados aos 7 e 21 dias, também  
388 por meio de interação entre as variáveis: traço e relação a/c, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9.

389

390

Figura 8

391

392

393

394

395

396

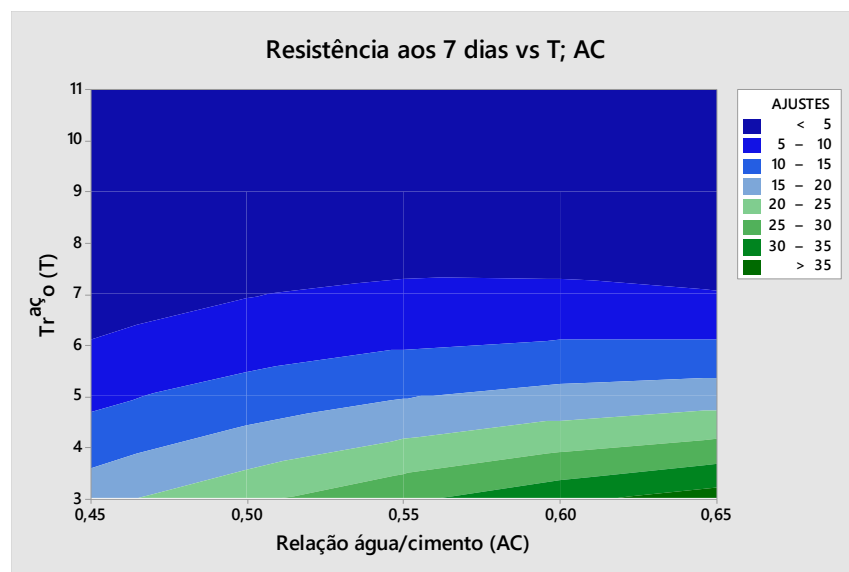
397

398

399

400

401

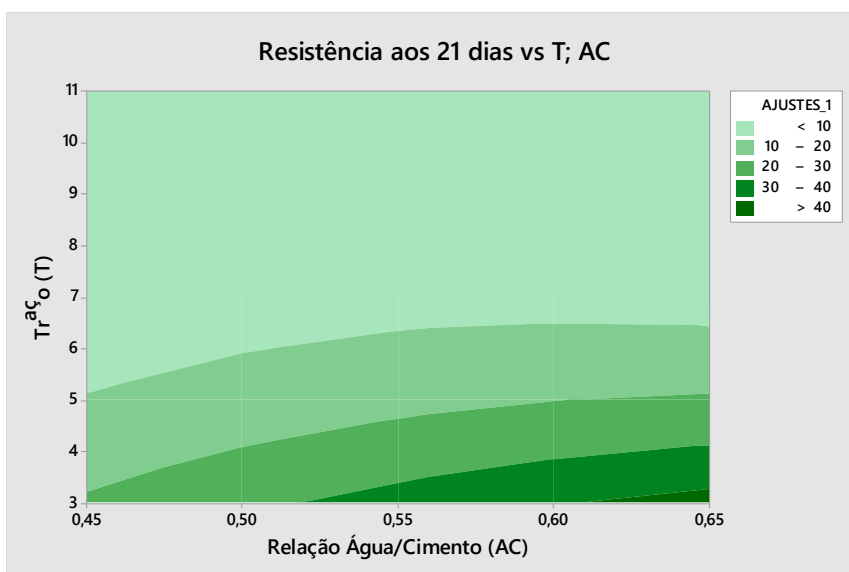


402

403

Figura 9

404



404

Tabela 7: Equações de regressão referentes às Figuras 8 e 9.

<b>Resistência à Compressão aos 7 dias</b>	
RES 7= -55,1 + 209,1 AC - 40,67 AC2T + 2,167 AC2T2	
S (variância) = 5,75209	R2 (ajuste) = 77,39 %
<b>Resistência à Compressão aos 21 dias</b>	
RES 21= -63,0 + 239,6 AC - 45,86 AC2T + 2,400 AC2T2	
S (variância) = 5,17139	R2 (ajuste) = 80,38 %

Através das Figuras 8 e 9, nota-se que os valores de resistência superiores à 35 MPa foram atingidos em ambas idades de cura, para as relações a/c entre 0,62 e 0,65 concomitante ao traço mais rico em cimento. Este evento pode estar relacionado aos traços com maior quantidade de agregados não terem sido misturados de maneira adequada pelo equipamento utilizado, o que evidencia a necessidade de um aditivo plastificante para auxiliar na homogeneização do concreto. Um bom desempenho nas propriedades exigidas ao concreto depende dos materiais constituintes, da proporção entre eles e da tecnologia de preparo e controle do material (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 49).

Constata-se que o fator a/c teve grande influência no aumento de resistência, o que pode ser explicada também através da análise da equação de regressão expressa na Tabela 7, em que, além do fator “AC” (relação água/cimento) estar presente em todas as variáveis, seu coeficiente teve um valor significativo se comparado às demais variáveis, tanto aos 7 como nos 21.

Nota-se também, que mantendo a constância no fator a/c, houve um aumento nas faixas de abrangência dos traços nos intervalos de resistência dos 7 dias para os 21 dias. O que reitera que um maior período de cura auxilia nas propriedades mecânicas do concreto.

O processo de execução experimental foi escolhido com o intuito de minimizar o desperdício das misturas em loco, utilizando a argamassadeira para realizar as mesmas em substituição à betoneira. Foram utilizados ainda na moldagem do concreto os corpos de prova cilíndricos habitualmente empregados no ensaio de argamassa (tamanho: 05cm x 10cm), o que diminuiu substancialmente a quantidade de resíduos experimentais. Em contraponto, esse fato pode ter inferido na resistência do estudo como um todo, apesar do intervalo entre os traços 1:3 e 1:5 terem atingido valores de resistência suficientes para concreto estrutural, acima de 20 MPa, os demais traços experimentais obtiveram resultados inferiores ao esperado, visto que os traços 1:7 e 1:9 são comumente utilizados para este fim em obras correntes na cidade com valores abaixo de 10MPa, como pode ser verificado nas Figuras 8 e 9.

Estima-se que além do processo escolhido para elaboração do experimento, as três camadas de adensamento para moldagem dos corpos de prova empregadas na execução possam ter sido insuficientes para uma boa compactação, como pode ser observado na Figura 5 a alta porosidade do concreto no encontro das camadas compactadas. Isto sugere que poderia ser utilizado o processo de



440 moldagem dos corpos de prova segundo a ABNT NBR 7215:1996, com quatro camadas de 30 golpes  
441 cada para a compactação.

442 Ainda, faz-se conveniente mencionar que os valores de resistência à compressão obtidos neste  
443 trabalho podem ter sido menores que os reais, pois durante o ensaio as cargas foram aplicadas em um  
444 menor período que o recomendado por norma, por defeitos de execução e da prensa. Enfatizando que  
445 fatores como adensamento e condições de cura (grau de hidratação do cimento), geometria do corpo  
446 de prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento podem, também, ter efeito importante na  
447 resistência. (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 54).

448 Ressalta-se ainda que os valores obtidos para o traço 1:11 mantiveram-se abaixo de 2 MPa, e  
449 do traço 1:9 abaixo de 7 MPa, mesmo tendo sido empregado nos traços a porcentagem de agregados  
450 com o menor índice de vazios.

## 451 **5. CONCLUSÃO**

452 Mediante os estudos realizados neste trabalho, verificou-se a resistência à compressão axial do  
453 concreto abrangendo variadas proporções de agregados.

454 Avaliou-se do ponto de vista econômico que o concreto elaborado com o traço 1:5 e relação  
455 0,60 atingiu a resistência de 20 MPa, com melhor custo benefício que o traço 1:3 com fator a/c 0,45.  
456 Visto que o cimento é o material mais oneroso na composição do concreto e o traço 1:5 requer menor  
457 quantidade deste insumo na mistura em relação ao traço 1:3.

458 Constatou-se, para os traços ricos em cimento que o fator água/cimento teve grande influência  
459 na resistência à compressão, fornecendo para o intervalo de relação a/c entre 0,62 e 0,65 resistência  
460 superior a 35 MPa, tanto aos 7 como aos 21 dias.

461 Para o cimento CP V ARI utilizado neste estudo, a ausência de aditivo plastificante nas  
462 misturas de concreto afetou na homogeneização, o que nos traços mais pobres, pode ter causado um  
463 aumento na porosidade da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface entre matriz e  
464 agregado graúdo, repercutindo numa diminuição de resistência.

465 Pode-se inferir também que no geral, a falta de controle de alguns parâmetros que definem as  
466 propriedades do concreto, como: adensamento, forma e dimensão dos corpos de prova, procedimento  
467 e duração do processo da mistura, tipo e duração do carregamento axial, tipo de agregados, levaram,  
468 em alguns casos, à produção de um material com alta porosidade e baixa resistência.

469 Conclui-se ainda que o traço 1:7 comumente empregado em edificações comuns, com  
470 finalidade estrutural, não foi viável para este trabalho, pois expressou valores de resistência abaixo  
471 de 10 MPa para todas as relações a/c analisadas.

472 Contudo, este estudo pode abrir caminho para outros trabalhos mais aprofundados, a fim de  
473 avaliar o comportamento mecânico e químico do concreto, utilizando os mesmos traços e relações

474 a/c, com inserção de aditivo plastificante nas misturas, tanto para agregados da cidade de Rio  
475 Paranaíba, quanto para às demais.

476

## 477 **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

478

479 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados -  
480 Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003. 13 p.

481

482 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland -  
483 Determinação da resistência a compressão, Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

484

485 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaios de  
486 compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1994. 9 p.

487

488 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto -  
489 Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016. 3-6 p.

490

491 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e  
492 outros materiais em pó - Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 2017.

493

494 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo -  
495 Determinação da massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2009. 1-10 p.

496

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

499

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

503

504 ALVARENGA, M. C. S. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de concreto com**  
505 **adição de sílica ativa para fabricação de blocos de alvenaria estrutural**. 2016. 197 p. Tese  
506 (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

507

508 DRAGO, C. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**.  
509 REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, MG, 403-404 p. jul. set. 2009. Disponível em:<  
510 [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S037044672009000300021&script=sci\\_abstract&tlng=p](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S037044672009000300021&script=sci_abstract&tlng=p)  
511 t>. Acesso em: 06 Set. 2009.

512

513 HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: IBRACON, 2010.  
514 906-926 p.

515

516 HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo:  
517 Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992. 225-226 p.

518

519 MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São  
520 Paulo: IBRACON, 2014. 25; 49-56 p.

521

522 NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: BROKMAN, 2013.  
523 117-119 p.

524  
525  
526  
527  
528  
529  
530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538  
539  
540  
541  
542  
543  
544

REVISTA CONCRETO E CONSTRUÇÕES. São Paulo, SP: IBRACON. **Material construtivo mais consumido no mundo**, n. 53, ISSN 1809-7197, jan./mar. 2009 13-14 p.

RICCI, B. O.; AKASAKI, J. L.; PEREIRA, A. M. **Estudo de dosagens visando obter concretos para obras de pequeno porte**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.13, 2017. 190-192 p.

SILVA, A. C.; MENDES, M. V. A.; SILVA, E. M. S. **Substituição de areia por magnetita na formulação do concreto**. Technol. Metal. Mater., São Paulo, v. 13, n. 3, jul. set. 2016. 265-269 p.

SANTOS, C. C.; LOPES, D. C. **Estudo da resistência de concretos com areia de fundição e cinza de casca de arroz**. REEC: Revista eletrônica de engenharia civil. v. 14, n. 1, 2018. 234 p. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/46600>>. Acesso em: 26 Set. 2018.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. 1. ed. São Paulo, IBRACON, v. 1, cap. 12, 2011. 439 p.