



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INFLUÊNCIA DE ADITIVO NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ
GESSO COM FIBRA DE COCO VERDE

LUCAS SILVA CARVALHO

São Cristóvão – Sergipe
Março de 2024

LUCAS SILVA CARVALHO

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ
GESSO COM FIBRA DE COCO VERDE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Materiais da Universidade Federal de
Sergipe, como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de
Materiais.

Orientador: **Prof. Dr. Wilton Walter Batista**

São Cristóvão – Sergipe

Março de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

INFLUÊNCIA DE ADITIVO NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ
GESSO COM FIBRA DE COCO VERDE

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Materiais, apresentado no dia 27 de março de 2024 na Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Banca Examinadora

Prof. Dr. WILTON WALTER BATISTA
DCEM/Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. MARCELO MASSAYOSHI UEKI
DCEM/Universidade Federal de Sergipe

Prof^ª. Dr^ª. ZORA IONARA GAMA DOS SANTOS
DCEM/Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão – Sergipe
2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar força, coragem, sabedoria e persistência para chegar até aqui.

Ao meu orientador, prof. Dr. Wilton, pela orientação e paciência para que este trabalho fosse concluído.

A todo corpo docente do DCEM – UFS, por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados durante toda a graduação.

A minha mãe, Ana Carla e meus avós, Maria Lúcia e Carlos Alberto, que, com todo o esforço, sempre foram a minha base e minha fortaleza para que eu pudesse concluir esta etapa da minha vida.

A minha namorada, Camily, que esteve ao meu lado e sempre me apoiou de forma positiva durante toda a graduação.

Aos meus amigos da graduação e da vida.

A Dra. Michelline Freitas, por todo apoio e doação dos materiais utilizados no trabalho.

Ao Emanuel (LAMP) e Matheus (LAMCE), por terem operado os ensaios de compressão dos corpos de prova.

RESUMO

O desenvolvimento de materiais compósitos com fibras naturais vem crescendo junto a necessidade do homem em buscar recursos renováveis e de baixo custo para produção de novos materiais, a exemplo dos compósitos matriz gesso – fibra de coco verde. A problemática do estudo se dá pelo fato de que os resíduos de coco verde geram inúmeros problemas ambientais. No presente trabalho, foram produzidos compósitos constituídos por matriz de gesso com fibra de coco verde reciclada, em percentuais de 5%, 10% e 20% de fibra. Avaliou-se o efeito do aditivo Bianco no processamento da matriz gesso e dos compósitos. Pode-se concluir que o aditivo aumentou a trabalhabilidade da matriz e dos compósitos, uma vez que aumentou o tempo de pega do gesso e facilitou o processamento manual dos corpos de prova. O aditivo empregado provocou redução da resistência à compressão da matriz gesso. A incorporação das fibras na matriz gesso, reduziu a densidade dos compósitos, justificado pela baixa densidade das fibras de coco verde. A tensão máxima à compressão (MPa) dos compósitos com 5% e 10% de fibra apresentou valor inferior às matrizes gesso puro e aditivado, concluindo que a fibra de coco não reforçou a matriz. Os compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado com 20% de fibra apresentaram aumento de resistência mecânica em relação aos compósitos com 10% de fibra, o que acarretou uma necessidade de repetição da produção dos compósitos com 20% de fibra, os quais obtiveram alto teor de fibra incorporada à matriz, dificultando a distribuição e dispersão das fibras de coco.

Palavras-chave: Aditivo, compósito, fibra de coco, gesso.

ABSTRACT

The development of composite materials with natural fibers has been growing along with man's need to find renewable and low-cost resources for the production of new materials, such as gypsum-green coconut fiber matrix composites. The problem with this study is that green coconut waste generates numerous environmental problems. In this study, composites made of gypsum matrix with recycled green coconut fiber were produced in percentages of 5%, 10% and 20% fiber. The effect of the Bianco additive on the processing of the gypsum matrix and the composites was evaluated. It can be concluded that the additive increased the workability of the matrix and the composites, since it increased the setting time of the gypsum and facilitated the manual processing of the specimens. The additive used reduced the compressive strength of the gypsum matrix. Incorporating the fibers into the gypsum matrix reduced the density of the composites, which is explained by the low density of the green coconut fibers. The maximum compressive strength (MPa) of the composites with 5% and 10% fiber was lower than the pure and additive gypsum matrices, concluding that the coconut fiber did not reinforce the matrix. The composites of pure gypsum matrix and gypsum added with 20% fiber showed an increase in mechanical strength compared to the composites with 10% fiber, which led to the need to repeat the production of the composites with 20% fiber, which had a high content of fiber incorporated into the matrix, making it difficult to distribute and disperse the coconut fibers.

Keywords: Additive, composite, coconut fiber, gypsum.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matrizes gesso puro e gesso aditivado.....	24
Tabela 2 – Compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.....	25
Tabela 3 – Média da área da base de três corpos de prova das matrizes gesso puro e gesso aditivado.....	30
Tabela 4 – Média da área da base de três corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.....	31
Tabela 5 – Média e variação do volume para três corpos de prova das matrizes gesso puro e aditivado.....	34
Tabela 6 – Média e variação do volume para três corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado	34
Tabela 7 – Densidade dos corpos de prova das matrizes gesso puro e aditivado.....	38
Tabela 8 – Densidade dos corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.....	39
Tabela 9 – Tensão e deformação máxima das matrizes gesso puro e aditivado.....	40
Tabela 10 – Tensão e deformação máxima do gesso puro e dos compósitos.....	43
Tabela 11 – Tensão e deformação máxima do gesso aditivado e dos compósitos.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de classificação para os diversos tipos de compósitos.....	17
Figura 2. Ilustração das cinco partes principais do coco verde.....	19
Figura 3. Gesso comercial puro empregado como matriz dos compósitos	21
Figura 4. Fibra de coco verde empregada na fabricação dos compósitos.....	22
Figura 5. Resina sintética Bianco obtida comercialmente.....	23
Figura 6. Molde 1 empregado na produção dos corpos de prova de compressão.....	26
Figura 7. Molde 2 empregado na produção dos corpos de prova de compressão.....	26
Figura 8. Compactação dos corpos de prova utilizando prensa hidráulica.....	27
Figura 9. Corpo de prova produzido no molde 1.....	33
Figura 10. Corpo de prova produzido no molde 2.....	33
Figura 11. Vista lateral dos corpos de prova de gesso puro-5% fibra.....	35
Figura 12. Vista lateral dos corpos de prova de gesso aditivado-5% fibra.....	35
Figura 13. Vista lateral dos corpos de prova de gesso puro-10% fibra.....	36
Figura 14. Vista lateral dos corpos de prova de gesso aditivado-10% fibra.....	36
Figura 15. Vista lateral dos corpos de prova de gesso puro-20% fibra.....	37
Figura 16. Vista lateral dos corpos de prova de gesso aditivado-20% fibra.....	37
Figura 17. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro.....	41
Figura 18. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado.....	42
Figura 19. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-5% fibra.....	44
Figura 20. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-10% fibra.....	45

Figura 21. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-20% fibra.....	45
Figura 22. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-5% fibra.....	48
Figura 23. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-10% fibra.....	49
Figura 24. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-20% fibra.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DCEM	Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais
DEC	Departamento de Engenharia Civil
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
LAMCE	Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas
LAMP	Laboratório de Microestruturas e Propriedades Mecânicas
NBR	Normas Brasileiras
$Q_{\text{máx}}$	Carga máxima à compressão
$\sigma_{\text{máx}}$	Tensão máxima à compressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo geral.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1. Compósitos.....	16
3.1.1. Compósitos reforçados com fibras.....	17
3.2. Gesso.....	17
3.3. Fibra de coco verde.....	18
3.4. Compósitos gesso - fibra de coco verde.....	19
4. METODOLOGIA.....	21
4.1. Materiais.....	21
4.1.1. Gesso.....	21
4.1.2. Fibra de coco.....	21
4.1.3. Aditivo.....	22
4.2. Métodos experimentais.....	23
4.2.1. Produção das composições.....	23
4.2.1.1. Matriz gesso puro e gesso aditivado.....	24
4.2.1.2. Compósitos gesso-fibra de coco.....	25
4.2.2. Seleção do molde.....	25

4.2.3. Produção dos corpos de prova de compressão.....	26
4.2.3.1. Matrizes gesso puro e gesso aditivado.....	26
4.2.3.2. Compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.....	28
4.2.4. Densidade.....	28
4.2.5. Ensaio de compressão.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1. Seleção dos moldes de compressão.....	33
5.2. Seleção das condições de processo.....	34
5.3. Densidade.....	37
5.3.1. Densidade da matriz.....	37
5.3.2. Densidade dos compósitos.....	38
5.4. Comportamento mecânico.....	39
5.4.1. Matrizes gesso.....	40
5.4.2. Compósitos.....	42
5.4.2.1. Compósitos com matriz gesso puro.....	42
5.4.2.2. Compósitos com matriz gesso aditivado.....	46
6. CONCLUSÕES.....	51
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
APÊNDICE 1.....	57
APÊNDICE 2.....	63

1. INTRODUÇÃO

Compósitos são definidos como uma mistura de materiais de naturezas físicas e químicas distintas, distribuídas dentro de uma fase contínua, esta última sendo definida como matriz do compósito. Os compósitos de matriz cerâmica, objeto do presente trabalho, caracterizam-se por serem mais novos no campo de estudo deste universo (Nascimento, 2020). Serão estudados compósitos formados por matriz cerâmica gesso, tendo como reforço ou fase dispersa a fibra de coco (*Cocos nucifera*) verde coletada e reciclada.

Com o crescente avanço tecnológico e científico ao longo dos anos, o universo de estudo dos compósitos vem ocupando grande parte de aplicações na engenharia e ciência. Tal afirmativa deve-se ao fato de que estes materiais possuem vantagens em relação às três principais classes de materiais estudados por engenheiros e cientistas: polímeros, cerâmicas e metais. Com base nessa informação, essas vantagens são justificadas pelo fato de que os compósitos são materiais fabricados para atender propriedades e características distintas dos seus componentes em situação particular (CHAWLA, 2012).

Um aspecto relevante a ser ressaltado no presente estudo trata-se da utilização e reciclagem de resíduos de coco verde. Segundo Barbosa *et al.* (2016), o Brasil gera cerca de 8 bilhões de unidades de coco verde por ano, resultando em aproximadamente 70% de resíduo encontrado em praias e posteriormente em lixões, tornando em sérios problemas ambientais. Passos (2005), também afirma que o descarte indevido do coco verde em aterros em condições com ausência de oxigênio gera emissão de gases poluentes como o metano para a atmosfera, o que contribui de forma significativa para o efeito estufa.

Tendo em vista essa problemática, é proposta a reciclagem de cascas de coco verde com posterior produção de fibras desse resíduo, seguido de fabricação de compósitos constituídos de matriz de gesso reforçada com estas fibras. A relevância dessa análise é de que o que seria lixo causando problemas ambientais, poderá servir de reforço (fase dispersa) para melhorar as propriedades mecânicas da matriz que serão estudadas posteriormente, formando compósitos de matriz de gesso reforçada com fibra natural constituída por resíduos de coco verde.

A utilização de carga (fibra de coco) reciclável para atuar como reforço à matriz torna-se válido por compensar em baixo custo e redução de impactos ambientais causados pelo descarte inadequado da matéria-prima da fibra. Com base nessa afirmativa, Neto e Pardini (2016) ainda reforçam a ideia de que a humanidade cada vez mais caminha para a escassez de recursos energéticos e minerais em geral, fazendo com que se busque maiores alternativas para se produzir compósitos com recursos renováveis e de baixo custo, utilizando cada vez mais as fibras naturais no universo da ciência, engenharia e dos materiais compósitos.

O processo de fabricação manual de compósitos com fibras naturais sem a utilização de aditivos e/ou plastificantes, geralmente, torna-se dificultado (Andrade, 2021). Diante disso, o presente trabalho possui o desafio de encontrar os melhores mecanismos de processamento de compósitos de matriz de gesso, reforçados com fibra de coco verde, além de analisar de forma adequada o desempenho mecânico e a densidade da matriz gesso puro, gesso aditivado e dos compósitos com carga fibrosa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito do aditivo no processamento, desempenho mecânico e densidade de compósitos de matriz gesso com fibra de coco.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do aditivo na resistência à compressão e densidade da matriz gesso;
- Avaliar o efeito do aditivo no processo de fabricação dos compósitos gesso – fibra de coco verde;
- Avaliar o efeito de diferentes teores percentuais de fibra de coco na densidade e resistência à compressão;
- Avaliar, através de ensaio de compressão, a propriedade mecânica do gesso puro, gesso aditivado e dos compósitos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Compósitos

O conceito de materiais compósitos como uma classe de materiais diferente das cerâmicas, metais e polímeros é um feito bastante antigo, sendo que existem várias referências que registram, por exemplo, a utilização de argila reforçada com palha em tijolos no Egito Antigo, como também a aplicação de barras de ferro como material de reforço para alvenarias, no século XIX. Já em meados do século XX, há relatos de que começaram a ser estudados novos materiais, como os polímeros reforçados aplicados aos sistemas elétricos da época, assim como o início da produção da fibra de carbono para aplicações no setor aeronáutico, no final da década de 1960 (MOREIRA, 2009).

O conceito de material compósito torna-se amplo devido a grande quantidade de exemplos, como é um caso de um metal composto por muitos grãos. Portanto, as três definições que mais se adequam a materiais compósitos são: é um material fabricado, ou seja, não estão incluídos compósitos naturais como a madeira; é constituído por duas ou mais fases física e/ou quimicamente distintas, distribuídas e separadas por meio de uma interface; apresenta propriedades e características que não são descritas por nenhum dos componentes isoladamente (CHAWLA, 2012).

As propriedades de um compósito dependem diretamente das propriedades das fases contínua e dispersa, da quantidade relativa das fases, geometria da fase dispersa e do mecanismo de interação matriz–fase dispersa. A fase dispersa pode ser do tipo sintética, como a fibra de vidro ou natural, como o sisal, o coco, a juta, etc, a fim de produzir materiais com melhores características mecânicas, como tenacidade, rigidez, além de resistência a determinadas condições ambientais (CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2016).

Os materiais compósitos podem ser encontrados de diferentes tipos. Callister Jr. e Rethwisch (2016) mostram que esses materiais podem ser fabricados com diferentes tipos de reforço. A Figura 1 representa um esquema de classificação para os vários tipos de materiais compósitos existentes na engenharia.

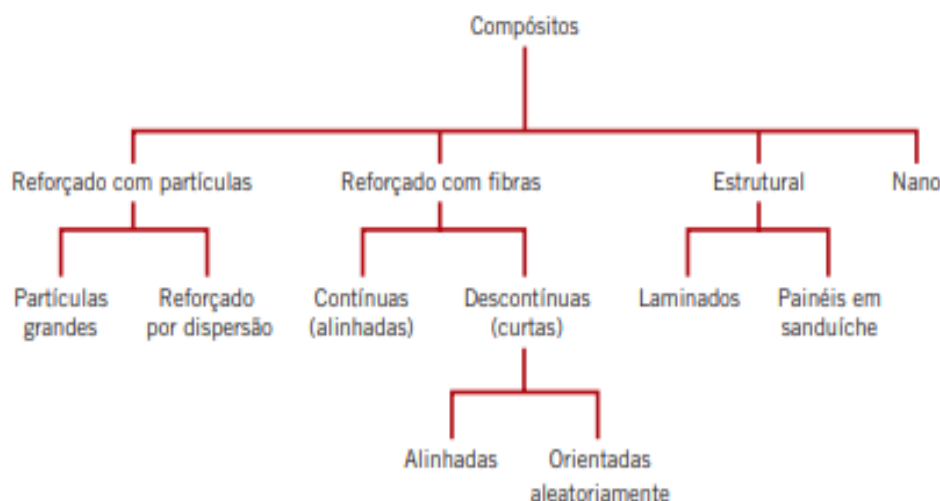


Figura 1. Esquema de classificação para os diversos tipos de compósitos. Fonte: CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2016.

3.1.1. Compósitos reforçados com fibras

De acordo com a literatura, os materiais compósitos que possuem mais relevância nas aplicações em geral, são aqueles em que são utilizadas fibras como reforço ou fase dispersa. Dentro desse contexto, vale ressaltar que os compósitos reforçados com fibras, na maioria das vezes, são estudados levando em consideração as propriedades mecânicas em relação ao peso (Callister Jr. e Rethwisch, 2016). Sendo assim, posteriormente será estudado a influência da fibra utilizada em relação a densidade dos compósitos.

NETO e PARDINI (2016) mostraram que a aplicação de fibras naturais animais ou vegetais como carga em materiais compósitos, de uma forma geral, serve para que a fibra atue como uma carga reciclável e de baixo custo. Tal carga, dentro desse contexto, pode ou não reforçar mecanicamente de forma significativa a matriz, pois as fibras naturais, de uma forma geral, apresentam propriedades mecânicas inferiores às fibras sintéticas, como por exemplo a fibra de vidro.

3.2. Gesso

O gesso é um dos principais materiais destinado à construção civil e trata-se de um dos materiais mais antigos que existem. Sua aplicação pode ser bastante versátil, desde a fabricação de forros e ornamentos pré-moldados, a placas

decorativas e drywalls (Veloso *et al.*, 2021). A utilização do gesso na engenharia estrutural, de uma forma geral, tem sido crescente. Tal afirmativa é justificada pelo fato de que este material conta com fácil manuseio, facilidade em produzir chapas, moldagem relativamente simples e ótimo acabamento, de uma forma geral (PINTO *et al.*, 2016).

O gesso possui características importantes para aplicação na engenharia, devido a excelentes propriedades térmicas e acústicas, resistência à chama, além de possuir ótimo acabamento superficial e praticamente não apresentarem nenhuma retração após sua moldagem e secagem. Entretanto, nenhum material existente está livre de defeitos e imperfeições, e, com o gesso não seria diferente. Apesar de ser ótimo para muitas aplicações, o gesso apresenta deficiências, como por exemplo: permeabilidade alta de água, relativa porosidade na sua estrutura, além de possuir baixas resistências à compressão, flexão e tração. Por essa razão, o gesso praticamente é restrito a ambientes internos (SOPHIA, M; SAKTHIESWARAN, N; BABU G.O., 2016).

Portanto, com base nesses aspectos, com o passar dos anos, muitos estudos de materiais compósitos de matriz de gesso reforçados com fibras naturais foram realizados a fim de trazer alternativas que melhorem as propriedades do gesso comercial para aplicações gerais (VILLELA *et al.*, 2020).

3.3. Fibra de coco verde

O coco é um alimento bastante consumido no planeta, especialmente nos países tropicais. Este fruto é capaz de gerar muitos rejeitos que trazem prejuízos ao meio ambiente, promovendo potenciais emissores de gases, focos causadores de doenças em depósitos e mau cheiro (Rosa *et al.*, 2001). Com base nesse aspecto, o aproveitamento da fibra de coco verde gera vantagens significativas no que diz respeito à redução de lixo no meio ambiente. A fibra de coco maduro já vem sendo utilizada há um bom tempo no setor agrícola e industrial. Por outro lado, a fibra de coco verde ainda está em crescente nos estudos, reforçando a importância de que as fibras desta natureza possuem praticidade em processamento, baixo peso específico, além de apresentarem baixa taxa de degradação de cerca de oito anos e promoverem alta disponibilidade para o homem (ISHIZAKI *et al.*, 2006; CARRIJO *et al.*, 2002).

O coco verde divide-se em cinco partes principais, visto na Figura 2. O epicarpo corresponde a parte externa do coco; o mesocarpo é a região onde são encontradas as fibras e trata-se da camada mais desenvolvida; o endocarpo é a região estrutural que forma a casca em torno da semente; a semente serve para a parte reprodutiva de um vegetal; o albúmen ou endosperma trata-se de um tecido que contém nutrientes na semente, ou seja, a água e a polpa do coco são os albúmen líquido e sólido, respectivamente (FERREIRA *et al.*, 1998).

O mesocarpo fibroso do coco é o responsável por originar a produção da fibra de coco, a qual é caracterizada por ser uma fibra lignocelulósica. Este tipo de fibra natural possui características que são atrativas para o seu aproveitamento e aplicação, como por exemplo, boas propriedades e durabilidade em relação a outras fibras naturais, o que é justificado pelo alto teor de lignina na sua composição, que possui boa capacidade de aglutinação, o que se torna interessante para processamentos de materiais compósitos em que se utilizam fibras naturais como carga (PASSOS, 2005; SILVA *et al.*, 2006).

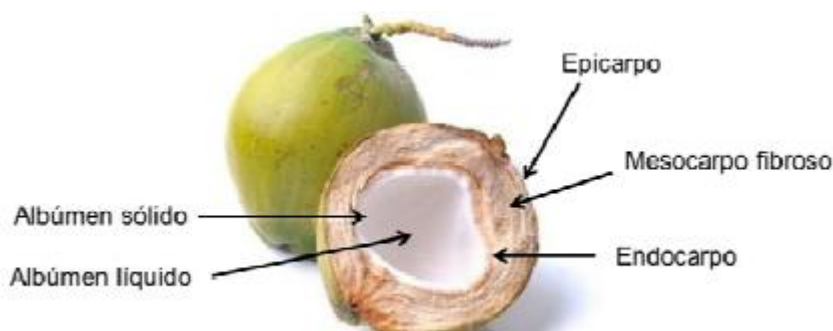


Figura 2. Ilustração das cinco partes principais do coco verde. Fonte: FERREIRA *et al.*, 1998.

3.4. Compósitos gesso – fibra de coco verde

Em relação a produção de compósitos de matriz de gesso reforçada com fibra de coco, Tenorio e Santos (2018) utilizaram mecanismos para produção de placas de material compósito de gesso reforçado com fibra de coco. Em seu estudo, uma metodologia de trabalho foi definida, a qual consistia em um beneficiamento da fibra de coco, produção de moldes para a confecção das placas, produção (via seco e via úmido) de mantas do coco e, por fim, a produção das placas de gesso utilizando a

manta fabricada via úmida. A manta produzida via úmida foi utilizada pelas autoras devido a menor espessura desta em relação a manta produzida via seca, interferindo na resistência mecânica do material. Além disso, foi observado uma maior compactação da manta produzida via úmida quando comparada a manta produzida via seca. O compósito foi produzido em formato sanduíche, com uma estrutura gesso-fibra-gesso e as autoras chegaram à conclusão que esse formato foi o mais adequado, pois o mesmo resultou em uma boa compactação, o que é essencial no universo de estudo dos materiais compósitos. Ainda em seu trabalho, foi concluído que os compósitos fabricados apresentaram maior compactação em relação às placas de gesso que são comercializadas rotineiramente, pois estas últimas caracterizam-se por serem ocas interiormente. As autoras afirmam que o produto fabricado apresentou boas propriedades acústicas e mecânicas, além de ter baixo custo, justificando a recomendação deste material no setor da construção civil.

NASCIMENTO, (2018), utilizou teste de compressão para avaliar as propriedades mecânicas de 50 corpos de prova de compósitos de matriz de gesso reforçado com fibra de coco e cortiça triturada, além de realizar testes de difração de raios x (DRX) e análise de degradação por termogravimetria (TG/TGA) das fibras de coco. Em seu trabalho, foi concluído que os compósitos de gesso reforçados com 10% e 20% fibra de coco apresentaram médias de resistência à compressão de 7,0 MPa e 5,0 MPa, respectivamente, e, para o gesso puro, essa média foi de pouco mais de 8,0 MPa. O autor concluiu que os compósitos de gesso reforçados com fibra de coco apresentaram melhores resultados mecânicos do que os compósitos de matriz de gesso reforçados com cortiça. Os testes de DRX mostraram que a fibra de coco verde tratada apresentou picos de difração bem definidos, revelando a presença de alguns óxidos na fibra, como o óxido de potássio (K_2O) e óxido de silício (SiO_2). Ainda em seu estudo, o autor ainda analisou os resultados da TG/TGA, onde foi detectado a perda de massa da fibra de coco na faixa de temperatura de 37,5 °C a 100 °C, sendo essa perda justificada pela presença de umidade na fibra, a qual foi evaporada com o aumento de temperatura no ensaio. Apesar da perda de massa sofrida pela fibra, ainda assim, está distante da faixa de degradação, pois de acordo com (Silva *et al.*, 2000; Tomczak *et al.*, 2007) a faixa a qual os componentes de fibra de coco se decompõem se dá entre cerca de 200 °C a 550 °C. Sendo assim, o compósito de gesso com fibra de coco pode ser utilizado a temperatura ambiente sem correr o risco de se degradar termicamente.

4. METODOLOGIA

4.1. Materiais

4.1.1. Gesso

O gesso comercial é a matriz dos compósitos utilizados no presente trabalho. Esse material foi fornecido por Freitas (2024) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe. A Figura 3 mostra o gesso em pó utilizado para a confecção da matriz dos compósitos.



Figura 3. Gesso comercial puro empregado como matriz dos compósitos.

4.1.2. Fibra de coco

A fibra utilizada para confecção dos compósitos foi fornecida por Freitas (2024). A fibra de coco foi proveniente da coleta de resíduos de coco verde na cidade de Aracaju-Sergipe nos bairros de maior geração, mais especificamente, nas regiões de praia.

As cascas dos cocos coletados foram submetidas à trituração na Embrapa, gerando as fibras para a confecção dos compósitos. Após a trituração, as fibras foram submetidas à lavagem por aspersão de água para remoção de sujidades, seguido de

secagem natural, ao sol. As fibras foram trituradas utilizando moinho de facas, foram medidas com auxílio de régua e obtiveram comprimento médio final de 2,0 cm, segundo o procedimento de Freitas (2024). A Figura 4 representa a fibra de coco verde utilizada na produção dos compósitos.



Figura 4. Fibra de coco verde empregada na fabricação dos compósitos.

4.1.3. Aditivo

O aditivo utilizado no estudo foi a resina sintética denominada Bianco, o qual é composto por um copolímero vinílico em solução aquosa à temperatura ambiente, sendo bastante utilizado na área da construção civil. Segundo o fabricante, o Bianco possui as seguintes características: densidade de $1,02 \text{ g/cm}^3$; coloração branca; faixa de pH de 4,0 a 6,0 e isento de cloretos.

O objetivo da utilização do aditivo foi avaliar sua influência na etapa de fabricação dos compósitos e no comportamento mecânico. A Figura 5 mostra a resina sintética obtida comercialmente.



Figura 5. Resina sintética Bianco.

4.2. Métodos experimentais

O procedimento experimental para a realização do estudo foi executado no Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM). Foi empregada a metodologia desenvolvida por Freitas (2024) para a fabricação dos compósitos, uma que a autora coletou, secou e triturou as fibras das cascas de coco verde.

4.2.1. Produção das composições

O processo de fabricação foi dividido em duas partes:

- a) Processamento das matrizes de gesso puro e gesso aditivado;
- b) Fabricação dos compósitos gesso – fibra de coco.

Os compósitos foram fabricados com o seguinte procedimento: mistura a seco do gesso com a fibra de coco e posterior adição de água da rede de abastecimento local na mistura a seco.

O teor de água adotado visou a obtenção da resistência máxima das matrizes gesso e dos compósitos gesso – fibra de coco, e, utilizou-se como padrão a relação água/gesso = 0,40 para a produção das matrizes gesso e dos compósitos. Os percentuais de fibra como carga foram determinados experimentalmente buscando a facilidade de fabricação dos compósitos. A relação água/gesso e o percentual de fibra adotados neste trabalho seguiram o procedimento da tese de Freitas (2024) e de procedimentos experimentais do grupo de Materiais Compósitos do DCCEM da UFS.

O tempo de cura para as matrizes de gesso puro e aditivado e dos compósitos foi de 28 dias.

4.2.1.1. Matrizes de gesso puro e gesso aditivado

O gesso foi pesado em balança digital da marca Marte modelo AY220, e os volumes de água e aditivo foram medidos com auxílio de proveta de 100 mL. A produção das matrizes gesso ocorreram de forma análoga, entretanto, na matriz gesso aditivado ocorreu a redução de volume de água e adicionou-se 80 mL de aditivo, como observado na Tabela 1.

A massa de gesso, para a relação água/gesso de 0,40 e para a produção de três corpos de prova, seguiu a Equação 1 presente na norma ABNT NBR 13207-3:2023:

$$Mg = \frac{480}{0,4+C} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Mg: massa de gesso em gramas (g);

C: relação água/gesso determinada.

O teor de aditivo aplicado seguiu informações do fabricante, o qual indica a aplicação de 50% de volume de Bianco em relação ao volume de água para aplicações onde este aditivo é utilizado para retardar a pega do gesso. A Tabela 1 mostra as composições das matrizes gesso puro e gesso aditivado.

Tabela 1. Matrizes gesso puro e gesso aditivado.

Matriz	Nomenclatura	Gesso (g)	Água (mL)	Aditivo (mL)
Gesso puro	GP	600	240	-
Gesso aditivado	GA	600	160	80

4.2.1.2. Compósitos gesso – fibra de coco

Assim como o gesso, a fibra foi pesada em balança digital da marca Marte modelo AY220 e os volumes de água e aditivo foram medidos utilizando proveta de 100 mL. As fibras foram incorporadas às matrizes em diferentes porcentagens de 5%, 10% e 20%, correspondendo a 30 g, 60 g e 120 g, respectivamente. Os teores de fibra foram relacionados à massa de gesso. A Tabela 2 mostra as composições dos compósitos de matrizes de gesso puro e gesso aditivado.

Tabela 2. Compósitos de matrizes de gesso puro e gesso aditivado.

Compósitos	Nomenclatura	Gesso (g)	Fibra (g)	Água (mL)	Aditivo (mL)
5% de fibra	GP-5F	600	30	240	-
10% de fibra	GP-10F	600	60	240	-
20% de fibra	GP-10F	600	120	240	-
5% de fibra	GA-5F	600	30	160	80
10% de fibra	GA-10F	600	60	160	80
20% de fibra	GA-20F	600	120	60	80

4.2.2. Seleção do molde

Os corpos de prova foram produzidos seguindo a norma ABNT NBR 13207-3, com relação ao método de preparo e o modelo do molde utilizado. Ao todo foram produzidos 24 corpos de prova, sendo três para cada composição, as quais são: GP, GA, GP-5F, GP-10F, GP-20F, GA-5F, GA-10F e GA-20F.

Foram utilizados dois tipos de moldes de compressão, produzidos em madeira (1 e 2), com cavidades cúbicas de dimensões 50x50x50 mm e foi empregado óleo mineral como desmoldante, conforme os critérios da norma. Os moldes permitiram a moldagem simultânea de três corpos de prova. O molde 1 apresentou mais partes móveis em relação ao molde 2. O molde 2 foi caracterizado por maior espessura das partes e maior número de parafusos de fixação que resultou em maior rigidez. As Figuras 6 e 7 mostram os moldes 1 e 2.



Figura 6. Molde 1 empregado na produção dos corpos de prova de compressão.



Figura 7. Molde 2 empregado na produção dos corpos de prova de compressão.

4.2.3. Produção dos corpos de prova de compressão

4.2.3.1. Matrizes de gesso puro e gesso aditivado

Pesou-se 600 g de gesso e foi colocado em recipiente de plástico. Com o auxílio de proveta, mediu-se 240 mL de água que foi aplicada ao gesso para posterior mistura manual da pasta (gesso + água). Após a mistura, a pasta foi colocada nas cavidades do molde 2, que posteriormente, foi submetido à aplicação de 2 toneladas de carga por prensa hidráulica da marca Marcon modelo MPH-15 com capacidade de 15 toneladas durante 5 minutos, observado na Figura 8. O molde 2 foi retirado da

prensa e os corpos de prova apresentaram elevação de temperatura após a pressão de moldagem pela prensa hidráulica, já que o processo de endurecimento do gesso é proveniente de uma reação de calor de hidratação, a qual o sulfato de cálcio hemi hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) reage com água formando o sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (SOUZA, 2005; FERREIRA, 2017).

O gesso aditivado seguiu o mesmo procedimento do gesso puro. Entretanto, mediu-se 80 mL do aditivo e misturou-se com 160 mL de água para posterior incorporação desta solução em 600 g de gesso, ocorrendo também mistura manual da pasta (gesso + água + aditivo) seguido de moldagem nas cavidades do molde 2. O GA também foi submetido à pressão de moldagem por prensa hidráulica.

Os corpos de prova produzidos no molde 2, foram desmoldados e ficaram em repouso por 28 dias ao ar livre no piso superior do prédio do DCEM-UFS para ocorrer a cura do gesso. Após o período de cura, os corpos de prova foram submetidos a acabamento superficial utilizando lixas de grana 180 e 320, sendo realizado a princípio na parte superior dos corpos de prova e por consequência, sendo realizado posteriormente em todas as faces. A moldagem dos corpos de prova ocorreu sob pressão, e na fabricação foi adicionado excesso de material (gesso) no topo dos corpos de prova que após a desmoldagem e a cura, deveriam ser eliminados.



Figura 8. Compactação dos corpos de prova utilizando prensa hidráulica.

4.2.3.2. Compósitos de matrizes de gesso puro e gesso aditivado

Na produção dos compósitos de matriz GP, foi realizada a mistura a seco do gesso + fibra de coco, seguido de incorporação de água e mistura manual. Pesou-se 600 g de gesso que foi misturado a seco com determinada quantidade de fibra (30 g, 60 g ou 120 g). Com auxílio de proveta, foi medido 240 mL de água, a qual foi adicionada à mistura de gesso + fibra para posterior mistura manual da pasta (gesso + fibra + água). Após a observação do início da pega do gesso, a pasta foi colocada no interior do molde 2.

O procedimento para os compósitos de matriz GA foi análogo aos compósitos de matriz gesso puro, uma vez que foi realizada a mistura a seco de determinada quantidade de fibra (30 g, 60 g ou 120 g) + 600 g de gesso. Mediu-se 80 mL do aditivo que foi diluído em 160 mL de água. A solução de água + aditivo foi adicionada na mistura gesso + fibra para a formação da massa pastosa. Por fim, a massa foi colocada no molde 2.

Os compósitos de matrizes de gesso puro e gesso aditivado, assim como as matrizes GP e GA, foram submetidos à pressão de moldagem em prensa hidráulica. O processo de cura dos corpos de prova foi de 28 dias ao ar livre. Foi realizado acabamento superficial devido ao excesso de material (gesso + fibra) no topo dos corpos de prova após o processamento.

4.2.4. Densidade

Concluída a cura dos corpos de prova, análise visual e realização do acabamento superficial, foram realizados o cálculo de volume e a pesagem destes. O cálculo de volume (cm^3) foi realizado pelo produto das três arestas dos corpos de prova (comprimento x largura x altura) e a massa foi medida em gramas (g). Os dados de massa e volume foram empregados no cálculo da densidade para cada classe de material.

Segundo Chawla (2012), a densidade de um compósito pode ser calculada através da regra das misturas, pelas seguintes equações:

$$m_c = m_f + m_m \quad (\text{Equação 2})$$

$$v_c = v_f + v_m + v_v \quad (\text{Equação 3})$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

m_c : massa do compósito;

m_f : massa da fibra;

m_m : massa da matriz;

v_c : volume do compósito;

v_f : volume da fibra;

v_m : volume da matriz;

v_v : volume de vazios;

ρ_c : densidade do compósito;

No presente trabalho não foi possível efetuar o cálculo de densidade dos corpos de prova empregando as Equações 2, 3 e 4. A explicação para a impossibilidade deste cálculo foi devido ao fato da impossibilidade de determinar o volume de vazios, ao fato dos corpos de prova terem sido produzidos de forma individual e o processamento gerou resíduos de gesso e fibra, além do acabamento superficial que acarretou perda de material. Portanto, as densidades dos corpos de prova foram calculadas de forma individual após a produção e acabamento, não sendo aplicados a regra das misturas. A densidade foi calculada empregando a equação 5:

$$\rho = m/v \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

ρ : densidade final do corpo de prova após acabamento superficial;

m : massa final do corpo de prova após acabamento superficial;

v : volume final do corpo de prova após acabamento superficial.

4.2.5. Ensaio de compressão

O ensaio de compressão dos corpos de prova foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas (LAMCE) no Departamento de Engenharia Civil (DEC) e no Laboratório de Microestruturas e Propriedades Mecânicas (LAMP) no Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

O ensaio foi executado de forma análoga à prática da tese de Freitas (2024), seguindo a norma ABNT NBR 13207-3: 2023. Sendo assim, os 24 corpos de prova foram submetidos a cargas compressivas aplicadas às suas determinadas áreas superficiais em uma velocidade de 3 mm/min até a ruptura. A operação do ensaio foi executada utilizando Máquina de compressão Emic DL 20000, de capacidade máxima de 200 kN.

As áreas superficiais foram calculadas através do produto das medidas das arestas das bases de cada corpo de prova e as medidas foram realizadas com paquímetro universal 150mm.

A Tabela 3 representa as médias das áreas da base das matrizes de gesso puro e aditivado.

Tabela 3. Média da área da base de três corpos de prova das matrizes gesso puro e aditivado.

Matriz	Área da base (mm²)
GP	2417,16 ± 1,08
GA	2340,42 ± 3,23

A Tabela 4 representa as médias das áreas da base dos compósitos de matrizes gesso puro e aditivado.

Tabela 4. Média da área da base de três corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.

Compósitos	Área da base (mm ²)
GP-5F	2355,43 ± 1,10
GP-10F	2386,81 ± 5,02
GP-20F	2382,29 ± 3,15
GA-5F	2483,28 ± 1,89
GA-10F	2311,03 ± 0,80
GA-20F	2342,19 ± 3,77

Os resultados de resistência à compressão foram obtidos de acordo com a ABNT NBR 13207-3 e foi utilizada a Equação 6 para cada corpo de prova:

$$R = P/S \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

R: resistência à compressão em MPa;

P: carga de ruptura do corpo de prova em N;

S: área de seção transversal (base do corpo de prova) de aplicação da carga em mm².

A resistência média dos três corpos de prova é considerada o valor da resistência à compressão, se cada resultado individual não diferir mais de 15% da média calculada.

Caso um resultado diferir mais de 15% da média, este não é considerado no cálculo da média. Caso mais de um resultado diferir mais de 15% da média, é necessário repetir o ensaio em outra série de corpos de prova.

A partir dos dados da norma em questão, para o presente estudo, foi levado em consideração a tensão máxima à compressão ($\sigma_{\text{máx}}$) calculada com a Equação 7:

$$\sigma_{\text{máx}} = Q_{\text{máx}}/S \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$\sigma_{\text{máx}}$: tensão máxima à compressão em MPa;

$Q_{\text{máx}}$: carga máxima à compressão em N.

Os gráficos de tensão x deformação foram gerados a partir do software OriginPro 8.5, sendo que todas as áreas superficiais (mm^2) foram calculadas a partir do produto das medidas das dimensões das bases dos corpos de prova e a deformação (%) destes foi calculada conforme a Equação 8:

$$\varepsilon = \frac{h_i - h_f}{h_i} 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

h_i : altura inicial (mm) do corpo de prova;

h_f : altura final (mm) do corpo de prova;

ε : deformação (%) do corpo de prova.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Seleção dos moldes de compressão

O gesso com aditivo foi o material empregado para a seleção do molde de compressão. Os corpos de prova fabricados com o molde 1 apresentaram falhas na geometria, como observado na Figura 9. Portanto, o molde 1 foi descartado para os processamentos dos materiais seguintes, por consequência das falhas na geometria dos corpos de prova de gesso aditivado.



Figura 9. Corpo de prova produzido no molde 1.

De forma contrária ao que ocorreu com o molde 1, o teste com o molde 2 possibilitou a produção de corpos de prova sem defeitos geométricos, visto na Figura 10. Sendo assim, o molde 2 foi adotado como padrão para o processamento de corpos de prova da matriz gesso e dos compósitos gesso-fibra.



Figura 10. Corpo de prova produzido no molde 2.

Os corpos de prova apresentaram contração volumétrica associada ao processo de cura do gesso e ao acabamento superficial realizado, de modo que o volume original dos corpos de prova com 50x50x50 mm ($V = 125.000 \text{ mm}^3$) foi reduzido (Tabelas 5 e 6). No Apêndice 1 são vistos os corpos de prova com e sem acabamento superficial.

Tabela 5. Média e variação do volume para três corpos de prova das matrizes gesso puro e aditivado.

Matriz	Volume (cm³)	Variação de volume (%)
GP	121,34 ± 0,98	2,93
GA	116,64 ± 3,44	6,69

Tabela 6. Média e variação do volume para três corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.

Compósitos	Volume (cm³)	Variação de volume (%)
GP-5F	118,00 ± 1,09	5,60
GP-10F	122,78 ± 5,25	1,77
GP-20F	119,47 ± 3,22	4,42
GA-5F	125,24 ± 1,95	-0,19
GA-10F	116,62 ± 0,72	6,70
GA-20F	114,98 ± 3,89	8,00

5.2. Seleção das condições de processo

O processo de fabricação teve por objetivo comparar o processamento dos compósitos empregando as matrizes gesso puro e gesso aditivado. O aditivo Bianco apresentou papel fundamental na etapa de processamento manual dos corpos de prova, uma vez que aumentou a trabalhabilidade do gesso na condição úmida e incorporação das fibras. O aditivo aumentou o tempo de pega do gesso, o que facilitou a mistura gesso-fibra e possibilitou maior segurança durante a prensagem. A

principal função do Bianco consistiu em conferir maior plasticidade às argamassas e, consequentemente, ao gesso e compósitos fabricados.

A análise visual dos corpos de prova mostrou a influência do aditivo no processamento dos materiais. Nos compósitos com 5% de fibra de coco foi observado maior presença de defeitos superficiais na matriz de gesso puro em comparação com os compósitos que empregaram a matriz de gesso aditivado, visto nas Figuras 11 e 12.



Figura 11. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso puro-5% fibra.



Figura 12. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso aditivado-5% fibra.

De forma análoga, os compósitos com 10% fibra de coco apresentaram o mesmo comportamento, maior presença vazios e defeitos superficiais nos compósitos com gesso puro em relação ao gesso aditivado, visto nas Figuras 13 e 14.



Figura 13. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso puro-10% fibra.



Figura 14. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso aditivado-10% fibra.

O emprego de 20% de fibra apresentou dificuldade de processamento nas matrizes de gesso puro e aditivado. Neste caso, o percentual de fibra foi excessivo, impossibilitando o processamento dos compósitos e gerando a descontinuidade da matriz gesso. Portanto, o percentual de 20% de fibra mostrou-se inviável do ponto de vista de produção dos compósitos. As Figuras 15 e 16 mostram os compósitos contendo descontinuidade e vazios superficiais nas matrizes de gesso puro e aditivado.

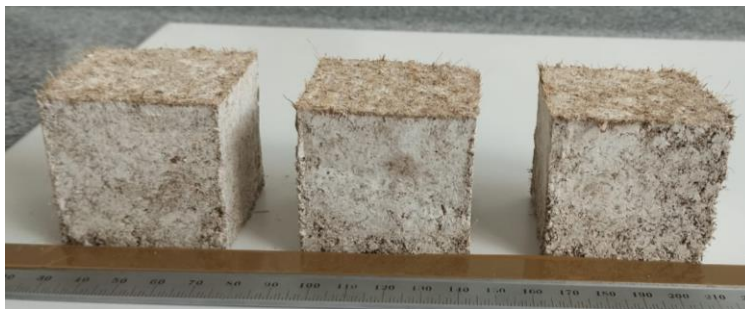


Figura 15. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso puro-20% fibra.



Figura 16. Vista lateral dos corpos de prova do compósito matriz gesso aditivado-20% fibra.

5.3. Densidade

5.3.1. Densidade da matriz

A densidade obtida para a matriz GP foi de $1,39 \text{ g/cm}^3$, enquanto para a matriz GA foi de $1,32 \text{ g/cm}^3$. Foi possível analisar que o aditivo empregado provocou uma redução de 5,1% na densidade do gesso aditivado em relação ao gesso puro, observado na Tabela 7.

O aditivo produziu corpos de prova com melhor acabamento superficial e menos porosidades visuais, portanto, esperava-se que a redução dos defeitos superficiais e melhor acabamento dos corpos de prova com o aditivo, produzissem corpos de prova mais densos.

Tabela 7. Densidade dos corpos de prova das matrizes gesso puro e aditivado.

Matriz	Densidade (g/cm³)
GP	1,39 ± 0,01
GA	1,32 ± 0,02

5.3.2. Densidade dos compósitos

De acordo com os dados de Catunda, Amazonas e Matos (2014), a densidade da fibra de coco verde está próxima de 0,166 g/cm³ e umidade em torno de 66%. Os compósitos com matriz de GP contendo 5%, 10% e 20% de fibra apresentaram densidades de 1,37 g/cm³, 1,30 g/cm³ e 1,15 g/cm³, respectivamente (Tabela 8). Estes valores são inferiores ao de densidade da matriz gesso puro, cujo valor foi de 1,39 g/cm³ (Tabela 7). Este resultado revela que a fibra de coco, material de baixa densidade (Senhoras, 2003), quando inserido no gesso, promoveu a redução da densidade dos compósitos. Portanto, pode-se concluir que os compósitos apresentaram redução de densidade respectivamente de 1,5%, 6,5% e 17,3% em relação ao gesso puro.

Os compósitos com matriz de GA contendo 5% e 10% de fibra apresentaram ambos, densidade de 1,34 g/cm³ (Tabela 8), valores superiores ao de densidade da matriz GA, cuja densidade foi de 1,32 g/cm³ (Tabela 7). Os resultados de densidade para os compósitos de matriz GA apresentaram incoerência, pois as fibras de coco, material de baixa densidade, não promoveram a redução da densidade dos compósitos. Os dados mostram que o aditivo atuou modificando as características das fibras e do gesso, resultando na mudança da densidade. Entretanto, não se pode explicar os resultados, uma vez que serão necessários estudos posteriores para verificar as possíveis interações químicas que o aditivo pode provocar na matriz e nas fibras de coco. O compósito GA-20F apresentou redução de densidade em relação à matriz GA, o que pode estar associado ao elevado percentual de fibra e aos defeitos, salientando que acima de 20% de fibra, não há molhabilidade adequada, o que gera maior quantidade de vazios na estrutura e conseqüentemente, redução de densidade. Portanto, chegou-se à conclusão de que os compósitos GA-5F e GA-10F

apresentaram aumento de densidade de 1,5% e o compósito GA-20F apresentou redução de 19,0%, em relação à matriz GA.

Tabela 8. Densidade dos corpos de prova dos compósitos de matriz gesso puro e gesso aditivado.

Compósitos	Densidade (g/cm³)
GP-5F	1,37 ± 0,02
GP-10F	1,30 ± 0,03
GP-20F	1,15 ± 0,03
GA-5F	1,34 ± 0,03
GA-10F	1,34 ± 0,01
GA-20F	1,07 ± 0,03

A incorporação das fibras provocou redução na densidade dos corpos de prova dos compósitos de matriz GP. Concluiu-se que quanto maior o percentual de fibra, menor a densidade do compósito, devido à menor densidade da fibra em relação à matriz gesso.

Para os compósitos de matriz GA, os resultados do efeito dos percentuais de fibras foram inconclusivos. Portanto, será necessário efetuar novos ensaios para buscar uma conclusão adequada.

5.4. Comportamento mecânico

O comportamento mecânico das matrizes gesso (puro e aditivado) e dos compósitos foi avaliado empregando ensaio de compressão.

O ensaio de compressão possibilitou avaliar o efeito do aditivo no comportamento mecânico das matrizes gesso e o efeito dos percentuais de fibra incorporada às matrizes gesso puro e aditivado. A propriedade utilizada para análise do comportamento mecânico foi a tensão máxima à compressão ($\sigma_{\text{máx}}$).

5.4.1. Matrizes gesso

Por se tratar de uma matriz frágil, observou-se a ruptura dos corpos de prova imediatamente após atingir a carga máxima no ensaio de compressão. Portanto, chegou-se à conclusão de que a tensão máxima à compressão ($\sigma_{\text{máx}}$) seria útil para análise do comportamento mecânico.

A tensão máxima à compressão foi calculada dividindo-se a carga máxima obtida no ensaio de compressão, pela área da base do corpo de prova, de acordo com a Equação 2.

A tensão máxima à compressão ($\sigma_{\text{máx}}$) da matriz gesso puro foi de 14,34 MPa, enquanto da matriz gesso aditivado foi de 12,96 MPa, observados na Tabela 9. Os resultados mostram que o aditivo empregado na matriz gesso provocou uma redução da tensão máxima à compressão de 9,4% em relação à matriz GP. Estatisticamente, a diferença dos resultados não é significativa, entretanto, mostram uma tendência de queda da tensão produzida pelo aditivo. No Apêndice 2, são observados os corpos de prova das matrizes de gesso após o ensaio de compressão.

Tabela 9. Tensão e deformação máxima das matrizes gesso puro e aditivado.

Matriz	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	$\epsilon_{\text{máx}}$ (%)
GP	14,30 ± 0,35	2,05 ± 0,70
GA	12,96 ± 0,92	6,50 ± 0,90

O aditivo promoveu o aumento de deformação da matriz gesso aditivado, uma vez que a $\sigma_{\text{máx}}$ do gesso puro foi obtida na faixa de deformação entre 1,0% e 1,5% (Figura 17), enquanto para o gesso aditivado a tensão máxima está presente entre 2,0% e 3,0% de deformação (Figura 18). Portanto, pode-se afirmar que o deslocamento de $\sigma_{\text{máx}}$ no eixo da deformação é um indicativo do aumento da deformação em função do emprego do aditivo.

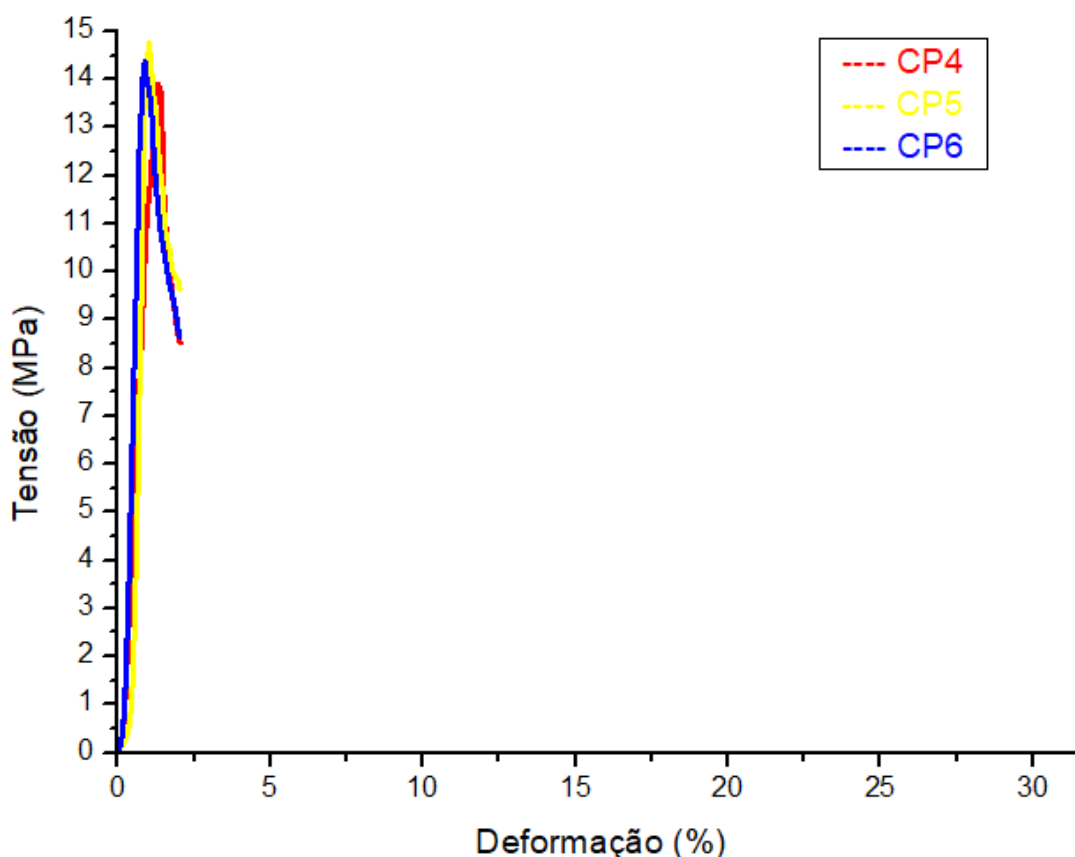


Figura 17. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro.

No ensaio de compressão, quando a tensão máxima foi atingida, ocorreu a ruptura do material e a tensão caiu abruptamente, justificando o comportamento das curvas tensão x deformação, as quais são caracterizadas por representarem um material cerâmico e frágil. Após a ruptura, foi realizado o encerramento do ensaio, entretanto, o encerramento ocorreu em intervalos de tempo diferentes, ocasionando diferenças de deformação. Portanto, as deformações máximas ($\epsilon_{\text{máx}}$) calculadas refletem essas pequenas diferenças de deformação, ressaltando que este parâmetro corrobora o efeito do aditivo.

Na Tabela 9 é apresentado o cálculo da deformação máxima dos corpos de prova, onde é observado a ocorrência de $\epsilon_{\text{máx}}$ de 6,50% no GA, enquanto no GP o valor deste parâmetro foi de 2,05%.

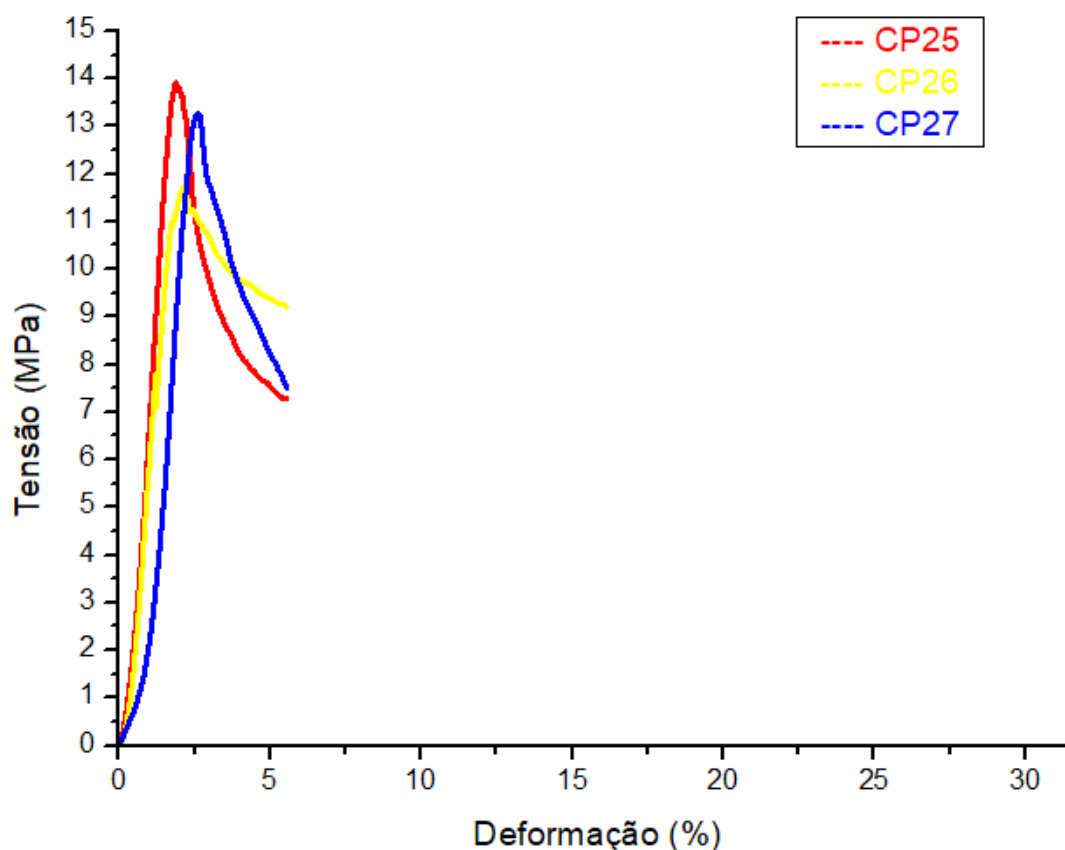


Figura 18. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado.

Os resultados do ensaio de compressão das matrizes gesso puro e gesso aditivado mostraram que o aditivo empregado possui relevância no aumento da deformação da matriz. Entretanto, a aplicação do Bianco provocou uma redução da resistência à compressão da matriz.

5.4.2. Compósitos

5.4.2.1. Compósitos com matriz gesso puro

As tensões máximas de compressão dos compósitos com 5%, 10% e 20% de fibra, respectivamente de 10,13 MPa, 8,03 MPa e 9,65 MPa, foram inferiores à da matriz gesso puro, com 14,30 MPa (Tabela 10). A redução de $\sigma_{\text{máx}}$ dos compósitos em relação à matriz foram respectivamente de 29,2%, 43,9% e 32,5% para os percentuais de 5%, 10% e 20% de fibra.

Portanto, as fibras de coco não produziram reforço da matriz gesso puro, já que os compósitos apresentaram menores tensões máximas à compressão do que a

matriz. Portanto, as fibras incorporadas à matriz reduziram sua resistência mecânica. No Apêndice 2, são observados os corpos de prova dos compósitos gesso – fibra após o ensaio de compressão

Como observado na Tabela 10, o compósito GP-10F apresentou $\sigma_{\text{máx}}$ 20,7% inferior à do GP-5F. Já o compósito GP-20F apresentou $\sigma_{\text{máx}}$ 16,9% superior à do GP-10F e 4,64% inferior à do GP-5F, o que acarretou mudança de tendência estatística de queda de tensão máxima com o aumento do teor de fibra, ou seja, não ocorreu uma relação linear na queda dos valores de tensão máxima dos compósitos a partir de 20% de fibra.

Tabela 10. Tensão e deformação máxima do gesso puro e dos compósitos.

Material	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	$\epsilon_{\text{máx}}$ (%)
GP	14,30 ± 0,35	2,05 ± 0,70
GP-5F	10,13 ± 1,22	2,78 ± 0,31
GP-10F	8,03 ± 0,49	4,14 ± 0,22
GP-20F	9,65 ± 1,41	11,33 ± 0,39

A incorporação das fibras na matriz GP alterou o comportamento das curvas tensão x deformação, observado nas Figuras 19, 20 e 21. Na figura 19, a qual representa o comportamento mecânico do GP-5F, observou-se a ruptura da matriz, que ocorreu de forma análoga ao GP, porém com a presença de um pequeno amortecimento provocado pela fibra. Entretanto, nas Figuras 20 e 21 (10% e 20% de fibra) não foi observada a ruptura da matriz, já que no GP-10F, a curva permanece quase de maneira constante após atingir a tensão máxima. Já no compósito GP-20F, a tensão cresce continuamente em conjunto com a deformação, refletindo a descontinuidade da matriz, sendo que neste caso, o ensaio registrou a resposta das fibras ao deslocamento das garras no ensaio.

Analogamente aos resultados da matriz gesso, foi realizado o cálculo da deformação máxima dos compósitos, vistos na Tabela 10. Foi observado que o compósito GP-5F apresentou deformação análoga ao GP, corroborando com as curvas tensão x deformação. Para os teores de 10% e 20% de fibra, ocorreu aumento

da deformação em relação à matriz gesso, também de acordo com as curvas tensão x deformação.

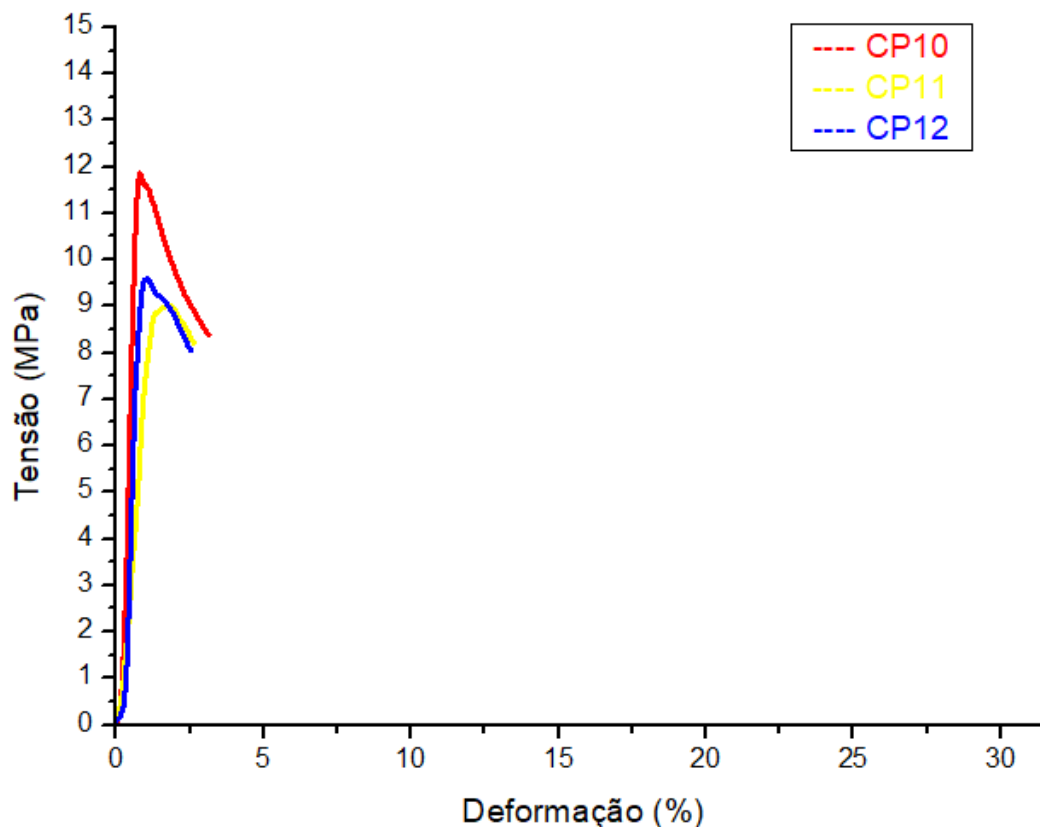


Figura 19. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-5% fibra.

A fibra de coco promoveu o aumento de deformação dos compósitos, uma vez que a $\sigma_{\text{máx}}$ do GP-5F foi obtida na faixa de deformação entre 1,5% e 2,0% (Figura 19). Para o GP-10F, a tensão máxima está presente entre 2,0% e 3,0% de deformação (Figura 20). Como o GP-20F apresentou tensão máxima igual a tensão última do ensaio de compressão, a faixa de deformação onde ocorre a $\sigma_{\text{máx}}$ é justamente a deformação máxima igual a 11,33%. Portanto, pode-se afirmar que o deslocamento de $\sigma_{\text{máx}}$ no eixo da deformação é um indicativo do aumento da deformação em função da quantidade de fibra.

Na Tabela 10 é apresentado o cálculo da deformação máxima dos corpos de prova, onde é observado a $\epsilon_{\text{máx}}$ dos compósitos com 5%, 10% e 20% de fibra, sendo iguais a 2,78%, 4,14% e 11,33%, respectivamente.

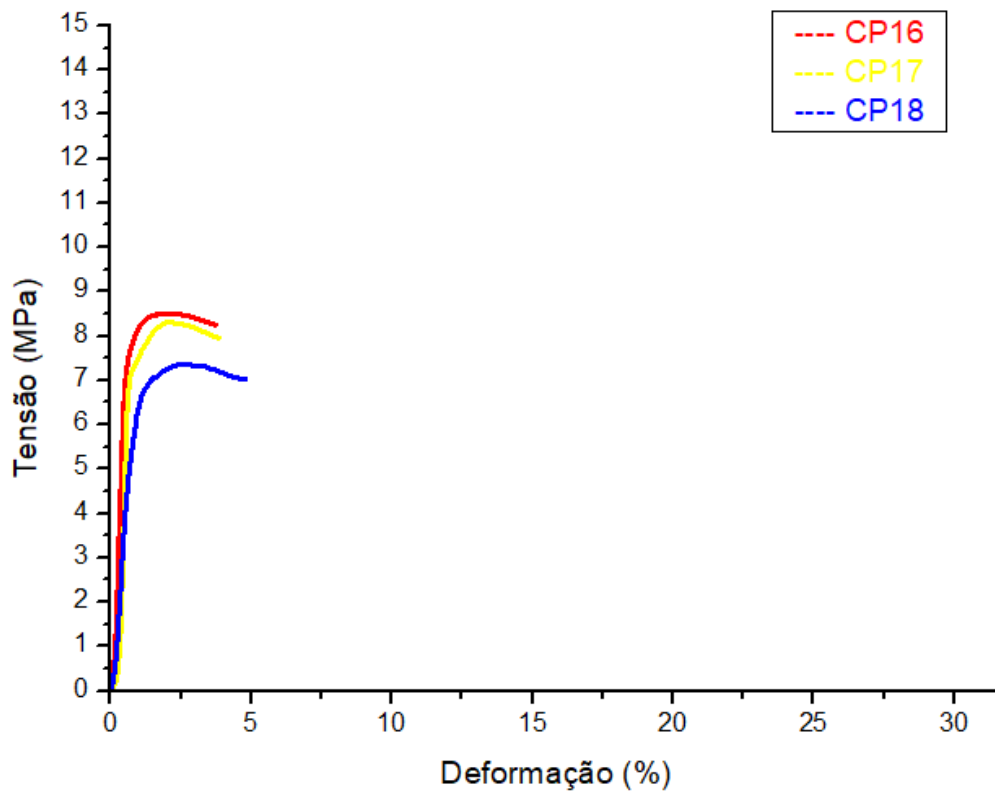


Figura 20. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-10% fibra.

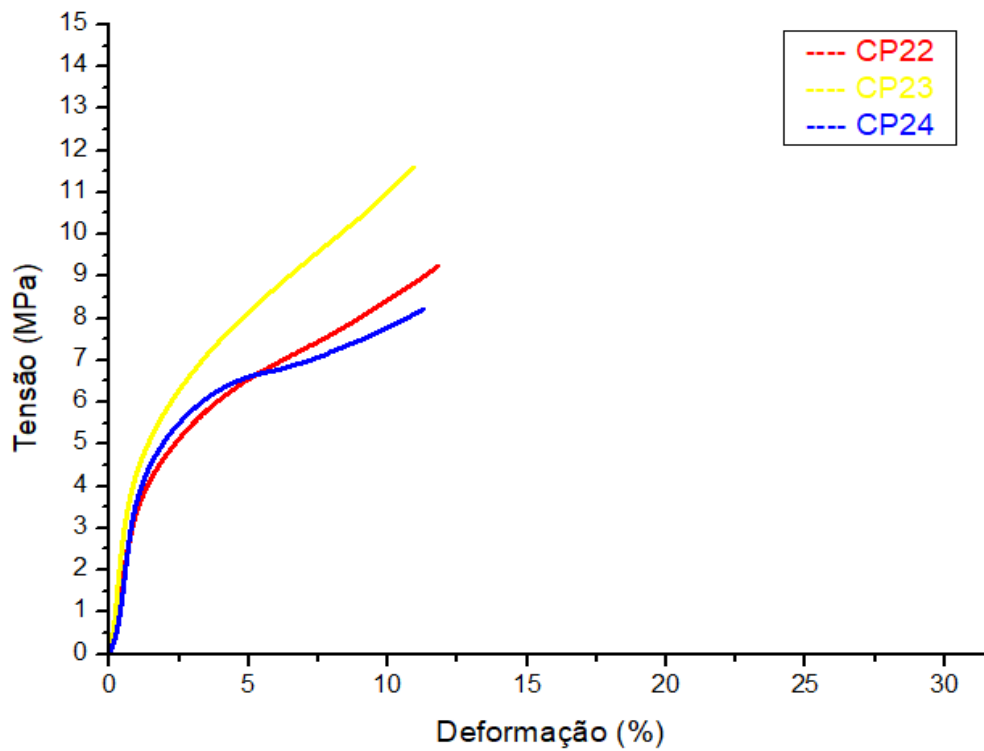


Figura 21. Curva tensão x deformação em compressão do gesso puro-20% fibra.

Pode-se concluir que o comportamento mecânico dos compósitos com 5%, 10% e 20% de fibra corroboram com os dados de Silva *et al.* (2012), que verificaram que o emprego de fibras nas matrizes cimentícias altera o comportamento do material após a fissuração, reduzindo o rompimento frágil das matrizes. Tal efeito foi mais significativo no compósito com 20% de fibra.

5.4.2.2. Compósitos com matriz gesso aditivado

As tensões máximas de compressão dos compósitos com 5%, 10% e 20% de fibra, respectivamente de 10,87 MPa, 8,05 MPa e 8,32 MPa, foram inferiores à da matriz GA, com 12,96 MPa (Tabela 11). A redução de $\sigma_{\text{máx}}$ dos compósitos em relação à matriz foi respectivamente de 16,1%, 37,9% e 35,8% para os percentuais de 5%, 10% e 20% de fibra.

Como observado na Tabela 11, o compósito GA-10F apresentou $\sigma_{\text{máx}}$ 26,0% inferior à do GA-5F. Já o compósito GA-20F apresentou aumento de $\sigma_{\text{máx}}$ de 3,25% em relação à do GA-10F e redução de 23,46% em relação à do GA-5F.

O resultado da relação entre a fibra como reforço e a matriz GA ocorreu de forma análoga aos compósitos de matriz GP. As fibras de coco não produziram reforço da matriz GA, pelo fato de que os compósitos apresentaram menores tensões máximas à compressão do que a matriz, sendo assim, quanto maior o percentual de fibra, maior foi a redução das tensões máximas de compressão para os compósitos com 5 e 10% de fibra. Por outro lado, assim como no compósito GP-20F, no GA-20F ocorreu tendência de aumento de tensão máxima, o que acarretou mudança de tendência estatística de queda de tensão máxima com o aumento do teor de fibra, ou seja, não ocorreu uma relação linear na queda dos valores de tensão máxima dos compósitos a partir de 20% de fibra.

No Apêndice 2, são observados os corpos de prova dos compósitos gesso – fibra após o ensaio de compressão. A análise dos corpos de prova mostrou que os compósitos com matriz GA apresentaram maior quantidade de trincas laterais, corroborando com o menor desempenho mecânico e maior deformação

Tabela 11. Tensão e deformação máxima do gesso aditivado e dos compósitos.

Material	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	$\epsilon_{\text{máx}}$ (%)
GA	$12,96 \pm 0,92$	$6,50 \pm 0,90$
GA-5F	$10,87 \pm 0,51$	$9,64 \pm 0,37$
GA-10F	$8,05 \pm 1,00$	$10,54 \pm 0,82$
GA-20F	$8,32 \pm 1,68$	$31,74 \pm 0,60$

Analogamente à matriz GP, a incorporação das fibras na matriz GA alterou o comportamento das curvas tensão x deformação, observado nas Figuras 22, 23 e 24. Na Figura 22, a qual representa o comportamento mecânico do GA-5F, observou-se a ruptura da matriz, que ocorreu de forma análoga ao GA, porém de forma menos brusca que as matrizes GA, GP e o compósito GP-5F, sendo justificado pela presença da fibra em conjunto ao aditivo. Entretanto, nas Figuras 23 e 24 (10% e 20% de fibra) não foi observado a ruptura da matriz, já que no GA-10F a curva não decaí abruptamente após atingir a tensão máxima. Já no compósito GA-20F, a tensão cresce continuamente em conjunto com a deformação, refletindo a descontinuidade da matriz, sendo que neste caso, assim como no compósito GP-20F, o ensaio registrou a resposta das fibras ao deslocamento das garras no ensaio. Analogamente aos resultados dos compósitos de matriz gesso puro, foi realizado o cálculo da deformação máxima dos compósitos de matriz gesso aditivado, vistos na Tabela 11. Foi observado que o compósito GA-5F apresentou deformação análoga ao GA, corroborando com as curvas tensão x deformação. Para os teores de 10 e 20% de fibra, ocorreu aumento da deformação em relação à matriz GA, também de acordo com as curvas tensão x deformação.

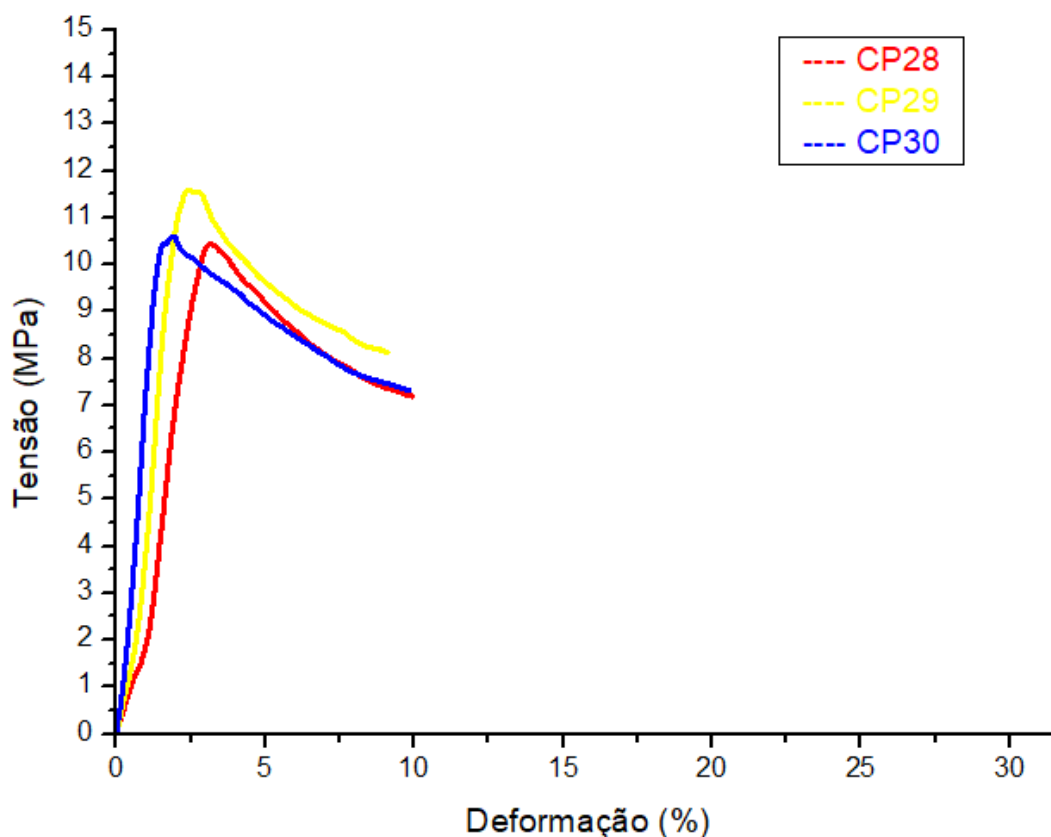


Figura 22. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-5% fibra.

A fibra de coco em conjunto ao aditivo empregado promoveu o aumento de deformação dos compósitos, uma vez que a $\sigma_{\text{máx}}$ do GA-5F foi obtida na faixa de deformação entre 1,5% e 3,0% (Figura 22). Para o GA-10F, a tensão máxima foi obtida entre 2,5% e 5,0% de deformação (Figura 23). Assim como o compósito de GP-20F, o GA-20F apresentou tensão máxima igual a tensão última do ensaio de compressão, portanto, a faixa de deformação onde ocorre a $\sigma_{\text{máx}}$ é justamente a deformação máxima igual a 31,74% (Tabela 11). Sendo assim, pode-se afirmar que o deslocamento de $\sigma_{\text{máx}}$ no eixo da deformação é um indicativo do aumento da deformação em função da quantidade de fibra e do aditivo empregado.

Na Tabela 11 é apresentado o cálculo da deformação máxima dos corpos de prova, onde é observado a $\epsilon_{\text{máx}}$ dos compósitos de matriz gesso aditivado com 5%, 10% e 20% de fibra, sendo iguais a 9,64%, 10,54% e 31,74%, respectivamente.

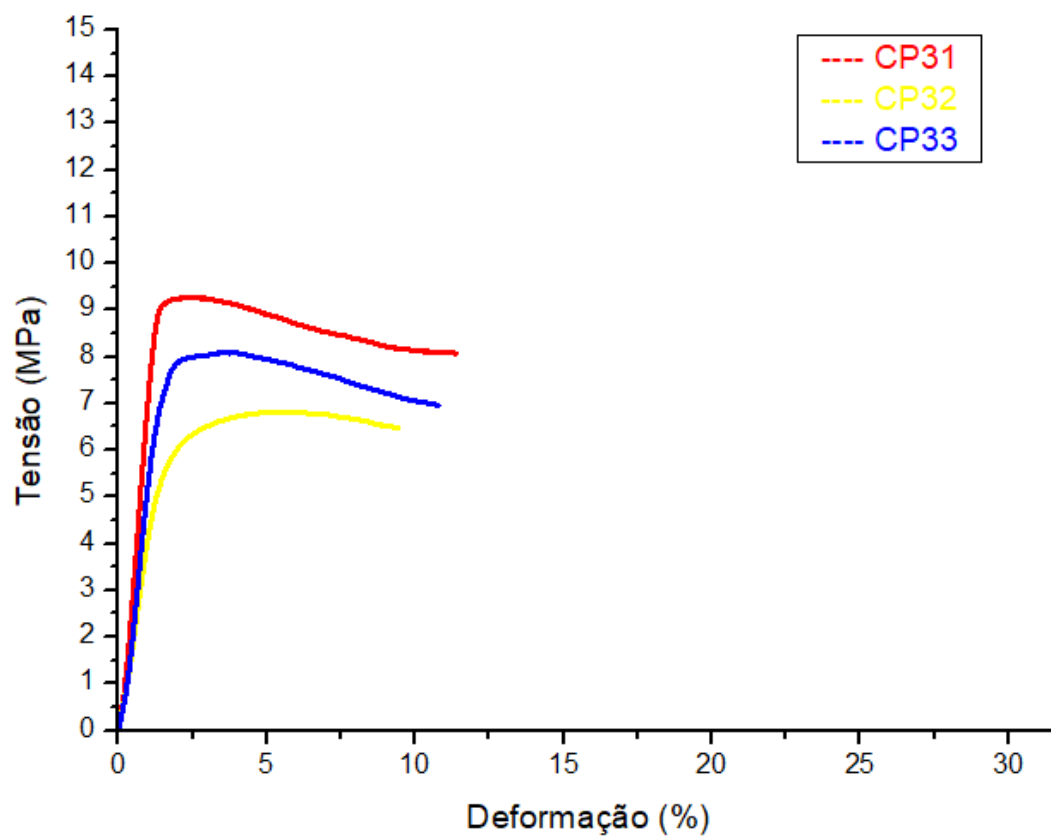


Figura 23. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-10% fibra.

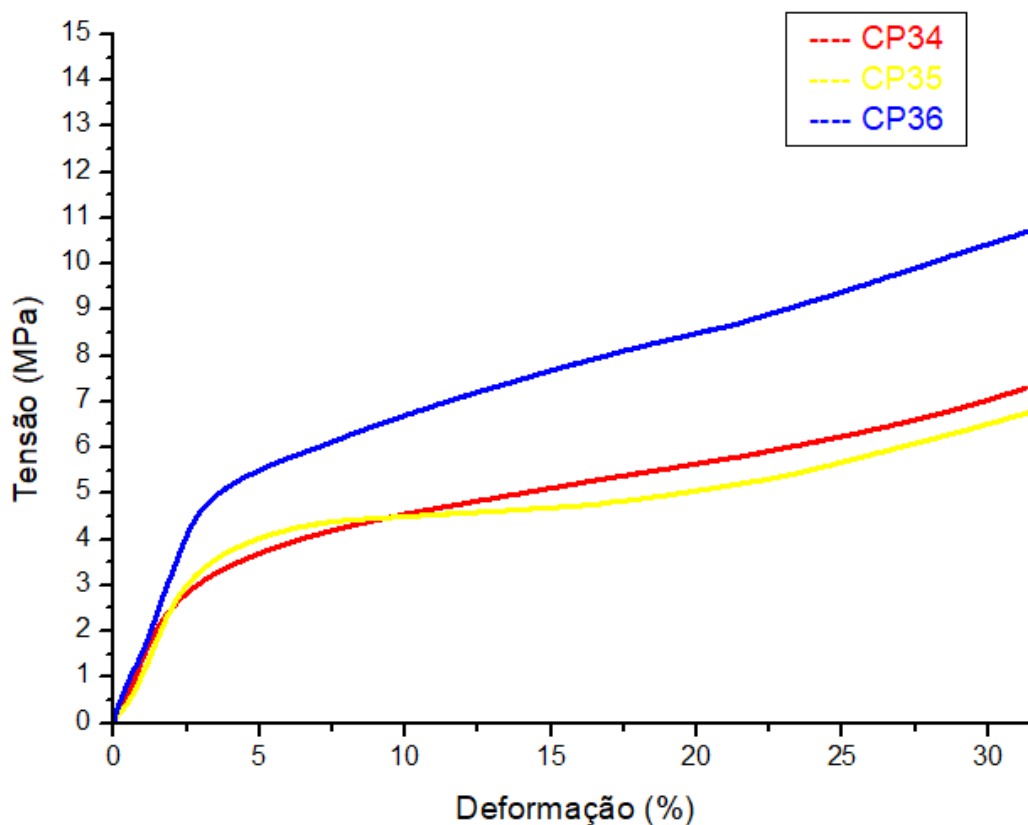


Figura 24. Curva tensão x deformação em compressão do gesso aditivado-20% fibra.

Pode-se concluir que a deformação onde ocorre a tensão máxima e a deformação máxima dos corpos de prova foi maior nos compósitos com gesso aditivado em relação aos compósitos com gesso puro. Portanto, os resultados indicaram que o aditivo empregado produziu aumento da deformação dos compósitos.

6. CONCLUSÕES

- O aditivo apresentou-se eficaz na etapa de processamento da matriz e dos compósitos, pois ocorreu aumento do tempo de pega do gesso e trabalhabilidade manual da mistura.
- Os corpos de prova com aditivo obtiveram menores defeitos visuais de processamento (porosidade superficial) quando comparados aos sem aditivo.
- O aditivo promoveu a redução da densidade da matriz gesso.
- O aditivo resultou em uma incoerência dos resultados de densidade e resistência mecânica dos compósitos.
- As fibras de coco incorporadas à matriz gesso puro reduziram a densidade e resistência mecânica.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar o efeito da interação que o aditivo provoca na matriz e nas fibras.
- Analisar a superfície de fratura dos corpos de prova utilizando microscópio óptico e MEV.
- Repetir a produção dos compósitos com 20% de fibra.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. P. **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS DE FONTES RENOVÁVEIS EM COMPÓSITOS DE POLI(ÁCIDO LÁTICO) E CASCA DE NOZ-PECÃ**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2023, 1ª edição). NBR 13207-03. Gesso para construção civil Parte 3: Determinação das propriedades mecânicas.

BARBOSA, R. A.; SOUZA, G. R.; SILVA, V. A.; GONÇALVES, E. P. **Extração de fibras de coco para aplicação em materiais de engenharia**. XX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

BIANCO VEDACIT - ADESIVO DE ALTO DESEMPENHO PARA ARGAMASSAS E CHAPISCOS. Disponível em: <https://vedacit.com.br/para-voce/produtos-e-solucoes/adesivos/bianco.html#description>. Acesso: 17/11/2023.

CALLISTER JUNIOR; D. G. RETHWISCH, W. D., *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução*. 9ª edição. Rio de Janeiro, LTC, 2016.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra de casca de coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.20, n. 4, p.533- 535, 2002.

CATUNDA, T.; AMAZONAS, M.; MATOS, T.. **POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FIBRA DE COCO COMO MATÉRIA PRIMA ALTERNATIVA AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS**. Manaus, Amazonas. 2014.

FERREIRA, F. C., “Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no polo gessoso do Araripe”, Tese de M.Sc., UFPE, Recife, 2017.

FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. A. A cultura do coqueiro no Brasil. 2ª ed. Brasília: **Embrapa-SPI**, 1998. 292 p.

FREITAS, M. N. B. S. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS COM MATRIZES DE GESSO COMUM E RECICLADO E FIBRA DE COCO VERDE HORNIFICADA**. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão-SE, 2024

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.. Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, G. C.. *Materiais de Construção Civil*. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.

K. K. CHAWLA, *Composite Materials: Science and Engineering*. Third Edition. Springer. New York, 2012.

Maria H. Ishizaki; Leila L. Y. Visconte; Cristina R. G. Furtado; Márcia C. A. M. Leite; Jean L. Leblanc. **Caracterização Mecânica e Morfológica de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco Verde: Influência do Teor de Fibra e das Condições de Mistura**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 16, nº3, p. 182-186, 2006.

MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I 2008/2009 - 1º semestre. Materiais Compósitos**. Departamento de Engenharia Civil. Área de construção. Instituto politécnico de Tomar. Escola superior de Tomar, Portugal.

NASCIMENTO, C. M. **COMPÓSITO DE GESSO REFORÇADO COM FIBRA DE COCO E CORTIÇA TRITURADA**. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2018.

NASCIMENTO, V. A. **APLICAÇÕES DE MATERIAIS COMPÓSITOS COM MATRIZ CERÂMICA**. Campo Grande: Editora Inovar, 2020. 77p.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **COMPÓSITOS ESTRUTURAIS: ciência e tecnologia**. 2ª edição revista e ampliada. Edgard Blucher Ltda. 2016.

PASSOS, P. R. A. *Destinação Sustentável de Cascas de Coco Verde (Cocos Nucifera): Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas*. 2005. 186p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

PINTO, N. A.; FIORITI, C. F.; BERNABEU, J. P. et al. “Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil”, Revista Tecnológica, v. 25, n. 1, pp. 103-117, 2016.

ROSA, M. de F.; ABREU, F. A. P. DE; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. de V. Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindustria Tropical, 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 61).

SANTOS, M. S. “Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados à base de PET pós-consumo e cargas de coco”, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (2002).

SENHORAS, E. *Estratégia de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco*. Campinas: Ed. ESC, 2003.

SILVA, E.; MARQUES, M.; FORNARI JUNIOR, C. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. V.8, p.1555-1561, 2012.

SILVA, G. G. DE SOUZA, D. A. MACHADO, J. C. HOURSTON, D. J. Mechanical and thermal characterization of native Brazilian coir fiber. Journal of Applied Polymer Science, New York, v.76, n.7, p.1197-1206, 2000.

SILVA, R. V.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANI, J. R. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. Composites Science Technology, Barking, v.66, n.10, p.1328-1335, 2006.

SOPHIA, M.; SAKTHIESWARAN, N.; BABU G.O. “Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments”, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, v. 2, n. 12, pp. 1-9, 2016.

SOUZA, M.F., Gesso e compósitos de alta resistência mecânica e baixa permeabilidade e seu processo de fabricação – Patente – PI 0303814-9 A, 2005.

VELOSO, M. C. R. A.; VILLELA, L. S.; JÚNIOR, L. M.; VALLE, M. L. A.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. **Produção e caracterização de compósitos à**

base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. Revista Matéria, v.26, n.1, 2021.

VILLELA, L. S.; CASTRO, E. D.; JÚNIOR, L. M.; VELOSO, M. C. R. A.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. **Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas.** Revista Matéria, v.25, n.3, 2020.

TENORIO, J. S.; SANTOS, J. B. **PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO REFORÇADAS COM FIBRAS DE COCO.** Cadernos de Graduação. Ciência exatas e tecnológicas. Alagoas, v.5, n.1, p.173-182. Novembro de 2018.

TOMCZAK, F. SYDENSTRICKER, T. H. D. SATYANARAYANA, K. G. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of brazilian coconut fibers. Composites Part Applied Science and Manufacturing, Kidlington, v.38, n.7, p.1710-1721, 2007.

APÊNDICE 1

1. Gessos puro e aditivado



Figura 1. Gesso puro sem acabamento superficial.

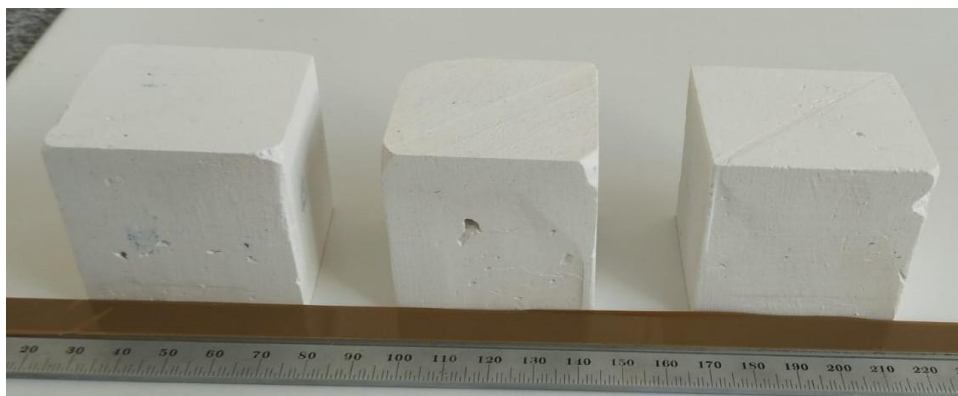


Figura 2. Gesso puro com acabamento superficial.



Figura 3. Gesso aditivado sem acabamento superficial.

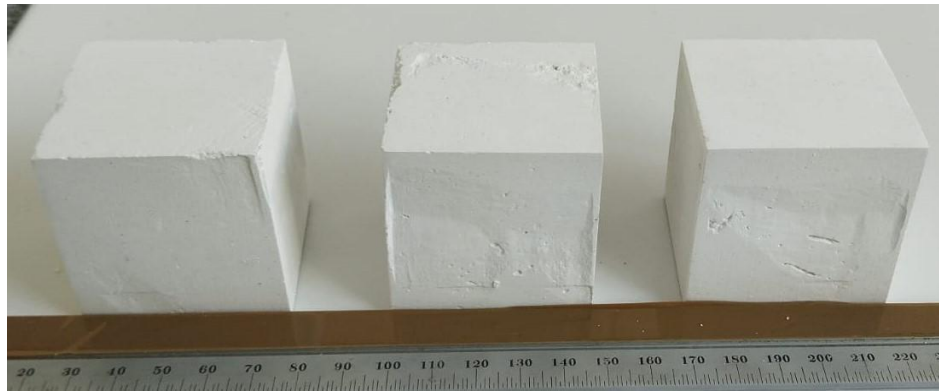


Figura 4. Gesso aditivado com acabamento superficial.

2. Compósito gesso puro – 5% fibra



Figura 5. Gesso puro com 5% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 6. Gesso puro com 5% de fibra com acabamento superficial.

3. Compósito gesso puro – 10% fibra



Figura 7. Gesso puro com 10% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 8. Gesso puro com 10% de fibra com acabamento superficial.

4. Compósito gesso puro – 20% fibra



Figura 9. Gesso puro com 20% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 10. Gesso puro com 20% de fibra com acabamento superficial.

5. Compósito gesso aditivado – 5% fibra



Figura 11. Gesso aditivado com 5% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 12. Gesso aditivado com 5% de fibra com acabamento superficial.

6. Compósito gesso aditivado – 10% fibra



Figura 13. Gesso aditivado com 10% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 14. Gesso aditivado com 10% de fibra com acabamento superficial.

7. Compósito gesso aditivado – 20% fibra



Figura 15. Gesso aditivado com 20% de fibra sem acabamento superficial.



Figura 16. Gesso aditivado com 20% de fibra com acabamento superficial.

APÊNDICE 2



Figura 1. Vista lateral dos corpos de prova após ensaio de compressão. Gesso aditivado (esquerda) e gesso puro (direita).



Figura 2. Vista lateral dos corpos de prova após ensaio de compressão. Compósitos de gesso aditivado – 5% de fibra (esquerda) e de gesso puro – 5% fibra (direita).



Figura 3. Vista lateral dos corpos de prova após ensaio de compressão. Compósitos de gesso aditivado – 10% fibra (esquerda) e gesso puro – 10% de fibra (direita).



Figura 4. Vista lateral dos corpos de prova após ensaio de compressão. Compósitos de gesso aditivado – 20% fibra (esquerda) e gesso puro – 20% fibra (direita).