

DESEMPENHO MECÂNICO DE CONCRETO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE PALHA DE CAFÉ

⁽¹⁾ Matheus Henrique Reis

⁽²⁾ Maria Cláudia Sousa Alvarenga

⁽³⁾ Cassiano Rodrigues de Oliveira

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

⁽²⁾ Professora Adjunta do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba

⁽³⁾ Professor Adjunto do curso de Química – Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba

Presidente da banca: Profa. Dr^a Maria Cláudia Sousa Alvarenga

Membro 1: Prof. Dr. Cassiano Rodrigues de Oliveira

Membro 2: Prof. Dr. Reynaldo Furtado Faria Filho

Data: 10/12/2019

RESUMO: Atualmente, o Brasil produz cerca de 54 milhões de toneladas de cimento por ano, sendo o concreto feito com cimento Portland o segundo material mais consumido pela humanidade. Para cada tonelada de cimento produzido é estimado que cerca de 600 kg de CO₂ são liberados na atmosfera, fazendo com que esse processo seja bastante danoso ao meio ambiente. Diversas são as tentativas de tornar a produção e o consumo de cimento mais sustentáveis. Desse modo, a palha de café surge como uma possível aliada para tornar o concreto mais ecológico. O Brasil é o maior produtor de café a nível mundial, produzindo mais de 61 mil toneladas do grão beneficiado por ano. No entanto, estima-se que 45% de toda a produção cafeeira seja considerada resíduo, sendo esse denominado de palha de café. Esse material muitas vezes é descartado de forma incorreta no meio ambiente, contaminando solos e águas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos na resistência mecânica de concretos com adição de palha de café em três estados: R1 – palha triturada e peneirada, R2 – palha triturada, torrada e peneirada, R3 – palha triturada, torrada, calcinada e peneirada. Foram moldados corpos de prova de concreto contendo 0, 5, 10, 15 e 20% de adição de resíduos em relação à massa de cimento, e, além disso, variou-se a relação A/C em 0,55; 0,65 e 0,75, com exceção do R3 que foi utilizado apenas A/C 0,65. O traço utilizado foi de 1:3:3 em massa. Além disso, realizou-se o ensaio de difratometria de raios-X nos resíduos. Notou-se que o ensaio de difratometria indicou a presença de sílica em forma de quartzo em todos os resíduos, além de matéria orgânica no R1 e R2. No R3 foi encontrado diversos minerais, porém esses não foram identificados. Os corpos de prova foram rompidos com 28 dias de cura úmida e os resultados atestaram que a grande quantidade de matéria orgânica presente no R1 inviabilizou o uso deste resíduo, já que a resistência à compressão obtida foi igual a zero para todas as substituições. Com relação ao R2, as adições de 5% melhoraram a resistência do concreto entre 11 e 33%, porém os demais teores fizeram a resistência diminuir, mesmo que em menor proporção do que no R1. Os resultados indicam ainda que há um ponto ótimo de adição de R2, sendo esse entre 0 e 10%. O R3 foi o único a apresentar consistência nos resultados à medida que era adicionado em maiores teores, sendo o seu pior

38 desempenho com 20% de adição, resultando em um decréscimo de 10% em relação ao concreto
39 referência. Conclui-se que os minerais presentes, principalmente no R3, contribuíram nas reações
40 para a manutenção da resistência do concreto, fazendo com que esse material tenha grande potencial
41 de ser empregado na construção civil. No entanto são necessários novos ensaios para identificar e
42 catalogar os minerais responsáveis por esse desempenho.

43 **PALAVRAS CHAVES:** cafeicultura, cinza calcinada, concreto verde, construção civil,
44 sustentabilidade

45 **CONCRETE MECHANICAL PERFORMANCE PRODUCED WITH ADDED COFFEE**
46 **HUSK**

47 **ABSTRACT:** Currently, Brazil produces about 54 million tons of cement per year, with Portland
48 cement being the second most consumed material by the population. For each ton of cement produced
49 it is estimated that about 600 kg of CO₂ is released into the atmosphere making this process very
50 harmful to the environment. There are several attempts to make cement production and consumption
51 more sustainable. In this way coffee husk emerges as a possible ally to make the concrete more
52 environmentally friendly. Brazil is the largest coffee producer in the world, producing more than
53 61,000 tons of processed beans per year. However, it is estimated that 45% of all coffee production
54 is considered waste, which is called coffee husk. This material is often incorrectly disposed of in the
55 environment, contaminating soil and water. Thus, the objective of this work was to analyze the effects
56 on the mechanical strength of concretes with coffee husk addition in three states: R1 – husk crushed
57 and sifted, R2 – husk crushed, toasted and sifted, R3 – husk crushed, toasted, calcined and sifted.
58 Concrete specimens containing 0, 5, 10, 15 and 20% of residue addition in relation to the cement
59 mass were molded and, in addition, the w/cm ratio varied by 0.55; 0.65 and 0.75, except for R3 which
60 was used only w/cm 0.65. The concrete mixtures used was 1:3:3 in mass. In addition, the diffraction
61 of X-ray test on the residues was performed. It was noted that the diffraction test indicated the
62 presence of quartz silica in all residues, as well as organic matter in R1 and R2. In R3 several minerals
63 were found, but these were not identified. The specimens were ruptured with 28 days of wet cure and
64 the results attested that the large amount of organic matter present in R1 made the use of this residue
65 unfeasible, since the compressive strength obtained was equal to zero for all substitutions. Regarding
66 R2, the 5% additions improved the concrete strength between 11 and 33%, but the other contents
67 made the resistance decrease, even to a lesser extent than in R1. The results also indicate that there is
68 an optimal addition point of R2, which is between 0 and 10%. R3 was the only one to present
69 consistency in the results as it was added in higher contents, being its worst performance with 20%
70 addition, resulting in a 10% decrease in relation to the reference concrete. It is concluded that the
71 minerals present, mainly in R3, contributed in the reactions to the maintenance of the concrete

72 strength, making this material with a great potential to be used in the civil construction. However,
73 further testing is needed to identify and catalog the minerals responsible for this performance.

74 **KEYWORDS:** coffee growing, calcined ash, green concrete, construction, sustainability

75 **1 INTRODUÇÃO**

76 O cimento é um pó fino que possui propriedades aglomerantes que endurece sob a ação da água.
77 Após a reação ele se torna uma pedra artificial que pode ganhar forma e volume de acordo com a
78 necessidade de cada obra. Devido a facilidade em ser encontrado e ser de fácil manuseio frente as
79 suas características, o concreto feito com cimento Portland é o segundo material mais consumido pela
80 humanidade, sendo superado apenas pela água (Portal USP São Carlos, 2019). De acordo com o
81 Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o Brasil produziu em 2017 cerca de 54 milhões
82 de toneladas de cimento, sendo Minas Gerais o maior estado produtor, somando mais de 11 milhões
83 de toneladas.

84 Em abril de 2019 o SNIC, juntamente com a Associação Brasileira de Cimento Portland
85 (ABCP), lançaram o Roadmap Tecnológico do Cimento, documento que traça as principais ambições
86 e diretrizes para a redução de quase 35% das emissões de carbono da indústria cimenteira do Brasil
87 até 2050 (ABCP, 2019). Esse documento evidencia a preocupação em diminuir as emissões de um
88 setor que, de acordo com José Goldemberg - presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado
89 de São Paulo (FAPESP), libera cerca de 600 kg de dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de cimento
90 produzida no Brasil. Em função da poluição gerada para a fabricação desse material, estudos vem
91 sendo realizados visando diminuir, mesmo que de modo parcial, o consumo de cimento através da
92 incorporação de compostos renováveis e menos poluentes ao concreto, como é o caso da cinza de
93 casca de arroz (CCA), cinza do bagaço de cana-de-açúcar, cinza de eucalipto e as cinzas da palha de
94 café.

95 Tendo em vista fomentar pesquisas para tornar a indústria da construção civil mais sustentável
96 esse trabalho teve como objetivo analisar os efeitos na resistência mecânica em concretos com a
97 adição de palha de café em três diferentes estados – in natura, torrada e calcinada.

98 **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

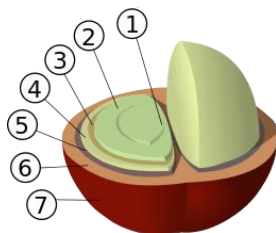
99 Na revisão bibliográfica encontram-se pesquisas e estudos relacionados a adições de resíduos
100 em concreto.

101 **2.1 Resíduo da cafeicultura**

102 De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), atualmente o Brasil lidera
103 o ranking de países produtores de café, tendo uma produção recorde superior a 61 milhões de sacas
104 de 60 kg do grão beneficiado. Apenas em Minas Gerais foram colhidas mais de 33,3 milhões de sacas
105 no ano de 2018 o que o torna o maior estado produtor de café do Brasil. A região do cerrado mineiro
106 apresentou produção 95% maior em relação ao ano anterior, evidenciando essa região como uma

107 potência cafeeira. Na Figura 1 é representada a estrutura do grão de café. O conjunto das camadas 5,
108 6 e 7 é denominado palha de café, sendo esse o material objeto desse estudo.

109 Figura 1 – Estrutura do grão de café: 1 – Corte central. 2 – Endosperma (semente). 3 – Epiderme. 4 – Endocarpo.
110 5 – Camada de pectina (mucilagem). 6 – Mesocarpo (polpa). 7 – Exocarpo.



111 Fonte: Pérrazzelli e Martel (2010)

112 Com o aumento da produção de café há um crescimento proporcional na geração de resíduos
113 agroindustriais, e caso esses materiais sejam dispostos incorretamente podem acabar contaminando
114 solos e águas (VEGRO; CARVALHO, 1994). Segundo Neves (2016), a geração de resíduos se dá
115 através da operação pós-colheita denominada de beneficiamento, onde ocorre o descascamento dos
116 frutos do café a fim de se obter o produto de maior interesse econômico – o grão beneficiado.

117 De acordo com Bressani (1978), cerca de 55% da massa seca do café é correspondida pelo grão
118 e os outros 45% são referentes à palha de café que é considerada um resíduo do beneficiamento.
119 Assim sendo, é notável a grande quantidade de resíduo gerada na produção cafeeira.

120 Com relação à composição química desse material, de acordo com os estudos de Garcia e
121 Matiello (2004), 1,5% da massa da palha seca é representada por nitrogênio, 0,15% por fósforo e
122 3,6% por potássio. Após a queima, os nutrientes voláteis são perdidos, sendo encontrado uma
123 concentração de 3,3% de fósforo e 79% de potássio nas cinzas desse material.

124 Na literatura científica é possível encontrar diversos estudos que propõem a aplicação da palha
125 de café em diferentes segmentos, como na própria cafeicultura, na pecuária e na indústria da
126 construção civil, como é descrito a seguir.

127 **2.1.1 Aplicação em concreto e argamassa**

128 Visando integrar os resíduos da cafeicultura com a construção civil, Lins (2006), Lin *et al.*
129 (2016) e Miranda *et al.* (2019) realizaram estudos indicando que a palha de café em suas diferentes
130 formas possui potencial para ser aplicado em concretos e argamassas, trazendo como principais
131 benefícios um menor consumo de cimento e a diminuição de descarte de resíduos na natureza. Essa
132 aplicação torna-se mais interessante quando o material é submetido a tratamento térmico a 600°C,
133 pois nessa condição foi evidenciada uma forte tendência ao amorfismo, proporcionando melhor
134 desempenho quanto à resistência mecânica do material perante as cinzas submetidas a outras
135 temperaturas (LIN ET AL., 2016)

136 Em sua pesquisa, Lins (2006) utilizou a palha de café em 3 diferentes estados: calcinada a 400°C
137 com moagem em moinho de bolas, calcinada a 600°C e mesma moagem da anterior, e queimada sem

138 controle de temperatura para a secagem dos grãos de café na própria fazenda com posterior
139 destorroamento, passando o material em uma peneira com abertura de 4,8mm. O objetivo foi avaliar
140 a interferência da substituição de parte da massa de cimento por esses resíduos na resistência à
141 compressão em argamassa.

142 A referida autora realizou o experimento de duas formas: primeiro com o preparo de argamassa
143 com relação água/aglomerante constante de 0,48 e posteriormente com essa relação variando
144 conforme indicado na Tabela 1, sendo o resíduo do café considerado como aglomerante. As cinzas
145 calcinadas a 400°C, a 600°C e as cinzas sem controle da queima substituíram, respectivamente, 24%,
146 27% e 36% da massa de cimento de forma a garantir que 35% do volume de cimento fosse substituído.
147 O rompimento a compressão foi realizado após 28 dias de cura úmida e comparado com a resistência
148 de uma argamassa padrão sem nenhum tipo de adição de cinzas. Na Tabela 1 são elencados os
149 resultados obtidos pela autora.

150 Tabela 1 – Comparativo de resistência das argamassas.

Argamassa	Água/Aglomerante Constante			Água/Aglomerante Variável		
	Resistência a compressão (MPa)	Resistência em relação a argamassa padrão (%)	A/C	Resistência a compressão (MPa)	Resistência em relação a argamassa padrão (%)	A/C
Padrão	52,5	100%	0,48	48,0	100%	0,67
Cinza a 400°C	25,0	47,6%	0,48	15,5	32,3%	0,76
Cinza a 600°C	23,0	43,8%	0,48	21,5	44,8%	0,79
Queima sem controle	22,0	41,9%	0,48	10,7	22,3%	0,88

151 Fonte: Adaptado de Lins (2006).

152 Pela Tabela 1 é possível inferir que a substituição de cimento pela cinza calcinada a 400°C com
153 relação a/c de 0,48 provocou um desempenho pouco superior às demais cinzas quanto à resistência.
154 No tocante a relação a/c variável, nota-se que a cinza calcinada a 600°C sobressaiu perante as demais
155 substituições. Mesmo com a redução do consumo de cimento, esse tratamento foi a única substituição
156 com relação a/c variável capaz de suportar mais de 20 MPa de compressão antes da ruptura
157 ultrapassando, portanto, o requisito mínimo para ser considerado uma mistura estrutural.

158 Seguindo uma linha de pesquisa diferente da apresentada anteriormente, Lin *et al.* (2016)
159 empregou a cinza da borra de café em seus estudos. O material proveniente de lanchonetes de Taipei
160 (Taiwan) foi submetido a tratamento térmico em forno elétrico nas temperaturas de 500°C, 600°C e
161 700°C durante um período de 3 horas. Após análise por termogravimetria e por difração de raio-X,
162 foram selecionadas as cinzas a 500°C e 600°C para conduzir o experimento, pois segundo os autores,
163 a partir dessa última temperatura há uma estabilização do óxido de alumínio na composição das

164 cinzas, componente que garante a alta reatividade do cimento, contribuindo de forma indireta para
165 seu ganho de resistência mecânica.

166 Para conduzir os experimentos em argamassa, Lin *et al.* (2016) substituíram parte da massa de
167 cimento pelo produto da queima do resíduo nas proporções de 0, 2, 3, 5, 10 e 15% da massa seca,
168 sendo adotada uma relação água/cimento constante de 0,55. Ainda, os autores analisaram a resistência
169 à compressão aos 3, 7, 28, 60 e 90 dias de cura úmida, cujos resultados estão elencados na Tabela 2.

170 Tabela 2 – Relação das resistências obtidas aos 28 dias de cura úmida.

Temperatura do tratamento térmico	Tipo de resíduo											
	Resistência a compressão (MPa)						Relação com a referência (%)					
	Quantidade de substituição de cimento por resíduo											
	0%	2%	3%	5%	10%	15%	0%	2%	3%	5%	10%	15%
T1 - 500°C	38,0	27,5	25,9	22,3	14,0	12,0	100,0	72,4	68,2	58,7	36,8	31,6
T2 - 600°C	41,6	40,3	37,2	33,8	25,0	15,1	100,0	96,9	89,4	81,3	60,1	36,3

171 Fonte: Adaptado de Lin *et al.* (2016).

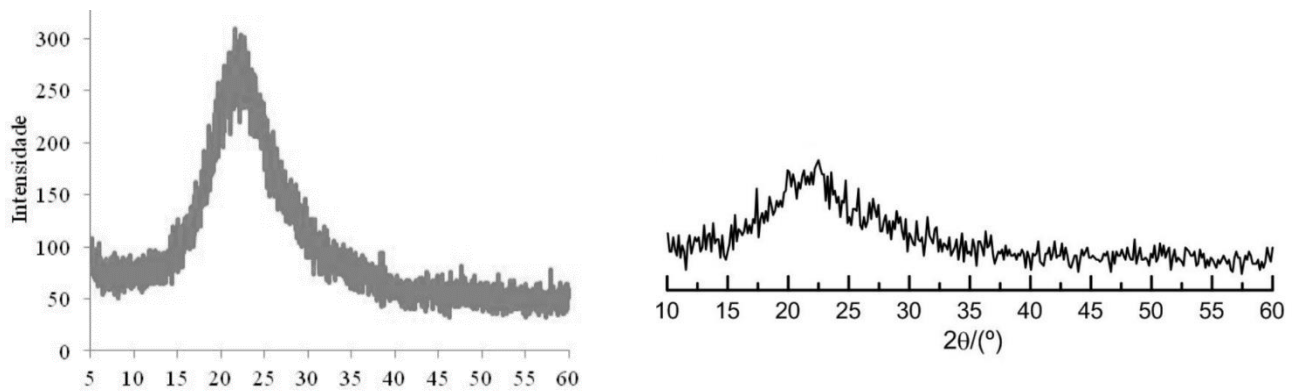
172 Percebe-se, por meio da Tabela 2, que a utilização de cinza calcinada a 600°C foi mais benéfica
173 para a resistência à compressão do que a cinza calcinada a 500°C, independente do percentual
174 utilizado. Nota-se, também, que no tratamento T1 houve um decréscimo superior a 30% na resistência
175 à compressão com relação a argamassa referência na substituição de 3% da massa de cimento. Já no
176 tratamento T2 essa redução foi de aproximadamente 10% (LIN ET AL., 2016). Esse fato evidencia
177 que o resíduo calcinado a 600°C possui potencial para ser utilizado na indústria da construção civil.

178 Além do tratamento térmico controlado, Miranda *et al.* (2019) constataram alto teor de
179 amorfismo no material resultante do processo que inclui a pré-queima não controlada da palha de
180 café com álcool de teor 93%, o tratamento térmico das cinzas em forno mufla por 4 horas a
181 temperatura de 600°C e o resfriamento natural do produto.

182 Segundo Zucco (2007) quanto maior a quantidade de sílica amorfa no material, maior será a
183 possibilidade de melhoria na resistência de concreto e argamassa. Por exemplo, a cinza de casca de
184 arroz (CCA), após tratamento térmico, transforma-se em sílica amorfa, e isso contribui com a
185 solubilização do material em meio alcalino, promovendo, portanto, a sua reação com os íons de cálcio,
186 formando compostos estáveis e dotados de poder aglomerante como os silicatos e aluminatos de
187 cálcio (MEHTA & MONTIERO, 2014). Portanto, a presença dessa sílica amorfa pode ser benéfica
188 para a utilização do material juntamente com o cimento.

189 De acordo com Pereira *et al.* (2015), a CCA confere uma maior resistência para a argamassa e
190 para o concreto quando queimada sem controle de temperatura e substituída em teores de 5% e 10%
191 da massa de cimento. Na Figura 2 é apresentada uma comparação entre as análises de difração de
192 raios-X da cinza de palha de café e da CCA.

Figura 2 - Difratomogramas das cinzas da palha de café e da CCA



Fonte: Miranda *et al.* (2019) e Bezerra *et al.* (2011)

194

195 Comparando-se os dois difratogramas é possível notar que há uma similaridade no
 196 comportamento dos materiais, em especial na presença de uma linha de base sem picos salientes
 197 indicando a presença de material amorfo.

198 2.1.2 Comparativo com outros tipos de cinzas

199 Além da palha de café, diversos outros resíduos têm sido estudados quanto a sua
 200 empregabilidade na construção civil. Na Tabela 3 é apresentado uma coletânea desses trabalhos e
 201 seus respectivos desempenhos quanto a resistência a compressão axial após 28 dias de cura úmida.

202

Tabela 3 – Coletânea de estudos de adição de resíduos de origem orgânica em concreto e argamassa

Autor	Material de estudo	Tipo de mistura	Resistência de referência (MPa)	Substituição	Resistência com a substituição (MPa)	Aumento/Queda da substituição em relação à referência (%)
Bortoletto <i>et al.</i> ¹⁾	(CME) ⁴⁾	Argamassa	39,4	30% em massa do agregado miúdo	46,4	+17,8%
Lima e Rossignolo ²⁾	(CCCC) ⁵⁾	Argamassa	27,2	35% em volume do cimento	9,3	-65,8
Valenciano e Freire ³⁾	(CBCA) ⁶⁾	Cimento Portland e cinzas	24,1	20% em massa do cimento	20,9	-13,3%

203

Fonte: adaptado de ¹⁾ Bortoletto *et al.* (2017), ²⁾ Lima e Rossignolo (2010), ³⁾ Valenciano e Freire (2004)

204

⁴⁾ CME: cinza de madeira de eucalipto; ⁵⁾ CCCC: cinza de casca de castanha de caju; ⁶⁾ CBCA: cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.

205

206 Com base na Tabela 3, é possível inferir que cada resíduo deve ser estudado individualmente
 207 pois nem todos os compostos orgânicos são indicados para serem empregados como
 208 adição/substituição em concreto e argamassa, como é o caso da CCCC que diminuiu

209 consideravelmente a resistência da argamassa. Contudo a palha de café apresenta um grande potencial
210 de empregabilidade na construção civil tendo desempenho similar a CME e a CBCA.

211 **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

212 Para a realização desse estudo foi utilizada a estrutura do Laboratório de Ensino (LAE) da UFV
213 *campus* Rio Paranaíba, sendo a primeira etapa da pesquisa a obtenção do resíduo. A palha de café
214 analisada foi obtida através de doação de uma fazenda cafeeira situada na região do triângulo mineiro
215 no município de Patrocínio, Minas Gerais. Após o processo de beneficiamento dos grãos, a palha foi
216 coletada e armazenada em sacos rafia na própria fazenda sob o abrigo de sol e intempéries até ser
217 transportada para o LAE. A colheita é referente a safra de 2018 e o café pertence à espécie *Coffea*
218 *arabica*.

219 Inicialmente, realizou-se uma separação manual de galhos, gravetos, folhas e grãos da palha de
220 café. Posteriormente o material foi levado a estufa por um período de 24 horas à temperatura de
221 $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ para que ficasse completamente seco. A fim de se obter a umidade natural do material, foram
222 separadas 3 amostras que tiveram suas massas aferidas por uma balança com precisão de 0,1g antes
223 e após o procedimento descrito anteriormente.

224 Após essas etapas o material obtido trata-se da palha de café seca e livre de detritos, pronta para
225 dar continuidade ao experimento.

226 **3.1 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS**

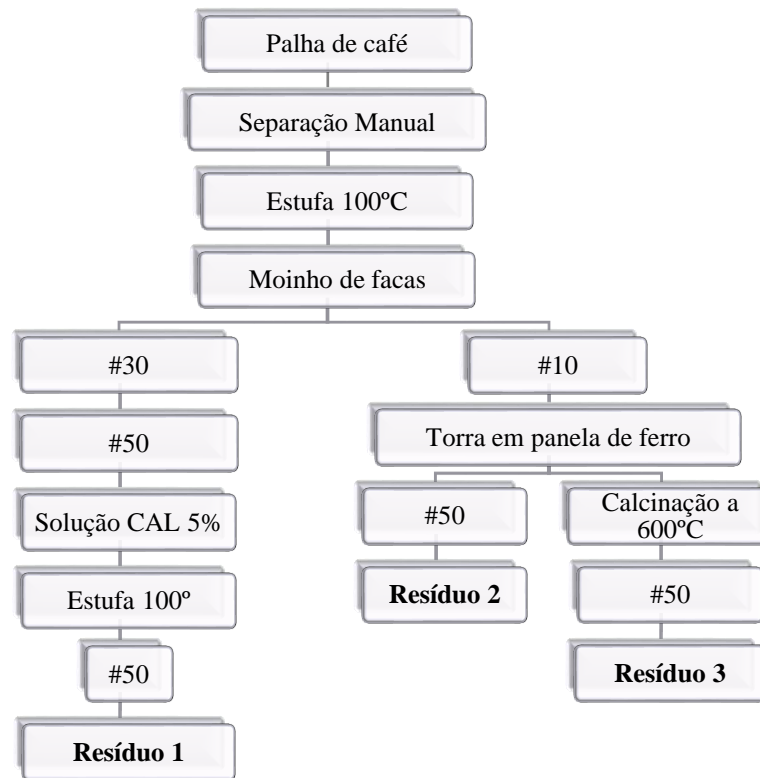
227 A seguir é apresentado um infográfico (Figura 3) contendo as etapas realizadas para a obtenção
228 dos resíduos objeto desse estudo.

229 Por meio da Figura 3, percebe-se a produção de três diferentes resíduos provenientes da palha
230 de café, sendo eles:

- 231 • Resíduo 1 – R1: palha triturada e peneirada
- 232 • Resíduo 2 – R2: palha triturada, torrada e peneirada
- 233 • Resíduo 3 – R3: palha triturada, torrada, calcinada e peneirada

234 Posteriormente, será descrito detalhadamente o processo de obtenção de cada um deles e os
235 ensaios realizados.

Figura 3 – Infográfico da obtenção dos resíduos



237 3.1.1 R1: palha triturada e peneirada

238 O primeiro passo após ter a palha de café seca e livre de detritos consistiu em triturar o material
 239 em moinho de facas. Esse procedimento teve por objetivo diminuir a granulometria a fim de se obter
 240 um material mais fino para que possa ser utilizado juntamente com o cimento. Utilizou-se a peneira
 241 com abertura de 0,59 mm.

242 Após esse procedimento o material foi triturado manualmente com auxílio de almofariz de
 243 porcelana e passado na peneira #50 (0,30 mm) para se obter um material ainda mais fino.

244 Após o fim desse processo o material foi novamente passado na peneira #50 e dessa forma foi
 245 obtido o Resíduo 1 – palha triturada e peneirada.

246 3.1.2 R2: palha triturada, torrada e peneirada

247 Para se obter o segundo tipo de resíduo, inicialmente passou-se a palha de café seca no moinho
 248 de facas na peneira mesh 10. Após testes preliminares optou-se pela escolha dessa peneira devido ao
 249 melhor resultado obtido na queima - que será o próximo passo - quando comparado ao material com
 250 outras diferentes granulometrias.

251 A partir de diversos testes chegou-se à conclusão de que a maneira mais segura e mais eficiente
 252 de submeter o material à queima seria através da torra em panela de ferro, pois a chama é controlada
 253 através de registro de gás – diferente da queima com álcool etílico. A torra foi feita revirando o
 254 material com auxílio de uma colher até que toda a palha mudasse da coloração bege e marrom (a)
 255 para um preto com aspecto de carvão vegetal (b), conforme é verificado na Figura 4. Pontua-se a

256 importância de realizar esse procedimento em ambiente aberto e ventilado, pois durante a torra há
257 uma grande liberação de fumaça.

258 Figura 4 – (a) Torra da palha de café em panela de ferro (b) Palha de café após a torra



259 Após esse procedimento o material torrado foi triturado manualmente utilizando-se almofariz
260 de porcelana e pistilo, sendo posteriormente passado na peneira #50 obtendo-se, portanto, o Resíduo
261 2 – Palha triturada, torrada e peneirada.

262 3.1.3 R3: palha triturada, torrada, calcinada e peneirada

263 Para a produção do Resíduo 3, inicialmente o material foi triturado no moinho de facas e torrado
264 em panela de ferro de modo análogo ao R2. Em sequência o material foi acondicionado em cápsula
265 de porcelana e submetido a calcinação em forno mufla com resistência elétrica.

266 Para o processo de calcinação a palha foi colocada no forno desligado sendo posteriormente a
267 sua temperatura elevada até o valor estabelecido de 600°C, conforme apresentado por Lin *et al.*
268 (2016). Após 90 minutos o forno foi aberto e o conteúdo da cápsula agitado com o auxílio de luva
269 térmica e espátula metálica. Esse procedimento tem o objetivo de promover a calcinação completa
270 do material. Em sequência, a palha de café ficou por mais 90 minutos dentro do forno e foi novamente
271 revirada por uma espátula metálica. Após mais 60 minutos na mufla a cápsula de porcelana foi
272 retirada e colocada sobre uma tábua de madeira para que resfriasse naturalmente. Esse processo foi
273 repetido até a obtenção de resíduo suficiente para realizar os ensaios, já que a massa por produção era
274 de aproximadamente 10 gramas.

275 Após a obtenção de cerca de 300g de cinza calcinada, todo o material foi triturado manualmente
276 com auxílio de almofariz de porcelana e pistilo sendo posteriormente passado na peneira #50. Por
277 fim, foi obtido o Resíduo 3 – Palha triturada, torrada, calcinada e peneirada.

278 Na Figura 5 é ilustrado o resultado final de cada resíduo.

279 Figura 5 – Da esquerda para a direita: R1, R2, R3



280 3.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO

281 De posse dos resíduos, foram moldados corpos de prova para posterior rompimento a
282 compressão. Com base na revisão bibliográfica, optou-se nesta pesquisa por adições de resíduos de
283 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação à massa de cimento, além de variar a relação água/cimento
284 (A/C) em 0,55; 0,65 e 0,75 para se obter uma maior consistência dos resultados. Apesar das adições
285 serem em relação ao aglomerante (cimento), o seu teor não teve interferência na relação
286 água/cimento, por vez também chamada de água/aglomerante. O R3 foi ensaiado somente com um
287 valor de A/C, pois a quantidade obtida desse material foi limitada. Para cada tratamento foram
288 moldados 3 corpos de prova.

289 Os ensaios foram realizados utilizando-se corpo de prova cilíndrico de 50x100mm. A escolha
290 desse molde deve-se ao menor volume de concreto necessário para realizar a moldagem quando
291 comparado a moldes maiores. Esse é um fato relevante pois a quantidade obtida dos resíduos se
292 mostrou um valor limitante no volume de produção do concreto. Em todos os tratamentos adotou-se
293 o traço de 1:3:3 em massa. A adição de resíduos foi calculada em relação à massa de cimento de
294 forma que esse último fosse utilizado na mesma quantidade em todos os traços.

295 Além dos resíduos, utilizou-se cimento CP-II-E-32 da marca Tupi, areia natural média, brita 0
296 e água para confeccionar os traços.

297 A produção do concreto foi realizada seguindo os procedimentos consoantes com a norma
298 ABNT NBR 12655:2015, com exceção da preparação da mistura que foi realizada por uma
299 argamassadeira. Já para a moldagem, desmoldagem e cura dos corpos de prova seguiu-se a norma
300 ABNT NBR 7215:1996.

301 3.3 ENSAIOS

302 Os resultados foram obtidos por meio de dois diferentes ensaios. O primeiro por meio da ruptura
303 dos corpos de prova após 28 dias de cura úmida utilizando uma máquina de ensaio manual de
304 compressão devidamente calibrada e o segundo mediante análise dos resíduos e de fragmentos de
305 concreto pela difração de raios-X realizada na máquina Shimadzu Corporation - LabX XRD-6000.
306 Na Tabela 4 é ilustrada a relação de cada traço e os ensaios aos quais esses foram submetidos. O
307 ensaio de resistência a compressão é designado pela letra C e o ensaio de difração de raios-X pela
308 letra X.

309 Tabela 4 – Ensaios realizados em cada tratamento

A/C	Padrão	R1				R2				R3			
		5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
0,55	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	-	-
0,65	C-X	C-X	C-X	C	C	C-X	C-X	C	C	C-X	C-X	C	C
0,75	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	-	-

310 **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

311 Neste item serão expostos os resultados obtidos neste trabalho.

312 O resultado atesta de umidade da palha de café atesta que o material estava com 8,1% de
313 umidade natural.

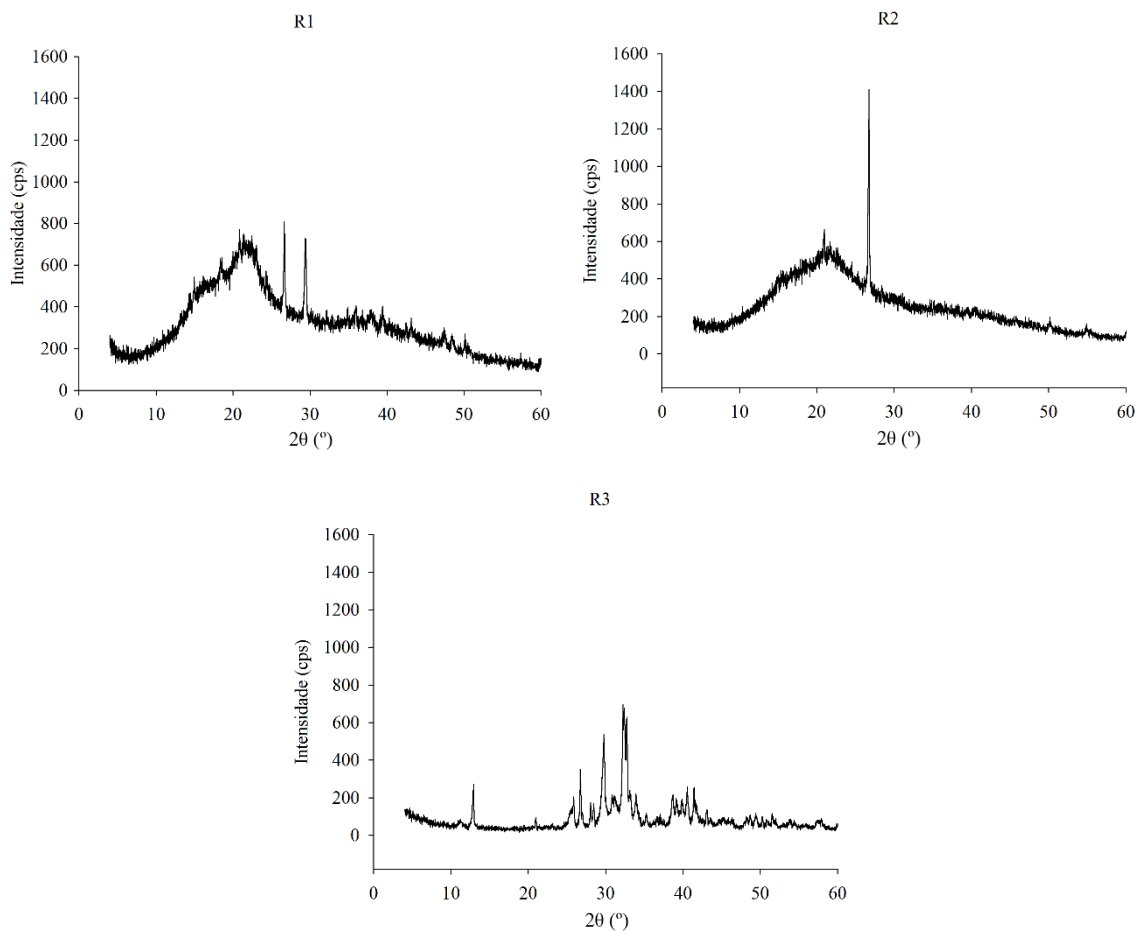
314 **4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X**

315 A fim de identificar a cristalinidade e a constituição mineral dos resíduos e dos concretos
316 hidratados os mesmos foram submetidos ao ensaio de difração de raios-X com varredura entre 4 e
317 60° utilizando-se fendas de colimação padrão.

318 **4.1.1 Resíduos**

319 Na Figura 6 é exposto os resultados de difratometria de raios-X dos diferentes tipos de resíduos
320 empregados nesse trabalho.

321 Figura 6 – Difratogramas do R1, R2 e R3



322 A partir da análise da Figura 6 é possível observar que em todos os resíduos há um pico por
323 volta de 26°. Esse pico indica a presença de sílica sob a forma de quartzo.

324 Para o R1 e o R2 há a formação de uma banda de difração indicando presença de material
325 amorfo. Esse material é proveniente da matéria orgânica presente nos resíduos. A diferença de
326 intensidade nessa banda entre R1 e R2 mostra que a torra promovida no Resíduo 2 reduziu a
327 quantidade de matéria orgânica do material. Diante dessas observações é esperado que os materiais a

328 base de carbono dos dois primeiros resíduos não participem da reação de hidratação do cimento
329 formando, assim, pontos de fragilidade no concreto fazendo com que este tenha baixa resistência
330 mecânica.

331 Na difratometria do R3 há a presença de diversos picos indicando materiais cristalinos, no
332 entanto, a sua linha de base indica que ainda há material amorfo no resíduo. O pico de sílica é bem
333 evidenciado assim como no R1 e no R2, no entanto os demais picos são atribuídos a formas minerais
334 diferentes de sílica quartzosa presentes no resíduo após a calcinação. Apesar de não terem sido
335 identificados nesse trabalho, esses minerais podem ter características aglutinantes na mistura, tendo
336 perspectiva de melhoria das reações no concreto, favorecendo, assim, a sua resistência mecânica.

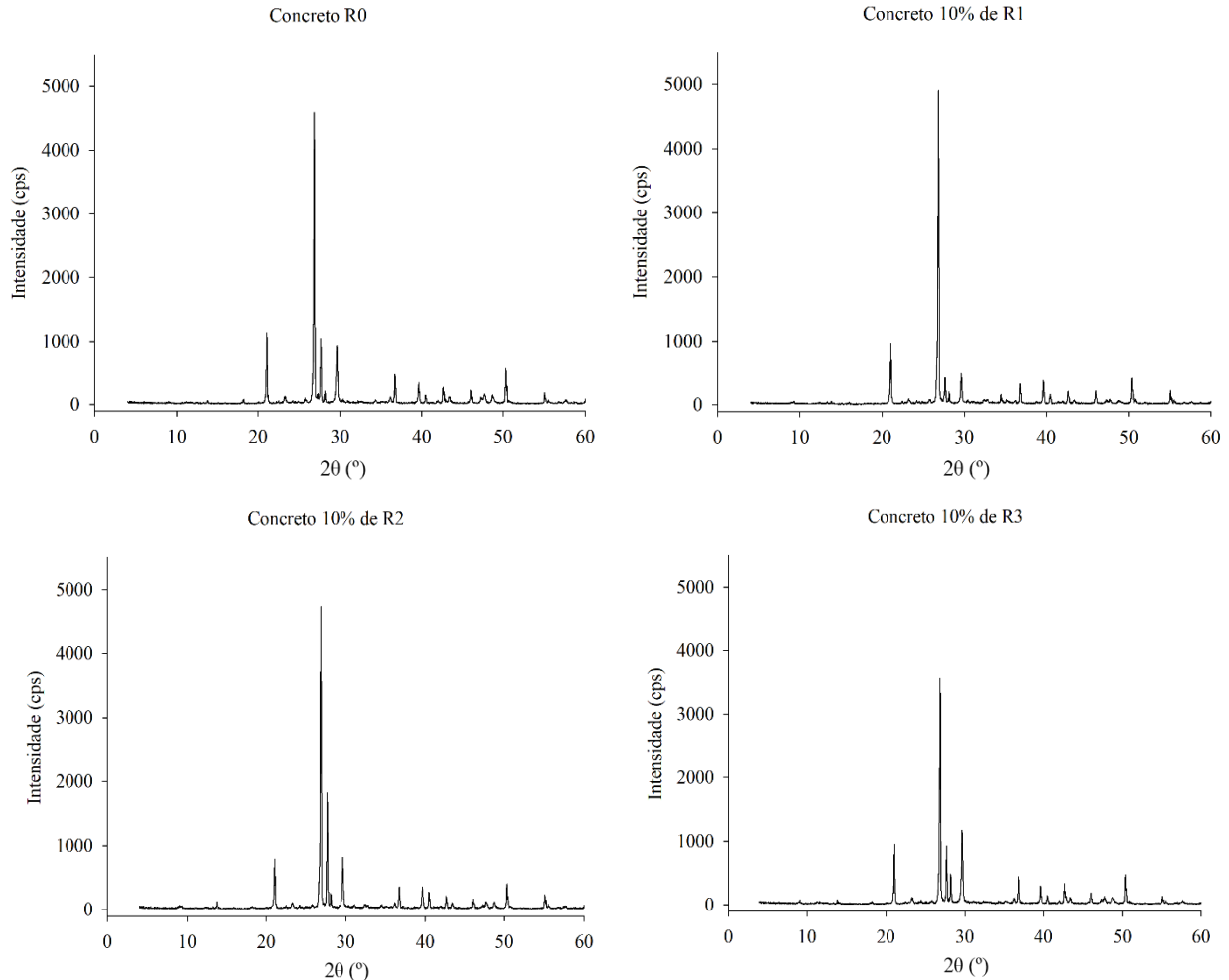
337 **4.1.2 Concreto**

338 Experimentos com casca de arroz realizados por Serrano e Castro (1985) atestaram que quando
339 o material não é submetido a nenhuma transformação química e é incorporado em concreto ou
340 argamassa, existem grandes chances de ser observado o surgimento de eflorescência orgânica no
341 material. Para contornar essa situação os autores recomendam colocar o resíduo em uma solução de
342 cal hidratada CH III com concentração de 5% por um período de 24 horas submetendo,
343 posteriormente, a mistura a estufa à $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Como a palha de café também é um
344 material orgânico, esse procedimento também foi realizado no processor de fabricação do R1.

345 Após o rompimento à compressão dos corpos de prova, foram coletados fragmentos do concreto
346 hidratado. Parte desses fragmentos foram submetidos ao ensaio de difração de raios-X conforme o
347 exposto na Tabela 4. Na Figura 7 são apresentados os difratogramas resultantes dos ensaios com o
348 concreto com relação A/C 0,65 e teores de adição de 10% para os três resíduos, além do concreto
349 referência.

350 Analisando os difratogramas é possível notar que nas 4 amostras o pico característico da sílica
351 na forma de quartzo por volta de 26° . Nas amostras com resíduo de palha de café no concreto (R1,
352 R2 e R3), os picos presentes entre 26 e 30° podem estar interferindo na resistência à compressão
353 quando comparados com a referência. Observa-se que, no intervalo de 30 a 60° , a variação de picos
354 em intensidade e posição praticamente não se altera, sugerindo que apenas dois fatores poderiam
355 afetar consideravelmente a resistência: o teor de material orgânico na mistura e a variação da
356 intensidade dos picos entre 26 e 30° .

Figura 7 – Difratomogramas dos concretos R0, R1, R2 e R3



358 4.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

359 Os resultados de resistência à compressão são apresentados a seguir.

360 4.2.1 R1

361 Durante o desmolde foi observado que o concreto com R1 estava quebradiço e pouco resistente,
 362 sendo esse fato confirmado no ensaio de compressão axial, no qual todos os corpos de prova,
 363 independentemente da sua relação A/C e do teor de adição, romperam durante a pré-carga realizada
 364 pela máquina de ensaio. Assim sendo, sua resistência mecânica é considerada nula, pois a mesma é
 365 tão pequena que não foi possível ser medida antes da ruptura do concreto.

366 De acordo com a difratometria desse resíduo, esse resultado já era esperado, pois o referido
 367 ensaio mostrou uma grande quantidade de matéria orgânica amorfa presente na amostra. Essa matéria
 368 orgânica não participou das reações de hidratação do cimento, sendo considerado um material inerte.
 369 No entanto diferente dos agregados do concreto – que também são materiais inertes – a palha de café
 370 possui uma baixa resistência mecânica, sendo, dessa forma responsável pelo baixo desempenho da
 371 mistura, pois mesmo os menores teores de adição – 5% e 10% – já foram suficientes para inviabilizar
 372 a utilização do concreto para qualquer fim, seja ele estrutural ou não. Essa análise reforça a

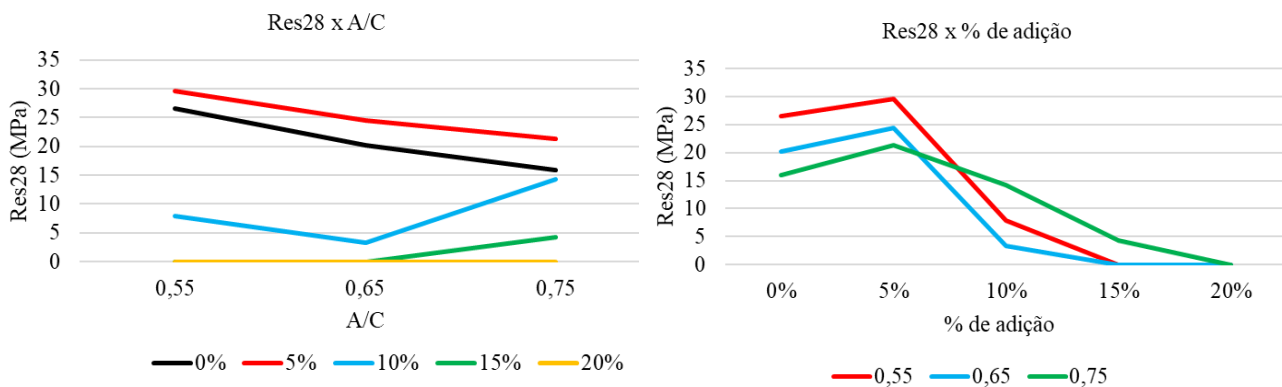
373 importância de ensaios de qualidade nos materiais, pois a adição de uma pequena quantia de material
374 foi capaz de praticamente zerar a resistência da mistura.

375 Além disso, é possível observar que o desempenho do Resíduo 1 se difere de todos os estudos
376 apresentados na revisão bibliográfica e que nenhum deles se utilizou de resíduos orgânicos in natura,
377 mas sim de suas cinzas, demonstrando, assim, a importância de submeter a matéria orgânica à queima
378 antes de seu emprego como adição/substituição em concreto e argamassa. No entanto, apesar da baixa
379 resistência mecânica, nenhum corpo de prova apresentou eflorescência orgânica atestando, assim, a
380 eficácia do método proposto por Serrano e Castro (1985).

381 4.2.2 R2

382 Por outro lado, os corpos de prova com adição do Resíduo 2 apresentaram desempenho de
383 resistência mecânica detectável conforme o exposto pela Figura 8.

384 Figura 8 – Gráficos de resistência da adição do Resíduo 2

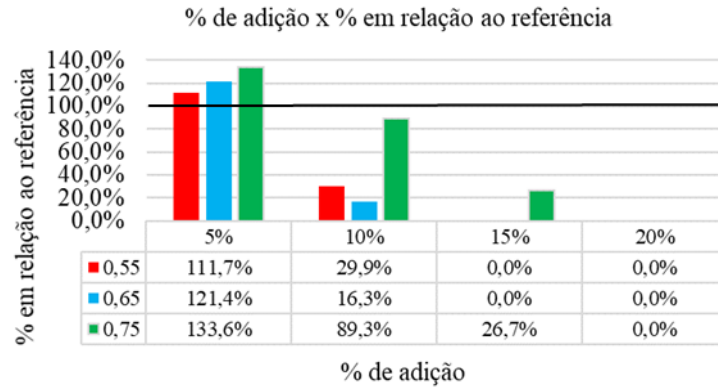


385 Analisando a Figura 8 é possível inferir que os tratamentos com adição de 5% do R2,
386 independentemente da relação A/C utilizada, tiveram um melhor desempenho de resistência frente ao
387 concreto padrão sem adição de resíduos. Por outro lado, teores de adição a partir de 10% apresentaram
388 queda na resistência, sendo essa mais evidenciada aos 15% e 20% possivelmente pela grande
389 quantidade de matéria orgânica inserida na mistura através do R2 e evidenciada pela análise de seu
390 respectivo difratograma. Dessa forma foi possível verificar que o comportamento do concreto não é
391 linear com relação à adição do Resíduo 2.

392 Além disso, nota-se que provavelmente existe um teor ótimo de adição entre as taxas de 0% e
393 10% sendo necessário novos experimentos com uma maior amplitude de teores de adição para
394 determinar a quantia de resíduo que leva a melhor resistência mecânica da mistura.

395 Na Figura 9 é mostrado a relação entre o teor de adição de R2 e seu desempenho perante o
396 concreto sem resíduo. A amostra de referência é ilustrada pela linha em 100%.

Figura 9 – Gráfico relacionando os teores de adição do R2 com o concreto referência



398 Pela Figura 9 fica nítido que quanto maior a relação A/C empregada maior foi o desempenho
 399 do concreto com adição do R2, sendo a relação de 0,75 a responsável por atingir o maior resultado
 400 frente ao concreto referência, aumentando a resistência em cerca de 33% quando adicionado 5% do
 401 R2.

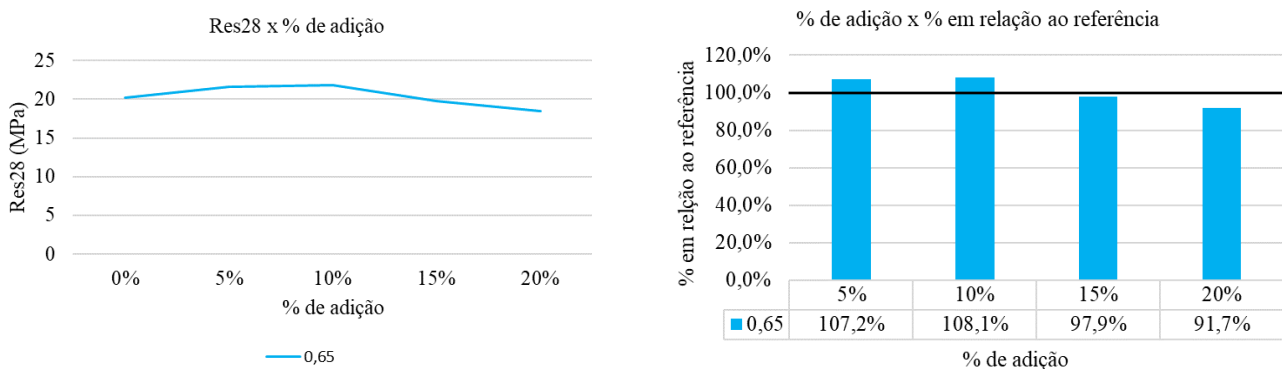
402 Os teores de 15% e 20%, independentemente da relação A/C utilizada, se mostram tão inviáveis
 403 quanto o R1, pois houve uma drástica diminuição da resistência dos corpos de prova, explicada pelo
 404 alto teor de matéria orgânica inserida na mistura.

405 Comparando a Figura 9 com os resultados obtidos por Bortoletto *et al.* (2017) por meio da
 406 CME, é possível observar que há uma semelhança no ganho percentual de resistência em relação a
 407 suas respectivas resistências quando adicionado 5% do R2 de palha de café ou 30% de CME,
 408 evidenciando que resíduos orgânicos de diferentes origens possuem potencial para ser empregados
 409 em misturas de cimento.

410 4.2.3 R3

411 Na Figura 10 são apresentados os resultados de resistência a compressão das misturas com
 412 adição do R3 e o seu comparativo em relação ao concreto referência.

413 Figura 10 – Gráficos do desempenho a compressão axial de adições do R3



414 Pela Figura 10 é possível observar que há uma constância dos valores de resistência a
 415 compressão quando adicionado o R3 que não está presente nas adições de R1 e R2. Mesmo com a
 416 adição de 20% do Resíduo 3 em relação à massa de cimento, a resistência da mistura diminuiu menos

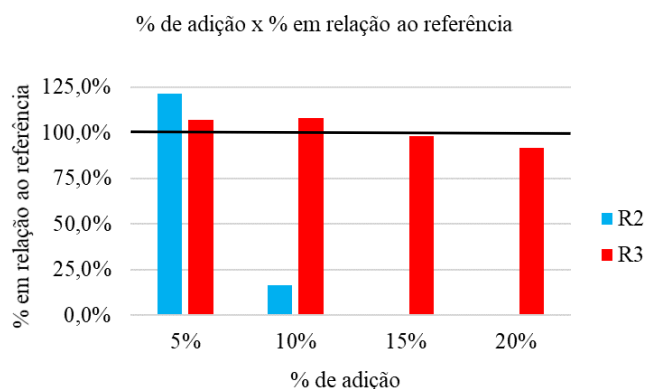
417 de 10% comparado ao concreto de referência. Essa análise indica que está correta a previsão de que
418 os minerais não identificados no difratograma do R3 atuem com características aglutinantes,
419 contribuindo para as reações no concreto e favorecendo a manutenção de suas propriedades
420 mecânicas. No entanto não é possível identificar até qual teor de adição essas propriedades são
421 mantidas, pois os ensaios foram limitados a 20% de adição.

422 O comportamento da mistura com R3 se mostrou similar ao observado nos estudos de Lin *et*
423 *al.* (2016). O ensaio com 20% de adição de R3 teve desempenho similar com o tratamento de
424 substituição de 3% da massa de cimento por cinza calcinada de borra de café, quando comparado à
425 suas respectivas referências.

426 4.2.4 Comparativo

427 Na Figura 11 é apresentado um comparativo entre o desempenho das adições com os Resíduos
428 2 e 3 para as relações de A/C de 0,65.

429 Figura 11 – Comparação do desempenho a compressão axial de adições de R2 e R3



430 Pela Figura 11 é possível inferir que apesar de o R2 ter alcançado a maior resistência dentre
431 todos os ensaios apresentados, incluindo o concreto de referência, a adição do R2 se restringe à faixa
432 entre 0% e 10% de adição, pois fora de faixa o seu uso não é viável. Por outro lado, as adições com
433 R3 se mostraram viáveis mesmo com altos teores de adições por meio da manutenção da resistência
434 mecânica do concreto.

435 Essa diferença pode ser explicada pela análise dos difratogramas de cada resíduo, na qual para
436 o R2 foi encontrada matéria orgânica em sua constituição que acaba diminuindo o desempenho da
437 mistura quando adicionado em maiores quantidades. Já o R3 passou pelo processo de calcinação na
438 qual perdeu toda a sua matéria orgânica, fazendo com que sua adição não criasse pontos de fragilidade
439 – como ocorria com o R1 e R2 – pelo contrário, os minerais presentes nesse resíduo demonstraram
440 ter características aglutinantes que foram capazes de manter a resistência do concreto, mesmo quando
441 adicionado em maiores proporções.

442 5 CONCLUSÃO

443 Com os resultados, pode-se concluir que a palha de café tem potencial para ser empregada na
444 construção civil como adição em concreto. No entanto essa não pode ser utilizada in natura como o

445 Resíduo 1, pois a grande quantidade de matéria orgânica presente no material faz com que o concreto
446 não tivesse resistência mecânica. Quando torrada (R2), a sua viabilidade se restringe a baixos valores
447 de adição (limitado a valores inferior a 10%), pois ainda há presença de matéria orgânica em sua
448 constituição.

449 O maior potencial da palha de café foi encontrado no Resíduo 3 quando calcinada a 600°C, pois
450 dessa forma toda a sua matéria orgânica é perdida, ficando os minerais que contribuem com as
451 características aglutinantes da mistura. É interessante notar que a resistência do concreto é quase
452 mantida mesmo em maiores teores de adição, porém nesse estudo esse valor foi limitado a 20% de
453 adição em relação à massa de cimento.

454 Se propõem para futuros trabalhos uma identificação mais precisa dos constituintes do Resíduo
455 3 que foram capazes de manter as propriedades do concreto, além de novos ensaios com uma maior
456 quantidade de teor de adição dos Resíduos 2 e 3.

457 **6 AGRADECIMENTOS**

458 Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e pela graça de estar concluindo mais uma
459 etapa da minha vida. Agradeço também a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente
460 na realização dessa pesquisa. Em especial ao meu amigo Lucas Caixeta que me disponibilizou
461 material para fazer essa pesquisa, a minha namorada Larisse que me ajudou imensamente ao longo
462 de todo o meu trabalho, a minha orientadora professora Maria Cláudia Sousa Alvarenga pelas
463 incansáveis revisões e sugestões, ao meu coorientador professor Cassiano Rodrigues de Oliveira por
464 ter me auxiliado na interpretação dos resultados e ao professor Reynaldo Furtado Faria Filho por ter
465 feito parte da banca, além de todos os técnicos e demais professores que me ajudaram durante essa
466 jornada. O meu muito obrigado a todos vocês!

467 **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

468 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento**
469 **Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 29.
470 2015.

471
472 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland -**
473 **Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, p. 8. 1996.
474

475 BEZERRA, I. M. T. *et al.* **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de**
476 **assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.6, p.639–645,
477 Campina Grande, Paraíba, 2011.
478

479 BORTOLETTO, M. *et al.* **Avaliação do resíduo Cinza da Madeira de Eucalipto como**
480 **substituição parcial da areia em argamassas de cimento**. ANAP Brasil, v. 10, n. 18, 2017.
481

482 BRESSANI, R. J. E. **Pulpa de café: composición, tecnología y utilización**. Food and Agriculture
483 Organization of the United Nations, 1978.
484

485 FREIRE, D. Especialistas discutem papel da indústria do cimento nas emissões de CO₂. **FAPESP –**
486 **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo**. Agência FAVESP, 27 jun. 2016.
487 Disponível em: [http://agencia.fapesp.br/especialistas-discutem-papel-da-industria-do-cimento-nas-](http://agencia.fapesp.br/especialistas-discutem-papel-da-industria-do-cimento-nas-emissoes-de-co2/23449/)
488 [emissoes-de-co2/23449/](http://agencia.fapesp.br/especialistas-discutem-papel-da-industria-do-cimento-nas-emissoes-de-co2/23449/). Acesso em: 30 maio 2019.
489

490 GARCIA, A.W.R.; MATIELLO, J.B. **Avaliação do efeito nutricional de vários tipos de palha de**
491 **café**. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 30, São Lourenço, 2004, p. 63.
492

493 LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. **Estudo das características químicas e físicas da cinza da**
494 **casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios**. Acta Scientiarum. Technology,
495 Maringa, v. 32, n. 4, p. 383-389, 2010.
496

497 LIN, L.K. *et al.* **The application and evaluation research of coffee residue ash into mortar**.
498 Journal of Material Cycles and Waste Management, Taipei, Taiwan, 2016.
499

500 LINS, L. N. **Estudo da Aplicação da casca de café na indústria da construção**. Dissertação
501 (Mestrado em Engenharia Civil), Programa em Pós-graduação da Universidade Federal Fluminense,
502 Niterói – RJ, 2006.
503

504 MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São
505 Paulo: Editora Pini, 2014.
506

507 MIRANDA, E. H. N. *et al.* **Avaliação do potencial pozolânico de cinzas de casca de café para**
508 **substituição parcial do cimento portland**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de
509 Engenharia, Lavras – MG, 2019.
510

511 NEVES, J. V. G. **Cascas residuais de café orgânico: composição química, potencial**
512 **antioxidante, fatores antinutricionais e aplicação tecnológica**. Dissertação (Mestrado em
513 Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2016.
514

515 PÉRAZZELLI, M; MARTEL, M. **Des Cafés Innés Torréfacteur des Artistes**. Repentigny,
516 Canadá, volume 1, número 1, fevereiro 2010.
517

518 PEREIRA, A. M. *et al.* **Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de**
519 **casca de arroz**. Revista Matéria, v.20, n.1, pp. 227– 238, 2015.
520

521 PESQUISA no IAU visa à produção de “concreto sustentável”. **Portal USP São Carlos**.
522 Comunicação IAU, 18 de fevereiro de 2019. Disponível em: [http://www.saocarlos.usp.br/pesquisa-](http://www.saocarlos.usp.br/pesquisa-no-iau-visa-a-producao-de-concreto-sustentavel)
523 [no-iau-visa-a-producao-de-concreto-sustentavel](http://www.saocarlos.usp.br/pesquisa-no-iau-visa-a-producao-de-concreto-sustentavel). Acesso em: 30 maio 2019.
524

525 PRODUÇÃO nacional de cimento por regiões e estados. **SNIC – Sindicato Nacional da Indústria**
526 **do Cimento**. Produção regional, 2017. Disponível em: [http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/](http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1537281236.pdf)
527 [1537281236.pdf](http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1537281236.pdf). Acesso em: 30 maio 2019.
528

529 SAFRA de café em 2018 é recorde e supera 61 milhões de sacas. **CONAB – Companhia Nacional**
530 **de Abastecimento**. 18 dez. 2018. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2626-](https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2626-producao-do-cafe-em-2018-e-recorde-e-supera-61-milhoes-de-sacas)
531 [producao-do-cafe-em-2018-e-recorde-e-supera-61-milhoes-de-sacas](https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2626-producao-do-cafe-em-2018-e-recorde-e-supera-61-milhoes-de-sacas). Acesso em: 30 maio 2019.
532

533 SERRANO, J. S.; CASTRO J. V. **Materiales de construcción con propiedades aislantes a base**
534 **de cascara de arroz**. Informes de la Construcción, Vol. 37, n.º 372, Espanha, julho 1985.
535

536 VALENCIANO, M. D. C. M.; FREIRE W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de**
537 **solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**. Departamento de Engenharia Agrícola,
538 Jaboticabal, v.24, n.3, p.484-492, set./dez. 2004.
539

540 VEGRO, C. L. R; CARVALHO, F. C. D. **Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no**
541 **processamento agroindustrial do café**. IEA – Instituto de Economia Agrícola. São Paulo, 2010.
542

543 VENDAS de cimento crescem 1,3% no primeiro trimestre do ano. **ABCP – Associação Brasileira**
544 **de Cimento Portland**. Imprensa, notícias, São Paulo, 09 abril 2019. Disponível em:
545 <https://abcp.org.br/imprensa/noticias/vendas-de-cimento-crescem-13-no-primeiro-trimestre-do-ano>.
546 Acesso em: 30 maio 2019.
547

548 ZUCCO, L. L. **Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-**
549 **cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas**. Tese
550 (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual
551 de Campinas, São Paulo, 2007.