



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DA AREIA PELA CASCA DE CAFÉ “IN NATURA”

GABRIELLA DIAS XAVIER

VARGINHA

2023

GABRIELLA DIAS XAVIER

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DA AREIA PELA CASCA DE CAFÉ “IN NATURA”

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Profa. Dr. Valéria Antônia Justino Rodrigues

VARGINHA

2023

GABRIELLA DIAS XAVIER

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DA AREIA PELA CASCA DE CAFÉ “IN NATURA”

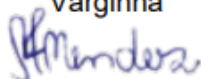
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Data da aprovação: 23/11/2023

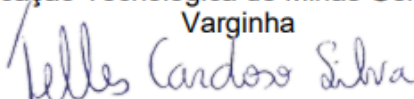
Banca examinadora:



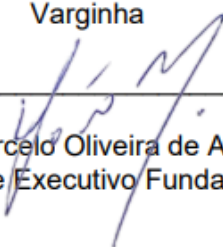
Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dr.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) – Unidade
Varginha



Luana Ferreira Mendes, Me.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) – Unidade
Varginha



Telles Cardoso Silva, Dr.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) – Unidade
Varginha



João Marcelo Oliveira de Aguiar
Superintendente Executivo Fundação Procafé

DEDICATÓRIA

Á Deus;

Á minha família;

Á meu noivo;

Á minha orientadora.

AGRADECIMENTOS

Á Deus que me guiou todos os dias, me dando força e saúde.

Aos meus familiares, em especial a meus pais, Leandra e Edivaldo, avós, Conceição e Luiz Carlos (in memorian), e irmã Amanda por sempre acreditarem, serem compreensivos e grandes motivadores desse sonho.

Ao meu noivo, Lucas, por ter demonstrado o verdadeiro significado da palavra companheirismo, sempre oferecendo sua ajuda, apoio e carinho.

A minha orientadora Valéria Antônia Justino Rodrigues pela paciência, dedicação e incentivo.

À toda equipe de professores e funcionários do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus Varginha, que possibilitaram e contribuíram para minha formação acadêmica.

A Projet Engenharia e Brz Empreendimentos que foram responsáveis por grande parte de meu conhecimento profissional e prático no cenário da construção civil.

Enfim, a todos que contribuíram e torceram para a conclusão deste trabalho, o meu muito obrigada!

EPIÍGRAFE

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.” (Josué 1:9)

RESUMO

Na literatura, tem sido realizados estudos que procuram desenvolver traços de concreto com substitutos vindos de resíduos agroindustriais, como material cimentício suplementar, sendo um deles a casca de café. Esse material é aproveitado nas lavouras de café, porém muitos produtores o descartam no meio ambiente, causando poluição. Uma forma de mitigar os impactos causados pela produção do cimento e do concreto, assim como, o descarte dos resíduos agroindustriais no ambiente seria a substituição do agregado miúdo por cascas. Com isso, o objetivo do estudo foi moldar um traço de concreto com diferentes percentuais de cascas de café nas granulometrias, fina, média e grossa, com resistência adequada a normativa. No estudo, foi utilizado cascas, velha e nova, para analisar a influência do tempo de armazenamento. As características, menor concentração de cloretos (Cl^-) e maior índice de atividade pozolânica (IAP), foram parâmetros para definição do uso da casca velha na forma de cinzas. A escolha da granulometria foi definida com o teste de resistência à compressão nos traços com 10% de mistura de casca, velha ou nova. A casca velha apresentou resultados de resistência maior que 25 Mpa para casca velha, grossa e fina e, a média maior que 20 Mpa e a casca nova menor que 15 Mpa. Dentre eles, a casca grossa obteve resistência maior que os moldes do traço convencional. Sendo assim, foram moldados corpos de prova com 10%, 20% e 30% com casca velha grossa. A resistência foi decrescente com o aumento percentual da casca velha grossa na mistura. Por fim, concluiu-se que o percentual de 10% de casca velha grossa pode ser utilizado como substituto parcial do agregado miúdo.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso. Casca de café. Traço de concreto. Resistência à compressão.

ABSTRACT

In the literature, studies have been carried out that seek to develop concrete mixes with substitutes coming from agro-industrial waste, such as additional cementitious material, one of which is coffee husks. This material is used in coffee plantations, but many producers discard it into the environment, causing pollution. One way to mitigate the impacts caused by the production of cement and concrete, as well as the disposal of agro-industrial waste in the environment, would be to replace the fine aggregate with shells. Therefore, the objective of the study was to mold a mix of concrete with different percentages of coffee husks in fine, medium and coarse grain sizes, with adequate resistance to regulations. In the study, old and new peels were used to analyze the influence of storage time. The characteristics, lower concentration of chlorides (Cl-) and higher pozzolanic activity index (IAP), were parameters for defining the use of old bark in the form of ash. The choice of granulometry was defined with the compressive strength test on traces with 10% bark mixture, old or new. The old bark showed resistance results greater than 25 Mpa for old, thick and thin bark, and the average was greater than 20 Mpa and the new bark was less than 15 Mpa. Among them, the thick shell had greater resistance than the conventional trace molds. Therefore, specimens were molded with 10%, 20% and 30% thick old bark. The resistance decreased with the percentage increase of thick old bark in the mixture. Finally, it was concluded that 10% of coarse old bark can be used as a partial replacement for fine aggregate.

KEYWORDS: Reuse. Coffee husk. Concrete trace. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual de geração de resíduo RCD no Brasil.....	5
Figura 2– Representação da seção de um grão de cimento.	7
Figura 3 – Identificação das siglas do cimento Portland.	7
Figura 4– Maiores produtores e tipos de café com destaque.....	8
Figura 5– Cidades produtoras de café da microrregião do sul de minas.	9
Figura 6 – Média de produção por saca nos municípios da microrregião do sul de minas.....	9
Figura 7 – Ilustração resumida das vias do processamento de café.....	10
Figura 8 – Ilustração esquemática das estruturas do grão de café.	11
Figura 9– Pilha de cascas do café beneficiado.	12
Figura 10 – Placa resistentes as intempéries para revestimento das fachadas de edificações.	13
Figura 11 – Amostra do resíduo novo (a) e resíduo velho (b)	14
Figura 12– Grãos de café no terreiro para secagem natural.....	15
Figura 13– Secador rotativo de grão de café.	16
Figura 14– Peneira de análise granulométrica.....	18
Figura 15 – Amostras de cascas de café armazenadas em estufa.	19
Figura 16 - Cinzas das cascas de café e óxido de cálcio (CaO).	20
Figura 17 – Titulação das amostras de cinzas solubilizadas com indicador fenolftaleína.....	21
Figura 18 – Titulação das amostras de cinzas solubilizadas com cromato de potássio.	22
Figura 19– Agregados miúdo e graúdo.	25
Figura 20 – Delimitação da dimensão característica - granulometria.....	27
Figura 21 – Delimitação da dimensão característica – módulo de finura.	28
Figura 22- Cascas nova fina (a) e velha fina (b).....	29
Figura 23 - Cascas nova média (a) e velha média (b).....	29
Figura 24- Cascas nova grossa (a) e velha grossa (b).....	29
Figura 25 – Índice de Atividade Pozolânica (IAP) das cinzas.....	31
Figura 26 – Concentração de cloretos nas cinzas.....	32
Figura 27– Mistura dos constituintes do traço convencional de concreto.	35

Figura 28 – Corpos de prova, convencional e experimental, nos moldes (a) e desmoldados (b).....	35
Figura 29– Slump test dos moldes de concreto.	36
Figura 30– Tanque de cura com os moldes de concreto.	36
Figura 31 – Resultados de resistência à compressão axial dos moldes com 10% de casca.....	37
Figura 32 – Corpo de prova com 10% de casca velha retificado.	38
Figura 33– Resistência à compressão dos moldes das cascas finas.....	39
Figura 34– Resistência à compressão dos moldes das cascas média.	39
Figura 35– Resistência à compressão dos moldes das cascas grossa.	40
Figura 36 – Resistência à compressão dos moldes das cascas grossa.	40
Figura 37 – Corpos de prova moldados com 10%, 20% e 30% de casca velha grossa.	41
Figura 38– Resistência à compressão dos corpos de prova com casca velha grossa.	42
Figura 39– Resistência à compressão dos corpos de prova com 10% de casca.....	42
Figura 40 – Resistência à compressão dos corpos de prova com 20% de casca.....	43
Figura 41 – Resistência à compressão dos corpos de prova com 30% de casca.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição percentual dos cimentos Portland.	6
Tabela 2 – Valores percentuais de componentes químicos na cinza da casca do café por Fluorescência de Raios-X.	13
Tabela 3 – Informações para determinação do consumo aproximado de água (L/m ³)	24
Tabela 4 – Delimitação de execução de moldagem.	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Especificações ABNT do cimento Votorantim	17
---	----

SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira De Cimento Portland
CEFET/MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e extensão Rural do Estado de Minas Gerais
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
MCS	Materiais Cimentícios Suplementares
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MF	Modulo de finura
RAA	Reação Álcali Agregado
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RECESA	Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
SINDUSCON-MG	Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
2 OBJETIVOS DA PESQUISA	3
2.1 OBJETIVOS GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2.3 JUSTIFICATIVA	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	4
3.2 CIMENTO PORTLAND	6
3.3 INDÚSTRIA CAFEEIRA	8
3.4 RESÍDUOS GERADOS NO BENEFICIAMENTO DO CAFÉ	10
3.5 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CAFEICULTURA	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1 COLETA DAS CASCAS DE CAFÉ	14
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	16
4.2.1 Caracterização do cimento Portland	16
4.2.2 Caracterização das cascas de café	17
4.2.2.1 Granulometria	17
4.2.2.2 Análise elementar	18
4.2.2.3 Índice de atividade pozolânica (IAP)	20
4.2.2.4 Método argentométrico ou método de mohr	22
4.2.3 Traço do concreto	23
4.2.3.1 Método de dosagem	23
4.2.3.2 Consumo de água	24
4.2.3.3 Agregados miúdos e graúdos	24
4.2.4 Moldagem dos corpos de prova	26
4.2.5 Análise da resistência à compressão	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7 TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXO I: Informações do cimento Portland utilizado para o ensaio	52

ANEXO II: As informações acerca da condição “A” e desvio padrão (sd)	53
ANEXO III: Ficha técnica dos inseticidas e fungicida usados nas safras	54
ANEXO IV: Resistência dos ensaios com as cascas de café, velha e nova, nas granulometrias: fina, média e grossa com 10% percentuais	55
ANEXO V: Resistência dos ensaios com as cascas de café velha grossa com 10%, 20% e 30% percentuais	57
APÊNDICE I: Dimensão característica – granulometria e módulo de finura (MF)	59
APÊNDICE II: Cálculos para obtenção do traço e da relação água/cimento	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção civil é uma tipologia industrial fundamental em todo o mundo, desempenhando um papel vital no desenvolvimento econômico e social dos países, conforme relatado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2021). Além disso, ela está relacionada com o crescimento populacional, aumentando a demanda por moradias, infraestruturas e instalações comerciais devido à necessidade de novas edificações nas áreas urbanas, sendo responsável por 6,2% do PIB do país, representando 34% do total da indústria brasileira. O crescimento das cidades gera desenvolvimento econômico e está ligado ao aumento dos investimentos na construção civil, incluindo obras públicas, comerciais e residenciais. Dentre os materiais empregados, o concreto é um dos mais utilizados na construção civil, juntamente com o aço, possuindo em sua constituição: areia, brita, água, cimento Portland e aditivos (RABELO; GARCIA, 2013).

Neste sentido, muitos países estão reformando ou substituindo infraestruturas envelhecidas, como estradas, pontes, sistemas de água e esgoto. Com isso, impulsionando a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias, materiais e métodos construtivos. Um exemplo disto, é a Votorantim Cimentos, uma das empresas que produz materiais utilizados na construção civil, sendo um deles, especificamente, o cimento. Este componente do concreto vem sendo estudado com o objetivo de desenvolver formas tecnológicas e sustentáveis para melhorar sua produção. As pesquisas realizadas procuram substituir o clínquer, principal componente de todos os tipos de cimento e grande emissor de CO₂, pela pozolona que apresenta um diferencial por ter características sustentáveis, além de exigir redução de 25% de energia, 40% de água e 10% de resíduos na linha de produção (VOTORANTIM, 2021).

Segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992), a pozolona é um material silicoso ou silicoaluminoso de origem natural (rochas vulcânicas) ou artificial (tratamento térmico de argilas e subprodutos industriais) que ao ser pulverizado e na presença de água reage com hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), formando compostos com propriedades ligantes (cimentícias). Ademais, as cinzas de diversos resíduos agroindustriais, como

por exemplos: biomassa de cacau (SILVA *et al.*, 2015), folha de bananeira (KANNING *et al.*, 2014), bagaço de cana (CORDEIRO; TOLEDO FILHO; FAIRBAIRN, 2009), palha de trigo (AL-AKHRAS, 2013), casca de arroz (GIVI *et al.*, 2010), casca de café (MIRANDA *et al.*, 2018) têm sido objetos de pesquisa devido as suas propriedades pozolânicas. Dentre os resíduos citados, a cinza das cascas de café foi analisada recentemente por pesquisadores da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e, nos resultados preliminares, eles observaram melhora da resistência dos materiais a base de cimento (Portal UFLA, 2021).

A utilização das cascas de café é uma excelente escolha, visto que o Brasil é considerado o maior exportador mundial do grão e Minas Gerais se destaca entre os estados brasileiros, no qual a produção foi estimada em 30,7 milhões de sacas, na safra de 2018, correspondendo a 53% da produção nacional (CONAB, 2018). Em Minas Gerais, a maior concentração da plantação cafeeira encontra-se na região Sul do estado. No estudo realizado por Vivaldi; Junior; Alves (2020) foi observado, no período 2008 a 2018, que as cidades da microrregião de Varginha estão entre as maiores produtoras brasileiras. Com isto, é verificado a facilidade da obtenção das cascas de café como matéria prima de produtos utilizados na construção civil em Varginha (local de estudo).

Por outro lado, SILVA *et al.* (2020) relataram que, no processo de beneficiamento do fruto, a palha de café é aplicada como substrato orgânico nas lavouras de café e, em muitos casos, este resíduo é descartado de forma incorreta na natureza. Este fato reforça a necessidade de reutilizar as cascas de café e diminuir a poluição do resíduo no meio ambiente. Neste contexto, uma das formas de minimizar os impactos ambientais é o reaproveitamento deste material como componente na mistura de produção do concreto. Diante do exposto, o estudo teve como objetivo investigar a resistência dos corpos de prova por meio da adição das cascas de café “in natura” trituradas em substituição de parte da areia na produção de concreto.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 OBJETIVOS GERAL

Analisar a resistência à compressão do concreto com a substituição de parte da areia, em diferentes percentuais, por casca de café “in natura” trituradas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A pesquisa foi realizada em duas etapas utilizando as cascas de café em duas modalidades, velha e nova, como objeto de estudo, sendo a 1ª Etapa, a caracterização dos materiais utilizados e a 2ª Etapa, a análise da resistência nos corpos de prova com a mistura das cascas.

1ª Etapa - caracterização dos matérias:

- Escolher o tipo de cimento Portland;
- Realizar a análise imediata das cascas de café;
- Caracterizar a fração granulométrica das cascas de café;
- Calcular o Índice de Atividade Pozolânica (IAP) e a concentração de cloreto solúvel (mg Cl/L) nas cinzas.

2ª Etapa – análise da resistência nos corpos de prova:

- Definir o traço de mistura para produção dos corpos de prova de concreto;
- Confeccionar os corpos de prova de concreto com diferentes percentuais das cascas de café;
- Realizar os testes de resistência à compressão nos corpos de prova de concreto.

2.3 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil produz grandes quantidades de resíduos, de diferentes tipos, que incluem materiais que podem ser reutilizados, compostos de substâncias que são nocivas à saúde e subprodutos que não tem finalidade de reaproveitamento. Devido à complexidade do setor construtivo, o gerenciamento em

cada etapa da obra e a gestão correta dos resíduos tornam-se fundamentais para minimizar os impactos causados ao meio ambiente.

Desenvolver a sustentabilidade é necessário nos dias atuais, porém, a busca de um modelo de construção nestes moldes é um desafio para os profissionais que atuam no mercado. O termo construção sustentável permeia todas as etapas da vida útil da edificação, ou seja, desde o projeto, a construção, o uso até a demolição de uma obra. Ser sustentável consiste na relação entre consumo e a produção de maneira consciente, no qual são reduzidos os impactos, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição ambiental.

Neste sentido, muitas pesquisas estudam a viabilidade da reutilização de resíduos para obtenção de materiais utilizados na construção civil. Na literatura, ainda existem lacunas e nem sempre é possível testar novos materiais e obter informações precisas para substituição dos produtos disponíveis no mercado. Sendo assim, é importante realizar pesquisas que buscam respostas para sanar as dúvidas em relação a viabilidade do reuso de resíduos.

Então, uma forma de contribuir e minimizar os danos causados por subprodutos da construção civil, sem potencial de reutilização, é o uso de resíduos de outras tipologias industriais local, como matéria prima de produtos utilizado nas obras. Por isto, estudos que analisam um traço de concreto adequado ao limite de resistência normativo e produzido com a mistura das cascas de café, resíduo comum em Varginha, é uma medida de grande importância que visa a sustentabilidade no setor construtivo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

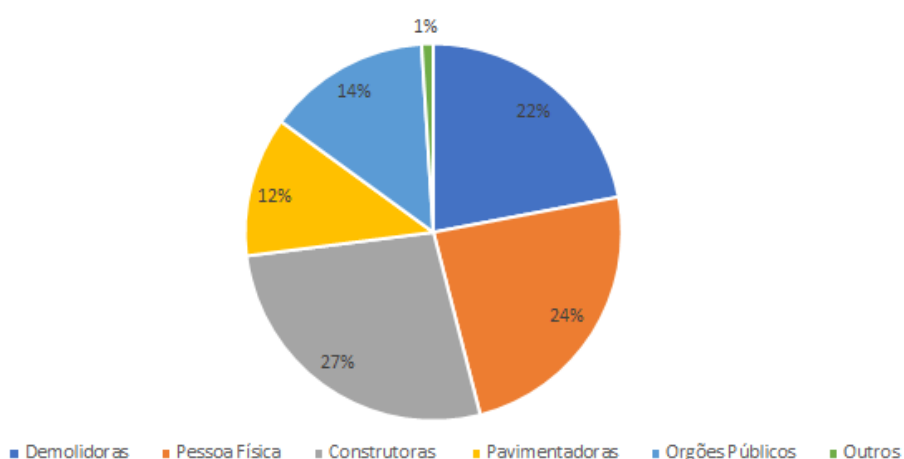
3.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos últimos anos, o setor construtivo brasileiro vem aumentando sua participação na economia nacional, sendo considerada um dos mais importantes ramos da produção no país (BOHANA *et al.*, 2016; NAGALLI, 2022). Com isto, a construção civil é vista como grande geradora de resíduos, o que torna importante a aplicação das medidas de gestão e gerenciamento no canteiro de obras.

Na maioria das cidades brasileiras, os resíduos correspondem entre 40 a 70% da massa coletada diariamente, sendo que a sua remoção e destinação acarretam altos custos para os cofres públicos (RECESA, 2008). Além disso, grande parte dos resíduos, denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD), é descartada de forma inadequada pela malha urbana dando origem aos vários problemas observados nas cidades, como exemplo: obstrução dos sistemas de macro e micro drenagens (bocas-de-lobo, galerias e canais de cursos d'água); ocorrência de enchentes e alagamentos e a formação de ambientes propícios à proliferação de animais e insetos vetores de doenças (RECESA, 2008).

Neste sentido, promover o gerenciamento correto dos resíduos é de grande importância para o bem-estar da população e do ambiente. A construção civil por ser um ambiente com atividades que implicam inúmeros riscos operacionais e serviços competitivos gera grandes volumes de resíduos. Entre as regiões brasileiras, o Sudeste é a que mais gera RCD, ou seja, 44,5% do total, seguido do Nordeste, do Sul, do Norte e do Centro-Oeste (PAULINO *et al.*, 2023). No estudo, os pesquisadores relataram que São Paulo é o estado com maior geração de RCD, 23,1 milhões de toneladas por ano, seguido de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia. Na Figura 1, é mostrado os percentuais de resíduos RCD gerados nos diferentes setores da construção civil brasileira.

Figura 1 – Percentual de geração de resíduo RCD no Brasil.



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2018).

A sustentabilidade do setor produtivo é baseada em três pilares: social, econômico e ambiental, onde é necessário incluir uma visão em relação aos impactos

no meio ambiente. De forma geral, a engenharia civil tenta se aproximar do conceito de sustentabilidade, no qual resulta em mudanças na exploração de recursos, na direção dos investimentos, na orientação do desenvolvimento tecnológico, visando atender as necessidades humanas presentes e futuras (JOHN, 2000).

3.2 CIMENTO PORTLAND

No Brasil, vários tipos de cimento Portland são produzidos e a diferença entre eles está relacionada à sua composição. Materiais carbonáticos, quando presente no cimento, são rochas que têm em sua composição carbonato de cálcio, como o próprio calcário, que proporciona ao cimento maior trabalhabilidade, pois suas partículas possuem dimensões capazes de alojamento entre as partículas dos demais componentes do material (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013). Na Tabela 1, é apresentado a composição dos cimentos Portland.

Tabela 1 – Composição percentual dos cimentos Portland.

Nomenclatura	Tipo	Clinker + Gesso	Escória	Pozolana	Calcário
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: NBR 5732 (ABNT, 1991); NBR 5733 (ABNT, 1991); NBR 5735 (ABNT, 1991); NBR 5736 (ABNT, 1991); NBR 11578 (ABNT, 1991).

As reações responsáveis para tornar o cimento Portland um material aglomerante ocorre na pasta, constituída por água e cimento. A presença de água, dos silicatos e dos aluminatos formam produtos hidratados que, com o tempo, resultam em uma massa firme e resistente denominada pasta de cimento hidratada. Já a pozolana, material que reagem com a cal na presença de água são ricos em silício e alumínio, é usada substituindo parte do clinker ou adicionada em proporções variadas na mistura. Na Figura 2, é mostrado a constituição química de um grão de cimento.

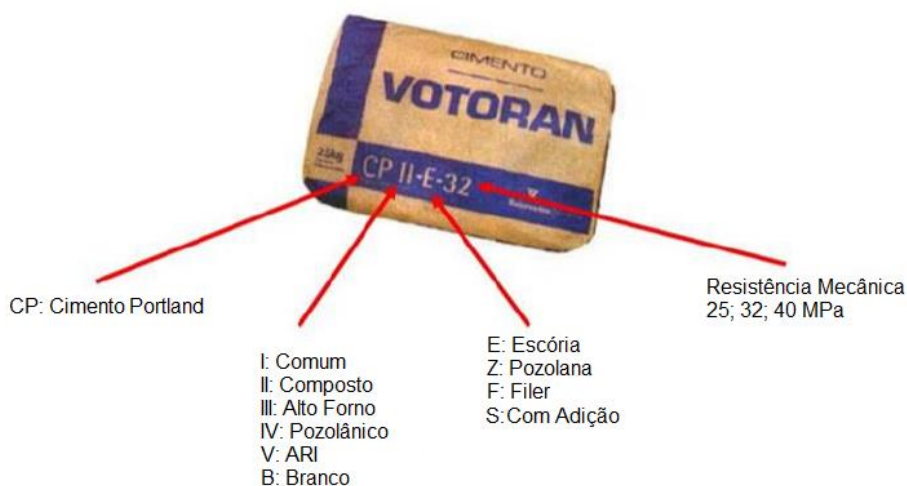
Figura 2– Representação da seção de um grão de cimento.



Fonte: Adaptado de BARRON (2010).

A principal reação ocorre com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), composto formado da hidratação do cimento, na qual é gerado a produção adicional de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) que contribui para a estabilidade do cimento hidratado, aumentando sua resistência e durabilidade (COSTA, 2015). Neville e Brooks (2013), relataram que as normas de cimento brasileiras estabelecem três classes de resistência (25 MPa, 32 Mpa e 40 Mpa) para os tipos CP-I, CP-II, CP-III e CP-IV para corpos de provas com 28 dias. Parte da nomenclatura comercial descrita na embalagem do produto apresenta esta informação, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Identificação das siglas do cimento Portland.



Fonte: <https://i.pinimg.com/564x/a7/c4/cf/a7c4cfec001b02ad18608048d69aa54e.jpg> Adaptado do acesso em 06 marc. 2023.

3.3 INDÚSTRIA CAFEEIRA

O café é a segunda commodity mais comercializada no mundo, com 80 países cultivando o grão, sendo bastante relevante para a economia dos seus principais produtores com um mercado em constante crescimento (HOSEINI *et al.*, 2021). Entre os 10 maiores produtores, o Brasil tem liderado o mercado mundial nos últimos 50 anos e as espécies de café com maior destaque na produção são das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canéfora* (variedade robusta ou conilon) respondendo por 70% e 30%, respectivamente (Figura 4). De acordo com a HEDGEpoint (2022), a safra 2023/2024 no Brasil foi estimada em 66,9 milhões sacas.

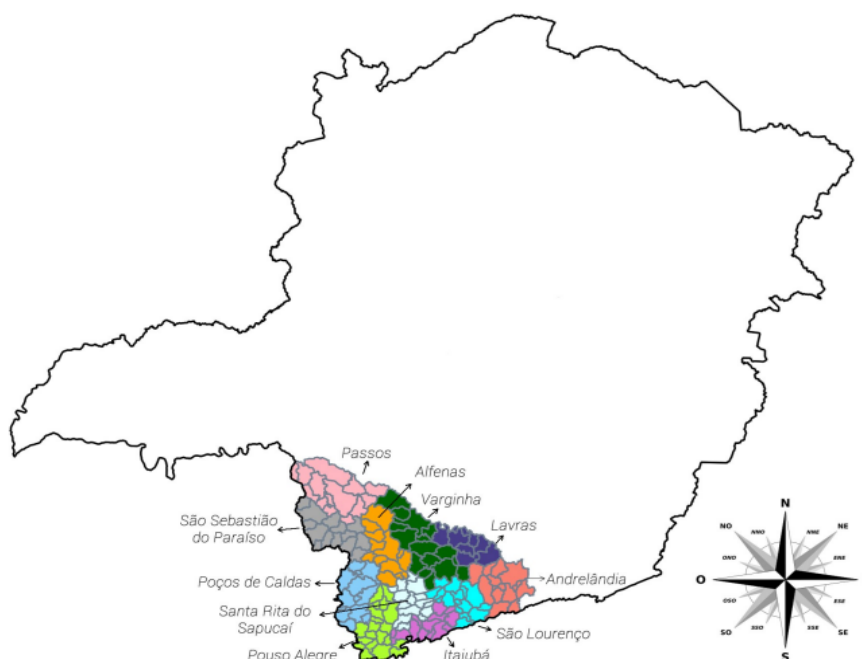
Figura 4– Maiores produtores e tipos de café com destaque.



Fonte: Disponível em www.masquecafe.es e <https://i.pinimg.com/originals/>. Adaptado do acesso em 06 marc. 2023.

As principais regiões produtoras de café no Brasil são: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Paraná, Bahia e Rondônia. Entre as microrregiões mineiras, o sul de minas é responsável por 24% da produção nacional, estando fortemente integrado ao agronegócio do café (ALVES; LINDNER, 2020). Na Figura 5, é mostrado as cidades que compõem a microrregião produtora de café no sul de minas.

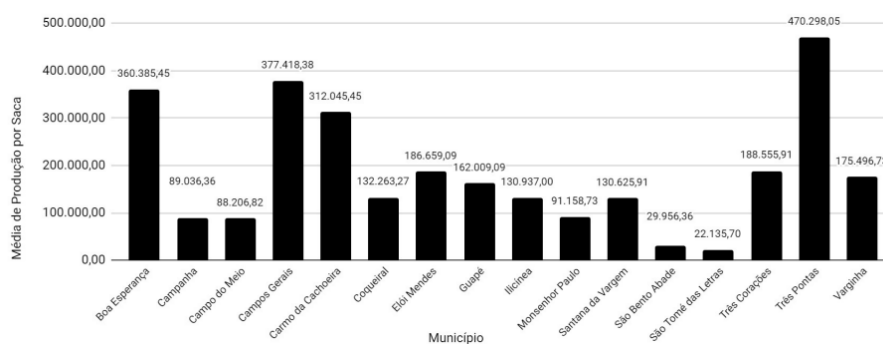
Figura 5– Cidades produtoras de café da microrregião do sul de minas.



Fonte: VIVALDI; JUNIOR; ALVES (2020).

Realizando uma análise do percentual total de produção na microrregião em 2018, as cidades de Campos Gerais, Três Pontas e Boa Esperança produziram 19,4 15,9 e 11,7%, respectivamente, sendo as três cidades responsáveis por quase 50% de toda produção. Embora, Varginha seja considerada como destaque no mercado de café, a cidade apareceu em quinto lugar e São Tomé das Letras foi a que apresentou menor participação da microrregião em 2018. Estas informações foram levantadas no estudo realizado por VIVALDI; JUNIOR; ALVES (2020) com base nos dados da EMATER no ano de 2019 (Figura 6).

Figura 6 – Média de produção por saca nos municípios da microrregião do sul de minas.

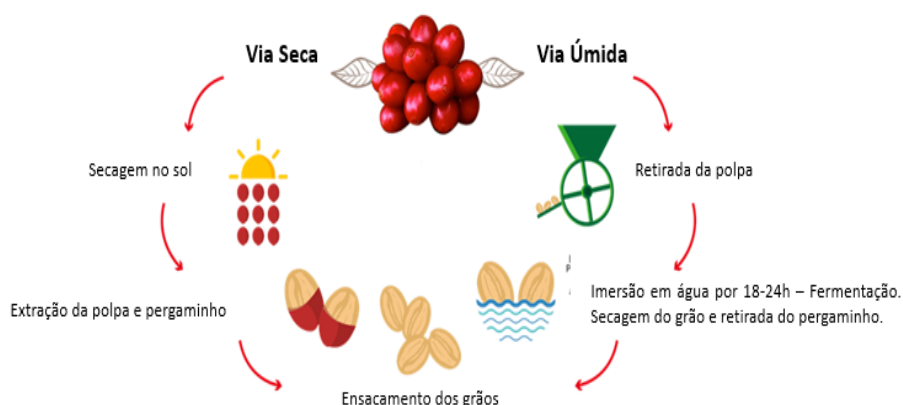


Fonte: VIVALDI; JUNIOR; ALVES (2020).

3.4 RESÍDUOS GERADOS NO BENEFICIAMENTO DO CAFÉ

No beneficiamento, os grãos de café, após a colheita, passam pelas etapas de processamento, sendo as principais vias, seca ou úmida ou variantes de ambas, conforme o produto final é desejado. Na via seca, o grão é selecionado, limpo e seco ao sol gerando o café em coco e na via úmida, o grão após selecionado e limpo tem a casca e a polpa retirada com o uso de água e a mucilagem é degradada por fermentação natural (BAQUETA *et al.*, 2016). Afonso Júnior *et al.* (2001) relataram que no Brasil, a etapa de fermentação foi excluída da técnica por via úmida surgindo a produção de café cereja desmucilado e descascado mecanicamente. Na Figura 7, é mostrado um esquema resumido do processamento de café pelas vias seca e úmida.

Figura 7 – Ilustração resumida das vias do processamento de café.



Fonte: Disponível em <https://i.pinimg.com/originals/>. Adaptado do acesso em 06 mar 2023.

Na despulpagem por via seca, o resíduo obtido é constituído por casca, polpa e pergaminho enquanto por via úmida, o resíduo inicial é composto por polpa e casca e somente após a secagem dos grãos que o pergaminho é retirado (BAQUETA *et al.*, 2016). Independente do processo, a casca é o principal resíduo obtido, porém, a via seca é mais simples e produz menos subprodutos que a via úmida (HOSEINI *et al.*, 2021). Considerando o processo com menor impacto ambiental (via seca), Souza, 2022 observou em seus estudos que aproximadamente 0,18 toneladas de casca são produzidas com o processamento de 1 tonelada de café. No entanto, Rocha *et al.*, 2006 relataram que no processamento do café em coco, aproximadamente, 50% é grão e 50% é casca. Segundo Baqueta *et al.* (2016), a maioria dos resíduos gerados

é estruturalmente constituído, com base na matéria seca, ou seja, casca (29%), que dependendo da variedade pode ter coloração vermelha ou amarela, polpa ou mucilagem (5%), pergaminho (12%), película e semente (54%) conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Ilustração esquemática das estruturas do grão de café.



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

Os constituintes presentes da casca diferem-se com a variedade do café e as condições de cultivo, como: tipo de solo, clima, adubação, chuva e manejo. De acordo com Brand *et al.* (2000), os percentuais mássicos encontrados foram: 11,98% de umidade, 31,86% de fibras, 26,5% de açúcares totais, 1,5% de lipídeos, 6,03% de cinzas, 11,7% de proteína, 9,3% de taninos e 1,2% de cafeína. A cinza é um material rico em metais alcalinos e alcalinos-terrosos, e possuem potencial para substituir em até 10% dos feldspatos usados como fundente para matéria-prima de cerâmica natural à base de argila (ACCHAR *et al.*, 2013).

3.5 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CAFEICULTURA

A cafeicultura produz grandes volumes de subprodutos que variam entre 30 a 50% do peso do fruto do café (VENTURIM, 2002) e a disposição incorreta pode causar a contaminação de solos e águas. MENDES *et al.* (2020) comentou que a densidade básica das cascas de café é baixa, ou seja, 0,195 g/cm³, valor cerca de cinco vezes menor em comparação com a madeira de eucalipto (0,56 g/cm³). Valores baixos de

densidade acarretam a necessidade de grandes áreas para armazenamento devido ao volume requerido pela pilha das cascas de café (Figura 9).

Figura 9– Pilha de cascas do café beneficiado.

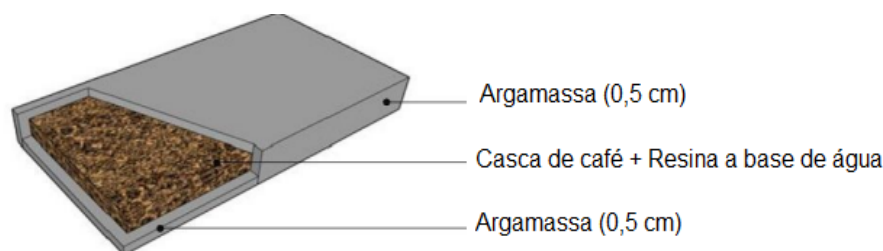


Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Os resíduos sólidos gerados no setor cafeeiro podem ser utilizados na agricultura como condicionador do solo ou aproveitados como substitutos da lenha para produção de energia, fonte nutricional de suínos ou descartados em aterros, porém, muitos destes materiais são lançados incorretamente no ambiente (VALE *et al.*, 2007; PARRA *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2021; HOSEINI *et al.*, 2021).

No entanto, os resíduos podem deixar de ser um problema ambiental e passar a gerar lucro se conduzidos corretamente para um determinado uso (GRAÇA; CALDAS, 2017). Na construção civil, as cascas de café têm sido aproveitadas de diferentes maneiras, coma na forma de cinzas como “in natura”. Oliveira *et al.* (2019) mostraram que substituição de 30% do agregado miúdo (areia) por cinzas da casca de café produziu concreto verde com valores de resistência à compressão menores que o valor recomendado na NBR 6118 (2014), ou seja, 18,9 MPa (> 20 MPa) após 28 dias de cura. Ademais, Santos (2020) realizou um estudo utilizando as cascas de café “in natura” trituradas e secas, misturadas com resina a base de água, para construção de placas, recobertas com argamassa e resistentes às intempéries, para revestimento de fachadas das edificações (Figura 10).

Figura 10 – Placa resistente as intempéries para revestimento das fachadas de edificações.



Fonte: SANTOS (2020).

O uso das cinzas de resíduos agroindustriais advindas de fontes naturais ou de rejeitos de subprodutos são denominados como Materiais Cimentícios Suplementares (MCS). Estes resíduos podem conter substâncias de alto valor, possíveis de serem convertidas em produtos comerciais, por meio de tecnologias adequadas (LAUFENBERG; KUNZ; NYSTROEM, 2003). Neste sentido, torna-se importante avaliar os diferentes compostos presentes na casca de café visando agregar valor comercial aos seus extratos. A temperatura de combustão do material interfere na concentração de álcalis, principalmente, nos tratamentos térmicos em níveis de temperatura mais baixos (Tabela 2).

Tabela 2– Valores percentuais de componentes químicos na cinza da casca do café por Fluorescência de Raios-X.

Componentes	500 °C	600 °C	750 °C
MgO	3,59	4,33	14,63
Al ₂ O ₃	7,32	7,85	4,46
P	3,37	4,09	13,31
S	2,47	3,28	13,33
Cl	4,84	3,26	0,02
K ₂ O	57,35	58,17	20,24
CaO	1,78	2,27	18,42

Fonte: Adaptado de Marcelino (2022).

A dissolução dos agregados pelos álcalis diminui a resistência do concreto, já que a carga de agregados fica desbalanceada com relação aos outros componentes da mistura. O teor de álcalis do cimento (ex. K₂O) contribui fortemente para o aumento do pH da mistura do concreto, uma vez que estes compostos se dissociam na presença de água. Com o aumento do pH na mistura, a sílica se torna cada vez mais solúvel, favorecendo a ocorrência da Reação Álcali Agregado (RAA) e, conseqüentemente, a formação do gel higroscópico que resulta expansão e dissociação do concreto (FARUTHE *et al.*, 2017).

Ademais, as cascas do café apresentam poder calorífico de 5052 Kcal/Kg sendo maior que quantidade de calorias por massa da lenha, do carvão vegetal e do bagaço de cana (LINS, 2006). A combustão da casca do café gera 13,96% de cinzas como resíduo que pode ser utilizada em substituição de parte do cimento Portland, uma vez que apresenta influência significativa na absorção das argamassas (VALE *et al.*, 2007, MARCELINO, 2022). Conforme analisado por Silva (2022), a casca de café pode conter alumina, ferro, cálcio e magnésio que influenciam positivamente na aglutinação da pasta de cimento, além de retardar a corrosão do aço. O pesquisador observou que a moagem do resíduo fornece característica similar da composição química dos materiais pozolânicos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA DAS CASCAS DE CAFÉ

As cascas de café foram coletadas na Fazenda Experimental da Procafé em Varginha/MG em dois períodos diferentes, sendo o primeiro e o segundo correspondentes as safras, velha e nova, respectivamente. A definição das safras em diferentes períodos consistiu em verificar se o armazenamento do resíduo interferiu na resistência dos corpos de prova de concreto. Na Figura 11, são mostradas a aparência física das cascas, nova (a) e velha (b), no local onde estavam armazenadas no dia da coleta.

Figura 11 – Amostra do resíduo novo (a) e resíduo velho (b)



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Antes de realizar a coleta das cascas, os grãos de café passaram por um processo de secagem em um terreiro da Procafé de forma natural e, posteriormente, foram levados ao secador rotativo, com forno, para retirar 82% de sua umidade. Após a secagem, ocorreu o descascamento mecanizado dos grãos obtendo as cascas. Nas Figuras 12 e 13, são mostrados os resíduos durante a secagem natural e no secador rotativo, respectivamente.

Figura 12– Grãos de café no terreiro para secagem natural.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 13– Secador rotativo de grão de café.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira e a segunda correspondentes a caracterização dos materiais utilizados e a determinação da resistência mecânica dos corpos de prova com mistura das cascas de café.

1ª ETAPA: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1 Caracterização do cimento Portland

O cimento Portland definido para a produção dos corpos de prova foi com a descrição Classe 32 MPa, CP II-Z, utilizado na obra da empresa Projet Engenharia, sendo bastante utilizado na construção civil. Este produto apresenta composição de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático. As especificações do cimento Votorantim foram apresentadas no Quadro 1 e no Anexo I.

Quadro 1- Especificações ABNT do cimento Votorantim

Blaine (cm ² /g)	>2600	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	>1	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	<10	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	<12	NBR 11579
Finura na peneira # 325 (%)	–	NBR 9202
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	>32	NBR 7215

Fonte: Adaptado pela autora do site da Votorantin (2023).

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022), a recomendação de uso da Classe II é descrita como agressividade ambiental moderada, cujas características principais são de ambientes com riscos pequenos de deterioração das estruturas, tais como construções localizadas em cidades, obras residenciais e comerciais. O consumo de cimento no traço de massa do concreto definido no subitem 4.2.2 para o estudo foi calculado por meio da Equação 1.

$$C_c = \frac{V_c}{\left(\frac{1}{\gamma_c} + \left(\frac{areia}{\gamma_a}\right) + \left(\frac{brita}{\gamma_b}\right) + \frac{a}{c}\right)} \quad (1)$$

Onde:

C_c = consumo de cimento, em kg;

V_c = volume dos corpos de prova, em L;

γ_c = peso específico aparente do cimento; kg/m³;

γ_a = peso específico aparente da areia; kg/m³;

γ_b = peso específico aparente da brita; kg/m³;

a/c = relação água e cimento.

4.2.2 Caracterização das cascas de café

4.2.2.1 Granulometria

As cascas de café, velha e nova, foram passadas em peneiras com abertura de malhas 8,10, 16, 30 Mesh e fundo, para classificação da granulométrica fina, média e grossa pelo ensaio de peneiramento para determinação da composição percentual do tamanho das partículas, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003). As cascas foram previamente secas e pesadas antes (m_1) e depois (m_2) para obterem a massa total e

a fração percentual de cada peneira. A abertura de malha foi colocada em ordem crescente da base para o topo ficando ambas com a mesma agitação no equipamento da marca *Avitest* durante 3 minutos.

Figura 14– Peneira de análise granulométrica



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A porcentagem em massa retida e acumulada em cada peneira foi calculada utilizando módulo de finura (Equação 2) visto que, o cálculo é utilizado para obter informações sobre as características dos agregados.

$$\text{Módulo de finura}_{MF} = \frac{\sum(\% \text{ Retida Acumulada})}{100} \quad (2)$$

4.2.2.2 Análise elementar

A análise elementar referiu-se à determinação do percentual de umidade, matéria volátil e cinzas das amostras de cascas de café, velha ou nova. O procedimento analítico consistiu em colocar uma massa conhecida das cascas, em triplicada, em cadinhos de porcelana, previamente pesados, na estufa com

temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingir peso constante (Figura 15). O percentual de umidade foi determinado por meio da Equação 3.

$$U = \frac{m_a - m_c}{m} * 100 \quad (3)$$

Onde:

U = absorção de água, em %;

m_a = massa da amostra seca em estufa, em g;

m_c = massa de amostra seca ao ar, em g.

Figura 15 – Amostras de cascas de café armazenadas em estufa.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Para determinar os percentuais de materiais voláteis e o teor de cinzas, os cadinhos com as cascas foram colocados em uma Mufla na temperatura de $750 \pm 50^\circ\text{C}$ até carbonização total da amostra e, após este tempo, eles foram resfriados no dessecador e pesados em balança semi-analítica. A determinação do percentual dos materiais voláteis e do teor de cinzas foram utilizadas as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$MV = \frac{m_a - m_c}{m_a} * 100 \quad (4)$$

Onde:

MV = matéria volátil, em %;

m_a = massa da amostra seca em estufa, em g;

m_c = massa da amostra carbonizada na mufla, em g.

$$C = \frac{m_c}{m_a} * 100 \quad (5)$$

Onde:

C = massa de cinzas, em %;

m_c = massa da amostra carbonizada na mufla, em g;

m_a = massa da amostra seca em estufa, em g.

4.2.2.3 Índice de atividade pozolânica (IAP)

O procedimento analítico foi realizado por meio do ensaio Chapelle modificado, no qual a reatividade foi determinada pela capacidade do material fixar cal quando mantido em solução aquosa com óxido de cálcio (CaO). O método analítico consistiu em manter sob agitação 2 g de CaO, 1 g de cinza da casca de café e 250 ml de água isenta de CO₂ (Figura 16), obtida após ser mantida em temperatura constante (90°C) por 16 horas. Ao final do ensaio, o teor de CaO é medido por meio de titulação da solução de HCl 0,1 N na presença do indicador fenolftaleína (Figura 17).

Figura 16 - Cinzas das cascas de café e óxido de cálcio (CaO).



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 17 – Titulação das amostras de cinzas solubilizadas com indicador fenolftaleína.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

O cálculo do Índice de Atividade Pozolânica (IAP), correspondente ao teor de Hidróxido de Cálcio fixado, em miligramas (mg) de Ca(OH)_2 por grama (g) do material. O IAP foi determinado por meio da Equação 6, retirada da NBR 15895 (ABNT, 2010).

$$I_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{28 \cdot (V_2 - V_1) \cdot F_c \cdot 1,32}{m} \quad (6)$$

Onde:

$I_{\text{Ca(OH)}_2}$ = Índice de Atividade Pozolânica (mg/g);

m = material pozolânico, em g;

V_2 = volume de HCL (0,1 N) consumido no ensaio com amostra, em mL;

V_1 = volume de HCL (0,1 N) consumido no ensaio em branco, em mL;

F_c = fator de correção do HCL para uma concentração de 0,1 N;

1,32 = relação molecular $\text{Ca(OH)}_2/\text{CaO}$.

4.2.2.4 Método argentométrico ou método de Mohr

A concentração de cloretos solúveis (mgCl/L) foi obtida por meio da titulação de 50 mL de uma amostra de cinzas solubilizada em água. A análise foi realizada utilizando como titulante a solução padrão de nitrato de prata (AgNO_3) de 0,1 mol/L na presença de 1 mL de cromato de potássio K_2CrO_4 (5%) como indicador do ponto de viragem (Figura 18).

Figura 18 – Titulação das amostras de cinzas solubilizadas com cromato de potássio.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

O preparo da amostra consistiu na mistura de 50 g de cinzas das cascas solubilizada em 50 mL de água deionizada, na qual foi mantida na temperatura de 95°C sob agitação até o desprendimento de vapor de água (ponto de fervura). A amostra foi filtrada para retirada das partículas sólidas. A concentração de cloreto solúvel foi determinada por meio da Equação 7.

$$[\text{Cl}^-] = \frac{(A-B) \times [\text{AgNO}_3] \times 35,453}{V} \quad (7)$$

Onde:

[Cl] = concentração de cloreto solúvel, em mg/L;

A = volume da solução de AgNO_3 (0,1 mol/L) gasto para titular a amostra, em mL;

B = volume da solução de AgNO_3 (0,1 mol/L) gasto para titular o branco, em mL;

[AgNO_3] = concentração molar da solução de AgNO_3 (0,1 mol/L);

V = volume utilizado na amostra, em mL.

2ª ETAPA: ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA

4.2.3 Traço do concreto

Foi preparado uma massa de concreto com um traço utilizado na obra da empresa Projet Engenharia e Assessoria, onde a mesma foi ensaiada e analisada pela Sinduscon-MG. A escolha do traço foi definida a partir dos resultados de resistências para peças estruturais. Desta forma, o traço para estudo foi de 1:2:2,5 (cimento, areia e brita) e a relação de 0,50 a/c (água/cimento). A água foi usada da rede de abastecimento da cidade de Varginha/MG. Para definir a granulometria foi realizado um ensaio prévio, em triplicata, com 90% de areia misturada com 10% das cascas de café, velha ou nova. Após a escolha da granulometria entre fina, média ou grossa foi definida em função da resistência à compressão. Foram moldados os corpos de prova com a mistura de 10%, 20% e 30% da casca definida em substituição da areia.

4.2.3.1 Método de dosagem

A dosagem das frações para produção do concreto, baseada no método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), foi obtida após o conhecimento da resistência à compressão, do desvio padrão, da relação água/cimento e das massas específicas, real e aparente do concreto, da areia e da brita que são parâmetros resultantes das informações encontradas no módulo de finura, dimensão máxima característica e umidade (ABCP, 2016). A partir disso, foi analisado as condições de preparo do concreto em função do desvio padrão (sd), conforme descrito na NBR 12655 (ABNT, 2022), onde foi escolhido a condição “A” que está relacionado aos concretos aplicados as classes C-10 até C-80 no qual, o desvio padrão equivale

a 4 MPa. As informações acerca da condição “A” e desvio padrão para preparo do concreto foram apresentadas no Anexo II. A resistência de dosagem foi calculada por meio da Equação 8.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (8)$$

Onde:

f_{cj} = Resistência do concreto à compressão na idade de j dias (MPa);

f_{ck} = Resistência característica à compressão do concreto (MPa);

S_d = Desvio-padrão de dosagem (MPa);

1,65 = Quantidade correspondente a 5% na curva de densidade da distribuição normal de Gauss.

4.2.3.2 Consumo de água

O consumo de água foi calculado com base nos dados tabelados pelo método de dosagem da ABCP em função da dimensão máxima característica do material gráudo, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações para determinação do consumo aproximado de água (L/m³)

Abatimento (mm)	Dimensão Máxima Característica (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de RODRIGUES (1998).

4.2.3.3 Agregados miúdos e graúdos

Para os agregados miúdos foram utilizadas areia média natural, classificada conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022), ensacada e seca ao ar livre. Conforme a norma citada na zona granulométrica de 9,5 a 25 mm, denominada como brita 1, sendo esta utilizada convencionalmente em obras. Na Figura 19, foram mostrados os agregados, miúdo (a) e graúdo (b).

Figura 19– Agregados miúdo e graúdo.



a)

b)

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

O consumo dos agregados, miúdo e graúdo, foram calculados por meio das Equações 9 e 10, respectivamente.

$$C_m = \left[1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} \right) \right] \times \gamma_a \quad (9)$$

Onde:

C_m = consumo de agregado miúdo, em kg/m³ de concreto;

C_c = consumo de cimento, em kg/m³ de concreto;

C_b = consumo de agregado graúdo, em kg/m³ de concreto;

C_{ag} = consumo de água, em kg/m³ de concreto;

γ_c = peso específico aparente do cimento, em kg/m³;

γ_b = peso específico aparente da brita, em kg/m³;

γ_{ag} = peso específico aparente da água, em kg/m³;

γ_a = peso específico aparente da areia, em kg/m³.

$$C_b = V_b \times M_b \quad (10)$$

Onde:

C_b = consumo de brita, em kg/m³ de concreto;

V_b = volume do agregado graúdo seco, em m³/m³ de concreto;

M_b = massa unitária compactada do agregado graúdo, em kg/m³.

4.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Após a definição do traço e dos consumos dos materiais para a dosagem do concreto experimental, foram realizadas as misturas conforme as delimitações mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Delimitação de execução de moldagem.

Mistura	Cimento (%)	Areia (%)	Casca de café (%)	Brita (%)	Água (%)
7	100%	90%	10%	100%	100%
1	100%	100%	0%	100%	100%
1	100%	80%	20%	100%	100%
1	100%	70%	30%	100%	100%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Foram realizados 10 moldes cilíndricos de 100 mm x 200 mm, nos quais foram requeridos o preenchimento em duas camadas com doze golpes de adensamento em cada camada. Após a moldagem, os corpos de prova foram identificados para a sua rastreabilidade conforme descrito na NBR 5739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova foram colocados sobre uma superfície horizontal firme e rígida por 24h. Posteriormente, os corpos de provas foram armazenados na Sinduscon, na qual ficaram imersos em água com cal em tanques, conforme orientação da NBR 9479 (ABNT, 2006). No tanque foi registrado os valores de umidade relativa e temperatura que os corpos de provas permaneceram durante 28 dias o rompimento.

4.2.5 Análise da resistência à compressão

Após o período de cura, as dimensões dos corpos de prova (diâmetro e altura) foram preparadas para garantir a planicidade e a perpendicularidade com o eixo longitudinal para o ensaio de compressão. Para isto, foi removido por meios mecânicos, uma fina camada de material das bases, para que a distribuição fosse uniforme em todo molde, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016). Os ensaios de compressão axial foram realizados em conformidade com a NBR 5739 (ABNT, 2018). A prensa utilizada foi do modelo hidráulico com a aplicação de força até 100 T – Classe

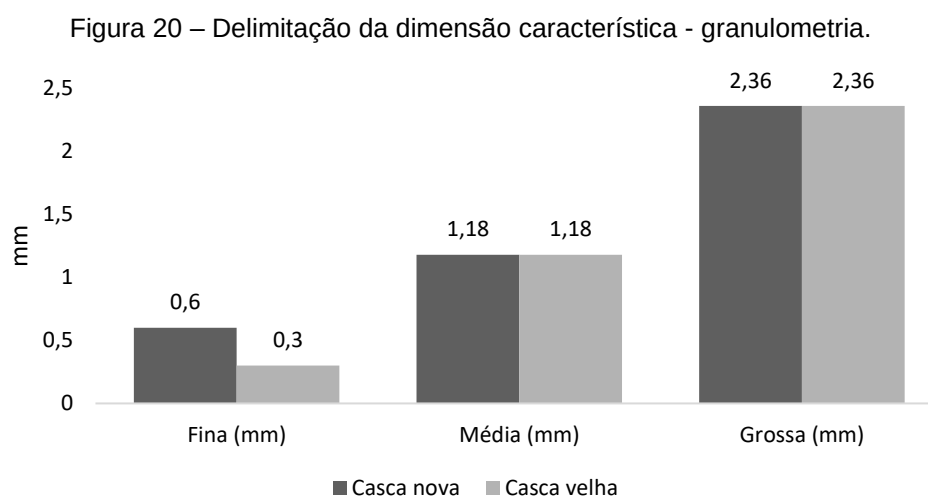
I e com um acréscimo de tensão de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, conforme descrito na norma citada, para todas as amostras de concreto ensaiadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras foram coletadas na Fazenda Experimental de Varginha, da Fundação Procafé, sendo um total de 4 sacos de 60 kg de cascas de café, ou seja, 2 de cascas novas da safra atual (2023/2024) e 2 da safra do ano anterior (2022/2023). Durante a coleta, foi observado, a distinção em relação a coloração conforme mostrado na Figura 11, apresentada no item 4.1. As colorações das cascas estavam nas cores marrom escuro para casca velha e amarelado para casca nova, onde primeira estava num processo de degradação microbiológico maior devido ao tempo de armazenamento e comprovada pela análise elementar.

As cascas, velha ou nova, serão utilizadas como parte da mistura em substituição do agregado miúdo (areia). Ademais, na mistura foi utilizado cimento Portland, Classe 32 Mpa e CP II-Z, uma vez que este é convencionalmente utilizado em obras. O consumo de cimento, calculado pela Equação 1 (subitem 4.2.1), foi de 7,64 Kg para realização do ensaio.

As cascas, velha e nova, foram transportadas até o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG Unidade Varginha) para a análise da granulometria. A porcentagem, retida acumulada, nas peneiras foram apresentadas na Figura 20, cujo cálculo encontra-se disponibilizado no Apêndice I.

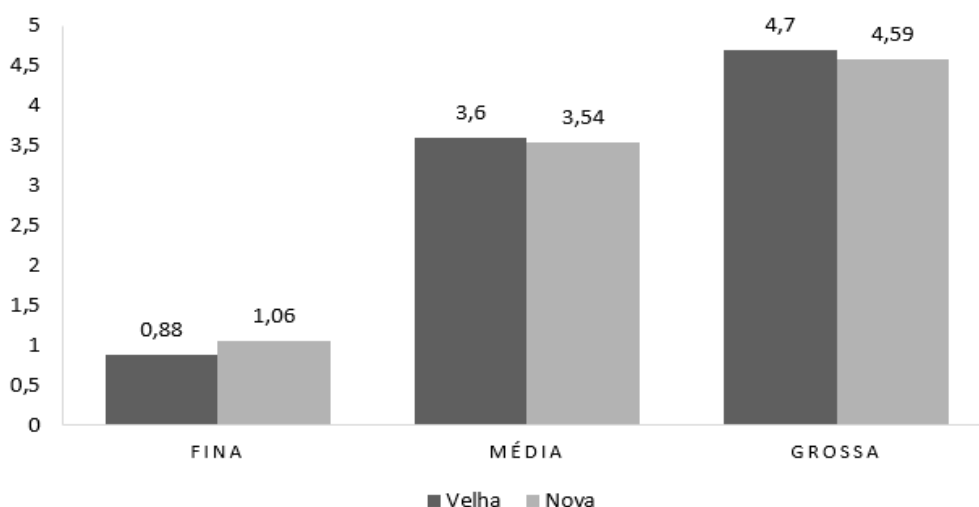


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O resultado foi comparado com a dimensão característica do agregado miúdo, cujos valores normativos da NBR 7225 (ABNT, 1993) parametriza a granulometria, fina, média nas faixas 0,42 a 0,075 mm, 1,2 a 0,42 mm e 2,0 a 1,2 mm, respectivamente. Os resultados das cascas, velha e nova, foram similares, exceto, para os valores de granulometria grossa. A granulometria grossa da casca, velha e nova, foi equivalente aos valores normativos de areia natural (4,8 a 0,074 mm).

O módulo de finura (MF), juntamente com os agregados miúdo e graúdo, é um dos parâmetros importantes para determinar o teor de água e cimento (a/c). Os valores de MF para as cascas, velha e nova, foram comparados com os limites normativos estabelecidos na NBR 7217 (ABNT, 1987) para a areia, sendo estes estabelecidos para as zonas utilizável inferior, ótima, utilizável superior. Sendo assim, o MF das cascas seguiu o parâmetro do agregado miúdo, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Delimitação da dimensão característica – módulo de finura.

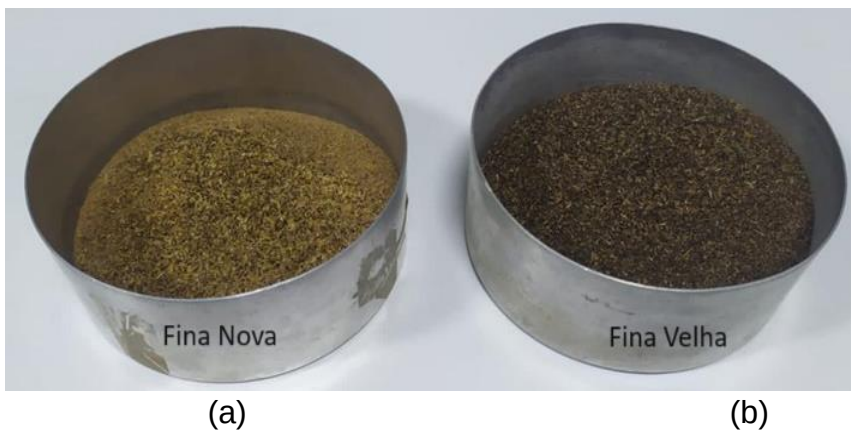


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Como esperado, os resultados do MF foram equivalentes aos valores normativos para o agregado miúdo: fino, médio e grosso que são: $MF < 2,4$; $3,9 > MF > 2,4$ e $MF > 3,9$, respectivamente. É sabido que nos agregados, tanto miúdo como graúdo, as variações no tamanho dos grãos modificam a demanda de água e, portanto, impactam na trabalhabilidade, de modo que exigem ajustes no teor de cimento e água. Nas Figuras 22, 23 e 24, são mostradas as cascas, nova fina (a) e

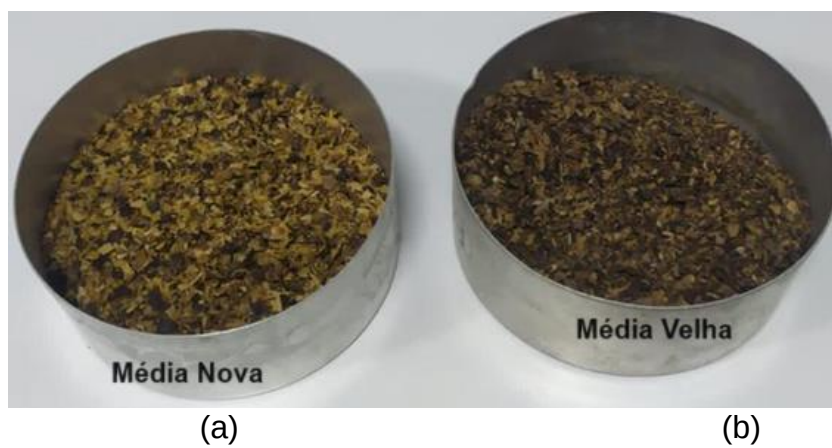
velha fina (b), nova média (a) e velha média (b) e nova grossa (a) e velha grossa (b), respectivamente.

Figura 22- Cascas nova fina (a) e velha fina (b).



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 23 - Cascas nova média (a) e velha média (b).



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 24- Cascas nova grossa (a) e velha grossa (b)



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

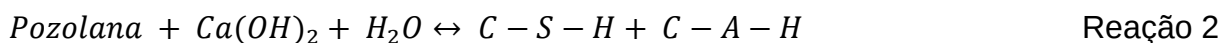
A resistência do concreto depende da água, sendo assim deve-se levar em consideração o teor de umidade dos agregados. Diferentemente da areia, as cascas quando armazenadas na temperatura ambiente adquirem mais umidade podendo influenciar na relação água/cimento. Os teores de umidade foram 12,5% e 14,1% para as cascas, velha e nova, respectivamente. Estes resultados foram similares aos valores apresentados na literatura. Estudos realizados por Brand *et al.* (2000), Barcelos e Pérez (2001) e Matos (2014) mostraram para a casca de café umidades de 11,98%, 11,63% e 13,13%, respectivamente. O maior teor observado para a casca nova pode estar relacionado ao menor tempo de armazenamento do grão (safra 2023/2024) e pela grande quantidade de álcalis, pela presença de potássio, gerando gels expansivos, tendo-se maior absorção de umidade. Em relação ao teor de materiais voláteis (MV), os resultados foram 95,8% para cascas novas e 83,0% para as cascas velha. O menor valor obtido pela casca velha significou que parte da matéria orgânica foi degradada pela ação microbiológica, fato que comprovou a inferência feita sobre a coloração marrom escura no momento da coleta. Os teores de cinzas encontrados nas cascas foram 4,2% para a nova e 16,9% para a velha. Este resultado está em conformidade com o teor de MV, visto que quanto mais degradado mais mineralizado encontra-se o material.

A presença de inorgânicos nas cinzas podem afetar positivamente ou negativamente na resistência do concreto, como exemplo, íons de cálcio (Ca^{2+}) e Cloro (Cl^-). A presença do íon de cálcio (Ca^{2+}) nas cinzas influencia positivamente na formação do concreto devido à presença de água no traço, conforme mostrado na Reação 1, a seguir.



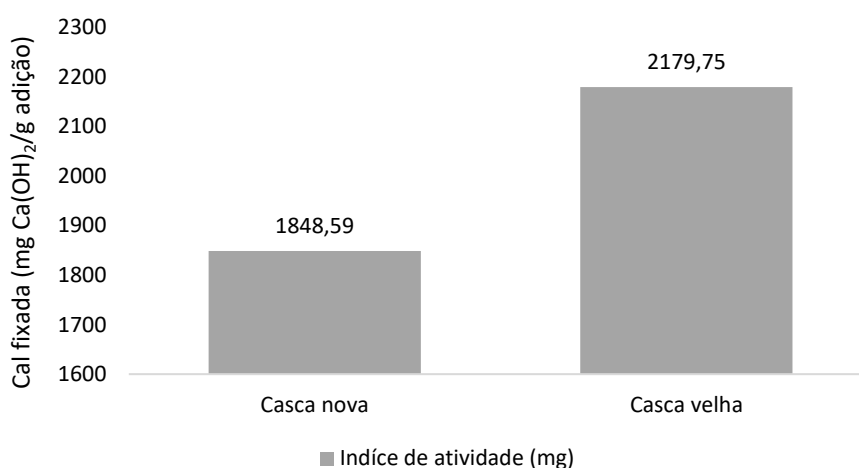
A pozolana, presente no cimento, reage com a água e com hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formando compostos com propriedades de aglomeração. O uso das cinzas com propriedades pozolânicas diminui a quantidade de cimento Portland no traço do concreto (MEHTA *et al.*, 1994). Quando os materiais pozolânicos são adicionados na mistura, durante a hidratação do cimento, a sílica (SiO_2) e/ou alumina (Al_2O_3) amorfas, presentes nas cinzas reagem com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando C-S-H

(silicato de cálcio hidratado) e C-A-H (Aluminato de cálcio hidratado), conforme representação simplificada mostrada na Reação 2.



O Índice de Atividade Pozolânica (IAP) foi maior nas cinzas da casca velha em comparação com a casca nova, cujos valores foram mostrados na Figura 25. Este resultado pode estar relacionado com o grau de degradação da casca velha, ou seja, maior presença de inorgânicos (material mineralizado).

Figura 25 – Índice de Atividade Pozolânica (IAP) das cinzas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

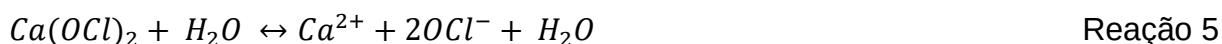
A reação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) com a pozolana pode variar o teor de SiO_2 ativo na mistura, a natureza das fases ativas da pozolana, a taxa de reação, a área superficial da pozolana, a relação de sólidos por água e a temperatura da mistura (CORDEIRO, 2006). Os valores de IAP encontrados nas cinzas, foi maior na casca velha e similar na casca nova quando comparados com os dados da literatura, utilizando o Chapelle modificado, sendo estes 1336 cal fixada ($\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ adição, 1542 cal fixada ($\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ adição e 1193 cal fixada ($\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ adição para as amostras de sílica de casca de arroz, sílica ativa e metacaulim, respectivamente (HOPPE FILHO *et al.*, 2017).

O cloreto é um agente agressivo que pode ser incorporado ao concreto involuntariamente, através de aditivos aceleradores de pega, dos agregados substitutos e da água. Destes materiais, a água é o constituinte que certamente irá conter íons associados ao cloro devido a adição de produtos químicos na etapa de

desinfecção no tratamento. Quando o cloro (Cl_2) é adicionado na água ocorre a formação do ácido hipocloroso (HOCl) que é dissociado rapidamente, conforme mostrado nas Reações 3 e 4, a seguir.

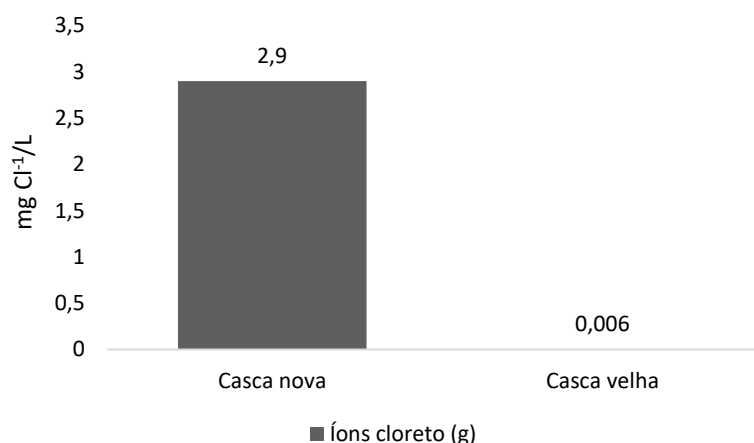


O cloro também pode ser aplicado na água sob as formas de hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio, os quais, em contato com a água, se ionizam conforme as Reações 5 e 6, a seguir.



O cloro residual, formado para inativação microbiológica de bactérias que causam danos à saúde humana, podem ser encontrados nas formas de ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl^-) devido a faixa de pH entre 5 e 10 da água de abastecimento (MEYER, 1994). Como na água de mistura já possui íons cloro, o ideal seria que os materiais substitutos dos agregados no traço do concreto tenham menor concentração de cloreto (Cl^-). A concentração dos íons de cloretos ($\text{mg Cl}^-/\text{L}$) encontrados na casca velha foi praticamente zero, ou seja, cerca de 1000 vezes menor que o resultado encontrado na casca nova (Figura 26).

Figura 26 – Concentração de cloretos nas cinzas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Como a colheita é recente, a maior concentração de cloreto (Cl^-) na casca nova pode estar relacionada com a presença de produtos químicos advindos de defensivos agrícolas e fertilizantes aderidos na casca do grão após a aplicação. Na amostra de cinza da casca nova foi observado uma coloração esverdeada que indica a presença de cloro e, este fato pode ser explicado pela presença dos compostos organoclorados nos defensivos agrícolas e fertilizantes conforme mostrado na ficha técnica disponibilizada pela fundação Procafé (Anexo III). Os produtos utilizados são inseticida e fungicida Premier Plus – Classe II, fazendo parte do grupo 4A e G1, que é mais utilizado para lavouras novas e fungicida COMET – Grupo C3 usado nas folhagens.

A ação de íons cloretos (Cl^-) é prejudicial para as características do concreto, sendo o causador da despassivação do aço, corrosão, surgimento de trincas e deslocamento do concreto. Os cloretos (Cl^-) presentes no concreto podem aparecer quimicamente ligados aos produtos de hidratação do cimento, adsorvidos na superfície dos poros e livre para reagir com o aço (FINKLER, 2020). Os cloretos (Cl^-) ativam a superfície do aço, após penetrarem na camada passiva, e com isso formam um ânodo na armadura, sendo o cátodo a própria camada passiva. Magalhães (2019), explicou que os íons cloreto estão entre os mais severos problemas de durabilidade das estruturas de concreto armado, pois devido ao caráter higroscópico dos cloretos, quando estes estão presentes em grandes quantidades, o concreto conserva mais umidade, aumentando o risco de corrosão pela diminuição de sua resistividade elétrica (REIS, 2001). Com base nas Reações 7 e 8 são observados que os íons de cloro (Cl^-) são regenerados para reagir novamente no processo de corrosão, mesmo que durante a etapa intermediária da reação forme o cloreto ferroso (FeCl_2).



Pelos resultados, observou-se que as cinzas da casca velha podem ser utilizadas como substituto do agregado miúdo sem trazer prejuízos em relação a presença de cloretos (Cl^-) e, ainda contribui para a adição de menor quantidade de cimento, visto que apresenta maior valor de IAP. Acredita-se que o armazenamento da casca por um período contribuiu positivamente para as características do traço.

Para maiores detalhes da contribuição é necessário investigar a resistência à compressão dos corpos de prova. Então, para evitar os efeitos da concentração de cloretos (Cl⁻) presentes na casca nova, optou-se por misturar como substituto parcial do agregado miúdo.

Para avaliar a resistência a compressão do concreto produzido com a misturas parcial das cascas, velha ou nova, é necessário moldar os corpos de provas por meio de traço pré-definido. Sendo assim, foi definido um traço convencional de 1:1,93:2,45:0,50 (cimento, areia, brita e relação água/cimento). É importante salientar que a água usada foi da rede de abastecimento da cidade de Varginha/MG e o cimento foi da classe 32, CP II–Z (relatado no item 4.2.1). Em relação aos agregados, miúdo (areia média) e graúdo (brita 1), os consumos calculados foram de 14,74 Kg e 18,74 Kg, respectivamente. Todos os cálculos para obtenção do traço foram disponibilizados no Apêndice II. A relação água e cimento (a/c), foi calculada de três formas diferentes, ou seja, pelos métodos: dosagem da ABCP, curvas analisadas por Helene & Terzian (1993) e de acordo com a norma técnica - NBR 12655 (ABNT, 2022). A relação a/c de 0,5 kg/kg, para a classe de agressividade II (Agressividade moderada: ambientes urbanos, o risco de deterioração pequeno), foi similar nos três métodos. Logo, o consumo total de a/c foi de 3,82 Kg.

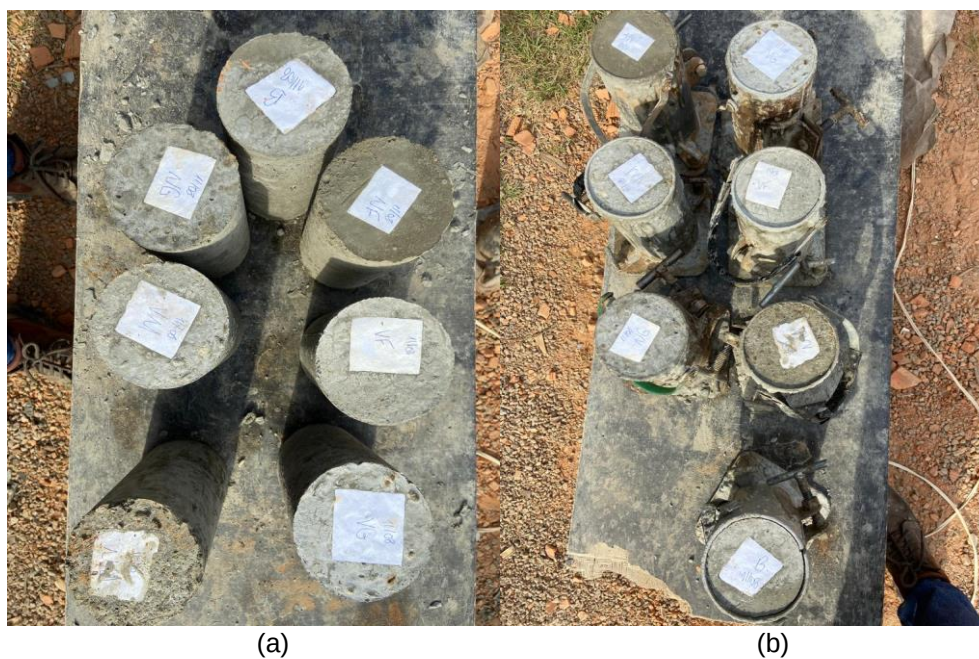
Inicialmente, foi realizado a substituição do agregado miúdo (areia) por 10% de cascas, nova ou velha, nas granulometrias fina, média e grossa, totalizando 6 corpos de prova experimental com a mistura e 1 corpo de prova com traço convencional. Na Figura 27, é mostrado a mistura dos constituintes do traço convencional na betoneira e na Figura 28, são apresentados os corpos de prova, experimental e convencional, com as devidas rastreabilidade para controle de qualidade.

Figura 27– Mistura dos constituintes do traço convencional de concreto.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Figura 28 – Corpos de prova, convencional e experimental, nos moldes (a) e desmoldados (b).



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Para a verificação da consistência do concreto, todas misturas passaram pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test) conforme mostrado na Figura 29. A consistência do concreto foi de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), que define como classe S100 (lançamento convencional em elementos estruturais) os moldes

que apresentaram o abatimento (A) entre 100 e 160. (Valor mostrado na escala da Figura 29)

Figura 29– Slump test dos moldes de concreto.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Todos os corpos de prova, convencional e experimental, ficaram entre os valores de abatimento (A) estabelecidos pela norma técnica. Os moldes, convencional e experimental, foram colocados em um tanque com monitoramento de temperatura durante 28 dias (Figura 30).

Figura 30– Tanque de cura com os moldes de concreto.



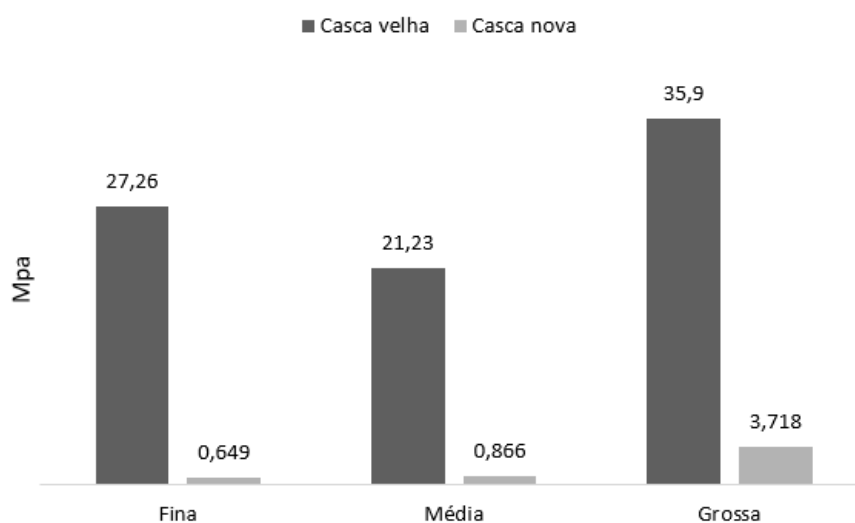
Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Conforme mostrado no termo higrômetro digital da Instrutemp, a temperatura da água manteve-se em torno de 22,2 °C, próximo a 23 ± 2 °C estabelecido na norma técnica. As grandes variações de temperatura da água podem afetar as características físico-químicas dos corpos de prova. O fenômeno de calor de hidratação causa danos

para a estrutura, podendo se tornar vias para interpolação de água, atingindo a armadura e causando corrosão, originando em fissuras que ocorrem através da retração devida à queda de temperatura após atingir o seu ponto máximo, que é quando as reações de hidratação do cimento acabam, Carneiro (2011, p. 27-28). Durante a retirada, foi observado que os corpos de prova com a mistura de casca nova estavam mais umedecidos em comparação com os moldes de casca velha e convencional, independente da granulometria. Este fato pode ser explicado pela presença do cloreto (Cl^-) que é um íon bastante higroscópico.

Após 28 dias de imersão dos moldes, foi realizado o ensaio de resistência à compressão com emissão de laudo técnico pela Sinduscon (Anexo IV) cujo os resultados foram apresentados na Figura 31.

Figura 31 – Resultados de resistência à compressão axial dos moldes com 10% de casca



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Pela análise dos valores de resistência à compressão, foi possível observar a discrepância entre os corpos de prova moldados com casca velha e nova, independente da granulometria. Todos os resultados para a casca nova focaram abaixo dos valores normativos. Para classe C20, ou superior, se aplica a concreto com armadura passiva e a classe C25, ou superior, a concreto com armadura ativa. E a classe C15 usada apenas em fundações, e em obras provisórias, conforme NBR 6122 (ABNT, 2019) e NBR 6118 (ABNT, 2003). No caso dos moldes com adição da casca velha (10%), com a granulometria grossa e fina foram acima de 25 Mpa e a

média acima de 20 Mpa. Na Figura 32, é mostrado um corte axial do corpo de prova com 10% de casca velha grossa.

Figura 32 – Corpo de prova com 10% de casca velha retificado.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Pela imagem, foi observado visualmente que na seção do corte não há ocorrência dos índices, vazios e porosidade, porém, para maior detalhamento é necessário realizar a análise por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). A utilização de adições minerais no concreto proporciona efeitos benéficos em suas propriedades sendo, a melhora da resistência à fissuração térmica por causa do baixo calor de hidratação, impermeabilidade devido ao refinamento dos poros e uma durabilidade maior aos ataques químicos (MEHTA, 1994). Tais efeitos são essenciais para o reforço da zona de transição entre a pasta e o concreto, aumentando a compacidade do local (DUART, 2008).

Durante a análise de resistência à compressão axial, observou-se que o tempo médio para o rompimento dos corpos de prova das amostras com casca velha grossa foi maior em comparação com a casca nova e, somente os moldes com casca velha grossa foi maior que o convencional (29,9 Mpa). Nas Figuras 33, 34 e 35, são mostrados os corpos de prova das cascas, nova e velha, nas granulometrias, fina, média e grossa, durante o teste de resistência a compressão.

Figura 33– Resistência à compressão dos moldes das cascas finas.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Figura 34– Resistência à compressão dos moldes das cascas média.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

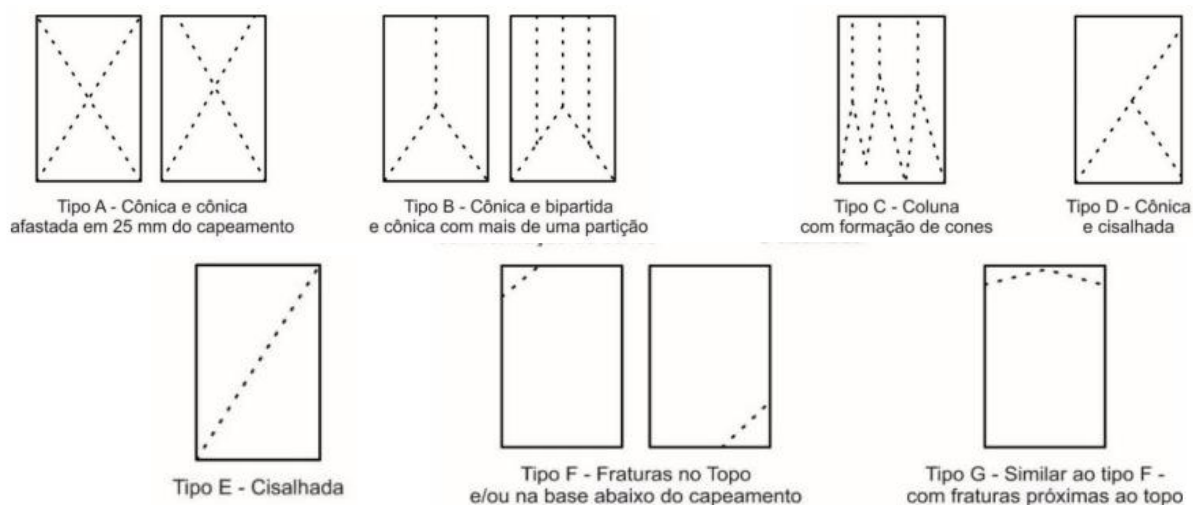
Figura 35– Resistência à compressão dos moldes das cascas grossa.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Pelas imagens das Figuras, observou-se que as rupturas dos corpos de provas foram relacionadas com cisalhamento nas cascas novas e do tipo F com fratura no topo ou na base abaixo do capeamento. De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), existem 7 tipos de fraturas causadas por rupturas dos corpos de prova (Figura 36).

Figura 36 – Resistência à compressão dos moldes das cascas grossa.



Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018).

A ruptura ideal é a de Tipo A, na qual a força é distribuída ao longo de toda a face, causando a forma de ampulheta, significando ótimo aproveitamento do corpo de prova (RESENDE, 2016). Em corpos de prova reais, dificilmente, consegue-se observar rupturas tipo A, uma vez, que é necessário obter um traço em condições ideais para uma moldagem perfeita. Para os testes de resistência à compressão axial, o maior resultado foi com o molde de 10% da casca velha grossa. Em função disso, foi feito a moldagem de corpos de prova com 10%, 20% e 30% de casca velha grossa em substituição da areia.

Os percentuais de cascas pré-definidos (10%, 20% e 30%) foram misturados na dosagem do concreto experimental com as mesmas condições descritas no traço utilizado nos ensaios anteriores, ou seja, mesmos valores calculados para o agregado graúdo (brita 1), cimento Portland classe 32 CP2-Z e a relação água/cimento. Na Figura 37, são mostrados os moldes, com rastreabilidade, realizados com os percentuais de 10%, 20% e 30% da casca velha grossa.

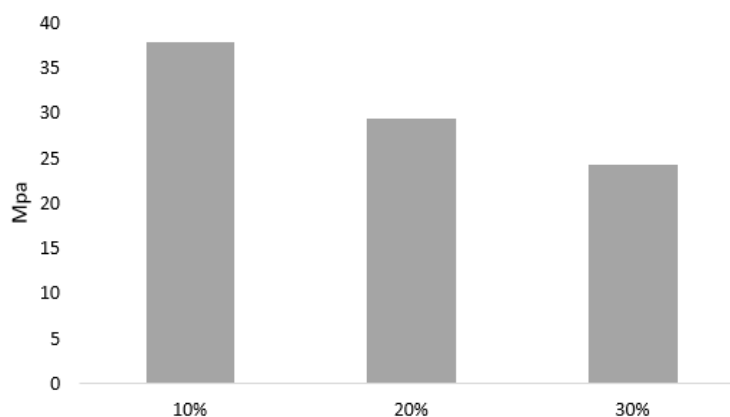
Figura 37 – Corpos de prova moldados com 10%, 20% e 30% de casca velha grossa.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Os moldes de concreto ficaram em processo de cura durante 28 dias no tanque com termo higrômetro digital da Instrutemp, no qual a temperatura foi similar ao ensaio com 10% da mistura das cascas em diferentes granulometrias, após esse tempo, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, cujo resultados são apresentados na Figura 38.

Figura 38– Resistência à compressão dos corpos de prova com casca velha grossa.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A resistência à compressão axial foi maior nos corpos de prova com 10% em comparação com as porcentagens de 20% e 30% de casca velha grossa na mistura, ou seja, apresentou um comportamento decrescente com o aumento percentual da casca. Em todos os moldes, a resistência a compressão foi maior que 20 Mpa que é o mínimo para concretagem de peças estruturais por normativa. É importante comentar que a resistência a compressão dos moldes com 10% aumentou 26% em comparação com o resultado obtido no molde do traço convencional (29,9 Mpa). Os laudos técnicos enviados pela Sinduscon foram disponibilizados no Anexo V. Nas Figuras 39, 40 e 41, são mostrados os corpos de prova das cascas velha grossa em diferentes porcentagens (10%, 20% e 30%), durante o teste de resistência a compressão.

Figura 39– Resistência à compressão dos corpos de prova com 10% de casca.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Figura 40 – Resistência à compressão dos corpos de prova com 20% de casca



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

Figura 41 – Resistência à compressão dos corpos de prova com 30% de casca.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2023).

As fraturas de rupturas nos percentuais de 10%, 20% e 30% foram do tipo F (apresentado anteriormente na Figura 36), ou seja, mantendo o mesmo comportamento do traço experimental inicial (10%) independentemente da quantidade adicionada, porém o aumento da casca causou menor resistência a compressão. Este fato, pode estar relacionado com o comportamento da casca na massa cimentícia e sua natureza orgânica que difere da areia por ter características amorfas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises realizadas durante o estudo foi possível chegar nas seguintes conclusões:

- O tempo de armazenamento contribuiu de forma positiva devido a menor concentração de cloretos (Cl^-) e o maior Índice de Atividade Pozolânica (IAP) que são parâmetros que melhoram a resistência do concreto.
- A presença de produtos químicos nos defensivos agrícolas e fertilizantes aplicados nas lavouras de café contribuem para o aumento de cloreto (Cl^-) que é prejudicial à resistência ao longo do tempo.
- A casca nova apresentou maior teor de umidade devido ao tempo de colheita recente (Safrá 2023/2024) e ao fato da casca apresentar em sua estrutura fisiológica água de adsorção molecular.
- A casca velha obteve menor teor de materiais voláteis (MV) e maior teor de cinzas devido a maior mineração da matéria orgânica pela ação microbiológica durante o período armazenado.
- Ao contrário da casca nova, as cinzas da casca velha podem ser adicionadas como material substituto parcial do cimento no traço de concreto.
- As fraturas de ruptura nos moldes com cascas, velha e nova, foram do Tipo F e do Tipo cisalhada, respectivamente, indicando a fragilidade dos corpos de prova com casca nova.
- A resistência à compressão axial da casca velha com 10 % de mistura foi maior que 25 Mpa na grossa e na fina e, maior que 20 Mpa na média, ao contrário da casca nova que obteve valores abaixo de 15 MPa.
- Em comparação com o concreto convencional, a casca velha grossa apresentou maior resultado nos corpos de prova com 10% na mistura.
- O comportamento da resistência à compressão foi decrescente em relação ao aumento percentual de casca velha grossa na mistura.

Com o estudo, concluiu-se que o percentual de 10% de casca velha grossa pode ser utilizado como substituto do agregado miúdo devido aos resultados de resistência a compressão axial serem maiores que no traço do concreto convencional.

7 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se que:

- Analisar a resistência dos corpos de prova moldados com as cinzas das cascas velha e comparar com os resultados obtidos com a mistura da casca velha grossa “in natura”.
- Desenvolver análises de resistência com o tempo de cura dos corpos de prova de 7, 14, 28 e 32 dias.
- Verificar a ocorrência dos índices de vazios e porosidade por meio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para entendimento do preenchimento na ligação química da mistura e com isto, compreender a interação dos materiais na superfície.
- Realizar a análise dos componentes químicos nas cinzas das cascas de café em diferentes temperaturas por meio da técnica não destrutiva de Fluorescência de Raios-X para investigação da expansão e dissociação do concreto, devido a presença dos álcalis.
- Comparar a viabilidade financeira dos constituintes do traço convencional e experimental.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5738:2016** - Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Junho, 2016.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5739:2018** - Concreto — Ensaio de compressão de corpos de provas cilindros. Maio, 2018.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12655:2022** - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Fevereiro, 2022.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7211:2022** - Agregados para concreto – Especificação. Outubro, 2022.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5733:1991**- Cimento Portland de alta resistência inicial. Julho, 1991.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR NM 248** - Agregados- determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5732:1991** - Cimento Portland comum. Julho, 1991.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5735:1991** - Cimento Portland de alta resistência inicial. Julho, 1991.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5736:1991** - Cimento Portland alto forno. Julho, 1991.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 11578:1991** - Cimento Portland composto. Julho, 1991.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12653:1992** - Materiais pozolânicos. Junho, 1992.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479:2006** - Argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225:1993** - Materiais de pedra agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217:1987** –Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 1987
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2019** – Projeto e execução fundações. Rio de Janeiro. 2019

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023** – Projeto de estrutura de concreto-Procedimento. Rio de Janeiro.2023
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15895:2010** - Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.
- ACCHAR, W., DULTRA, E. J. V., & SEGADAES, A. M. (2013). **Untreated coffee husk ashes used as flux in ceramic tiles. Applied Clay Science.** <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.03.009>
- AFONSO, PAULO CESAR, OSVALDO RESENDE, VALDINEY CAMBUY SIQUEIRA, PAULO CÉSAR CORRÊA. **Modelagem matemática da secagem do café** (Coffea canephora Pierre) EM TERREIROS DE CONCRETO E HÍBRIDO. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá, agosto 2011.
- ALVES; LINDNER. **Agronegócio do café no sul de minas gerais:** territorialização, mundialização e contradições.vol.14, N 2. Universidade Federal de Alfenas, 2020.
- AL-AKHRAS, N. M., ABABNEH, A., ALARAJI, W.A. **Using burnt stone slurry in mortar mixes”, Construction and Building Materials**, v.24, pp. 2658-2663, 2010.
- BARCELOS, A. F.; PÉREZ, J. R. O. **Composição da casca e polpa desidratada de café. Anais do II Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil.** Vitória, p. 818-825, 2001.
- BARRON, A. R. **Chemical composition of portland cement.** 2010 (Vol. 19). USA: The Connexions Project.
- BAQUETA, MICHEL ROCHA. **Extração e caracterização dos compostos do resíduo casca do café. VII Simpósio de Tecnologia e Engenharia de Alimentos e VI Encontro Paranaense de Engenharia de Alimentos.** Campo Mourão, PR, 2016
- BRAND, DÉBORA BRAND, ASHOK PANDEY, SEVASTIANOS ROUSSOS, CARLOS R SOCCOL. **Biological detoxification of coffee husk by filamentous fungi using a solid-state fermentation system, Enzyme and Microbial Tecnology**, v. 27, n. 2000, p. 127-133.
- BOHANA, MIRELA, JOSÉ LUIZ BORJA FERNANDEZ, CRISTIANA MARCHI. **A importância do manejo dos resíduos sólidos da construção e demolição para viabilizar usinas de reciclagem no brasil.** Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, março, 2019). Disponível: <<https://www.eumed.net/rev/cccss/2019/03/manejo-residuos-solidos.html> >. Acesso em 01 de maio de 2023.
- CARNEIRO, GUILHERME VICTOR HUMBERTO SOARES, GIL, LEONARDO KOZIEL DOS SANTO, NETO, MANOEL PIRES. **Calor de hidratação do concreto.** Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- CNI. Confederação Nacional da Indústria. Disponível: <<https://www.portaldaindustria.com.br/cni/>> Acesso em: 01 de outubro em 2023.

- CORDEIRO, GUILHERME CHAGAS, ROMILDO DIAS TOLEDO FILHO, EDUARDO DE MORAES REGO FAIRBAIRN. **Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios**. Química Nova, 2009.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe_> Acesso em: 05 de dezembro em 2022.
- COSTA, ANDRESSA BIANCA. **Potencial Pozolânico da Cinza Volante como material de substituição parcial do cimento**. Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2015.
- CORDEIRO, GUILHERME CHAGAS. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana de açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2006
- CSN. Companhia Siderúrgica Nacional. Disponível: < www.csn.com.br/homepage/cimentos/>. Acesso em: 23 de setembro em 2023.
- DUARTE, MARCELO. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. Santa Maria, maio, 2008
- FARUTHE, ÉDER CRISTIANO LOPES, MAISA CRISTINA CARDOSO, FABRÍCIO AUGUSTO DE LIMA, MARCELO JACOMINI MOREIRA DA SILVA, FERNANDO JOSÉ PEDRO. Reação álcali-agregado no concreto endurecido na região de Jales e Santa Fé do Sul – SP. **Rev. Eletrôn. Organizações e sociedade**. São Paulo. v. 6, n. 6 (2017). Disponível em:<<https://revista.facfama.edu.br/index.php/ROS/article/view/299/250> >. Acesso em 15 de maio de 2023.
- FINKLER, FERNANDO AUGUSTO. **Ingresso de íons cloreto no concreto: estudo da influência dos agregados**. Santa Cruz do Sul, 2020.
- GIVI, ALIREZA NAJI, ET AL. **Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete**. Construcción and Building Materials, 2010.
- GLOBALTEC. **Cenário da construção civil prevê crescimento de 2% em 2022**. Disponível: < <https://www.globaltec.com.br/2022/01/24/mercado-de-construcao-civil-para-2022/>> Acesso em: 20 setembro em 2023.
- GRAÇA, CARLOS HENRIQUE DA, CALDAS, RAFAELA MARIA FIGUEIREDO. Estimativa da quantidade de resíduos (casca e polpa) produzidos durante o processo de beneficiamento do café no município de Varginha –MG. **Revista Geonorte**, V.8, N.30, p.104-117, 2017. (ISSN 2237-1419)
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual e dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993.
- JOHN, VANDERLEY MOACYR. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p.

- JUAREZ HOPPE FILHO, ANDRESSA GOBBI, EDUARDO PEREIRA, RODRIGO SATOSHI TANAKA MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DTG). **Revista Matéria**, v.22, n.3, 2017.
- KANNING, R. C. et al. **Banana Leaves Ashes as Pozzolan For Concrete and Mortar of Portland Cement. Construction & Building Materials**. v. 54, p. 460-465, 2014.
- LAUFENBERG, G., KUNZ, B. AND NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**. v. 87, n. 2, p. 167-198, 2003.
- LINS, LUCIANA NASCIMENTO. **Estudo da aplicação da casca de café na indústria da construção**. Niterói, 2006.
- MAGALHÃES, THIAGO. **Análise da penetração de íons cloreto em compósitos cimentícios contendo diferentes teores de escória de alto-forno**. UFMG, Belo Horizonte, 2019.
- MARCELINO, THAIANE OLIVEIRA. **Caracterização da casca de café e suas cinzas na compatibilidade em matrizes cimentícias**. Lavras, 2022.
- MATOS, LOHANA PICOLO CARREIRA. **Compostos fitoquímicos e atividade antioxidante de casca de café**. 2014. 31 f. Paraná, Campo Mourão, 2014.
- MENDES, RAFAEL FARINASSI, CAROLINA REZENDE PINTO NARCISO, JULIANA FARINASSI MENDES, QUEILLA SANTOS VIANA, TONY MATHEUS CARVALHO EUGÊNIO, ALAN PEREIRA VILELA. **Study of new reinforcing materials for cementitious panel production**. Federal University of Lavras, Lavras, 2020.
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P.J.M. **“Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais”**, 1a Edição, Editora PINI, 1994.
- MEYER, Sheila T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, jan/mar, 1994.
- MIRANDA, EDUARDO HÉLIO DE NOVAIS, RAONI OLIVEIRA RABELO, ALEXANDRE LUÍS COSTA DA SILVA, FELIPE ALVES. **Avaliação do potencial pozolânico de cinzas de casca de café para substituição parcial do cimento Portland**. Congresso de Engenharia da Universidade Federal de São João del-Rei. vol 8. 2018.
- NAGALLI, André. **Resíduos de construção civil**. 2 ed. São Paulo, 2022.
- NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- HOSEINI, M. **Coffee by-products derived resources. A review Biomass and Bioenergy Elsevier**. 1 maio 2021.

- OLIVEIRA, ELEN MACHADO, ELIS MACHADO DE OLIVEIRA, MICHAEL PETERSON, FERNANDO PELISSER, CAMILA MACHADO DE OLIVEIRA, ELAINE GUGLIELMI PAVEI ANTUNES. Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019.
- PAULINO, RAFAELLA SALVADOR, BERENICE MARTINS TORALLES, CAIO VINICIUS CARVALHO TRINDADE DE SOUZA. **Blocos de Concretos de RCD sem Função Estrutural prensados de Forma Manual e Mecânica**. Universidade Estadual de Londrina, 2022.
- UFLA, Portal. Biblioteca universitária. 2021. Disponível em: <https://bibliotecauniversitaria.ufla.br/servicos-biblioteca/manual-de-normalizacao>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.
- RABELO, NATHÁLIA MARIA ASSI, GARCIA, CHRISTIANNE RODRIGUES. **Comportamento do concreto mediante a adição de pozolana artificial**. UFMG, Belo Horizonte, 2013.
- REIS, LÍLIA SILVEIRA NOGUEIRA. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.
- RIBEIRO, CARMEM, JOANA DARC DA SILVA PINTO, G. CRISTINA GODOY, VICENTE TADEU LOPES BUONO Starling. **Microstructural and topographic characterization of concrete protected by acrylic paint**. PUC, Belo Horizonte, agosto de 2013.
- ROCHA, F. C., GARCIA, R., FREITAS, A. W. D. P., DE SOUZA, A. L., GOBBI, K. F., VALADARES FILHO, S. D. C., TONUCCI, R. G., & ROCHA, G. C. **Casca de café em dietas para vacas em lactação: Consumo, digestibilidade, produção e composição de leite**. *Revista Brasileira de Zootecnia*. (2006).
- RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET – 67. São Paulo: ABCP, 1998.
- TEXEIRA, EGLÉ NOVAES. **Recesa - Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. N. 2. Belo Horizonte. 2008. 68 p.
- SILVA, REBECA BASTOS; FONTES, CINTIA MARIA ARIANI; LIMA, PAULO ROBERTO LOPES; GOMES, OTAVIO DA FONSECA MARTINS; LIMA, LILIAN GRAICY LIMA MORAIS; MOURA, RUAN CARLOS DE ARAUJO; TOLEDO FILHO, ROMILDO DIAS. **Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento**. Ambiente Construído, 2015.
- VALE, AILTON, TEIXEIRA, LUIZ VICENTE GENTIL, GONÇALVES, JOAQUIM CARLOS, COSTA, ALEXANDRE FLORIAN DA. **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café**. Lavras. Outubro, 2007
- VENTURIM, JOSÉ BRAZ. **Gestão de resíduos orgânicos produzidos no meio rural: o caso do beneficiamento do café**. 101p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIVALDI, GUILHERME AUGUSTO DIONISIO, JUNIOR, PEDRO DOS SANTOS PORTUGAL, ALVES, ALESSANDRO FERREIRA. **A cafeicultura na microrregião de VARGINHA – MG: Uma Análise Do Período De 2008 A 2018.** Grupo Unis, Varginha,2020.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Inovação.** Disponível: <
<https://www.votorantimcimentos.com.br/wp-content/uploads/2022/10/relatorio-integrado-2021.pdf>>. Acesso em: 01 outubro em 2023.

ANEXO I: Informações do cimento Portland utilizado para o ensaio




TODAS AS OBRAS

Cimento para uso geral com secagem rápida, que oferece maior produtividade e menor tempo de obra. Versátil em suas aplicações, também faz a função do Obras Básicas.

O MAIS INDICADO PARA:

- Reboco
- Concreto convencional
- Contrapiso
- Lajes

EMBALAGEM: 25kg, 42,5kg e 50kg

Consultar a disponibilidade na região.

SECAGEM



RESISTÊNCIA



TRAÇO POR APLICAÇÃO *

	REBOCO	CONCRETO CONVENCIONAL
	TRAÇO Indicado para reboco interno 1 lata de cimento 2 latas de cal 9 latas de areia Água - adicione aos poucos, até que fique bem homogênea e sem grumos, com a consistência "cremosa"	TRAÇO 1 saco de cimento 4 latas de areia 5 ½ latas de pedra 1 ½ lata de água
	RENDIMENTO medido por saco de 50 kg de cimento 35 m² com espessura de 1 cm	RENDIMENTO medido por saco de 50 kg de cimento 8 latas OU 0,14 m³
	CONTRAPISO TRAÇO 1 lata de cimento 3 latas de areia Água - o mínimo para obter uma consistência quase seca, tipo "farofa"	LAJES TRAÇO 1 saco de cimento 4 latas de areia 5 ½ latas de pedra 1 ½ lata de água
	RENDIMENTO medido por saco de 50 kg de cimento 4 m² com 2,5 cm de espessura	RENDIMENTO medido por saco de 50 kg de cimento 8 latas OU 0,14 m³

Fonte: (Votorantim, 2023) adaptado pela autora

ANEXO II: As informações acerca da condição “A” e desvio padrão (sd)

Valores do desvio-padrão de dosagem (Sd) em função das condições de preparo do concreto

CONDIÇÕES DE PREPARO DO CONCRETO	DESCRIÇÃO	Valor do Sd a ser adotado
CONDIÇÃO “A”	APLICÁVEL ÀS CLASSES C-10 ATÉ C-80 O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados	Sd = 4,0MPa
CONDIÇÃO “B”	APLICÁVEL ÀS CLASSES C-10 ATÉ C-25 O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume; APLICÁVEL ÀS CLASSES C-10 ATÉ C-20 O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especialmente para o material utilizado.	Sd = 5,5MPa
CONDIÇÃO “C”	APLICÁVEL APENAS AOS CONCRETOS DE CLASSES C-10 E C-15 O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, conforme disposta na NBR 7273, ou outro método normalizado.	Sd = 7,0MPa

Fonte: (NBR 12655, ABNT, 2022) adaptado pela autora

O cálculo da resistência de dosagem detalhado, levando-se em conta o desvio padrão (sd) foi realizado pela Equação 8.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \, sd$$

$$f_{cj} = 25 + 1,65 \cdot 4 = 31,6 \cong \mathbf{31,6 \, MPa}$$

ANEXO III: Ficha técnica dos inseticidas e fungicidas usados nas safras



We create chemistry

COMET®

Fungicida

Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA sob nº 08801

COMPOSIÇÃO:

Methyl N-{2-[1-(4-chlorophenyl)-1H-pyrazol-3-yloxymethyl] phenyl} (N-methoxy) carbamate (PIRACLOSTROBINA).....250 g/L (25% m/v)
 Hidrocarboneto aromático (Solvente de nafta aromática pesada - derivado de petróleo).....450 g/L (45% m/v)
 Outros ingredientes.....350 g/L (35% m/v)

GRUPO	C3	FUNGICIDA
-------	----	-----------

CONTEÚDO: VIDE APROVAÇÃO DO IBAMA**CLASSE:** Fungicida de ação sistêmica**GRUPO QUÍMICO:** Piraclostrobina: EstrobilurinasSolvente de Nafta (Petróleo) aromático pesado: Hidrocarboneto aromático**TIPO DE FORMULAÇÃO:** Concentrado Emulsionável (EC)

Fonte: Fazenda Procafé, 2023.

**Premier® Plus**

Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA sob nº 002408

COMPOSIÇÃO:

1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine (IMIDACLOPRIDO) 175 g/L (17,5 % m/v)
 (1RS,2RS;1RS,2SR)-1-(4-chlorophenoxy)-3,3-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol (TRIADIMENOL)..... 250 g/L (25,0 % m/v)
 Outros ingredientes 735 g/L (73,5 % m/v)

GRUPO	4A	INSETICIDA
GRUPO	G1	FUNGICIDA

CLASSE: Fungicida e inseticida dos grupos químicos triazol e neonicotinoide.**TIPO DE FORMULAÇÃO:** Suspensão Concentrada (SC)

Fonte: Fazenda Procafé, 2023.

ANEXO IV: Resistência dos ensaios com as cascas de café, velha e nova, nas granulometrias:
fina, média e grossa com 10% percentuais

- Velha e nova (Fina)

	RELATÓRIO DE ENSAIOS										CÓDIGO	MR-002	
	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS										REVISÃO	03	
	LABORATÓRIO DE ANÁLISES MÁRIO CINCOETTI CONSTRUÇÃO CIVIL - LAMAC - CC										Nº RELAT.	7223	
	RUA SANTA JULIETA, 51 - BAIRRO PARQUE URUPÊS (35) 3222-8166 / (35) 99729-2761										PÁGINA	01/01	
LAMAC - CC	ABNT NBR 5739 /2018										VIGÊNCIA	FEV/2020	
DADOS ESPECÍFICOS													
CLIENTE:	GABRIELA DIAS XAVIER					OBRA:							
ENDEREÇO DO CLIENTE:						TELEFONE DO CLIENTE:							
FORNECEDOR:						OBRA:		30,0		SLUMP:			
DATA MOLDAGEM:	11/08/2023					CAPEAMENTO:				RETÍFICA			
TIPO DE LANÇAMENTO:						RESP.MOLDAGEM				CLIENTE			
PEÇA CONCRETADA:					TESTE					NOTA FISCAL:			
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS													
PRENSA MODELO HIDRAÚLICO 100 T (CLASSE -1)					PR - 001		CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 1153055 (SENAI MG)						
RETÍFICA					RE - 001		N/A						
PAQUIMETRO					PQ - 001		CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 6862/2019 (Excel Metro)						
RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RELATÓRIO REFERE-SE ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE AOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS E IDENTIFICADOS NA SEÇÃO DOS RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RESP. ENSAIO	I. CLIENTE	I. LAB	DATA RUPTURA	IDADE (Dias)	SLUMP (cm)	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TEMP ÁGUA (°C)	TEMP AMBIENTE °C	CARGA (KGF)	RES. FINAL (MPa)	MÉDIA (MPa)
PAULO	01		6/9	27		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	21410	27,260	
PAULO	02		6/9	27		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	510	0,649	
OBSERVAÇÕES:		10% CASCA DE CAFÉ											
PAULO ROBERTO CHAVES													
RESP. TÉCNICO													
ENG. CIVIL - CREA/MG - 24.246/D													

- Velha e nova (média)

	RELATÓRIO DE ENSAIOS										CÓDIGO	MR-002	
	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS										REVISÃO	03	
	LABORATÓRIO DE ANÁLISES MÁRIO CINCOETTI CONSTRUÇÃO CIVIL - LAMAC - CC										Nº RELAT.	7224	
	RUA SANTA JULIETA, 51 - BAIRRO PARQUE URUPÊS (35) 3222-8166 / (35) 99729-2761										PÁGINA	01/01	
LAMAC - CC	ABNT NBR 5739 /2018										VIGÊNCIA	FEV/2020	
DADOS ESPECÍFICOS													
CLIENTE:	GABRIELA DIAS XAVIER					OBRA:							
ENDEREÇO DO CLIENTE:						TELEFONE DO CLIENTE:							
FORNECEDOR:						OBRA:		30,0		SLUMP:			
DATA MOLDAGEM:	11/08/2023					CAPEAMENTO:				RETÍFICA			
TIPO DE LANÇAMENTO:						RESP.MOLDAGEM				CLIENTE			
PEÇA CONCRETADA:					TESTE					NOTA FISCAL:			
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS													
PRENSA MODELO HIDRAÚLICO 100 T (CLASSE -1)					PR - 001		CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 1153055 (SENAI MG)						
RETÍFICA					RE - 001		N/A						
PAQUIMETRO					PQ - 001		CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 6862/2019 (Excel Metro)						
RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RELATÓRIO REFERE-SE ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE AOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS E IDENTIFICADOS NA SEÇÃO DOS RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RESP. ENSAIO	I. CLIENTE	I. LAB	DATA RUPTURA	IDADE (Dias)	SLUMP (cm)	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TEMP ÁGUA (°C)	TEMP AMBIENTE °C	CARGA (KGF)	RES. FINAL (MPa)	MÉDIA (MPa)
PAULO	01		6/9	27		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	16680	21,238	
PAULO	02		6/9	27		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	680	0,866	
OBSERVAÇÕES:		10% CASCA DE CAFÉ											
PAULO ROBERTO CHAVES													
RESP. TÉCNICO													
ENG. CIVIL - CREA/MG - 24.246/D													

[illegible]

ANEXO V: Resistência dos ensaios com as cascas de café velha grossa com 10%, 20% e 30% percentuais

- 10 %

		RELATÓRIO DE ENSAIOS										CÓDIGO	MR-002
		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS										REVISÃO	03
		LABORATÓRIO DE ANÁLISES MÁRIO CINCOETTI CONSTRUÇÃO CIVIL - LAMAC - CC										Nº RELAT.	7250
		RUA SANTA JULIETA, 51 - BAIRRO PARQUE URUPÊS (35) 3222-8166 / (35) 99729-2761										PÁGINA	16/out
LAMAC - CC		ABNT NBR 5739 /2018										VIGÊNCIA	FEV/2020
DADOS ESPECÍFICOS													
CLIENTE:	GABRIELA XAVIER					OBRA:							
ENDEREÇO DO CLIENTE:						TELEFONE DO CLIENTE:							
FORNECEDOR:						FCK DE PROJETO:	30,0						
DATA MOLDAGEM:	24/09/2023					CAPEAMENTO:	RETÍFICA						
TIPO DE LANÇAMENTO:						RESP.MOLDAGEM	CLIENTE						
PEÇA CONCRETADA:					TESTE					NOTA FISCAL:			
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS													
PRENSA MODELO HIDRÁULICO 100 T (CLASSE -1)					PR - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 1153055 (SENAI MG)							
RETIFICA					RE - 001	N/A							
PAQUIMETRO					PQ - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 6862/2019 (Excel Metro)							
RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RELATÓRIO REFERE-SE ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE AOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS E IDENTIFICADOS NA SEÇÃO DOS RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RESP. ENSAIO	I. CLIENTE	I. LAB	DATA RUPTURA	IDADE (Dias)	SLUMP (cm)	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TEMP ÁGUA (°C)	TEMP AMBIENTE °C	CARGA (KGF)	RES. FINAL (MPa)	MÉDIA (MPa)
PAULO	01		23/10	SUP 28		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	29690	37,802	
OBSERVAÇÕES:		10% CASCA VELHA											
PAULO ROBERTO CHAVES													
RESP. TÉCNICO													
ENG. CIVIL - CREA/MG - 24.246/D													

- 20%

		RELATÓRIO DE ENSAIOS										CÓDIGO	MR-002
		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS										REVISÃO	03
		LABORATÓRIO DE ANÁLISES MÁRIO CINCOETTI CONSTRUÇÃO CIVIL - LAMAC - CC										Nº RELAT.	7251
		RUA SANTA JULIETA, 51 - BAIRRO PARQUE URUPÊS (35) 3222-8166 / (35) 99729-2761										PÁGINA	16/out
LAMAC - CC		ABNT NBR 5739 /2018										VIGÊNCIA	FEV/2020
DADOS ESPECÍFICOS													
CLIENTE:	GABRIELA XAVIER					OBRA:							
ENDEREÇO DO CLIENTE:						TELEFONE DO CLIENTE:							
FORNECEDOR:						FCK DE PROJETO:	30,0						
DATA MOLDAGEM:	24/09/2023					CAPEAMENTO:	RETÍFICA						
TIPO DE LANÇAMENTO:						RESP.MOLDAGEM	CLIENTE						
PEÇA CONCRETADA:					TESTE					NOTA FISCAL:			
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS													
PRENSA MODELO HIDRÁULICO 100 T (CLASSE -1)					PR - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 1153055 (SENAI MG)							
RETIFICA					RE - 001	N/A							
PAQUIMETRO					PQ - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 6862/2019 (Excel Metro)							
RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RELATÓRIO REFERE-SE ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE AOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS E IDENTIFICADOS NA SEÇÃO DOS RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RESP. ENSAIO	I. CLIENTE	I. LAB	DATA RUPTURA	IDADE (Dias)	SLUMP (cm)	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TEMP ÁGUA (°C)	TEMP AMBIENTE °C	CARGA (KGF)	RES. FINAL (MPa)	MÉDIA (MPa)
PAULO	01		23/10	SUP 28		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	23040	29,335	
OBSERVAÇÕES:		20% CASCA VELHA											
PAULO ROBERTO CHAVES													
RESP. TÉCNICO													
ENG. CIVIL - CREA/MG - 24.246/D													

- 30%

	RELATÓRIO DE ENSAIOS										CÓDIGO	MR-002	
	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS										REVISÃO	03	
	LABORATÓRIO DE ANÁLISES MÁRIO CINCOETTI CONSTRUÇÃO CIVIL - LAMAC - CC										Nº RELAT.	7252	
	RUA SANTA JULIETA, 51 - BAIRRO PARQUE URUPÊS (35) 3222-8166 / (35) 99729-2761										PÁGINA	16/out	
ABNT NBR 5739 /2018										VIGÊNCIA	FEV/2020		
DADOS ESPECÍFICOS													
CLIENTE:	GABRIELA XAVIER					OBRA:							
ENDEREÇO DO CLIENTE:						TELEFONE DO CLIENTE:							
FONECEDOR:						FCK DE PROJETO:	30,0						
DATA MOLDAGEM:	24/09/2023					CAPEAMENTO:	RETÍFICA						
TIPO DE LANÇAMENTO:						RESP.MOLDAGEM	CLIENTE						
PEÇA CONCRETADA:					TESTE					NOTA FISCAL:			
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS													
PRENSA MODELO HIDRAÚLICO 100 T (CLASSE -1)					PR - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 1153055 (SENAI MG)							
RETIFICA					RE - 001	N/A							
PAQUIMETRO					PQ - 001	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 6862/2019 (Excel Metro)							
RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RELATÓRIO REFERE-SE ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE AOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS E IDENTIFICADOS NA SEÇÃO DOS RESULTADOS INDIVIDUAIS													
RESP. ENSAIO	I. CLIENTE	I. LAB	DATA	IDADE	SLUMP	ALTURA	DIÂMETRO	ÁREA	TEMP	TEMP	CARGA	RES. FINAL	MÉDIA
			RUPTURA	(Dias)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm2)	ÁGUA (°C)	AMBIENTE °C	(KGF)	(MPa)	(MPa)
PAULO	01		23/10	SUP 28		20,00	10,00	78,540	22,4	23,9	18990	24,179	
OBSERVAÇÕES:		30% CASCA VELHA											
PAULO ROBERTO CHAVES													
RESP. TÉCNICO													
ENG. CIVIL - CREA/MG - 24.246/D													

APÊNDICE I: Dimensão característica – granulometria e módulo de finura (MF)

Distribuição do material velha fina

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	0	0	0
2	0	0	0
1,18	0	0	0
600 µm	46,2	25,41	25,41
300µm	67,2	37,02	62,43
Fundo	68,3	37,57	100,00
Total	181,8	100	0,88

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Distribuição do material velha média

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	140,5	39,53	39,53
2	11,5	3,24	42,77
1,18	143,1	40,26	83,03
600 µm	58,8	16,54	99,58
300µm	1,2	0,34	99,92
Fundo	0,3	0,08	100,00
Total	355,4	100	3,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Distribuição do material velha grossa

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	144,9	86,92	86,92
2	3,2	1,92	88,84
1,18	12,9	7,74	96,58
600 µm	3,2	1,92	98,50
300µm	0,8	0,48	98,98
Fundo	1,7	1,02	100,00
Total	166,7	100	4,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Distribuição do material nova fina

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	0	0	0
2	0	0	0
1,18	0,2	0,10	0
600 µm	69,6	36,08	36,08
300µm	66	34,21	70,30
Fundo	57,3	29,70	100,00
Total	192,9	100	1,06

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Distribuição do material nova média

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	37	32,80	32,80
2	10	8,87	41,67
1,18	43,9	38,12	80,59
600 µm	20,9	18,53	99,11
300µm	0,9	0,80	99,91
Fundo	0,1	0,09	100,00
Total	112,8	100	3,54

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Distribuição do material nova grossa

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	246,4	83,16	83,16
2	5,3	1,79	84,95
1,18	25,6	8,64	93,59
600 µm	12,3	4,15	97,74
300µm	4	1,35	99,09
Fundo	2,7	0,91	100,00
Total	296,3	100	4,59

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foi classificado o módulo de finura (MF) da casca, sendo calculado pela Equação 2.

$$MF(\text{velha fina}) = \frac{0 + 0 + 0 + 25,41 + 62,43}{100} = 0,88 \text{ mm}$$

$$\text{MF(velha média)} = \frac{39,53 + 42,77 + 83,03 + 99,58 + 99,92}{100} = 3,6 \text{ mm}$$

$$\text{MF(velha grossa)} = \frac{86,92 + 88,84 + 96,58 + 98,50 + 98,98}{100} = 4,70 \text{ mm}$$

$$\text{MF(nova fina)} = \frac{0 + 0 + 0 + 36,08 + 70,30}{100} = 1,06 \text{ mm}$$

$$\text{MF(nova média)} = \frac{32,80 + 41,67 + 80,59 + 99,11 + 99,91}{100} = 3,54 \text{ mm}$$

$$\text{MF(nova grossa)} = \frac{83,16 + 84,95 + 93,49 + 97,74 + 99,09}{100} = 4,59 \text{ mm}$$

APÊNDICE II: Cálculos para obtenção do traço e da relação água/cimento

Pela definição de 0,5 Kg/Kg de relação água e cimento, foram calculados:

- Consumo de cimento: Pela Equação 1, obtendo-se, o consumo de cimento estimado é de 410 kg/m³.

- Consumo de agregado graúdo: Pela Equação 10, obtendo-se, agregado graúdo foi de 1005,5 kg/m³

Dados:

- MF (módulo de Finura) = 2,8 mm;

- DMC (dimensão) = 0,670.

- Consumo de agregado miúdo (areia): Pela Equação 9, tendo -se consumo de 791,61 Kg/m³

Dados:

- $\gamma_c = 3000 \text{ kg/m}^3$;

- $\gamma_b = 2700 \text{ kg/m}^3$;

- $\gamma_a = 1000 \text{ kg/m}^3$;

- $\gamma_m = 2604 \text{ kg/m}^3$.

Portanto, obtendo o traço em massa de:

410: 791,61: 1005,5: 205

E posteriormente, o traço unitário de:

1: 1,93: 2,45: 0,50 (traço referência)