



**SELWINN AUGUSTO ANSELMO MOREIRA DA SILVA**

**BIOCONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO TOTAL DOS  
AGREGADOS POR BIOMASSA DE CASCA DE CAFÉ**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**SELWINN AUGUSTO ANSELMO MOREIRA DA SILVA**

**BIOCONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO TOTAL DOS AGREGADOS POR  
BIOMASSA DE CASCA DE CAFÉ**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Civil, para a obtenção  
do título de Bacharel.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira, Dr.Sc.

Orientador

Gabriele Melo de Andrade, Me.Sc.

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2023**

**SELWINN AUGUSTO ANSELMO MOREIRA DA SILVA**

**BIOCONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO TOTAL DOS AGREGADOS POR  
BIOMASSA DE CASCA DE CAFÉ**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Civil, para a obtenção  
do título de Bacharel.

Aprovado dia 18 de julho de 2023.

Dr. Saulo Rocha Ferreira - UFLA

Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva - UFLA

Me. Gabriele Melo de Andrade - UFLA

---

Prof. Dr.Sc. Saulo Rocha Ferreira

Orientador

LAVRAS – MG

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Amadeu e Laide, por todo o amor e incentivo em todas as etapas de minha vida.

A UFPA, por me encantar desde o primeiro dia diante a beleza do campus, da competência existente do corpo docente, crescendo diariamente com discussões ricas e engrandecedoras às quais me transformaram enquanto pessoa e profissional.

Aos amigos que fiz pelo caminho, agradeço por todos os momentos juntos, pelos ensinamentos, risadas e por terem feito deste caminho mais leve e inesquecível.

## RESUMO

A casca de café proveniente do beneficiamento da lavoura é um resíduo orgânico agrícola, normalmente utilizado em parte como adubo em plantações. Por serem materiais de baixo impacto ambiental, são possíveis alternativas ecológicas na confecção de biocomcreto, assim podemos produzir materiais mais leves, mais baratos e agregar valor não só ao resíduo, como também ao material desenvolvido. Utilizando uma dosagem experimental foi desenvolvido um traço de bioconcreto com material pozolânico com 100% de substituição dos agregados convencionais por biomassa de casca de café. Este estudo verificou, através de testes laboratoriais, as propriedades mecânicas e físicas do compósito. Depois de verificado o desempenho, foi possível observar uma baixa resistência mecânica, o que era esperado pela baixa densidade dos materiais, e uma baixa condutividade térmica de 0,52 W/m.K, tornando viável o estudo do compósito para uso em painéis isolantes térmicos.

**Palavras-chave:** Concreto. Bioconcreto. Casca de café

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	8
1.2 OBJETIVOS .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>10</b>
2.1 CAFÉ.....	10
2.2 BENEFICIAMENTO DO CAFÉ .....	11
2.3 CASCA DO CAFÉ .....	11
2.4 EXTRATIVOS .....	12
2.5 CONCRETO.....	13
2.6 METACAULIM .....	14
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	16
3.1.1 <i>Casca do café</i> .....	16
3.1.2 <i>Cimento</i> .....	16
3.1.3 <i>Metacaulim</i> .....	16
3.1.4 <i>Água</i> .....	16
3.1.5 <i>Aditivos químicos</i> .....	17
3.2 TRATAMENTO DA CASCA DO CAFÉ .....	17
3.3 DOSAGEM EXPERIMENTAL .....	21
3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA .....	26
3.5 ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICOS .....	28
3.5.1 <i>Ensaio de compressão</i> .....	28
3.5.2 <i>Ensaio de Flexão</i> .....	29
3.5.3 <i>Ensaio de condutividade térmica</i> .....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
4.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	35
4.2 ENSAIO DE FLEXÃO .....	38
4.3 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....	41
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Justificativa

O Brasil é o maior produtor de café do mundo e o estado de Minas Gerais é o mais importante produtor nacional de café, responsável por uma produção que varia entre 45 a 60% da safra brasileira e aumentando ainda mais sua participação, com um crescimento de 3,4% a.a. Por ano são milhões de sacas que geram resíduos como a palha do café, conhecida popularmente como “casca”, um recurso natural que poderá ter diversos usos, diminuindo os impactos ambientais causados pela lavoura (LINS, 2006).

Usualmente a casca do café é utilizada como fonte de adubo orgânico, Garcia et al. (2004) concluíram que a recomendação de aplicação para a casca é de 5 a 10 toneladas por hectare, pois deve-se considerar o equilíbrio entre o potássio, cálcio e magnésio no solo, visto que a casca possui um alto teor de potássio e baixo teor de magnésio e cálcio, ressaltando que no solo esses nutrientes devem sempre ficar na proporção adequada.

Hoje em dia, a escolha de um material de construção não deve levar em conta apenas o custo. Fatores como a durabilidade, o consumo energético e a interação com o meio ambiente também devem ser considerados, até porque eles influenciam diretamente no custo final do empreendimento. Neste contexto, a indústria da construção que consome muitos recursos naturais, e também gera inúmeros resíduos, deve trabalhar para converter suas práticas construtivas a fim de desempenhar um melhor aproveitamento dos recursos não usualmente utilizados, e que atendam às novas necessidades dos utilizadores (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Oliveira (2008), vários resíduos agrícolas, como cinzas do bagaço da cana, da casca do arroz, fibras vegetais e os resíduos da indústria cerâmica são candidatos para entrar na preparação do concreto e diminuir a presença de materiais convencionais na elaboração desse produto.

Os resíduos agrícolas por serem materiais de baixo impacto ambiental, são possíveis alternativas ecológicas e economicamente rentáveis na confecção de concreto leve, sendo um material rico em potássio e que contém muitos minerais, inclusive dióxido de silício que reage com o cimento (CASTRO, 2017). Assim, podemos produzir materiais mais leves, de menor custo, e agregar valor econômico aos resíduos agrícolas que são abundantes no Brasil. Outros estudos realizados por (GLORIA, 2020) e Silveira et al. (2017) mostram a viabilidade de outros resíduos como: bambu, cascas de arroz e madeira e cactos.

Neste contexto, a realização de pesquisas sobre a utilização da casca de café, possibilita um melhor entendimento sobre seu comportamento como agregado em concretos e pode contribuir com a busca pela redução do impacto ambiental gerado pelo descarte desse resíduo no meio ambiente.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo produzir bioconcretos com casca de café substituindo agregados convencionais e utilizando substituição parcial do cimento por metacaulinita visando a redução no consumo de cimento e a melhora da durabilidade do compósito.

Também tem como objetivo caracterizar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e flexão, assim como verificar a condutividade térmica do material através de pesquisa bibliográfica e de ensaios laboratoriais, e se o mesmo irá obter desempenho parecido ou superior aos testes realizados encontrados na literatura.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Café

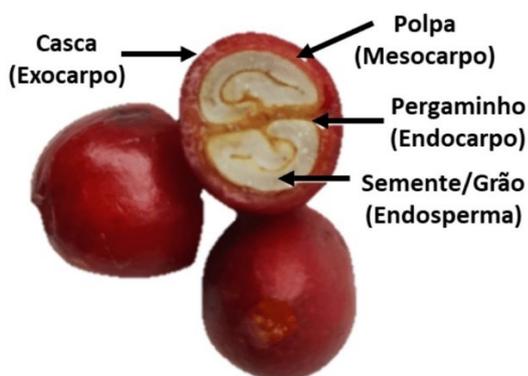
Atualmente, o Brasil é considerado o maior produtor mundial de café, exportando no período de julho de 2019 a janeiro de 2020 uma produção de 23,5 milhões de sacas de café, levando em consideração o somatório do café verde, solúvel e torrado/moído (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2020). De acordo com Dultra (2013), a atividade cafeeira produz enormes quantidades de resíduos, tendo como principal resíduo a casca do café, advindo da fase de beneficiamento e tratamento dos frutos.

Barcelos et al. (2013) descrevem como o processo do beneficiamento do café ocorre, em que o processamento de secagem é comumente realizado ao sol ou em secadores mecânicos, tendo como descarte a palha ou casca do café. Porém, o beneficiamento feito através da via úmida tem se intensificado nos últimos anos, produzindo similarmente a polpa do café.

A atividade responsável pela despolpa do café auxilia na diminuição do custo da secagem e promove melhorias na qualidade do produto enquanto bebida, entretanto, existe uma grande quantidade de resíduos sólidos, ricos em material orgânico que são descartados. Estima-se que a associação entre o café beneficiado e a casca produzida é de, aproximadamente, na proporção de 1:1 e esse resíduo gerado é retornado em partes às lavouras de café, sendo aplicado como adubo orgânico, detentor de fonte de potássio e a outra parte é descartada por não ter outra destinação (BARCELOS et al., 2013).

Barcelos e Gonçalves (2011) retratam que a diferença entre a polpa e a casca do café é basicamente determinada pela presença ou ausência do endocarpo. De acordo com Teixeira (1999), a casca do café é formada por exocarpo (casca), mesocarpo (polpa), e endocarpo (pergaminho), uma estrutura coriácea, que envolve cada semente. Já a polpa do café tem em sua composição o epicarpo (casca) e mesocarpo (polpa) como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Anatomia do fruto do café.



Fonte: ARBOR café adaptado pelo autor.

## 2.2 Beneficiamento do café

O beneficiamento do café é uma operação pós-colheita em que ocorre o descascamento dos frutos do café, e envolvem diversas etapas até o armazenamento final dos grãos de beneficiados. A colheita do café pode ser realizada por derrça manual no pano ou mecanizada, e os frutos colhidos devem ser submetidos a um processo de limpeza, que tem por finalidade separá-los de impurezas. Essa limpeza prévia pode ser feita por meio de peneiramento manual, ventilação forçada ou por máquinas de pré-limpeza, como separadores de ar e peneira. Após a pré-limpeza, os frutos do café podem ser beneficiados por dois tipos de processamento, por via seca ou via úmida (EMBRAPA, 2006).

A secagem ao sol não requer investimentos em equipamentos, e não gera custo de energia, entretanto, são necessárias grandes áreas para que seja realizado. Além disso é um processo que despande tempo, sendo lento e podendo levar de 3 a 4 semanas para obter-se os grãos secos (EMBRAPA, 2006). Os resíduos sólidos gerados neste processo são as cascas de café, este método de processamento é comumente empregado na maioria dos cafés arábica e robusta colhidos no Brasil.

O processamento por via úmida consiste na retirada da casca e mucilagem da cereja do café envolvendo o uso de água. Neste processo, a pele exterior a polpa é removida mecanicamente, e em seguida os grãos são lavados para remover a camada remanescente de polpa, para enfim passar pelo processo de secagem. Este tipo de processamento é pouco utilizado no Brasil (EMBRAPA, 2006).

## 2.3 Casca do café

No resíduo do descascamento do café pode conter o epicarpo (casca), mesocarpo (polpa ou mucilagem) e endocarpo (pergaminho). As cascas e a polpa do café são constituídas de matéria orgânica e nutriente, além de conter compostos como cafeína e polifenóis como observado na Figura 2.

Figura 2: Composição química das cascas de café

<b>Casca de Café</b>	
<b>Beneficiamento via seca</b>	
<b>(g.100g<sup>-1</sup> de material seco)</b>	
<b>Proteína</b>	8,0-11,0
<b>Lipídios</b>	0,5-3,0
<b>Minerais</b>	3,0-7,0
<b>Carboidratos</b>	58,0-85,0
<b>Cafeína</b>	~1,0
<b>Taninos</b>	~5,0

Fonte: Clifford e Ramirez-Martinez (1991); Souza et al. (2006); Gouvea et al (2009).

As cascas de café são ricas em potássio e outros nutrientes minerais, o que possibilita seu uso como fertilizante orgânico, não sendo necessário nenhum tratamento. Também já foi verificada a aplicação dessas cascas de café na produção de outros materiais, como na produção de aglomerados em substituição de madeira (até 50%), e a depender do tipo de resina utilizada, atendiam os requisitos de normais europeias no que diz ao uso geral em condições secas (BEKALO E REINHARDT, 2010) e no uso de concretos por sua reatividade dos minerais com o cimento.

## 2.4 Extrativos

A madeira possui moléculas de baixo peso chamadas extrativos. Eles são localizados no lúmen, no canal resinífero, na lamela média e, nos espaços intercelulares. Os principais são os taninos, terpenos, terpenóides, resinas, gorduras ácidas, fenóis e açúcares. Eles fornecem para a madeira propriedades como cor, o cheiro, o gosto, a resistência ao ataque de agentes deterioradores da madeira, a diminuição da permeabilidade e diminuição da higroscopicidade. Os extrativos podem ser removidos com água quente, ou ainda com solventes orgânicos, tais como etanol, tolueno e acetona (LATORRACA 2000).

Os extrativos são definidos como compostos que podem ser extraídos de materiais lignocelulósicos, tanto por solventes polares quanto apolares, que não são componentes estruturais da parede celular.

Os extrativos da madeira são de uma grande gama de compostos químicos embora representem apenas uma pequena parte da madeira. Os principais componentes da fração solúvel em água, consistem em carboidratos, proteínas e sais inorgânicos. A distinção entre os componentes extraíveis, derivados de etapas individuais de extração não é precisa em nenhum caso. Por exemplo, os taninos são principalmente solúveis em água quente (GLORIA, 2020).

Embora em menor percentual em relação aos demais componentes, o teor de extrativos tem efeitos negativos na interação cimento-madeira e é um importante indicador para sua indicação com fins industriais (SOUZA 2006).

Para minimizar ou mesmo evitar os efeitos inibidores da madeira na hidratação do cimento, algumas soluções foram propostas. Segundo Pimentel (2000), pode-se utilizar impermeabilizantes sobre as partículas de madeira, criando uma camada impermeável, que impeça a água de solubilizar os extrativos. Biblis et al. (1971) propôs a lavagem das partículas em água quente, para remover os extrativos. Vários autores, citados por Moslemi et al. (1983), consideram que alguns aditivos, como, por exemplo, o cloreto de cálcio, podem ser utilizados para acelerar a pega do cimento, normalmente usam-se sais com dosagem de 1% a 5% em relação à massa de cimento. A lavagem da casca de café em água aquecida é um dos tratamentos utilizados visando a melhoria da compatibilidade química entre cimento e biomassa.

## 2.5 Concreto

O concreto revolucionou a maneira de construir, de modo a se tornar o material mais consumido na construção civil e o segundo material mais consumido na humanidade depois da água (ISAIA, 2005).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), as razões para que o concreto seja essencial na engenharia são: suas propriedades de resistência à água, que diferente de materiais como madeira e aço, não possui grave deterioração quando em contato com a mesma; as diferentes formas com que o concreto pode ser trabalhado, o concreto fresco possui resistência plástica, favorecendo a sua entrada em moldes de tamanhos variados, e após algumas horas, endurece, e é possível retirar de fôrmas, pois ele torna-se consistente; e o baixo custo e a rapidez com que ele é disponível na obra. Isso é explicado pelo fato dos materiais que o constituem, agregado, água e cimento Portland, possuírem preços baixos e estarem disponíveis em qualquer lugar no mundo.

Cada material que integra o traço tem um papel importante na propriedade final do concreto. Brita e cimento favorecem a resistência, enquanto areia e a água interferem na consistência (METHA E MONTEIRO, 2008). Portanto, é importante conhecer as propriedades e características de cada material constituinte na mistura, a fim de garantir as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade do concreto (ETXEBERRIA et al., 2007).

O cimento Portland, ao ser misturado com a água, forma uma mistura fluida, que depende da quantidade de água adicionada. Para fazer o concreto de cimento Portland, é necessário conter essencialmente cimento, água e agregados, além de ser possível a adição de fibras, pigmentos e aditivos. A proporção desses materiais na mistura é buscada pela tecnologia do concreto, com o intuito de adquirir propriedade mecânicas, durabilidade e trabalhabilidade (ISAIA, 2007).

O concreto tem como principal característica a resistência à compressão simples. A variação de índices como de resistência se dá, principalmente, pela reação água/cimento (a/c), sendo que, quanto maior a quantidade de cimento, maior será a resistência do concreto (RECENA, 2002).

A durabilidade do concreto dependerá do local onde está inserido e como será mantido, além de fatores originários desde sua produção, como porosidade e processos de adensamento e cura. Por ser um material cerâmico, o concreto pode retrair, fazendo com que pequenas fissuras sejam causadas. Isso permite que a água e outros materiais abrasivos percolem em seu interior causando degradação (RECENA, 2002).

A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto de fluir, sem que perca a homogeneidade. Existem fatores internos e externos que afetam a trabalhabilidade do concreto. Com relação aos fatores internos, pode-se citar o traço e, através dele, as relações água/cimento e ainda a proporção entre agregado graúdo e miúdo, denominada granulometria. Quanto aos fatores externos, devem ser considerados o modo de mistura e o tipo de transporte, através de bombas, guinchos ou calhas (PETRUCCI, 1998).

## 2.6 Metacaulim

O Metacaulim é uma pozolana sílico-aluminosa, empregada como adição mineral na produção de concretos especiais, derivada normalmente da calcinação entre 600 °C e 900 °C, de alguns tipos de argilas, como as caulínicas e os caulins (SOUZA, 2003; ESCADEILLAS, 2007; SILVA, 2010). As pozolanas de alta reatividade, também chamadas de superpozolanas (materiais detentores de grande área específica e estrutura interna amorfa ou vítrea), mais conhecidas são a sílica e a cinza da casca de arroz, além do Metacaulim de alta reatividade.

As pozolanas ou superpozolanas são utilizadas como adições minerais nas produções de cimentos e de concretos, visando um melhor desempenho nas propriedades mecânicas e na durabilidade e vida útil dos materiais compósitos de cimento, argamassas, pastas e principalmente nas estruturas de concreto armado.

A ASTM C 618 (2008) e a NBR 12653 (ABNT, 2012) definem como pozolana o material silicoso ou sílico-aluminoso, que apresenta poder aglomerante na presença de umidade e em temperaturas próximas à ambiente, reagindo quimicamente com o hidróxido de cálcio produzido na hidratação do cimento. Esta reação secundária resulta, quando da produção de argamassas e de concretos, num aumento do desempenho tecnológico destas misturas, o que leva a uma diminuição de custo, quando comparado com a mistura sem adição, devido à menor necessidade de cimento para se alcançar as características desejadas.

O metacaulim quando incorporado ao concreto, assim como outras adições minerais prozolânicas de alta reatividade, promovem mudanças em sua microestrutura, e elas trazem reflexos nas características do concreto nos seus estados frescos e endurecido, corroborando para o aumento da resistência e da durabilidade do concreto. Essas melhorias ocorrem porque o hidróxido de cálcio produzido nas reações de hidratação de cimento reage com a pozolana para formar produtos de hidratação secundários que preenchem os vazios grandes, refinam a estrutura dos poros e reduzem a espessura e a micro fissuração da zona de transição, conseqüentemente, a permeabilidade do sistema é reduzida e há um aumento na resistência mecânica e na durabilidade do concreto. Ainda, a adição de pozolanas, especialmente reativas, faz com que haja uma série de transformações em sua microestrutura, que têm origem na sua ação química e física (SOUZA, 2003).

As interações física e química com o cimento Portland modificam a reologia dos compósitos concreto, argamassa e pasta, no estado fresco, e confere propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico no estado endurecido. A elevada área superficial melhora aspectos reológicos através da otimização da distribuição granulométrica da pasta, contribuindo na retenção de água, aumento da coesão, redução exsudação e segregação, facilitando o acabamento final (SOUZA, 2003).

O Metacaulim também acelera o processo de hidratação do cimento Portland, atua como filer e reage com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, formando silicato de cálcio hidratado adicional. Essas contribuições conferem aos

compósitos (concreto, argamassa e pasta) propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico, quando comparadas às propriedades desses compósitos sem a sua presença, tais como: aumento da resistência à compressão e à flexão; aumento da resistência a sulfatos; redução da porosidade e permeabilidade; resistência à difusibilidade de íons cloreto; mitigação da reação álcali-agregado e redução da ocorrência de eflorescência (SOUZA, 2003).

Visando alcançar a durabilidade das fibras vegetais em matrizes de cimento, Lima (2005) realizou vários procedimentos tanto no tratamento das fibras, quanto na modificação das matrizes. Um dos procedimentos mais eficientes foi o desenvolvimento de matrizes livre de hidróxido de cálcio, através da substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos. Assim, Lima (2005) desenvolveu uma matriz livre de hidróxidos de cálcio substituindo parcialmente 30% do cimento por metacaulinita.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O programa experimental para a verificação da resistência e da condutividade térmica do biconcreto contendo casca de café foi desenvolvido em três etapas. A primeira etapa consistiu na preparação e coleta do material (cimento, aditivos e casca de café) e na remoção dos extrativos no café.

A segunda etapa consistiu na escolha do traço de referência do concreto e a moldagem dos corpos de prova, conforme os procedimentos da NBR-5738 (ABNT, 2003) e seguindo os processos de pesagem, desmoldagem, armazenamento e cura.

Na terceira etapa realizou-se o rompimento dos corpos de prova de concreto, para a verificação da resistência à compressão e flexão conforme a NBR-5739 (ABNT, 2007) e sua condutividade térmica pelo ensaio HOT BOX, que consistiu em expor o bioconcreto a diferentes temperaturas e acompanhar sua variação térmica.

#### **3.1 Caracterização dos materiais**

##### **3.1.1 Casca do café**

A casca do café utilizada foi procedente do resíduo agroindustrial da Inovacafé, agência de inovação do café vinculada à Pró-Reitoria de pesquisa (PRP) que desenvolve estudos, pesquisas e inovações para promover o empreendedorismo no setor agroindustrial do café, localizada na Universidade Federal de Lavras, situada na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. A casca foi obtida pelo processo de descascador por via seca do café da espécie *Coffea Arabica*.

##### **3.1.2 Cimento**

Para a produção dos bioconcretos foi utilizado o Cimento Portland CP V – ARI, de alta resistência inicial. De acordo com o fabricante, o produto cumpre as exigências da NBR-5733 (ABNT,1991) e é indicado para o uso de concretos e argamassas industrializadas. O cimento Portland de alta resistência inicial é fabricado através da moagem do clínquer Portland e a adição de sulfato de cálcio, sua resistência à compressão nas primeiras idades de ensaio são próximas às de 28 dias, portanto mais próximos possíveis dos resultados finais.

##### **3.1.3 Metacaulim**

O Metacaulim utilizado foi da marca Metacaulim do Brasil, para uso em cimento Portland em concreto, argamassa e pastas seguindo a norma NBR-12653 (ABNT, 1992).

##### **3.1.4 Água**

A água utilizada em toda a fase experimental foi a proveniente da rede de abastecimento da cidade de Lavras em Minas Gerais.

### **3.1.5 Aditivos químicos**

#### **a) Superplastificante**

Para a produção dos compósitos foi utilizado o aditivo superplastificante Glenium 51 de tipo éter policarboxílico, da marca BASF. Segundo o fabricante, o produto reduz a quantidade de água, melhora a trabalhabilidade e produz concretos com alta qualidade, o dispersante tem uma densidade em torno de 1.073 kg/m<sup>3</sup> e o pH em torno de 6.

#### **b) Cloreto de cálcio**

O cloreto de cálcio puríssimo anidro foi utilizado com o objetivo de acelerar a pega do cimento. O teor de 3% em relação à massa de cimento foi usado, se baseando no bom desempenho nas pesquisas realizadas por Fuwape et al. (1993), Latorraca (2000), Pimentel (2000) e Iwakari et al. (2012).

#### **c) Agente modificador de viscosidade (VMA)**

No intuito de garantir a coesão dos bioconcretos, evitar a exsudação da pasta de cimento e a segregação da casca de café, foi utilizado o agente modificador de viscosidade. O VMA é um aditivo em pó branco a base de polímeros de celulose que aumenta a viscosidade da pasta de cimento, e incrementa a capacidade de retenção de água, proporcionando boa trabalhabilidade à mistura.

## **3.2 Tratamento da casca do café**

A casca de café utilizada estava armazenada em tambores plásticos vedados à temperatura ambiente até sua utilização. As cascas coletadas foram peneiradas na peneira 1,18 mm, para retirar sua parte fina, para evitar a liberação de maiores quantidades de extrativos e a maior absorção de água, devido a sua grande área específica. Assim, no trabalho foram utilizadas as partículas maiores que 1,18 mm.

O procedimento para remoção dos extrativos consistiu na lavagem da casca de café em água quente (80°C). Inicialmente, a água foi levada à temperatura de 30°C +/- 5°C, com auxílio de aquecedor elétrico. Ao atingir essa temperatura, as cascas de café foram adicionadas. A água demorou por volta de quarenta minutos para que atingisse a temperatura desejada e após atingir os 80°C a lavagem demorou mais uma hora, seguida por trinta minutos de resfriamento e troca de água. Depois da primeira lavagem, foi observada uma forte coloração escura da água, devido à grande presença dos extrativos, como o extrativo responsável pela cor.

Figura 3: a) Primeira lavagem das cascas de café; b) Lavagem atingindo a temperatura de 80°C; c) Segunda lavagem das cascas de café; d) Retirada do banho-maria para a preparação de um novo ciclo.



a)



b)



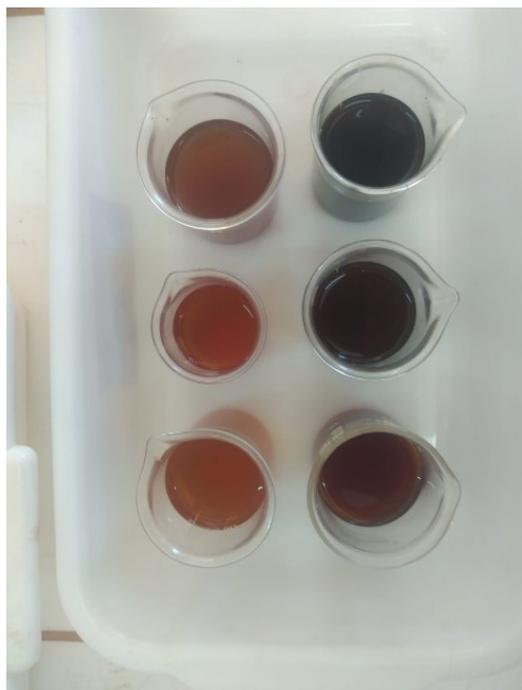
c)



d)

A variação da coloração da água foi analisada fazendo mais ciclos de lavagem até a observação de uma coloração mais clara, e a diferença entre as colorações não ser mais tão perceptível visualmente, sinônimo de que grande parte dos extrativos foi retirada. Desse modo foram realizados 6 ciclos (lavagem, resfriamento e troca de água). Todo o procedimento foi realizado seguindo as recomendações de Glória et al. (2020).

Figura 4: a) Mudança da coloração entre os ciclos de lavagem; b) Sequência da mudança de coloração entre os 6 ciclos de lavagem; c) Detalhe da coloração da água após o primeiro ciclo; d) Detalhe da coloração da água após o sexto ciclo.



a)



b)



c)



d)

Uma vez lavada, as cascas foram secas na estufa à 40°C por quarenta e oito horas, tempo suficiente para que as cascas ficassem secas.

Figura 5: a) Cascas de café após secarem na estufa por 48 horas; b) Casca de café armazenadas em sacos plásticos para utilização.



a)



b)

### 3.3 Dosagem experimental

A dosagem dos bioconcretos pode ser definida como a determinação das proporções dos seus constituintes, sejam eles, os bioagregados, a água, os ligantes e eventualmente os aditivos, de maneira que os bioconcretos atendam aos requisitos de trabalhabilidade e aplicabilidade. De modo semelhante ao concreto, espera-se que no estado fresco, o bioconcreto tenha trabalhabilidade adequada para o transporte, o lançamento e o adensamento sem ocorrência de segregação. No estado endurecido, o bioconcreto deve apresentar resistência mecânica e durabilidade para responder às solicitações durante seu uso (GLÓRIA, 2020).

Nos estudos realizados por Iwakiri et. al. (2011) a matriz que desenvolveu um espalhamento mais próximo da referência foi a com substituição de 30% do cimento. Com a adição de metacaulinita observa-se uma redução significativa do espalhamento, devido à sua capacidade de retenção de água.

Tomando como base os estudos referentes aos bioconcretos desenvolvidos por Glória et al (2020), foi desenvolvido um traço experimental de 1:0,3:0,3:0,6, sendo uma parte de cimento CPV, 0,3 de Metacaulim, 0,3 de cascas de café, e a relação água/cimento de 0,6. Sendo a casca do café representativa de 50% do volume total dos materiais. As características de densidade dos materiais, as dimensões e quantidades de amostras utilizadas e o traço para produção dos bioconcretos estão descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Densidade dos materiais e volume dos corpos-de-prova

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Dimensões CP	1 cilindro	10 cilindros
Cimento	3200	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Metacaulim	2650	196,3438	0,000196	0,00196
Água	1000	Dimensões CP	1 prisma	10 prismas
Café	290	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
		256,0000	0,000256	0,00256

Tabela 2: Traço experimental

Traço experimental				
Relação	1,00	0,60	0,30	0,30
m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	kg
Volume	Cim	Água	Mtk	Café
0,0001963	0,0953	0,0572	0,0286	0,0286
1,000000	485,3921	291,2352	145,6176	145,6176

No processo experimental, todos os materiais foram pesados separadamente. Após a mistura de todos os componentes, foi observado a falta de trabalhabilidade, provavelmente devido à casca do café ter absorvido água da mistura. Isso pode ter ocorrido pelo fato de as cascas estarem secas, e terem grande área superficial, fazendo com que não houvesse coesão entre a maioria dos componentes. Sendo assim, foi-se

adicionando água em quantidades fracionadas, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade. Depois da adição do dobro de água na mistura, o concreto ainda apresentava baixa trabalhabilidade, deste modo, para evitar o uso de maiores quantidades de água e a segregação dos materiais, foi adicionado o aditivo superplastificante aos poucos na mistura, até alcançar a trabalhabilidade desejada.

Após realizar a mistura, a medição do índice de consistência foi realizada utilizando a mesa de consistência, de acordo com a NBR 132760 (ABNT, 2005). O ensaio consistiu em montar um corpo de prova em forma de cone em 3 camadas, sendo apilado com 15 golpes por camada. Após a retirada do molde são realizados 25 golpes na velocidade de 1 golpe por segundo para a verificação da consistência do bioconcreto.

Quando o molde foi retirado, pode-se notar que a pasta de cimento e água estava separando da mistura, indicando que a dosagem dos materiais não estava ideal, conforme observado na Figura 6.

Figura 6: a) b) c) d) Exsudação da pasta de cimento da mistura; e) f) g) Molde após os 25 golpes do ensaio de consistência.



a)



b)



c)



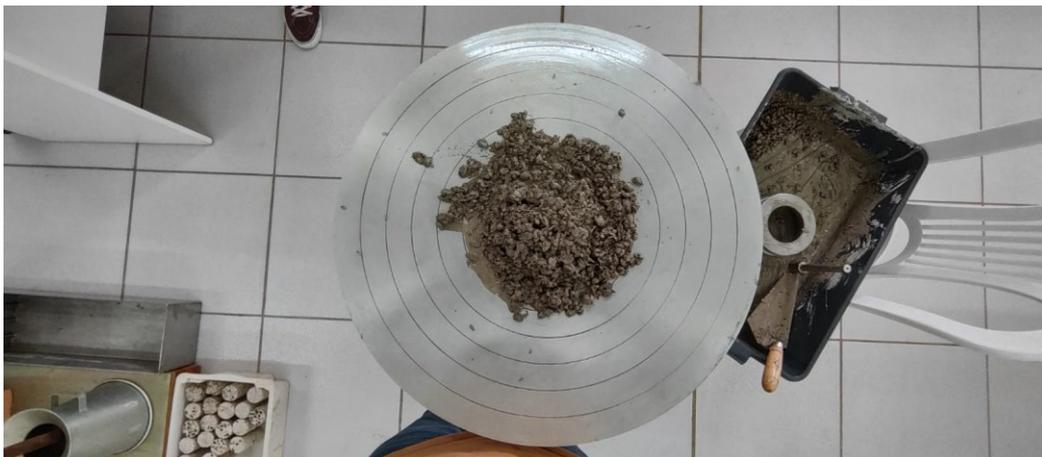
d)



e)



f)



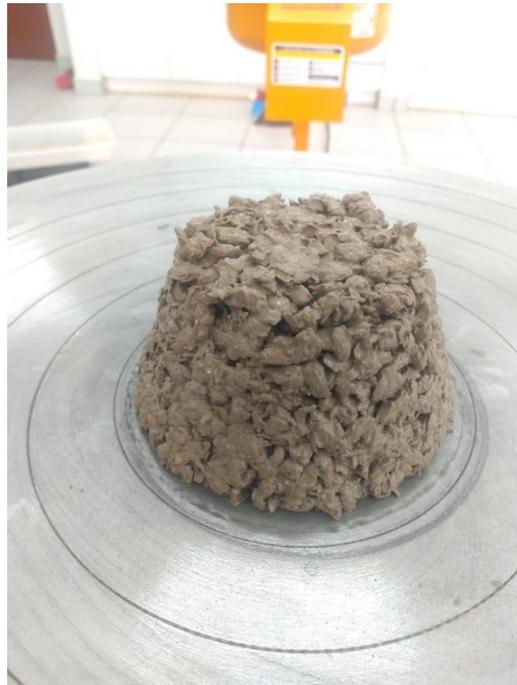
g)

Assim, voltando a mistura para a argamasseira, foi adicionado uma pequena quantidade de VMA que é um material fino retentor de água.

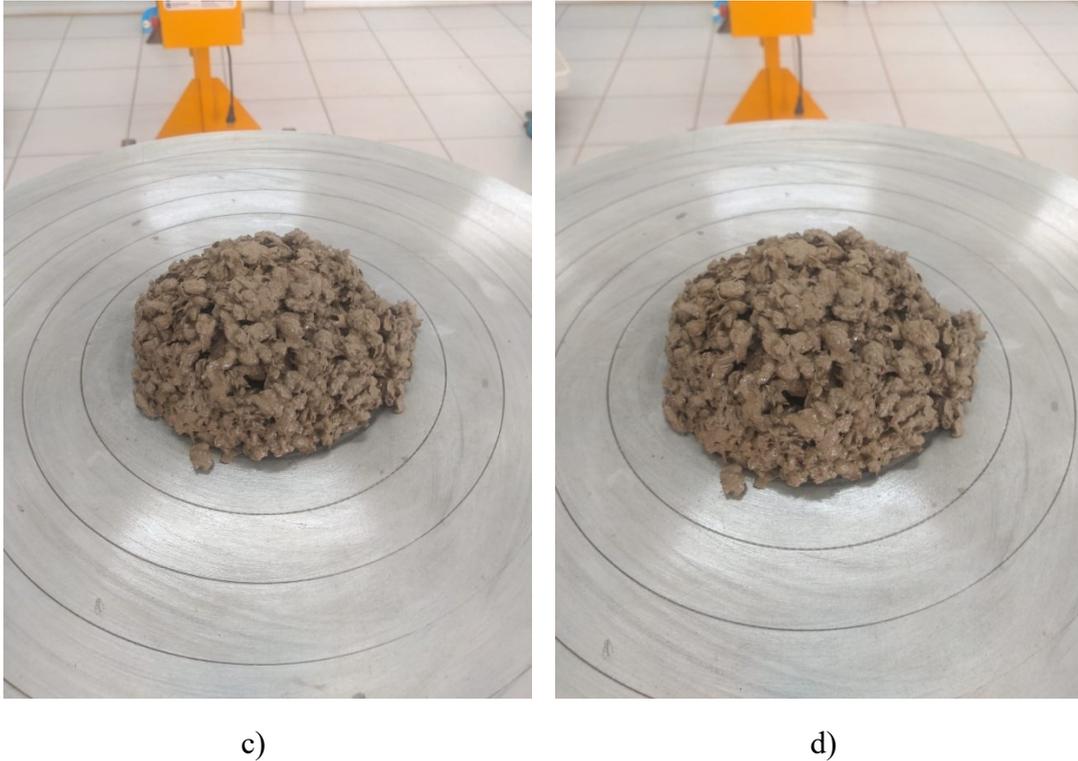
Figura 7: a) b) Moldes após a adição do VMA; c) d) Espalhamento após os 25 golpes no ensaio de consistência.



a)



b)



Ao realizar novamente o ensaio de coesão, a mistura final não exsudou (Figura 7), e o diâmetro após os 25 golpes ficou em média 14,77 cm, uniformemente distribuído na mesa (Tabela 3). Indicando que o traço de 1:0,3:0,3:1,2:1,1% (aditivo plastificante):0,08% (VMA) foi bem sucedido (Tabela 4)

Tabela 3: Média do espalhamento do ensaio de consistência

Amostras	Espalhamento (cm)
1	14,50
2	15,00
3	14,80
média	14,77

Tabela 4: Traço experimental final

Relação	Traço experimental			
	1,00	1,20	0,30	0,30
m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	kg
Volume	Cim	Água	Mtk	Café
0,0001963	0,0738	0,0885	0,0221	0,0221
1,000000	375,9130	451,0955	112,7739	112,7739

### 3.4 Moldagem dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova de concreto ocorreu de acordo com a NBR-5738 (ABNT, 2003), que regulamenta o procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto.

Primeiramente, foi realizada a pesagem dos materiais devidamente secos, atendendo a quantidade exigida para o traço estudado.

Os moldes utilizados receberam uma fina camada de desmoldante a base de óleo mineral, a fim de que o concreto não grude nas paredes do molde e consequentemente dificulte a retirada do bioconcreto (NBR 5738 ABNT, 2003).

Na produção dos compósitos de casca de café, com os materiais pesados e separados em recipientes diversos, a sequência de mistura consistiu em:

- Mistura prévia da água e do cloreto de cálcio (em recipiente);
- Lançamento fracionado do cimento CPV-ARI e metacaulim na argamasseira, misturando-os por 30 segundos;
- Lançamento fracionado das cascas de café no seu estado superficialmente seco por 1 minuto;
- Adição progressiva da água total durante 1 minuto;
- Mistura do conjunto por 1 minuto;
- Retirada de materiais aderidos no fundo da argamasseira para melhor homogeneização da mistura;
- Adição do aditivo superplastificante à mistura;
- Mistura por 2 minutos;
- Adição de VMA, para melhorar a viscosidade da massa;
- Mistura por 1 minuto;

No final da mistura, os compósitos frescos foram colocados em três camadas nos moldes cilíndricos para ensaios de compressão e moldes retangulares para ensaio de flexão, previamente lubrificados por óleo mineral. Cada camada foi adensada manualmente por meio de haste, e depois do adensamento da última camada, os corpos-de-prova foram vibrados mecanicamente com o uso da mesa vibratória (68 Hz) por 10 segundos.

Também foi feito um molde em uma placa retangular de 10x15 cm de 2 cm de espessura, para realização do ensaio de condutividade térmica.

Os corpos de prova foram mantidos por uma semana nos moldes, protegidos da perda de umidade com plástico filme PVC. Depois de desmoldados os corpos de prova já apresentavam boa rigidez e completaram a idade de cura de 28 dias a umidade relativa ambiente (Figura 8 – c).

Figura 8: a) Preparação do bioconcreto na argamasseira mecânica; b) Mistura pronta para ser colocada nos moldes; c) Moldes protegidos com plástico filme para não perderem muita umidade no processo de cura.



a)



b)



c)

### 3.5 Ensaios mecânicos e físicos

Quando os corpos-de-prova de concreto completaram a idade de cura de 28 dias, foram realizados os ensaios de compressão axial e flexão conforme NBR-5739 (ABNT, 2007).

Figura 9: Corpos-de-prova prontos para realização dos ensaios.



#### 3.5.1 Ensaio de compressão

No ensaio de compressão foi utilizado a máquina universal de ensaios da UEPAM/UFLA.

Para determinação da resistência à compressão foram ensaiados cinco corpos-de-prova cilíndricos de 5cm de diâmetro por 10 cm de altura. O ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos, com auxílio de softwares para monitorar e controlar a velocidade de deslocamento de 0,1 mm/minuto, e só foi paralisado quando ocorreu uma queda de força que indicou a ruptura do corpo-de-prova. Para a execução do ensaio, os corpos-de-prova estavam com as superfícies limpas e foram colocados de maneira centralizada com relação aos pratos da prensa.

Para determinar o cálculo de resistência à compressão, será utilizada a seguinte equação:

$$F_{ck} = \frac{F}{\pi * r^2}$$

$F_{ck}$  = resistência a compressão característica em Mpa;

$F$  = força máxima alcançada em Newtons;

$\pi = 3,1415$ ;

$r$  = raio do corpo-de-prova em milímetros.

Figura 10: a) Corpo-de-prova sendo comprimido axialmente; b) Corpo-de-prova após a primeira fratura.



a)

b)

### 3.5.2 Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão é um método de teste utilizado para determinar a resistência e o comportamento de materiais quando submetidos a cargas aplicadas em sua superfície, gerando uma curvatura ou flexão. Esse ensaio tem como objetivo avaliar a capacidade de um material de resistir à flexão e deformação sem sofrer fraturas ou falhas.

Para a determinação da resistência à tração na flexão foram ensaiados 6 corpos-de-prova prismáticos de 4cm x 4cm x 16 cm. O equipamento utilizado foi o mesmo do ensaio de resistência à compressão, com mudança da base para três apoios, onde a carga é aplicada gradualmente no corpo-de-prova com velocidade de deslocamento de 0,3 mm/minuto. À medida que a carga é aplicada, o corpo-de-prova começa a deformar-se e a curvar-se, gerando tensões internas no material.

Figura 11: a) Ensaio de flexão com 3 apoios; b) Corpo-de-prova após a primeira fratura.



a)

b)

Para determinar o cálculo de resistência à tração por flexão, será utilizada a seguinte equação para corpos prismáticos:

$$f_{ctm,fl} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

Onde:

$f_{ctm,fl}$  = resistência à tração por flexão (Mpa);

$F$  = carga máxima (N);

$L$  = comprimento do vão (mm);

$b$  = largura da viga (mm);

$d$  = altura entre o topo do entalhe e o topo da viga (mm).

### 3.5.3 Ensaio de condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi realizado pelo “hot box” (Figura 12), elaborado pelo grupo de estudos do Laboratório de Compósitos Lignocelulósicos da Universidade Federal de Lavras. Projetado para fornecer as temperaturas dos sensores

em diferentes pontos da amostra de maneira simples e precisa em uma faixa de temperatura de 0°C a 50°C.

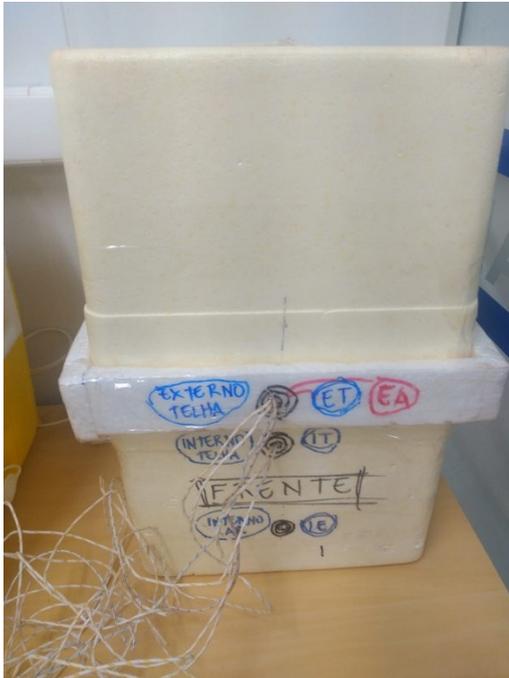
O hot box é feito de material isolante térmico revestida de papel alumínio refratado, vedado, com sensores de temperatura Tipo K em 4 pontos e em diferentes distâncias do material analisado. Ele utiliza uma lâmpada incandescente de 110 W como fonte de calor constante (Figura 12 – b), resultando em um aumento da temperatura na interface entre o sensor e a amostra.

Esse aumento da temperatura na interface exposta à fonte de calor é analisado e comparado com a temperatura dos sensores na parte inferior da amostra, permitindo que seja estudada essa diferença de temperatura, resultante da condução do calor pela amostra.

O software piclog é responsável por informar em intervalos de tempo pré-determinados a temperatura exata do sensor no intervalo de 1 hora e meia com o material exposto à fonte de calor, e após esse período, a mesma amostra sendo resfriada pela retirada dessa lâmpada, sendo analisada também por 1 hora e meia.

A amostra utilizada no ensaio, foi uma placa de espessura de 2 cm, com 15 cm de comprimento e 10 de largura. A placa foi fixada no centro da caixa e serviu de barreira ao fluxo de calor entre a lâmpada e o fundo do EPS. A fixação foi realizada com o auxílio de uma “cama” de madeira revestida de papel alumínio e EPS (Figura 12 - e).

Figura 12: a) Hot box; b) Lâmpada de 110W utilizada como fonte de calor; c) Sensores de temperatura espalhados ao longo da parte inferior da caixa; d) Suporte para fixação do corpo-de-prova; e) Corpo-de-prova com sensores na parte superior e inferior fixadas diretamente nas faces; f) Controladora dos sensores de temperatura que fornecem os dados para o aplicativo piclog.



a)



b)



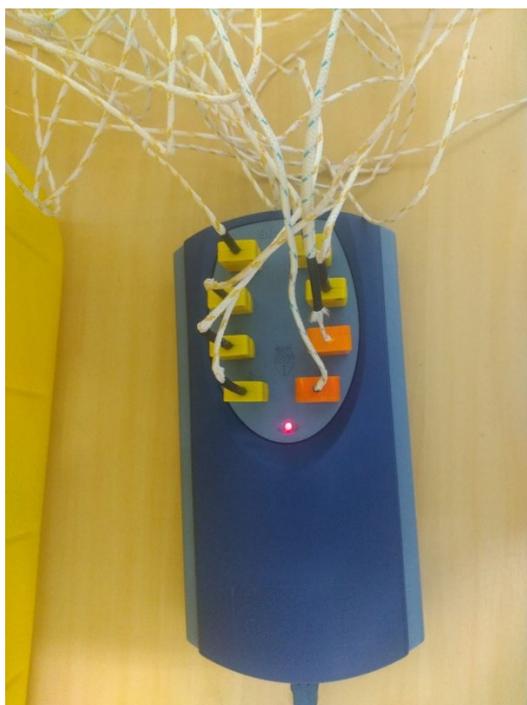
c)



d)



e)



f)

Para determinar o coeficiente térmico do corpo-de-prova, foi empregada a fórmula de fluxo de calor determinada pela lei de Fourier, conforme a seguir:

$$\Phi = k * A * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Onde:

$\Phi$  = fluxo de calor (W)

$k$  = condutividade térmica  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$A$  = área do corpo de prova ( $m^2$ )

$\Delta T$  = diferença de temperatura das faces do corpo de prova (K)

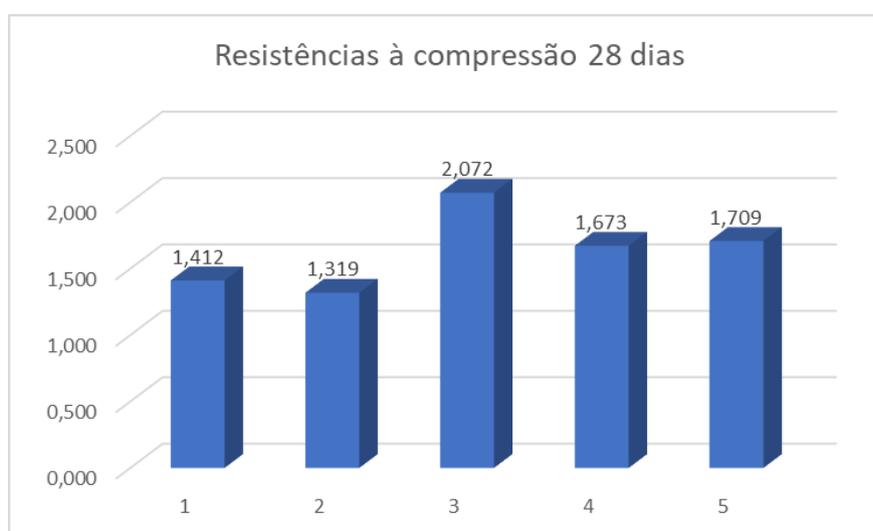
$\Delta x$  = espessura do corpo de prova (m)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaio de compressão axial

Os compósitos de cimento e biomassa de café foram avaliados sob os esforços de compressão após 28 dias de cura do concreto. Esta análise tem como finalidade avaliar a influência da inserção de cascas de café no comportamento mecânico do bioconcreto. A resistência à compressão e a deformação na resistência máxima estão representadas na figura a seguir:

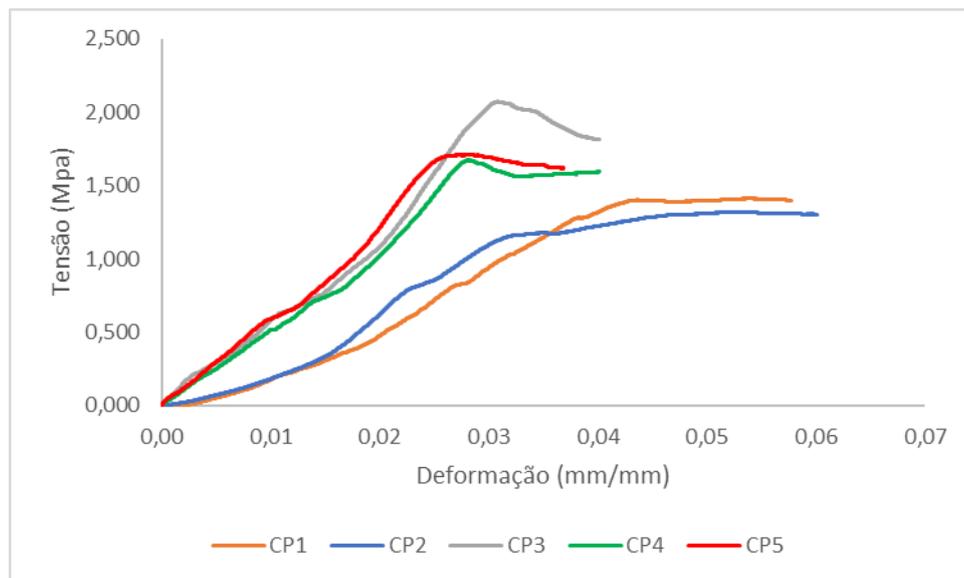
Figura 13: Resistência dos corpos-de-prova sob compressão axial aos 28 dias



Segundo Silva Neto (2020), o comportamento dos bioconcretos com matriz de cimento, quando submetidos à compressão uniaxial, apresenta algumas fases:

Fase quase-linear ou linear: fase caracterizada pelos valores do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson do concreto. A deformação residual é aproximadamente nula durante o carregamento. Surgimento de microfissuras: O coeficiente de Poisson permanece constante, enquanto há diminuição da rigidez. A deformação residual longitudinal aumenta. Desenvolvimento rápido de microfissuras: As deformações residuais aumentam rapidamente e ocorre uma maior redução da rigidez. Este é o ponto de maior acumulo de tensão indicado pela inversão do sentido da curva no gráfico. Aparição e propagação de microfissuras devido à localização da deformação. A deformação aumenta enquanto a rigidez tende a ficar nula. Aumento da deformação com diminuição gradual da tensão. A velocidade de propagação das fissuras diminui devido ao atrito entre os agregados.

Figura 14: Gráfico tensão x deformação



Analisando a figura 14, no CP1 e CP2 podemos observar que mesmo após atingir um pico de tensão eles ainda se mantiveram estáveis enquanto deformavam, sem nenhuma queda brusca de resistência. O CP3 e CP5 tiveram uma curva muito parecida, atingindo o pico de resistência e tenderam a queda ao longo em que o corpo-de-prova deformava. O CP4 após o pico de resistência, ocorreu uma queda, mas logo se manteve uma estabilidade, indicando possível rearranjo da estrutura após algum tipo de fratura, gerando mais atrito entre os agregados enquanto se deformava.

Quando comparada com valores da literatura para concretos convencionais, como o de traço de 1:3,14:3,77:0,6 do concreto de 25 Mpa, podemos perceber que os compósitos com biomassa de casca de café apresentam valores muito inferiores às resistências alcançadas por concretos com agregados convencionais, tais como, areia e brita graduada. Isto já era esperado pelo fato de as cascas de café possuírem baixa resistência e baixa densidade, seu uso se deve ao fato de ser um material leve e com grande disponibilidade como resíduo agroindustrial.

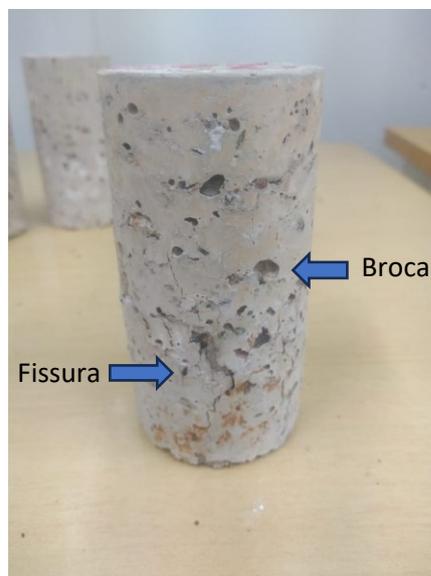
Mesmo assim ainda podemos observar que após atingir o pico de resistência, os corpos-de-prova não cisalharam por completo, indicando uma maior resiliência do objeto. Como é um material leve e de baixa densidade sua utilização não tem finalidade estrutural, sendo mais indicado para vedação.

As microfissuras em sua superfície ocorreram pela não uniformidade do material, possivelmente causadas pela falta de homogeneização da mistura nos moldes, levando os corpos-de-prova a atingirem menores valores de resistência máxima. Na Figura 15, podemos observar algumas brocas que se formaram no processo de cura dos corpos-de-prova, assim como as fraturas desenvolvidas após o ensaio de compressão.

Figura 15: a) CP1 após ensaio de compressão; b) CP2 após ensaio de compressão; c) CP3 após ensaio de compressão; d) CP4 após ensaio de compressão; e) CP5 após ensaio de compressão.



a)



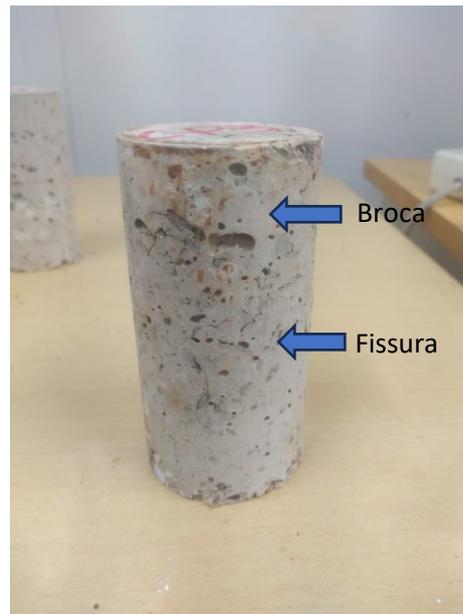
b)



c)



d)



e)

#### 4.2 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão em 3 pontos é um dos ensaios mais realizados para caracterizar os bioconcretos, este ensaio nos permite construir uma curva tensão – deflexão para a avaliação do comportamento mecânico dos materiais.

Com os dados obtidos foi possível calcular a máxima resistência à tração na flexão de cada corpo-de-prova, os valores obtidos estão dispostos no gráfico a seguir:

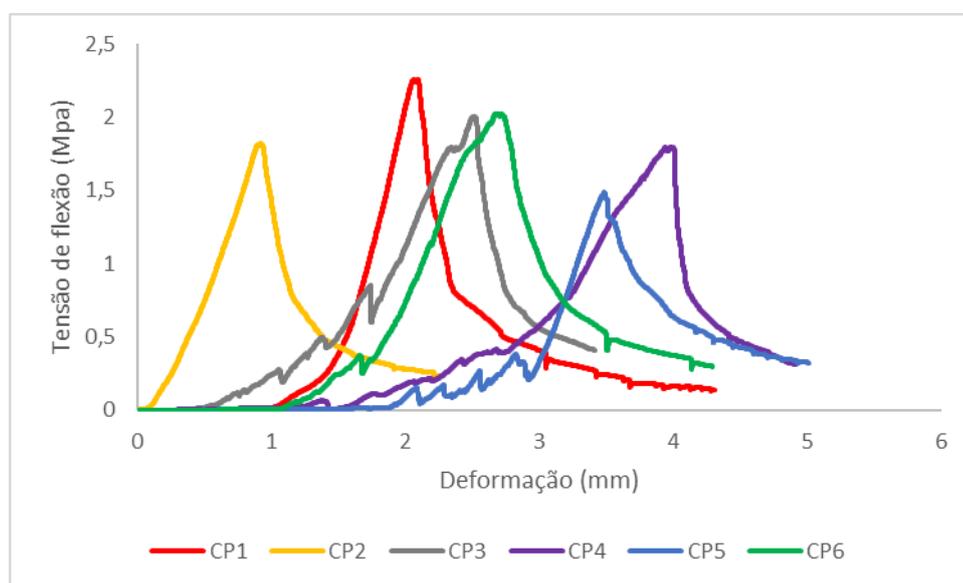
Figura 16: Resistência à tração na flexão aos 28 dias.



Segundo Silva Neto (2018), as curvas podem ser analisadas de acordo com a decomposição de fases do concreto na flexão:

Fase linear: Caracterizada pela presença de microfissuras à superfície da zona tracionada do corpo-de-prova, enquanto a rigidez permanece constante. Aparição de microfissuras no interior do corpo-de-prova, caracterizado por um comportamento não linear pré-pico. A rigidez em flexão diminui progressivamente e as deformações residuais começam a surgir. Deformação de amolecimento: A rigidez em flexão diminui significativamente com criação de microfissuras, promovida pela acumulação de microfissuras. Aumento rápido da deformação de amolecimento com lenta diminuição de carga, indicando o final da curva.

Figura 17: Gráfico Tensão de flexão x deflexão



A partir da figura 16, podemos observar que os corpos-de-prova apresentaram uma média de resistência de 1,9 Mpa.

Os ensaios foram parados antes da ruptura total dos corpos-de-prova, onde já era possível observar grandes trincas e a tensão quase nula ao longo do aumento do deslocamento.

O CP1, CP2 e CP6 apresentam um comportamento quase linear até sua tensão de pico, já os CP3, CP4 e CP5 o comportamento até o pico é não linear. Isto pode ter ocorrido pelo aparecimento de fissuras no interior do corpo-de-prova na zona tracionada. No geral todas as curvas apresentam um perfil esperado de comportamento para bioconcretos corroborando com os estudos realizados por Silva Neto (2018), como material semi-frágil.

Outro fator que pode ter ocasionado o aumento da resistência é a forma em que as casca de café estão inseridas ao longo do compósito. Por serem materiais de grande área superficial, durante o esforço de tração onde a pasta de cimento tem pouca

resistência, a casca de café atua como ancoragem entre os materiais, dificultando o cisalhamento do corpo-de-prova. Glória et al (2020) e Silveira et al. (2017) desenvolveram estudos que comprovam que a utilização de fibras vegetais aumenta a resistência à tração na flexão de bioconcretos.

Na Figura 18, podemos observar as superfícies fraturadas dos corpos-de-prova. Foi possível observar tanto o arrancamento quanto o descolamento das cascas de café.

Figura 18: a) Superfícies fraturadas CP1; b) Superfícies fraturadas CP2; c) Superfícies fraturadas CP3

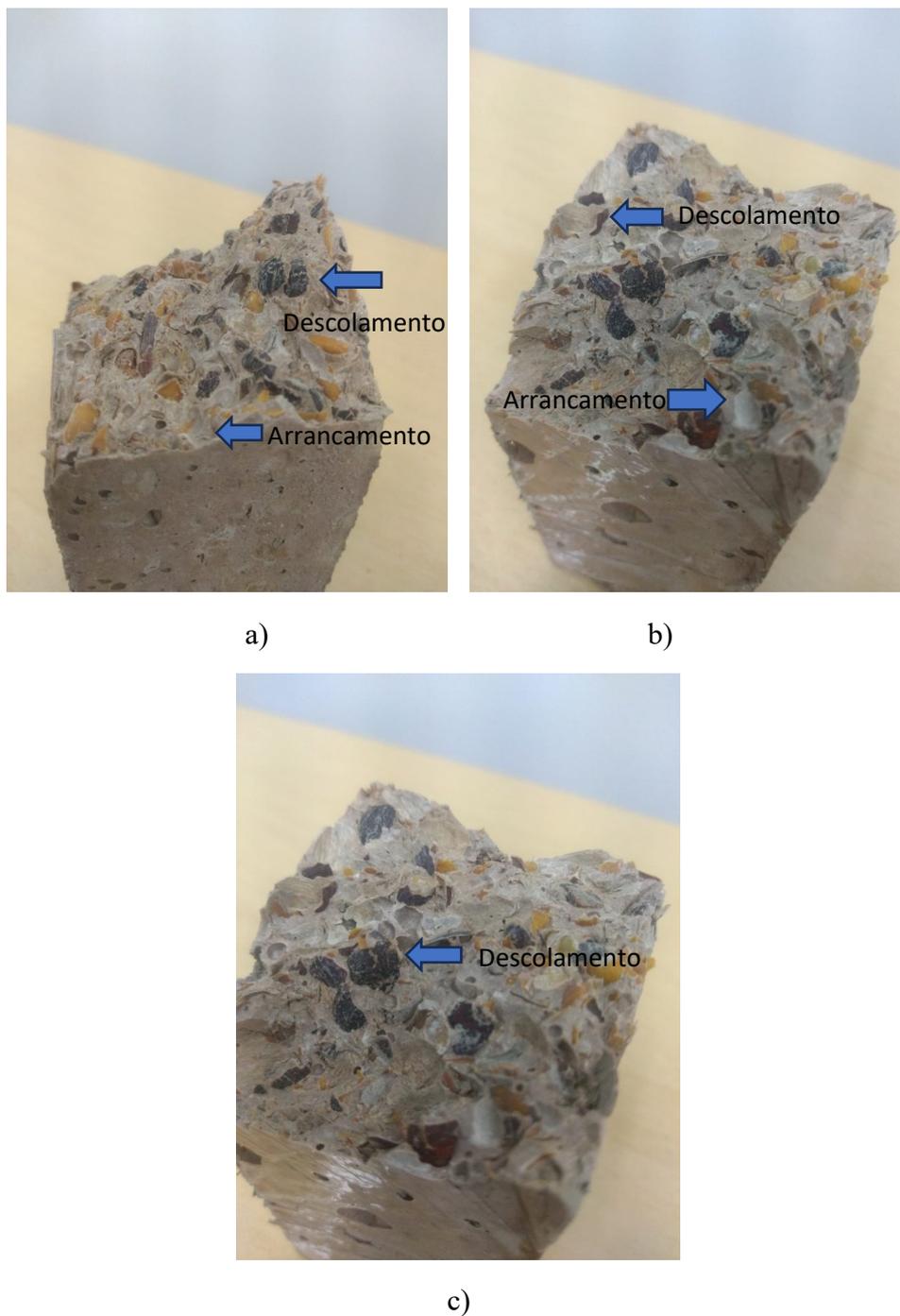
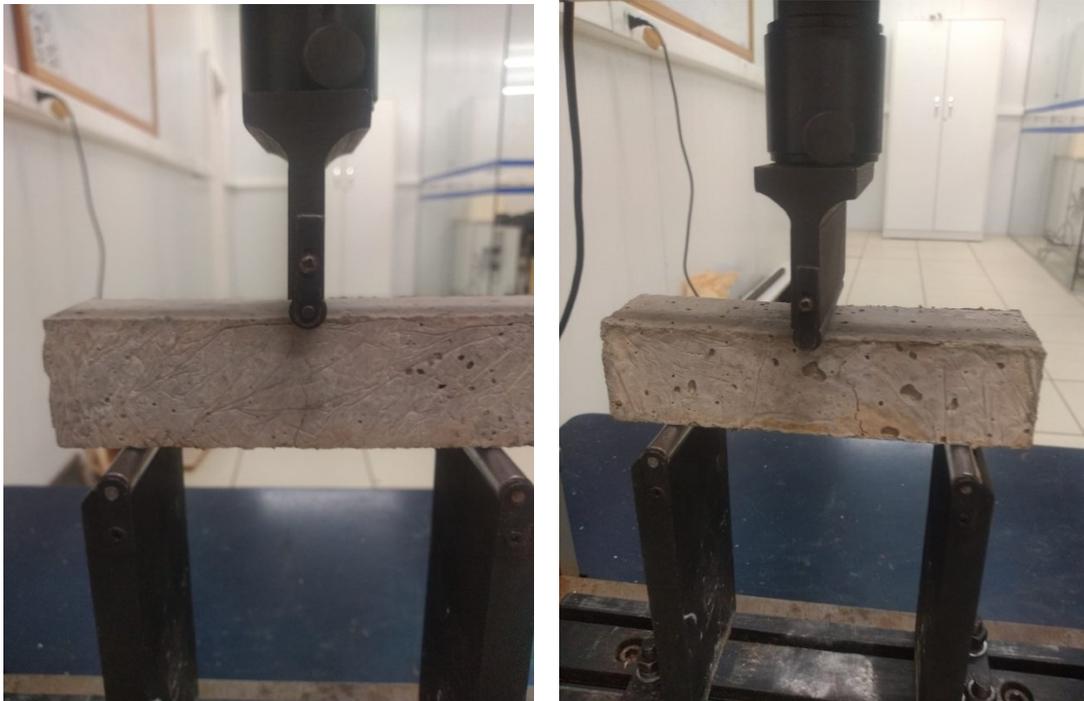


Figura 19: a) b) Corpo-de-prova no ensaio de tração por flexão após primeiras fissuras.



a)

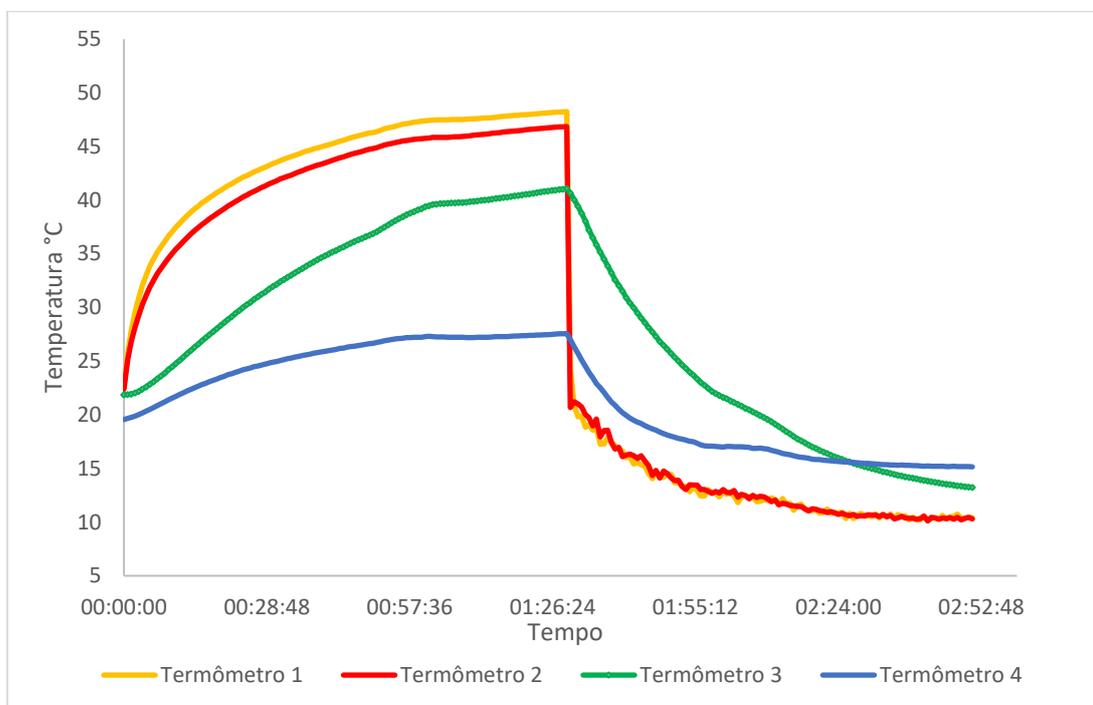
b)

#### 4.3 Ensaio de condutividade térmica

Os resultados obtidos pelo ensaio de condutividade térmica estão ilustrados na Figura 29, onde foi possível observar que a temperatura das faces do corpo-de-prova de dimensões 100x150x20 mm, não variou muito em comparação com o resto do ambiente.

O gráfico a seguir mostra a variação da temperatura dentro do hot box ao longo do ensaio, nos sensores superiores, que estavam mais próximos à lâmpada e nos sensores diretamente ligados ao corpo-de-prova.

Figura 20: Gráfico temperatura x tempo



Os sensores dos termômetros 1 e 2 estavam mais próximos à lâmpada, cerca de 10 cm para o sensor 1 e 6 cm para o sensor 2. O sensor 3 estava diretamente fixado na parte superior do corpo-de-prova, enquanto o sensor 4 ficou fixado na face oposta à lâmpada.

Segundo o gráfico podemos observar que a face que estava diretamente recebendo calor teve um aumento gradual de temperatura, indicado pelo termômetro 3. Enquanto a face oposta a incidência direta, indicada pelo termômetro 4, teve seu aumento muito mais brando, indicado pela curvatura no gráfico.

O maior valor aferido pelo sensor 3 foi de  $41,07^{\circ}\text{C}$  no tempo de 1 hora e 29 minutos e 15 segundos, nesse mesmo tempo o sensor 1 apresentava valor de  $48,25^{\circ}\text{C}$ , o sensor 2 de  $46,85^{\circ}\text{C}$  e o sensor 4 de  $27,57^{\circ}\text{C}$ . Após a retirada da lâmpada e colocado os copos de gelo em seu lugar, podemos ver a queda abrupta da temperatura indicada pelos sensores 1 e 2, e uma queda menos acentuada dos sensores 3 e 4, indicando uma demora maior em perder calor para o ambiente. No período de 2 horas e 27 minutos, observamos as curvas dos sensores 3 e 4 se cruzarem indicando que a parte exposta indiretamente ao calor da lâmpada conseguiu manter uma temperatura maior que a exposta diretamente, indicando uma baixa condutividade térmica.

Utilizando a formulação de fluxo de calor determinada pela lei de Fourier, foi encontrado um coeficiente de condutividade térmica de  $0,5119 \text{ W/m.K}$ . No trabalho

desenvolvido por Silva Neto (2018) os compósitos sem reforço de fibras vegetais, com traço correspondente ao comercial (fck 25 Mpa) utilizados com valores de referência, apresentaram coeficientes de condutividade térmica de 0,88 W/m.K.

Assim, o bioconcreto com casca de café conseguiu apresentar um coeficiente de condutividade térmica 42% menor do que o concreto sem utilização de fibras vegetais, utilizado como referência.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho estuda o comportamento do bioconcreto com biomassa de casca de café aos 28 dias, sob esforços de compressão, flexão e sua condutividade térmica. Para esse fim, um bioconcreto foi produzido com 100% de substituição de agregados convencionais por casca de café.

O ensaio de compressão axial permitiu um monitoramento do compósito sob carga contínua e demonstrou uma resistência média de 1,64 Mpa para os cinco corpos-de-prova testados. O baixo valor de resistência à compressão pode estar relacionado com a pouca homogeneidade das amostras, visto que as mesmas apresentavam algumas brocas, o que pode ter influenciado na abertura de fissuras em pontos mais frágeis e com isso a diminuição da tensão máxima obtida.

Os resultados de resistência à tração na flexão das vigas demonstraram maiores valores em média, quando comparados aos resultados de resistência à compressão, com resistência de 1,90 Mpa, valor 13% maior. Isto pode ter ocorrido devido aos corpos-de-prova prismáticos estarem mais uniformes e preenchidos, diminuindo a propagação das fissuras como ocorreu com os blocos cilíndricos do ensaio de compressão. Assim como, também pode ter ocorrido de as cascas de café influenciarem na resistência ao cisalhamento, atuando como grampos que impediram a separação da pasta de cimento.

Apesar das baixas resistências encontradas, o resultado ainda se mostrou satisfatório, visto que o compósito cimento-café não tem como finalidade o uso estrutural, podendo ser utilizado como painéis de vedação.

Analisando seu comportamento físico, a pesquisa realizada foi bem sucedida em desenvolver um compósito natural composto por resíduo orgânico agrícola advindo do café para o uso na construção civil, que apresentou características pertinentes para o tratamento térmico.

Os parâmetros térmicos comparados entre a literatura e a prática apontam que os compósitos à base de casca de café podem ser utilizados como isolantes térmicos convencionais, pois conseguiram manter uma média temperatura diante a exposição de temperaturas altas e baixas.

No que diz respeito à questão ambiental, a avaliação do material produzido também pode ser considerada como positiva, apesar do uso de água em grandes quantidades para o tratamento, o mesmo foi confeccionado através de um resíduo agrícola que é gerado em grandes quantidades e muitas vezes não possui destinação apropriada, além de ser altamente combustível. O material produzido nessa pesquisa apresentou uma forma de reutilização do resíduo orgânico advindo do beneficiamento do café com a finalidade de produzir um material capaz de ser utilizado na construção civil cuja finalidade é o isolamento térmico.

Como sugestões para possíveis trabalhos futuros, temos:

- Aprimorar a metodologia para a produção dos painéis para fins estéticos e comercialização;
- Analisar o ciclo de vida do material elaborado;
- Analisar questões pertinentes ao material, como: ataques biológicos, durabilidade e exposição às intempéries, ensaios de resistência ao fogo e protótipos reais em edificações.

## 6. REFERÊNCIAS

ABREU SANTOS, A.S. Utilização da casca de café na construção civil: Desempenho térmico em edificações com enfoque na sua sustentabilidade reaproveitamento de resíduo agrícola. 2020. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - UNIVATES. Lajeado, 2020.

AFROUGHSABET, V. et al. High-performance fiber-reinforced concrete: a review, *Jornal Material Science*, v.51, p. 6517-6551, mar. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrete. Philadelphia, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP): Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, boletim técnico BT – 106, 2002, 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-5733: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991b. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12653 – Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 132760 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

BARCELOS, A.F.; GONCALVES, C.C.M. Aproveitamento da casca de café na alimentação animal. In: \_\_. *Café Arábica: da pós-colheita ao consumo*. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. v. 2, p. 97-168.

BARCELOS, A.F. et al. Características fermentativas de silagens de polpa de café com diferentes proporções de casca de café. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v. 70, n. 3, p. 206-214, 2013.

BÁRTHOLO, G.F. et al. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

BEKALO, S.A.; REINHARDT, H.W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Mater Struct*, v.43, p.1049–1060, 2010.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C.; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNADES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras, 2002.

BEZERRA, Juliana. História do Café. S.D. Disponível em: [www.todamateria.com.br/historia-do-cafe/](http://www.todamateria.com.br/historia-do-cafe/). Acesso em: 12/06/2023.

BIBLIS, Evangelos J. Flexural properties of southern yellow pine small beams loaded on true radial and tangential surfaces. *Wood science and technology*, v. 5, n. 2, p. 95-100, 1971.

BORÉM, F.M.; RIBEIRO, D.M.; PEREIRA, R.G.F.A.; ROSA, S.D.V.F. da MORAIS, A.R. de. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. *Coffee Science*, Lavras, v.1, n.1, p.55-63, abr./jun. 2006.

CASTRO, E. D. Análise da aplicação de casca de café nas propriedades de tijolos de solo-cimento. 2017. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia de biomateriais). UFLA. Lavras, 2017.

CLIFFORD, M.N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J.R. Tannins in wet-processed coffee beans and coffee pulp *Food Chemistry*, v.40, p. 191–200, 1991.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira café safra 2020: quarto levantamento. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 03 mar. 2023.

DULTRA, E. J. V. Adição de subprodutos da cinza da casca de café (*Coffea canephora*) em massa cerâmica para porcelanato. 2013. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

EMBRAPA CAFÉ. Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil. 2007. Águas de Lindóia, SP. Anais. Brasília, D.F. 2006.

ETXEBERRIA, M. et al. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 5, p. 735–742, maio 2007.

FREIRE COELHO, N.P. Efeito da utilização de biochar da casca de café sobre as propriedades do concreto. 2021. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia de biomateriais) – UFLA. Lavras, 2021.

FUWAPE, Joseph Adeola; OYAGADE, Amos Olajide. Bending strength and dimensional stability of tropical wood-cement particleboard. *Bioresource technology*, v. 44, n. 1, p. 77-79, 1993.

GARCIA, et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforest Syst* 63, 75-82. 2004.

GIONGO LUDWIG, D. Concreto com adição de cinza de casca de arroz. 2014. Monografia. UNIVATES. Lajeado, 2014.

GLORIA, M.Y.R. Comportamento experimental e numérico de bioconcretos de madeira e de painéis sanduíches com faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal. 2020. Tese (Programa de pós-graduação em engenharia civil). COPPE – URJ. Rio de Janeiro, 2020.

GLORIA, M.Y.R. Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia civil) COPPE – URJ. Rio de Janeiro, 2015.

GOMES, P. C. C. et al. Comminution and sizing processes of concrete block waste as recycled aggregates. *Waste Management*, v. 45, p. 171–179, 26 jan. 2015.

GOUVEA, A. B. M. Feability of ethanol production from coffe husks. *Biotechnology Letters*, Dordrecht, v. 31, n. 9, p. 1315-1319, 2009.

ISAIA, Geraldo C. (ed.) CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2005.

IWAKIRI, Setsuo et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis cimento-madeira. *Cerne*, v. 18, p. 303-308, 2012.

LATORRACA, J. V. de F. *Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira. 2000. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – UFP. Curitiba, 2000.

LIMA, R. C. A. Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas. Tese (Programa de pós-graduação em engenharia civil). UFRS. Porto Alegre, 2005.

LINS, L. N. Estudo da aplicação da casca de café na indústria da construção. 2006. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia civil). UFF. Rio de Janeiro, 2006.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2008.

MIRANDA DE LIMA, Adauto José; IWAKIRI, Setsuo; LOMELÍ-RAMÍREZ, María Guadalupe. Utilização de resíduos de *Pinus* spp., metacaulim de alta reatividade e resíduo de cerâmica calcinada em compósitos cimento-madeira. *Madera y bosques*, v. 17, n. 2, p. 47-65, 2011.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. Francisco; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. *Wood and Fiber science*, p. 164-176, 1983.

OLIVEIRA, E. G. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da resolução 307 do Conama. Monografia. Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2008.

PERIM, J.R. Influência do Metacaulim na durabilidade de concretos usuais de mercado sujeitos à carbonatação acelerada. 2013. Dissertação (Programa de pós-graduação em geotecnia, estruturas e construção civil). UFG. Goiânia, 2013.

PETRUCCI, Eladio G. R.; PAULON, Vladimir Antonio. Concreto de cimento Portland. 13 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1998. p. 307.

RECENA, Fernando A. Piazza; SERRA, Geraldo G. Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland. Porto Alegre: EdiPucrs, 2002.

SILVA NETO, J.T. Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica. 2018. Tese (Rede temática de engenharia de materiais) – UFOP – UEMG. Ouro preto, 2018.

SOUZA, A.L.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F.S.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES FILHO, S.C.; CABRAL, L.S.; GOBBI, K.F. Casca de café em dietas para novilhas leiteiras: consumo, digestibilidade e desempenho. Revista Brasileira de Zootecnia, 2006.

SOUZA, P. S. L. et. Al. Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência. Porto Alegre: Escola de Engenharia da UFRGS, 2003. 203p. (Tese: Doutorado em Engenharia Civil).

TEIXEIRA, M. N. M. Determinação da degradabilidade in situ das diferentes frações da casca do grão de três cultivares de café (*Coffea arabica* L.). 1999. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Ruminantes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.