

**Universidade Feevale
Programa de Pós-graduação Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais**

CAIO ARTHUR ALLGAYER

**DESENVOLVIMENTO DE
COMPÓSITOS DE RESÍDUOS DE
TINTA ELETROSTÁTICA EM PÓ E
CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Novo Hamburgo

2021

**Universidade Feevale
Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais**

CAIO ARTHUR ALLGAYER

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE RESÍDUOS DE TINTA
ELETROSTÁTICA EM PÓ E CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vanusca Dalosto Jahno

Novo Hamburgo

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Allgayer, Caio Arthur.

Desenvolvimento de compósitos de resíduos de tinta eletrostática em pó e cinza de casca de arroz / Caio Arthur Allgayer. – 2021.

64 f. ; il. color. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2021.

Inclui bibliografia.

“Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vanusca Dalosto Jahno”.

1. Cinza de casca de arroz. 2. Compósito. 3. Reciclagem. 4. Resíduos. 5. Tinta em pó. I. Título.

CDU 628.477.6

Bibliotecária responsável: Janice Moser Corrêa – CRB 10/2315

Universidade Feevale
Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais

CAIO ARTHUR ALLGAYER

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE RESÍDUOS DE TINTA
ELETROSTÁTICA EM PÓ E CINZA DE CASCA DE ARROZ

Componentes da Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Vanusca Dalosto Jahno (Orientadora)
Universidade Feevale

Prof. Dr. Fabricio Celso
Universidade Feevale

Prof.^a Dr.^a Ana Cristina de Almeida Garcia
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos

RESUMO

O tema resíduo sólido está em alta na comunidade científica. Tal fenômeno pode ser explicado pelo grande impacto que o assunto tem sobre a economia mundial, o meio ambiente e a saúde pública. As mudanças não são apenas nas tecnologias de reciclagem, a maneira como a economia mundial é estudada está em transformação. Identificada a necessidade de pesquisas mais abrangentes sobre reciclagem dos resíduos oriundos da indústria de tinta eletrostática em pó, bem como dos resíduos do setor agroindustrial de produção de arroz, o presente trabalho procura encontrar uma alternativa para o problema propondo a criação de compósito elaborado com base nos materiais citados. O objetivo do trabalho foi desenvolver um compósito de cinza de casca de arroz com resíduos de tinta em pó. Foram testadas formulações com diferentes proporções e caracterizadas por análise de infravermelho, térmica por TGA e DSC, além da morfologia, absorção de água e compressão. O compósito foi homogeneizado através de calor em forma especial para fabricação de pavimentos intertravados, visando submetê-lo a testes de resistência e absorção de água. Em análise granulométrica, a CCA apresentou partículas com diâmetros entre 0,075mm e 0,500mm. Já a tinta em pó, entre 0,025mm e 0,090mm, apontando ser um resíduo com partículas pequenas, sendo os dois resultados também observados em fotomicrografias. Quanto à composição, a CCA possui, como principais componentes, silício (91,8%) e potássio (8,2%), enquanto a tinta em pó é constituída, principalmente, por titânio, cálcio, chumbo e silício. Em análise da micrografia do compósito estudado, formulação 4 composta por 20% de CCA e 80% de resíduo de tinta em pó, curado por 30 minutos a 250°C, é possível observar uma compatibilidade dos componentes. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que existe viabilidade técnica para o preparo de compósitos de resíduos de tinta em pó e cinza de casca de arroz.

Palavras-chave: Cinza de casca de arroz; Compósito; Reciclagem; Resíduos; Tinta em pó.

ABSTRACT

The topic of solid waste is becoming more popular in the scientific community, this phenomenon can be explained by the great impact the subject has on the world economy, the environment, and public health. The changes seen are not just in recycling technologies, the way the world economy is studied is also shifting. Recognising the need of further research on the recycling of residues from the electrostatic coating industry, as well as residues from the agro industrial sector of rice cultivation, the present study seeks an alternative to both problems, proposing the creation of an elaborate composite based on the materials cited. The objective of this study was to develop a composite of rice husk ash and powder paint residues. Formulations with different proportions of each material were tested and qualified by infrared, thermal analysis by TGA and DSC, in addition to morphology, water absorption and compression. The composite was then homogenized through heat in a special mold for manufacturing interlocking pavements, aiming to subject it to both resistance and water absorption tests. In granulometric analysis, CCA showed particles with diameters between 0.075mm and 0.500mm. Powder paint, on the other hand, between 0.025mm and 0.090mm, indicating being a residue with small particles. Both results were also observed in photomicrographs. As for the composition, CCA has silicon (91.8%) and potassium (8.2%) as it's main components, while powder paint is mainly composed of titanium, calcium, lead and silicon. In micrograph analysis of the studied composite, formulation number four composed of 20% CCA and 80% powder paint residue, cured for 30 minutes at 250°C, it is possible to observe a compatibility of the components. From the results obtained, it is possible to conclude that there is technical feasibility for the preparation of composites of powder paint residues and rice husk ash.

Keywords: Rice husk ash; Composite; Recycling; Residues; Powder paint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação de tinta em pó.....	15
Figura 2: Fluxo da reciclagem mecânica de materiais plásticos	20
Figura 3: Componentes do pavimento intertravado.....	24
Figura 4: Disposições de pavimentação intertravada.....	25
Figura 5: Madeira plástica.....	26
Figura 6: Telhas de Tetra Pak.....	27
Figura 7: Materiais utilizados nas formulações: a) Resíduo de tinta em pó; b) Cinza de casca de arroz.....	29
Figura 8: Forma especial teflonada.....	30
Figura 9: Secagem dos compósitos da formulação 4.....	34
Figura 10: Teste de absorção de água.....	35
Figura 11: Análise granulométrica em percentual CCA.....	36
Figura 12: Análise granulométrica em percentual Tinta em Pó.....	37
Figura 13: Imagem do compósito da Formulação 1, sendo a) externo e b) interno.....	38
Figura 14: Imagem do compósito da Formulação 2, sendo a) externo e b) interno.....	39
Figura 15: Imagem do compósito da Formulação 3, sendo a) externo e b) interno.....	39
Figura 16: Imagem do compósito da Formulação 4, sendo a) externo e b) interno.....	40
Figura 17: Imagem do compósito da Formulação 5, sendo a) externo e b) interno.....	40
Figura 18: Fotomicrografias do resíduo de tinta em pó.....	41
Figura 19: Fotomicrografias da cinza de casca de arroz.....	42
Figura 20: Fotomicrografias do compósito da Formulação 4.....	43
Figura 21: Micrografias de a) Resíduo de tinta em pó, b) Cinza da casca de arroz, c) Tinta em pó após temperatura de secagem e d) Compósito da formulação 4, 1000X.....	44
Figura 22: Espectro de IV da cinza de casca de arroz.....	46
Figura 23: Espectro de IV do resíduo de tinta em pó.....	47
Figura 24: Espectro de IV compósito da Formulação 4.....	48
Figura 25: Termograma da cinza de casca de arroz.....	49
Figura 26: Termograma do resíduo de tinta em pó.....	49
Figura 27: Termograma do compósito da Formulação 4.....	50
Figura 28: Análise de DSC do resíduo de tinta em pó.....	51
Figura 29: Pavimento pós-teste de compressão.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulações dos compósitos.....	31
Tabela 2: Abertura das malhas das peneiras, em mesh e em milímetros (mm).....	32
Tabela 3: Determinação semiquantitativa de elementos por Fluorescência de Raios X.....	45
Tabela 4: Resultados do teste Absorção de Água do compósito da Formulação 4.....	52
Tabela 5: Resultados da resistência à compressão.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVO GERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 ECONOMIA CIRCULAR	10
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	12
2.2.1 Tinta em pó	14
2.2.2 Cinza da casca de arroz	16
2.3 RECICLAGEM	18
2.4 COMPÓSITOS	21
2.5 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS	23
2.5.1 Pavimentos intertravados	23
2.5.2 Madeira plástica	25
2.5.3 Telhas	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 MATERIAIS	29
3.2 MÉTODOS	30
3.2.1 Processamento dos compósitos	30
3.2.2 Caracterização das matérias-primas e compósitos	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS	36
4.2 ANÁLISE DAS CARACTERIZAÇÕES DOS COMPÓSITOS	38
5 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56
ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional está acarretando o aumento de resíduos, assim como a exploração de bens finitos. O mercado está em transformação, tentando suprir as necessidades da população crescente sem gerar mais danos ao planeta Terra. As novas tecnologias de reutilização de recursos vêm se mostrando uma alternativa eficiente para o problema.

Segundo a Ellen MacArthur Foundation (2019), o modelo econômico vigente atualmente, baseado em extração, transformação e descarte, está atingindo o limite físico do planeta Terra. Dessa maneira, propõe como alternativa a economia circular, modelo que procura o crescimento econômico dissociado do consumo de recursos finitos, beneficiando, assim, a sociedade como um todo. Inspirada na transição para fontes de energia renováveis, a economia circular procura construir capital econômico, natural e social, propondo um modelo econômico fundamentado em transformação, consumo e reciclagem.

Na procura por novas tecnologias e materiais recicláveis, é possível identificar necessidade de novas pesquisas no setor de pintura em pó. A tinta em pó é altamente utilizada em processos produtivos diversos. Os principais responsáveis por seu consumo são os setores automotivo, moveleiro, de máquinas diversas, bem como a indústria ferramental (WEG, 2019). O periódico *Focus on Powder Coatings* (THE POWDER COATINGS, 2016) informa que foram consumidas 437.300 toneladas de tinta em pó, no mercado mundial, em 2013. Além disso, com o aumento do consumo pelo setor automotivo, esperava-se um crescimento do setor de 7,6% até 2020. Segundo a empresa Cetec Equipamentos para Pintura (CETEC, 2019), produtora de equipamentos para pintura em pó, com a utilização de equipamento apropriado, a eficiência da tinta em pó é de apenas 70%. Dessa maneira, conclui-se que há, no mínimo, 131.100 toneladas de resíduos gerados anualmente neste mercado, havendo espaço para projetos de reciclagem no setor.

Neste sentido o presente estudo visa encontrar uma solução eficiente para reciclagem de resíduos de tinta em pó e cinza de casca de arroz (CCA), através da criação de um compósito com o uso desses materiais, sendo possível sua utilização em várias aplicações.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de compósito de resíduos de tinta em pó e cinza de casca de arroz.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características físico-químicas das matérias-primas e dos compósitos;
- Avaliar diferentes formulações de compósitos;
- Analisar a viabilidade técnica do preparo de compósitos de resíduos de tinta em pó e cinza de casca de arroz;
- Analisar a absorção de água e resistência a compressão do compósito.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ECONOMIA CIRCULAR

O conceito de economia circular é baseado em diversas escolas de pensamento, tais como economia de performance, ecologia industrial e gestão do ciclo de vida, dentre outras. Neste modelo, as atividades econômicas geram e recuperam, simultaneamente, valores de produtos e serviços, mantendo-os em ciclo dentro da indústria (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

Apesar de sua evolução, a economia industrial não foi capaz de ir além de uma de suas características iniciais: um modelo linear de consumo de recursos que segue o padrão extrair, produzir e descartar. Empresas extraem e recolhem materiais, utilizam-nos para confeccionar um produto, e então vendem o produto ao consumidor, que o descarta após o fim de sua utilização (EMF, 2013).

No sistema econômico atual, externalidades negativas são atividades que geram custos não precificados, que atingem indivíduos não participativos de tal mercado, como custos ambientais e sociais do descarte de resíduos sólidos industriais. O preço dos produtos não contabiliza o descarte de embalagens, restos de alimentos, eletrônicos velhos, entre outros, onerando a sociedade e o meio ambiente, resultando em lixões (custo social) e prejuízo à fauna marinha, que convive com quantidades cada vez maiores de resíduos poluentes (custo ambiental), por exemplo. A economia circular leva em conta tais custos em sua precificação (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

Uma economia circular é um sistema industrial que é regenerativo ou restaurativo, por intenção ou projeto. Ela substitui o conceito de descarte por restauração, vai na direção da utilização de energias renováveis, elimina o uso de químicos tóxicos e almeja o fim do desperdício de material através de projetos de produtos e sistemas, pensados para serem reutilizados. A economia circular é baseada em um conceito simples, eliminar o desperdício através do projeto industrial dos produtos (EMF, 2013). Em resumo, o sistema circular prega a regeneração do valor do capital, promovendo assim equilíbrio entre meio ambiente e economia (GONÇALVES; BARROSO, 2019).

Um dos pontos centrais da discussão sobre a implementação da economia circular é sua inclusão no processo de projeto dos produtos. A comunidade de projetistas afirma que considera resíduos como falhas de projeto, além de 80% dos fatores que irão definir os impactos ambientais do ciclo de vida de um produto serem determinados na sua criação. Dessa maneira, surge um dos princípios básicos da economia circular, a "intencionalidade" de projetar produtos com objetivo de retornar seus materiais à economia (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014). Gonçalves e Barroso (2019) destacam que, na economia circular, os produtos são projetados de maneira que seus componentes possam ser reutilizados sem perda de valor ou qualidade.

Aproximadamente 30% dos plásticos utilizados em embalagens nunca serão reciclados ou reutilizados sem uma mudança fundamental em seus projetos. Atualmente embalagens são destinadas, devido ao modo como são projetadas, a aterros, incineração para obtenção de energia ou acabam no meio ambiente após uma única utilização (EMF, 2016).

Caracterizada por imitar sistemas naturais, a economia circular leva em conta novos tipos de transações e relações empresariais, além de gerar mudanças nas responsabilidades e nos lucros das empresas. Alguns princípios fazem isso acontecer (LUZ, 2017):

- Alta performance de serviços e produtos.
- Propriedade se torna serviço, através de contratos. O produtor mantém o direito de propriedade, enquanto o usuário paga pelo direito de uso.
- Ativos gerenciados com ênfase no valor, levam a processos de manutenção, reparação, reuso e renovação.
- Compartilhamento é a nova propriedade.

A troca para um sistema circular pode ser comparada a uma mudança tão radical quanto a revolução industrial, que exigiu das empresas e dos consumidores uma mudança na maneira de agir, se comportar e, até mesmo, pensar (LUZ, 2017).

Os governantes, na Europa e no mundo, já entenderam que a direção atual da economia é insustentável, não apenas na questão de crescimento, mas também do ponto de vista de matéria-prima e meio ambiente. Acordos como o Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e o Acordo em Mudanças Climáticas de Paris determinaram objetivos para a causa, no entanto, a direção estratégica e as ações diretas ainda necessitam de definição (EMF, 2017).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Em 2010, com o advento da Lei Federal nº 12.305/2010, é instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que define a sustentabilidade e a saúde humana como foco de todas as ações governamentais de cunho ambiental. Tal política também trouxe metas para erradicação de lixões e suporte para soluções ambientalmente corretas para alocação final dos recursos sólidos urbanos (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

A PNRS tem como objetivo a qualidade ambiental e a proteção à saúde pública. Para tanto, abrange a redução, reciclagem, o tratamento e a disposição final adequada para rejeitos. Estimula a adoção de métodos sustentáveis de produção e consumo, além de incentivar a indústria da reciclagem, bem como o desenvolvimento de tecnologias limpas. Também propõe a gestão integrada de resíduos sólidos, dentre outras ações voltadas para a saúde da população e do meio ambiente a longo prazo (BRASIL, 2010).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, a definição para resíduos sólidos é:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A Resolução CONAMA nº 313/2002 define resíduos sólidos industriais como:

Resíduos sólidos industriais são todos os resíduos que resultem de atividades industriais e que se encontrem nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Os resíduos fazem parte do cotidiano dos seres humanos desde 10 mil anos a.C., quando começou a mudança da vida nômade para as comunidades. Desde então, a produção de resíduos sólidos vem aumentando. Ao longo do tempo, com o

advento das cidades, tal questão se tornou um problema sanitário, trazendo perigo à sociedade. Então, a partir da Revolução Industrial, a geração de resíduos começou a ganhar notoriedade, visto seu impacto na saúde pública. Em 1972, após sua abordagem nas conferências de Estocolmo, o tema tomou dimensões internacionais (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015).

Com o crescimento econômico e tecnológico, seguidos pela expansão da população e a urbanização, o aumento na produção de resíduos sólidos, bem como a diversidade dos mesmos, foi natural. Além disso, resíduos modernos passaram a ter, em sua composição, elementos sintéticos perigosos ao ecossistema e à saúde pública, devido às novas tecnologias de manufatura (GOUVEIA, 2012).

Os resíduos sólidos possuem origens diversas, sendo provenientes, principalmente, das cidades, do campo e das indústrias. São classificados pela PNRS de acordo com sua origem e grau de periculosidade. Os resíduos sólidos urbanos são oriundos de domicílios, estabelecimentos comerciais e da limpeza urbana, podendo ser divididos, de acordo com sua composição química, da seguinte forma (BRASIL, 2010):

- Resíduos Orgânicos: são eles os materiais que se decompõem na natureza, como alimentos, bagaços de frutas, material de podas de jardins, madeira não tratada, borra de café, dentre outros.
- Resíduos Inorgânicos: são compostos por produtos manufaturados, como tecidos, metais e plásticos.
- Resíduos Sólidos Industriais: estes são provenientes dos processos produtivos e instalações industriais. Eles podem ser descartados em estado sólido ou pastoso, mas nunca destinados à rede pública de esgotos.
- Resíduos Especiais: esta classificação é composta por resíduos considerados especiais, que exigem cuidados específicos em seu acondicionamento, transporte, tratamento e destino final. São provenientes de atividades industriais, hospitalares, agrícolas, dentre outras.

Já a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tem outra classificação para os resíduos sólidos. Segundo a norma NBR 10004/2004, eles são divididos da seguinte forma (ABNT, 2004):

- Classe I: Materiais os quais apresentem corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, inflamabilidade, carcinogenicidade, entre outros. Os mesmos devem ser queimados em incineradores específicos para tal ou depositados em aterros especiais.
- Classe II, sendo estes divididos em:
 - Classe IIA: Não inertes. São estes materiais ferrosos e não ferrosos com atributos de resíduos domésticos.
 - Classe II B: Inertes. Não se decompõem quando dispostos ao solo, sendo lembrados, principalmente, os refugos da construção civil.

A legislação referente às leis ambientais foi desenvolvida visando disciplinar o uso de recursos provenientes da natureza (água, solo, madeira, dentre outros). Com a conscientização de que tais recursos eram finitos, surgiram recursos legais que têm por objetivo a preservação do meio ambiente. No entanto, foi a partir de 1981, com a criação da Lei nº 6.938, que formou a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que o Direito Ambiental surgiu. Através de leis, resoluções e decretos, a PNMA visa à preservação e proteção dos recursos naturais. Também determina com maior clareza o caminho a ser seguido para uma conduta ambiental sustentável. Com a promulgação da atual Constituição Brasileira, em 1988, foi consolidado o Direito Ambiental (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009).

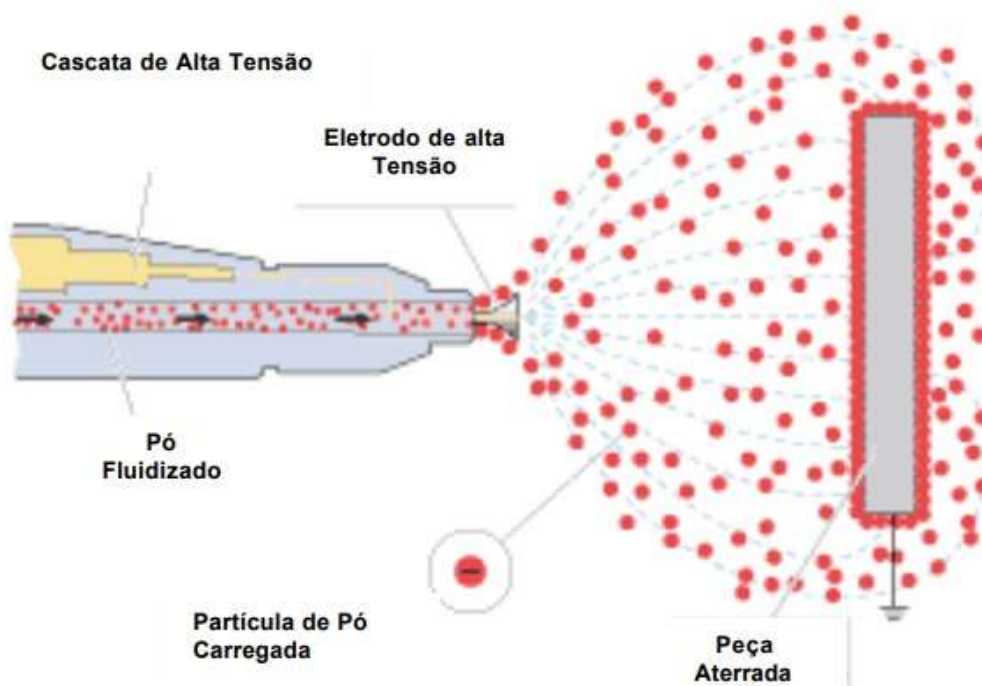
2.2.1 Tinta em pó

Dentre os resíduos poliméricos, o presente estudo é com os resíduos de tintas em pó. O surgimento das tintas eletrostáticas em pó ocorreu nos Estados Unidos no final da década de 1950. Em seu início eram produtos mais simples que os disponíveis atualmente, sendo formados por uma mistura de resina epóxi sólida, endurecedores e pigmentos. Nos anos 1970, novas tecnologias foram sendo empregadas no setor, adentrando novos tipos de resina como, por exemplo, as mais utilizadas: poliéster e híbrida, composta de epóxi e poliéster (WEG, 2019).

A tinta em pó é uma tinta 100% sólida, aplicada em forma de pó seco, que se transforma em um filme quando exposto a calor. O material utiliza aglutinante e pigmento em estado sólido. O aglutinante sólido derrete com a aplicação de calor, unindo os pigmentos, o que resulta em um filme protetor (com a cor específica) após resfriamento (DU *et al.*, 2016).

As resinas termoplásticas usadas na produção de tintas em pó possuem, normalmente, elevadas massas molares e têm seu estado alterado com a aplicação de calor. Com a fusão da resina, uma película resistente de tinta é formada após o resfriamento do material, sem a necessidade de qualquer reação química no processo. Por voltar a fundir com a aplicação de calor, é considerado um processo físico reversível. Sua aplicação é feita através de leito fluidizado, com uso de pistola eletrostática, específica para o segmento. A Figura 1 ilustra tal processo (MIRANDA, 2010).

Figura 1: Aplicação de tinta em pó



Fonte: Weg, 2019

As aplicações da tinta em pó são diversas, sendo utilizadas predominantemente em material metálico, atendendo, principalmente, à produção de móveis, peças automotivas, estruturas metálicas, eletrodomésticos, máquinas e

ferramentas. Sua produção é dividida nas seguintes etapas: pré-mistura, extrusão, resfriamento, micronização, classificação e embalagem. Todas as etapas necessitam de rigoroso controle de qualidade, pois, diferentemente de outros tipos de tinta, sua formulação não pode ser alterada depois de pronta, não permitindo ajustes a ela (WEG, 2019).

Com o constante reforço das regulações ambientais, juntamente com o aumento da conscientização dos consumidores, cada vez mais a utilização de tintas em pó se torna importante, visto que não envolve nenhum tipo de solvente inorgânico em seu processo de aplicação (DU *et al.*, 2016).

Em 2013, o mercado mundial consumiu 437.300 toneladas de tinta em pó. O crescimento esperado para o setor, até 2020, segundo o artigo *The Powder Coatings Market* (2016), era de 7,6%.

2.2.2 Cinza da casca de arroz

Outro resíduo utilizado neste trabalho foi a cinza da casca do arroz (CCA), sendo o arroz a segunda cultura agrícola mais produzida no mundo, atrás apenas do milho (CARDONA-URIBE *et al.*, 2018).

A cultura do arroz é forte no Brasil e, segundo dados do Conab (2019), somente na safra 2018/2019, 11,2 milhões de toneladas foram produzidas no país. De acordo com Moura (2014), a casca de arroz, principal subproduto gerado pelo cultivo, é uma capa protetora do grão, formada durante seu crescimento. Para cada 1kg de arroz produzido, aproximadamente 300g de casca sobram do processo. O Estado do Rio Grande do Sul é o maior plantador de arroz do país, sendo responsável por 64,35% da produção nacional. Em seguida, com uma expressão menor, vem Santa Catarina, com 8,25%; Mato Grosso, com 5,36% e Maranhão, com 4,42%.

Quanto a sua composição, a casca de arroz é formada por 33% de celulose, 25% de lignina, 22% de hemicelulose e 20% de materiais inorgânicos (CARDONA-URIBE *et al.*, 2018).

Atualmente a casca de arroz tem sido aproveitada como forragem para isolamento térmico em locais de incubação de frangos (MOURA, 2014). Outra utilização possível para ela é sua queima, como fonte de energia, para secagem de

grãos nos próprios engenhos ou em usinas para produção de eletricidade. Tal combustão gera outro resíduo, a cinza de casca de arroz, sendo esta composta por 96% de dióxido de silício (MURARO; CAMELO; DENIS, 2018).

Na pesquisa realizada por Jongpradist et al (2018), os autores destacam que a casca de arroz é um resíduo agrícola altamente renovável e acessível em grandes quantidades. Além disso, produz grande quantidade de cinzas quando carbonizada, em torno de 20%. A cinza de casca de arroz, no geral, contém 92 a 95% de sílica (JONGPRADIST *et al.*, 2018).

A CCA produzida a partir da queima da casca de arroz possui diferentes formas estruturais, podendo ser amorfas ou cristalinas, dependendo da temperatura e tempo de sua queima. Em temperaturas de 800 °C com tempo de até duas horas, o resultando é de formas estruturais cristalinas, concebendo um substrato de sílica em formato cristalino de quartzo. Já em temperaturas entre 450 °C e 700 °C, com tempo entre três e quatro horas, é obtida uma cinza constituída de sílica no estado amorfo, que tem propriedades como baixa condutividade térmica e alta resistência a choques térmicos, sendo ideal para a fabricação de isolantes térmicos e produtos cerâmicos (ALFARO, 2010).

A cinza de casca de arroz possui níveis consideráveis de sílica de alta qualidade, que possui diversas aplicações, sendo uma opção a sílica comercial. A produção de sílica em escala industrial ocorre através de operações físicas, químicas e energéticas, nas quais são utilizadas grandes quantidades de ácidos e, conseqüentemente, há geração significativa de efluentes, destacando-se, assim, a importância de pesquisas com a sílica da cinza de casca de arroz (FERNANDES *et al.*, 2018).

No ambiente da construção civil há estudos sobre a utilização da CCA na fabricação de cimento. Com uma composição de 20% de casca de arroz queimada no cimento Portland, o mesmo apresenta maior durabilidade e resistência, além de contribuir na diminuição da emissão de CO₂. Ainda neste setor, também se destaca o uso de CCA para fabricação de argamassas (MURARO; CAMELO; DENIS, 2018).

Mesmo com destinos como produção de energia, reforço para o cimento na construção civil e como fertilizante na agricultura, isso não é suficiente para resolver o problema do descarte dos resíduos provenientes do cultivo de arroz. Atualmente, novas propostas para a utilização do resíduo estão no reforço de materiais para engenharia. Compósitos com substâncias naturais têm vantagens em relação aos que

utilizam material inorgânico como a fibra de vidro, por exemplo, visto que são renováveis e possuem boas propriedades térmicas (MOURA, 2014).

2.3 RECICLAGEM

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2018, a população brasileira gerou 79 milhões de toneladas de resíduos urbanos. Deste total foram coletadas 72,7 milhões de toneladas, resultando em um índice de cobertura de coleta de 92% no país. Dessa maneira é possível observar que, naquele ano, 6,3 milhões de toneladas de resíduos tiveram destinação imprópria. Do montante restante, 59,5% foram dispostos em aterros sanitários que contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra degradação. Quanto à geração *per capita* de resíduos, entre 2017 e 2018, teve crescimento de 1,27%, demonstrando que o brasileiro está consumindo mais (ABRELPE, 2019).

Segundo pesquisa da ABRELPE (2017), dados demonstram que 98% dos brasileiros acreditam que a reciclagem é importante para o futuro do país. Os entrevistados, em sua maioria, concordam que a maneira correta de descarte de resíduos é através da separação de materiais recicláveis. No entanto, 75% deles constataram não separar seu resíduo. Uma possível explicação para o caso pode estar na falta de informação, visto que 66% dos mesmos revelaram saber pouco ou nada sobre coleta seletiva. Os resíduos urbanos são compostos por 31,9% de material seco reciclável, dos quais 2,4% são vidro, 13,5% plásticos, 13,1% papel e papelão e 2,9% metais (CEMPRE REVIEW, 2015; ABRELPE, 2017).

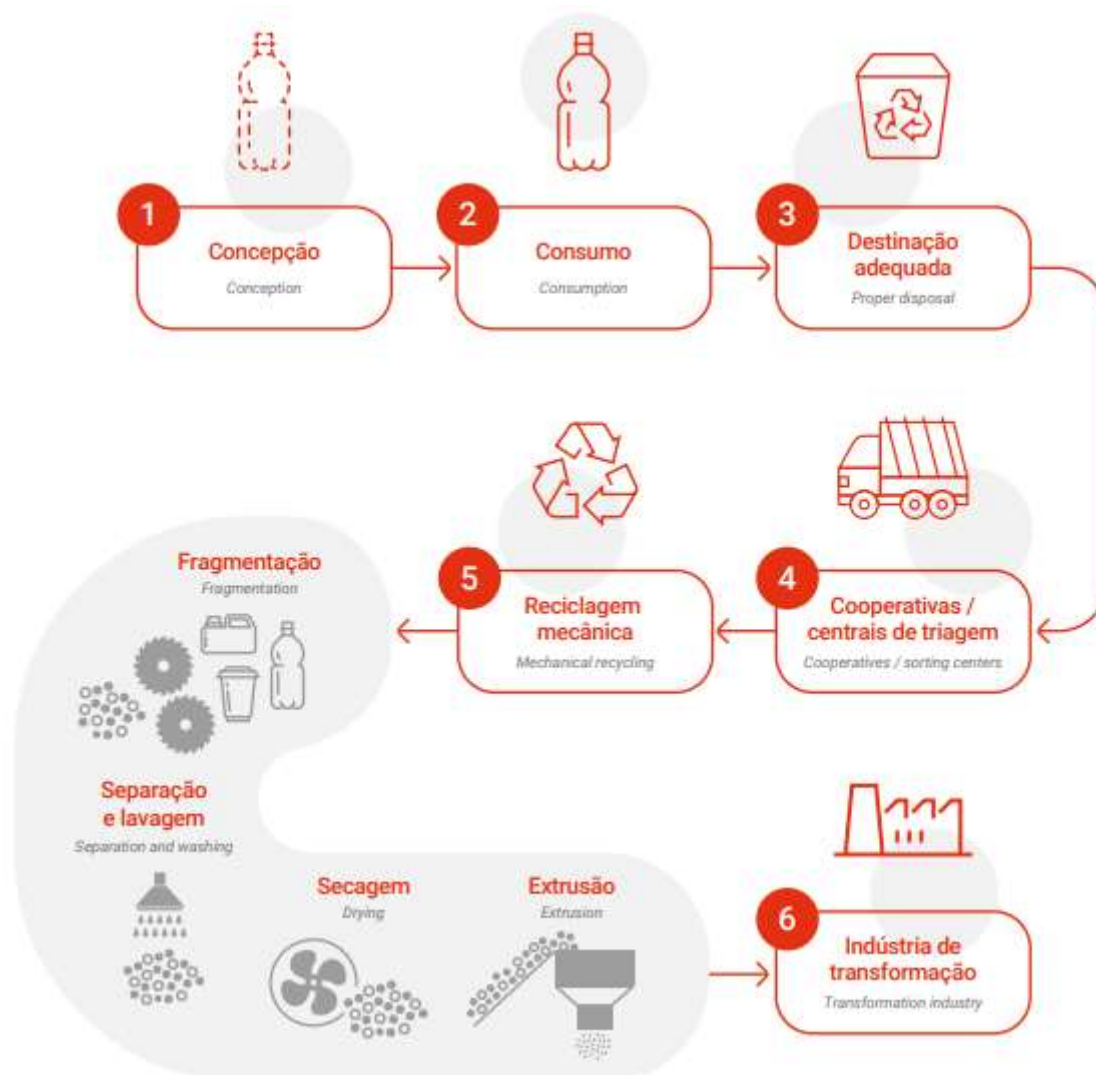
Além de benefícios ambientais, a reciclagem também oferece oportunidades econômicas. Apenas 13% dos resíduos urbanos gerados no Brasil são destinados à reciclagem. Devido à importância que a sustentabilidade vem tomando em todo o mundo, o setor também se fortaleceu perante a opinião pública. A prática, fora conservar recursos finitos, evitar impactos sobre o ciclo hidrológico e a saúde humana, permite a redução do consumo de energia, visto que reduz a extração de matérias-primas virgens substituíveis por materiais reciclados (SILVA, 2017).

Os plásticos, após passarem por triagem (separação), podem ser reciclados das seguintes maneiras:

- Reciclagem química: este método parte do reprocessamento dos plásticos, o qual os transforma em petroquímicos básicos, que servem de matéria-prima em centrais petroquímicas e refinarias. Desta maneira, os componentes químicos individuais são recuperados, sendo utilizados, posteriormente, para fabricação de novos plásticos ou como produtos químicos. As técnicas atuais de reciclagem química permitem o reprocessamento de misturas plásticas, aceitando contaminantes, como, por exemplo, papéis e tintas (FERREIRA, 2019).
- Reciclagem energética: é o processo alternativo para resíduos plásticos que não podem ser reaproveitados através de outros métodos. Nele, processos de incineração são utilizados para transformar o material em energia térmica e combustível, visto que a quantidade de energia nos polímeros é alta em relação a outros materiais, sendo 1kg de resíduo polimérico equiparável, quanto à liberação de energia, a 1 litro de óleo combustível (LOMASSO et al, 2015).
- Reciclagem mecânica: esta constitui-se na conversão de resíduos plásticos novamente em grânulos que podem ser utilizados na fabricação de novos produtos (MANSOR, 2014).

Na Figura 2 é apresentado o fluxo da reciclagem mecânica para resíduos plásticos.

Figura 2: Fluxo da reciclagem mecânica de materiais plásticos



Fonte: ABIPLAST, 2018

A reciclagem mecânica, no Brasil, quando comparada a outros tratamentos, tem baixo custo de implementação. A sua utilização apresenta vantagens quando comparada aos demais métodos, visto que o resíduo moído pode ser reaproveitado diversas vezes. A empresa que gerou o resíduo pode moê-lo novamente e reintroduzi-lo no processo em pequenas quantidades, diminuindo os custos com matéria-prima virgem (STALTER; MORAES; BREHM, 2016).

Por ser um processo relativamente simples, a reciclagem mecânica necessita de menos tecnologia que as demais. No caso de compósitos, ela aproveita ao máximo, tanto a matriz quanto o reforço, resultando em poucos resíduos poluentes. Por outro lado, o método destrói as fibras, o que limita a reutilização de materiais compósitos.

Sua maior vantagem perante os outros processos de reciclagem de plásticos é o fato de não gerar gases prejudiciais ao meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2017).

A eliminação de contaminantes e a segregação por tipo de polímero, a qual deve ser feita também por cor para atingir o resultado desejado, está ligada diretamente à qualidade dos produtos resultante da reciclagem mecânica (SILVA; MOITA NETO, 2016).

2.4 COMPÓSITOS

Compósitos são misturas macroscópicas, não solúveis, formadas por dois ou mais materiais de composição diferente e que tenham propriedades e estruturas que se combinem. Geralmente, um deles, denominado de matriz, é responsável pela ligação da mistura, enquanto o outro, conhecido como reforço, agrega resistência ao compósito. O reforço é apresentado, habitualmente, sob a forma de partículas com fibras curtas ou longas, com diâmetro entre 0,003mm e 0,03mm (MOREIRA, 2008).

Na natureza existem alguns materiais compósitos, como a madeira, por exemplo, que é formada por lignina, material que funciona como matriz, envolvendo e mantendo unidas as fibras de celulose, que funcionam como um reforço resistente e flexível. Na indústria, os compósitos podem ser produzidos por matrizes poliméricas, cerâmicas ou metálicas (SILVA, 2010).

Diversos fatores influenciam nas propriedades finais de um compósito, e Silva (2014) discorre sobre as principais, como sua composição, forma, tamanho, distribuição, grau de orientação da fase dispersa e sua interação com a matriz. Aqueles os quais têm materiais capazes de promover interação forte entre o reforço e a matriz, geralmente têm suas propriedades melhoradas. A procura por novos compósitos poliméricos objetiva, em sua grande maioria, a obtenção de materiais mais resistentes, baratos e ecologicamente corretos.

Pesquisas extensas foram feitas sobre o uso de CCA como carga em compósitos, principalmente em poliolefinas como polietileno e polipropileno. Em geral, a adição de CCA a compósitos com matriz termoplástica tem um aumento em seus módulos de tensão e um decréscimo na resistência à tração, bem como um alongamento no teste de ruptura, em comparação com a matriz sem utilização de

carga. Já com o uso de sílica comercial, geralmente todas as três propriedades são melhoradas em comparação à matriz sem carga. Tais resultados são atribuídos à baixa compatibilidade entre matriz e carga nos compósitos com CCA (CARDONA-URIBE *et al.*, 2018).

Devido às resinas epóxi serem largamente utilizadas como matrizes em compósitos, sendo sílica uma das cargas mais utilizadas, em sua pesquisa, Fernandes *et al.* (2018) comparam a performance de CCA em estado amorfo (o que indica queima entre 450 °C e 700 °C) como carga em compósitos como substituição à sílica de alta pureza. A CCA se comportou similarmente à sílica cristalina na maioria dos testes realizados na pesquisa, indicando que a mesma pode ser usada como substituta à sílica com pouca ou nenhuma perda de propriedades. Os testes de força de tração e absorção de água obtiveram resultados similares, mesmo o compósito com CCA apresentando melhores valores em geral. A adesão entre as partículas de matriz e carga também foram mais eficazes no compósito com CCA, embora alguns vazios, associados à porosidade dos materiais, tenham sido identificados.

Rahmaniar e Susanto (2019) analisam o uso de CCA como reforço em borracha natural e borracha de etileno-propileno. Destacam, como justificativa para o estudo, os problemas ambientais da CCA, que é um resíduo agroindustrial, juntamente com a oferta limitada de matéria-prima para produtos de borracha baseados em petróleo. Mesmo destacando as fraquezas do uso de borracha natural (BN) em produtos aramados, a pesquisa estudou os efeitos de CCA como carga em BN juntamente com a mistura de borracha de etileno-propileno visando à melhora de algumas propriedades como as de dureza, por exemplo. A CCA foi utilizada como carga com sucesso no estudo. Quanto à cura, o compósito influenciou levemente o tempo de queima, o tempo ideal de cura, o índice do tempo de cura e o torque na borracha natural, com ou sem a adição de borracha de etileno-propileno. Como resultado, a CCA pode ser utilizada como alternativa de carga para compósitos de borracha natural com adição de borracha de etileno-propileno, visando à melhora do conjunto de compressão e às propriedades de dureza, principalmente para produtos específicos de borracha.

Embora apresente resultados diferentes para cada tipo de elastômero, a utilização de CCA como carga em borracha natural aumentou a resistência do compósito quanto ao teste de ruptura nos testes realizados por Subrahmanian e Einstien (2017).

Em seu estudo, Ferro, Silva e Wiebeck (2007) testaram o uso de CCA como substituição ao talco em compósitos com matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. Para caracterização dos compostos, foram injetados conectores elétricos para o setor automotivo como corpo-de-prova. Após testes de resistência, a pesquisa demonstrou que os resultados para ambas as cargas foram semelhantes e a aparência das peças injetadas foi perfeita, o que, segundo os autores, credencia a CCA como alternativa de carga para o processo. Quanto à parte econômica, o novo compósito apresenta vantagens em relação ao com talco, diminuindo o custo do produto final, além de ser uma alternativa ecologicamente correta.

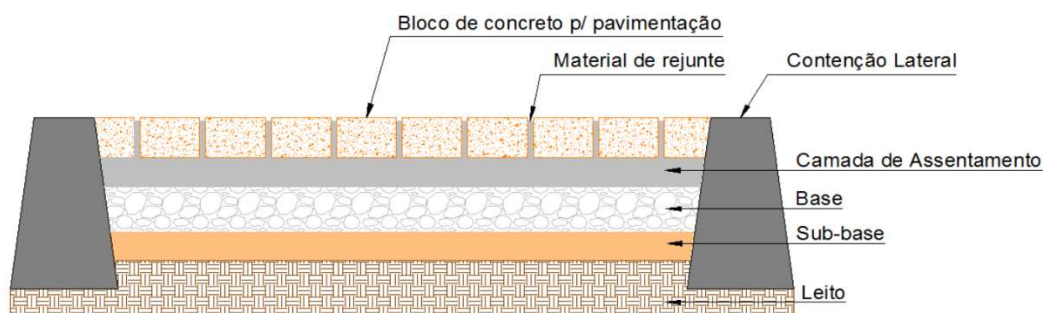
2.5 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os compósitos poliméricos podem ter diversas aplicações, sendo apresentadas algumas a seguir.

2.5.1 Pavimentos intertravados

Pavimento intertravado é um tipo de pavimentação flexível que possui estrutura formada por uma camada de base (com sub-base opcional), imediatamente coberta por camada de revestimento de tijolos de concreto, assentadas sobre camada de areia ou pó de pedra, e travadas entre si através de contenção lateral. As juntas entre os tijolos são preenchidas por areia ou material de rejunte. A Figura 3 apresenta os componentes do pavimento intertravado (SISTEMA NACIONAL DE PESQUISAS DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2017).

Figura 3: Componentes do pavimento intertravado



Fonte: SINAP, 2017

Os pavimentos intertravados possuem sua origem nas pavimentações revestidas com pedras, há quase 7.000 anos, na Mesopotâmia. A técnica evoluiu, primeiro para o uso de pedras talhadas. As dificuldades de produção, juntamente com o desconforto de rolagem, levaram ao desenvolvimento de peças de concreto pré-fabricadas. Após a Segunda Guerra Mundial, sua produção tomou grandes proporções, com destaque para a Alemanha. No entanto, foi na década de 1970 que se difundiram pelo mundo, chegando também ao Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2010).

O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem, devido à maneira como são dispostos, de resistir a movimentos de deslocamento individual, tanto horizontal e vertical, quanto de rotação em relação aos blocos imediatamente ao seu lado. Tal técnica é indispensável para o desempenho e a durabilidade do pavimento. (ABCP, 2010).

A disposição do intertravamento pode ser feita de formas diversas, sendo as mais utilizadas o pavimento em fileira, reto, inclinado ou em tramas. A Figura 4 demonstra tais disposições.

Figura 4: Disposições de pavimentação intertravada

Fonte: ABCP, 2010

Em seu estudo, Martins, Fukaya e Martins (2018) desenvolveram um pavimento poroso com a utilização de resíduos plásticos de garrafas PET. O projeto obteve sucesso, se tornando uma opção eficiente para a construção civil, sendo uma solução para áreas com pouca drenagem. Além de reduzir o volume de resíduos sólidos nos aterros sanitários, os pavimentos têm baixo custo de produção (MARTINS; FUKAYA; MARTINS, 2018).

Em pesquisa sobre a viabilidade da substituição de agregados naturais por resíduos triturados de garrafas PET na produção de blocos de concreto, Rocha (2016) constatou que é possível fazer tal substituição em até 15%. A autora destaca que a substituição diminui a utilização de agregados naturais não renováveis e recicla 37.620 unidades de garrafa PET para cada 1.000 unidades de bloco produzidas. No presente trabalho, procura-se utilizar 100% de material reciclado, resultando em nenhuma utilização de agregados naturais não renováveis.

2.5.2 Madeira plástica

Tendo o plástico se tornado um passivo ambiental de ordem mundial, uma das soluções para agregar na resolução do problema está na fabricação de madeira

plástica, um compósito de plástico (matriz) com agregados de resíduos de agrícolas como fibras, serragem, sabugo de milho e casca de arroz (cargas) (KIELING; SANTANA; SANTOS, 2019). A Figura 5 ilustra um produto comercial da empresa Elastra.

Figura 5: Madeira plástica



Fonte: Elastra, 2020

As aplicações para a madeira plástica são diversas, podendo ser destacada construção civil, fabricação de componentes automotivos e produtos industriais de consumo, sendo seu mercado mundial avaliado em 2,55 milhões de dólares em 2016, com expectativas de crescimento de 12,6% ao ano até 2023 (KIELING, 2018).

Além de sua produção ser benéfica para a preservação do meio ambiente, a madeira plástica é uma substituta eficiente para a madeira natural em projetos de construção civil e decoração, visto que é de fácil manutenção e sua durabilidade é alta. O material, inovador, traz a possibilidade de novos produtos e pode substituir, aos poucos, o uso de madeira natural, visto que também é altamente sustentável (SANTO; SANTOS; JUNIOR, 2019).

De acordo com sua aplicação, a madeira plástica permite a utilização de resíduos plásticos por vários anos, aumentando o ciclo de vida de produtos provenientes de um importante passivo ambiental. A mesma pode ser produzida por materiais diversos, bastando um resíduo termoplástico (PET, PEAD, PP etc.) e um de madeira (como serragem ou fibras). Ainda, o produto apresenta as mesmas vantagens

que o plástico, sendo imune a cupim e mofo, não sofre ação de pragas, insetos ou roedores, é resistente a maresia e umidade em geral, sem necessitar de nenhum tratamento especial (KIELING; SANTANA; SANTOS, 2019).

2.5.3 Telhas

O setor da construção civil, que produz bens duráveis, é responsável por gerar grande quantidade de resíduos de construção. Uma alternativa para diminuir seu passivo ambiental é a utilização de materiais reciclados. Dessa forma, telhas ecológicas surgem como opção às telhas convencionais de cerâmica e fibrocimento. A sustentabilidade e os impactos ambientais cada vez mais ganham espaço no setor (GUTERRES, 2019).

Em pesquisa baseada em fundamentação teórica, Negrão et al (2018) analisam os diferentes tipos de telha reciclada disponíveis no Brasil, em busca de uma opção eficiente e de baixo custo para habitações populares. Como resultado, telhas em Tetra Pak reciclado foram consideradas ideais (Figura 6), por possuírem bom custo-benefício além de baixa densidade, viabilizando economia na estrutura dos telhados (Negrão *et al.*, 2018).

Figura 6: Telhas de Tetra Pak



Fonte: ECOEFICIENTES, 2020

Quanto a telhas plásticas de PVC, pode-se destacar que são leves e de fácil manuseio, garantindo rapidez na instalação de telhados e economia de mão de obra. Possuem baixos índices de expansão térmica, sendo sua estabilidade dimensional, devido à variação de temperatura, superior à de telhas convencionais. Seu sistema de produção limpo, em circuito fechado, resulta em reaproveitamento total do material, o qual é 100% reciclável (PRECON, 2017).

Ao analisar telhas de PET reciclado, em seu estudo por fundamentação teórica, Negrão et al (2018) constataram que essas são uma forma de cobertura cara, apesar de leve. O fato de terem menor massa por m² acarreta em menor necessidade de suporte da estrutura do telhado, gerando economia e, conseqüentemente, diminuição do preço final do mesmo. No entanto, o valor elevado das telhas faz com que tal economia não compense, financeiramente, a implementação de telhados de PET reciclado.

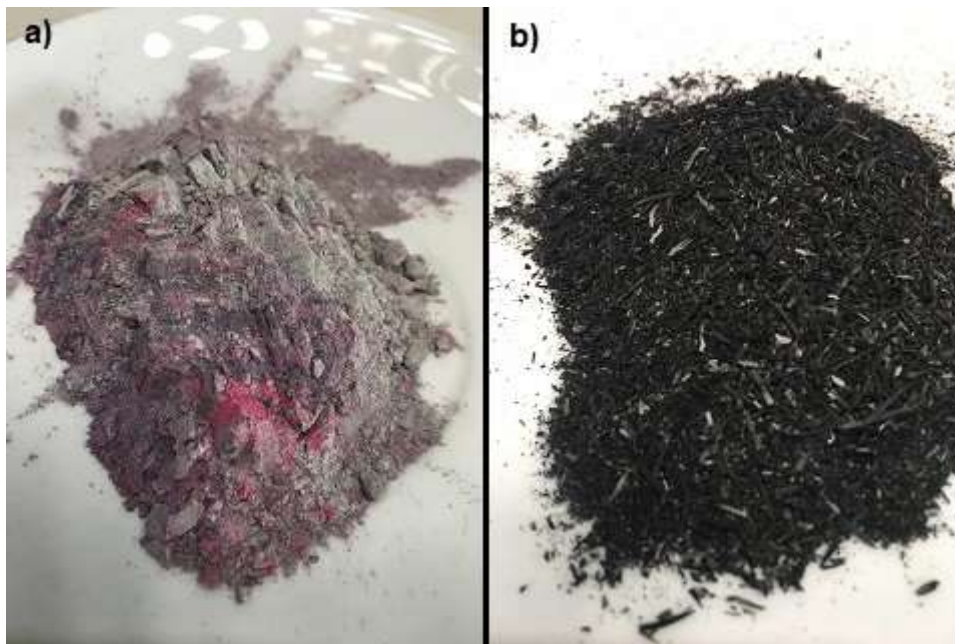
Com espaço na construção civil, para implementação de projetos que visem diminuir o passívo ambiental do setor, telhas fabricadas com material totalmente reciclado, que não produzam novos resíduos, possuem espaço no mesmo.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados no processo de reciclagem são resíduos oriundos do processo de pintura eletrostática em pó, e a cinza da casca de arroz, proveniente de uma indústria agrícola (Figura 7).

Figura 7: Materiais utilizados nas formulações: a) Resíduo de tinta em pó; b) Cinza de casca de arroz



Fonte: do autor, 2020

Os resíduos termoplásticos foram coletados em empresas do Vale dos Sinos. Já a CCA foi doada pela Universidade Federal de Pelotas, que informou que o produto foi queimado em aproximadamente 700 °C, gerando sílica em estado predominantemente amorfo.

3.2 MÉTODOS

Os resíduos de tinta em pó e a cinza de casca de arroz foram utilizados *in natura*, sem pré-processamento prévio.

3.2.1 Processamento dos compósitos

Após a mistura das formulações, cada formulação foi colocada em um molde especial com interior revestido com teflon e dimensões de acordo com a norma NBR 9781 para pavimentos intertravados, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Forma especial teflonada



Fonte: do autor, 2020

Para cada molde foram necessários 800 ml de cada formulação, sendo assim, na Tabela 1 estão definidas as formulações para os compósitos, assim como o tempo e a temperatura de secagem utilizados para a moldagem.

Tabela 1: Formulações dos compósitos

Formulação	Resíduo Tinta em pó (%)	Cinza de casca de arroz (%)	Temperatura (C°)	Tempo de secagem (Min)
1	100	0	200	30
2	100	0	250	30
3	90	10	250	30
4	80	20	250	30
5	70	30	250	30

Fonte: do autor, 2020

As formulações foram pesadas em balança de precisão e, após pesagem, foi realizada uma mistura manual dos resíduos visando à homogeneidade dos produtos durante o processamento. Por fim, a mistura foi para estufa, nos tempos e temperaturas determinados na Tabela 1.

O desenforme ocorreu em temperatura ambiente, necessitando um tempo de resfriamento médio de 4 horas, durante as quais o material foi mantido dentro da estufa, visando evitar contaminação por umidade.

3.2.2 Caracterização das matérias-primas e compósitos

Análise por fluorescência de raios x

A análise de fluorescência de raios x foi realizada no Centro Tecnológico de Polímero Senai (CETEPO) de São Leopoldo-RS com equipamento fluorescência de raio X, marca Bruker, modelo S2 RANGER A20X-10. O ensaio foi realizado de acordo com metodologia interna do CETEPO e o princípio do método consiste na análise

direta da amostra por fluorescência de raios X (XRF). Foi realizada apenas da amostra de resíduo de tinta em pó.

Análise granulométrica dos resíduos

Primeiramente foi realizada uma análise granulométrica para verificar o tamanho de partícula dos dois resíduos, utilizando um agitador de peneiras da marca Bertel. Pelo tipo de granulometria para a cinza da casca de arroz foi utilizado um conjunto de peneiras, Série Tyler, de 32, 48, 80, 170 e 200 mesh, e para a tinta em pó foram utilizados 170, 200, 250, 325 e 500 mesh. Na Tabela 2 é apresentada a conversão dos diâmetros de abertura das malhas em mesh para mm.

Tabela 2: Abertura das malhas das peneiras, em mesh e em milímetros (mm)

Malha da peneira		Abertura (tamanho máx. de partícula)
<i>Mesh</i>		mm
500		0,025
325		0,045
250		0,063
200		0,075
170		0,090
80		0,180
48		0,300
32		0,500

Fonte: do autor, 2020

O tempo de residência no equipamento foi padronizado em 10 minutos e a frequência em 8 Hz, equipamento localizado no Centro de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale.

Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (IV)

As análises de infravermelho dos resíduos e do compósito foram realizadas no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Limpas, utilizando um

espectrofotômetro da marca Perkin Elmer (modelo Frontier MIR), no acessório Universal ATR *Sampling Accessory*.

Análise termogravimétrica (TGA)

As análises termogravimétricas (TGA) dos resíduos e do compósito foram realizadas no equipamento STA 6000, Perkin Elmer, localizado no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Limpas. As amostras foram analisadas em atmosfera de gás nitrogênio com fluxo de 20 mL.min⁻¹, com taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹ e intervalo de temperaturas entre 25 até 1000 °C.

Análise por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de DSC foram obtidas no equipamento DSC-4000, da marca PerkinElmer®, com taxa de aquecimento de 10°C/min, sob gás N₂. A faixa de temperatura aplicada foi de -90 °C a 250 °C, localizado no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais, na Universidade Feevale.

Análise por estereomicroscopia

As fotomicrografias foram obtidas em um estereomicroscópio óptico, da marca Zeiss, modelo 508, localizado no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais, na Universidade Feevale.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As microscopias foram obtidas utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca JEOL, modelo JSM-6510LV, com acessório de espectroscopia dispersiva de raios-X (EDS), marca Thermo Scientific, modelo UltraDry 6742A-1UES-SN, para análise qualitativa de elementos químicos, localizado no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais, na Universidade Feevale.

Teste da absorção de água do compósito

Os compósitos foram previamente colocados em estufa para secagem, para eliminação da umidade. Devido aos compósitos serem de matriz polimérica, ficaram por 3 horas de secagem a 100 °C e 21 horas de secagem a 70 °C, sendo adaptada a NBR 9781/2013. O processo foi realizado em estufa, marca Master, localizado ao Laboratório de Técnicas Construtivas da Universidade Feevale, conforme Figura 9.

Figura 9: Secagem dos compósitos da formulação 4



Fonte: do autor, 2020

O teste de absorção de água mede o aumento da massa de um corpo sólido, poroso, quanto à penetração de água em seus poros, e o compara a sua massa em estado seco. Ela é expressa em porcentagem (WIEBBELLING, 2015).

Como pode ser observado na Figura 10, devido à leveza e porosidade dos compósitos (formulação 4), foi necessária a colocação de pesos para manter os compósitos totalmente imersos para o teste.

Figura 10: Teste de absorção de água



Fonte: do autor,2020

Determinação da resistência característica à compressão

Foram realizados testes para determinação da resistência à compressão dos compósitos, no Laboratório de Técnicas Construtivas da Universidade Feevale, em prensa da marca Emic com capacidade para 2000 kN, conforme a norma NBR 9781/2013.

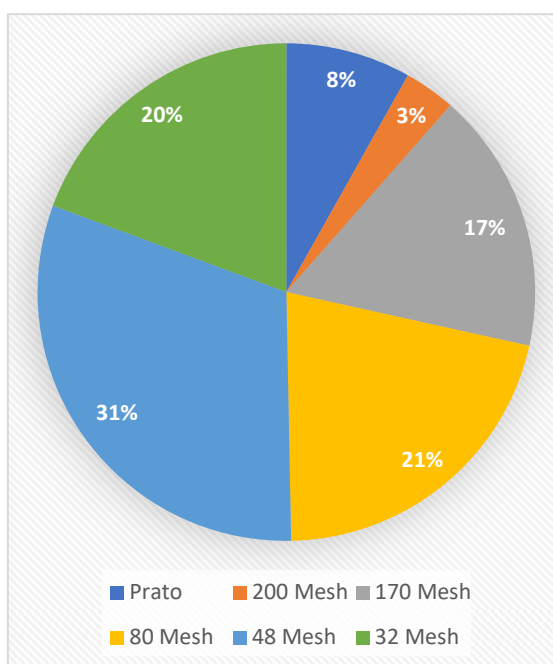
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a discussão obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os resultados em percentual encontrados para cada malha de peneira da análise granulométrica da cinza de casca de arroz podem ser observados na Figura 11.

Figura 11: Análise granulométrica em percentual CCA



Fonte: do autor, 2020

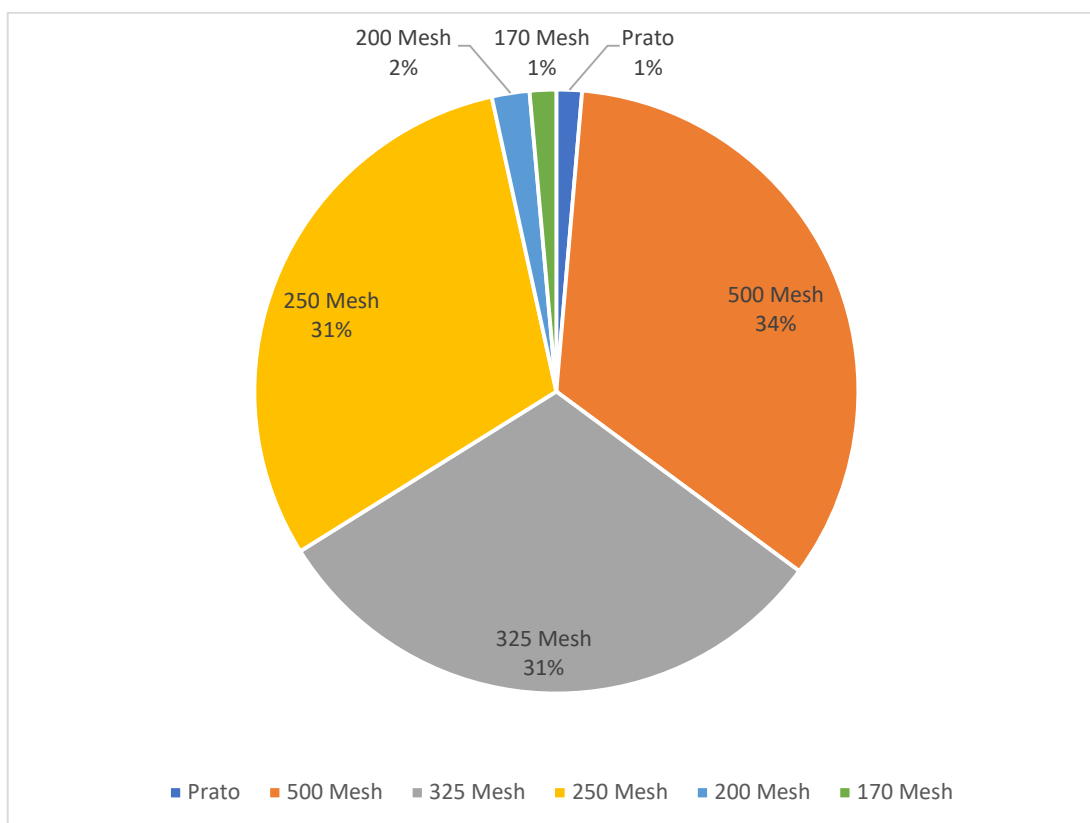
Como pode ser observado na Figura 11, os resíduos de CCA possuem diferentes tamanhos de partículas. Dessa forma, sugere-se que as partículas da CCA analisadas possuem diâmetros entre 0,075mm e 0,500mm, visto que o material utilizado não foi moído ou peneirado.

As análises de granulometria conduzidas por Santos et al (2019) apontam tamanhos entre 0,054mm a 0,075mm. Apesar de, nesse processo, a CCA ter passado por moagem, o tamanho das partículas foi classificado, pelos autores, como sendo relativamente elevado.

Fernandes *et al.* (2016) analisaram a distribuição do tamanho de partículas por difração a laser. Em seus resultados, a média do tamanho das partículas de CCA ficou entre 0,019mm e 0,035mm. As amostras apresentaram distribuição granulométrica ampla, com máximas e mínimas variando consideravelmente nas mesmas. Segundo os autores, a distribuição do tamanho das partículas da CCA é essencial na definição de possíveis aplicações para o resíduo.

Os resultados da análise granulométrica da tinta em pó são apresentados na Figura 12.

Figura 12: Análise granulométrica em percentual tinta em pó



Fonte: do autor, 2020

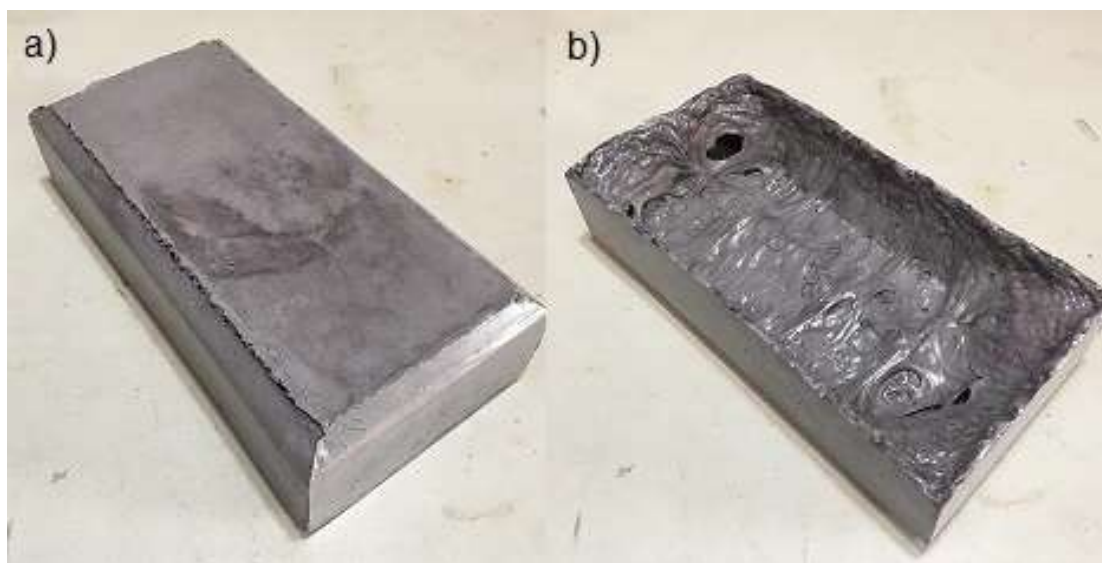
Como pode ser observado na Figura 12, os resíduos de tinta em pó possuem diferentes tamanhos de partículas, entre 0,025mm e 0,090mm. Segundos os testes realizados por Relosi (2016), que foram feitos com tinta em pó virgem, a média do

tamanho das partículas de tinta foi de 0,045mm. Dessa forma, sugere-se que as partículas com tamanho entre 250 mesh e 500 mesh (96% do total do material), que possuem tamanho médio de 0,043mm, sejam de tinta em pó. Já sobre os 4% de material, cujas partículas possuem tamanho superior a 250 mesh, sugere-se que sejam contaminantes como poeira e areia.

4.2 ANÁLISE DAS CARACTERIZAÇÕES DOS COMPÓSITOS

O aspecto visual dos compostos é apresentado nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17. A formulação 1, Figura 13, com 100% de resíduo de tinta em pó, curada a 200 °C por 30 minutos, apresentou aspecto externo liso e homogêneo; no entanto, seu interior ficou oco e frágil.

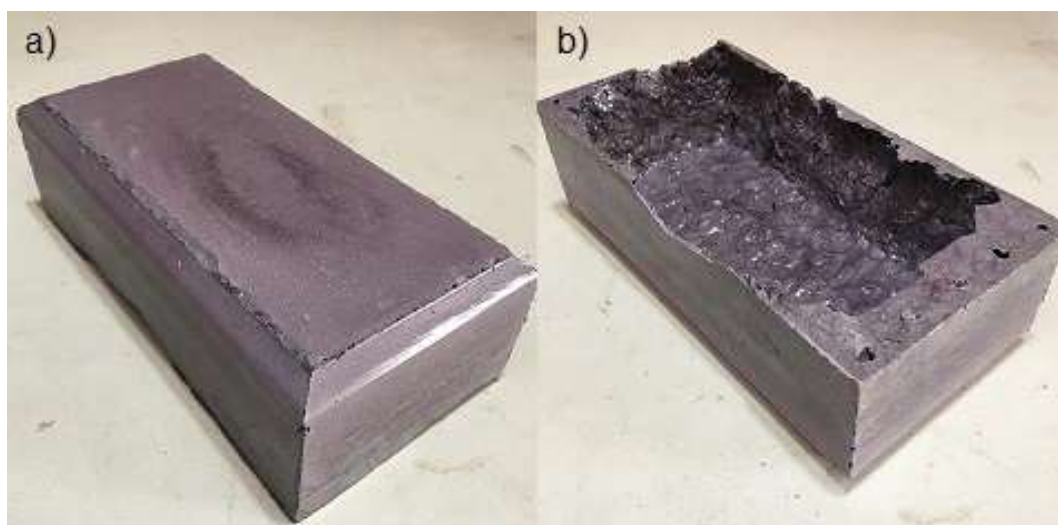
Figura 13: Imagem do composto da Formulação 1, sendo a) externo e b) interno



Fonte: do autor, 2020

Na formulação 2, o único parâmetro alterado foi a temperatura, sendo utilizada, desta vez, 250 °C. O resultado não se alterou em relação à formulação 1, podendo-se observar na Figura 14b, o núcleo oco do composto.

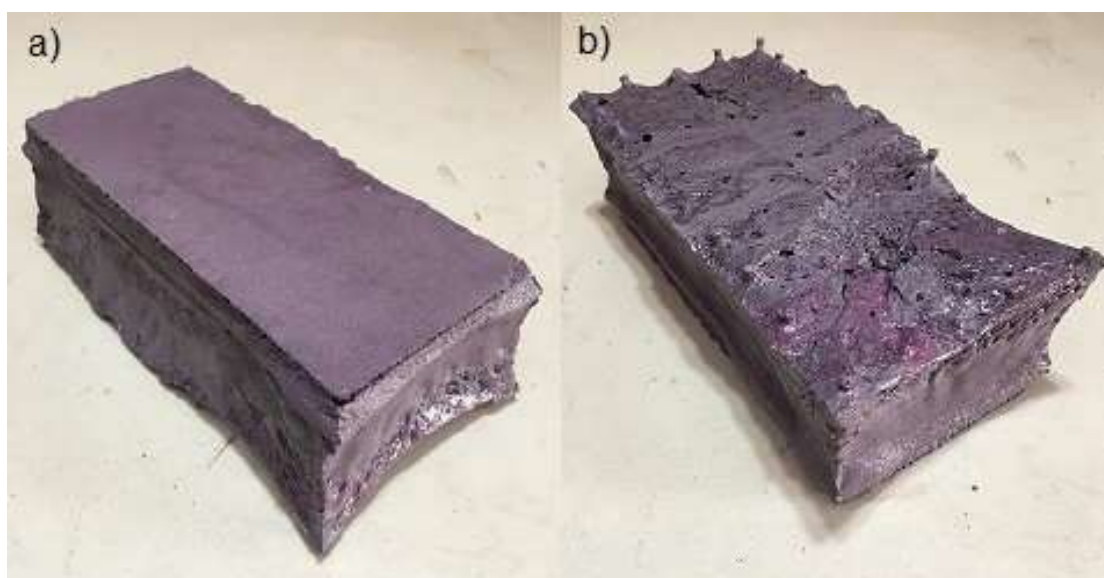
Figura 14: Imagem do compósito da Formulação 2, sendo a) externo e b) interno



Fonte: do autor, 2020

Na formulação 3, houve a adição de 10% de CCA, mantendo-se as demais variáveis conforme o teste anterior. Foi possível notar que o compósito resultante não ficou oco como nos testes anteriores, mas não se obteve resultado satisfatório devido a retrações no material, como pode ser observado na Figura 15.

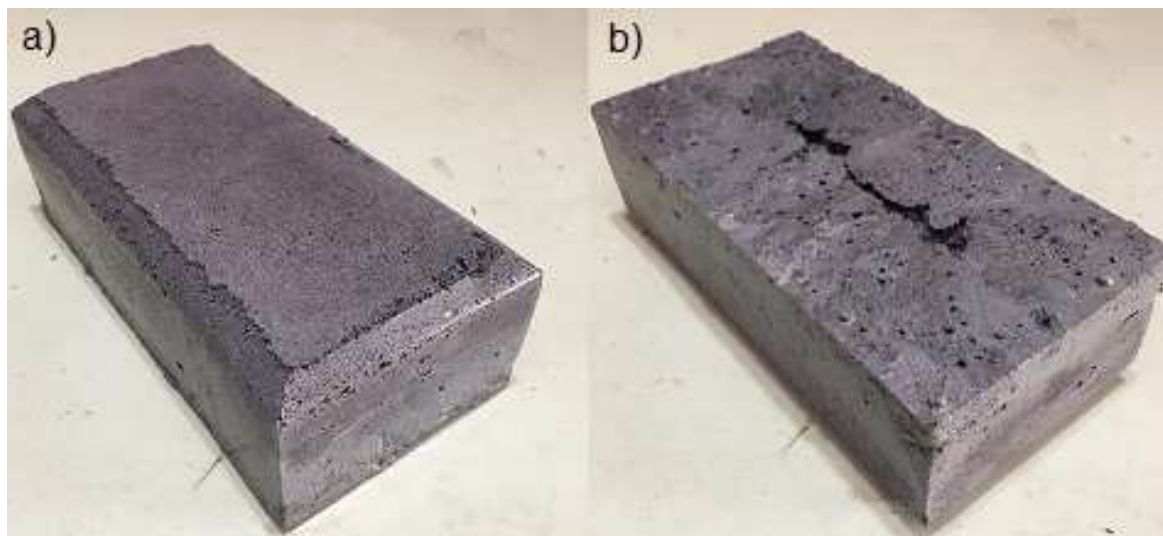
Figura 15: Imagem do compósito da Formulação 3, sendo a) externo e b) interno



Fonte: do autor, 2020

Na formulação 4, foram utilizadas 20% de CCA e 80% de resíduos de tinta em pó, com cura a 250 °C por 30 minutos. Como pode ser observado na Figura 16, a superfície e o seu interior ficaram preenchidos.

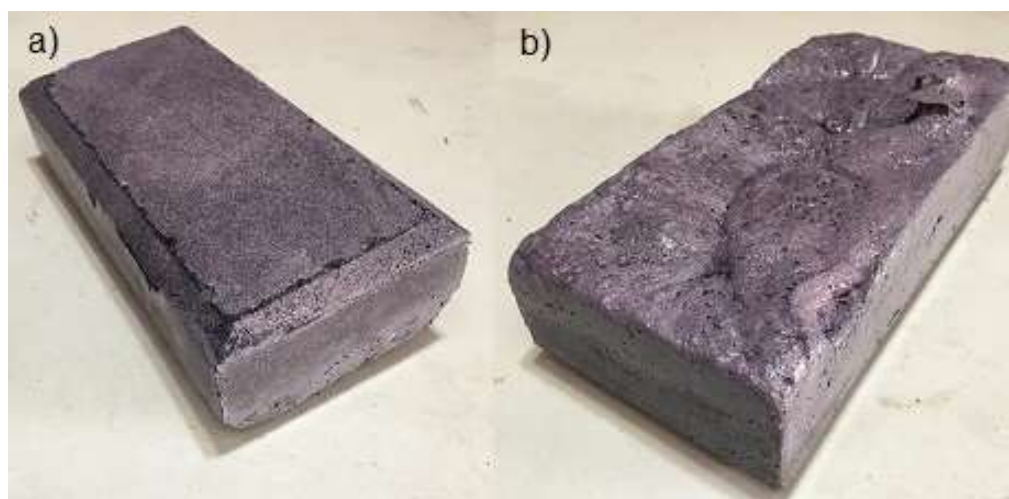
Figura 16: Imagem do compósito da Formulação 4, sendo a) externo e b) interno



Fonte: do autor, 2020

Por fim, foi testado um alto nível de CCA no compósito, utilizando-se de 30% do resíduo, formulação 5, sendo que os parâmetros de cura foram mantidos. O resultado foi insatisfatório, houve retração do material, além dele ficar extremamente poroso, como pode-se observar na Figura 17.

Figura 17: Imagem do compósito da Formulação 5, sendo a) externo e b) interno

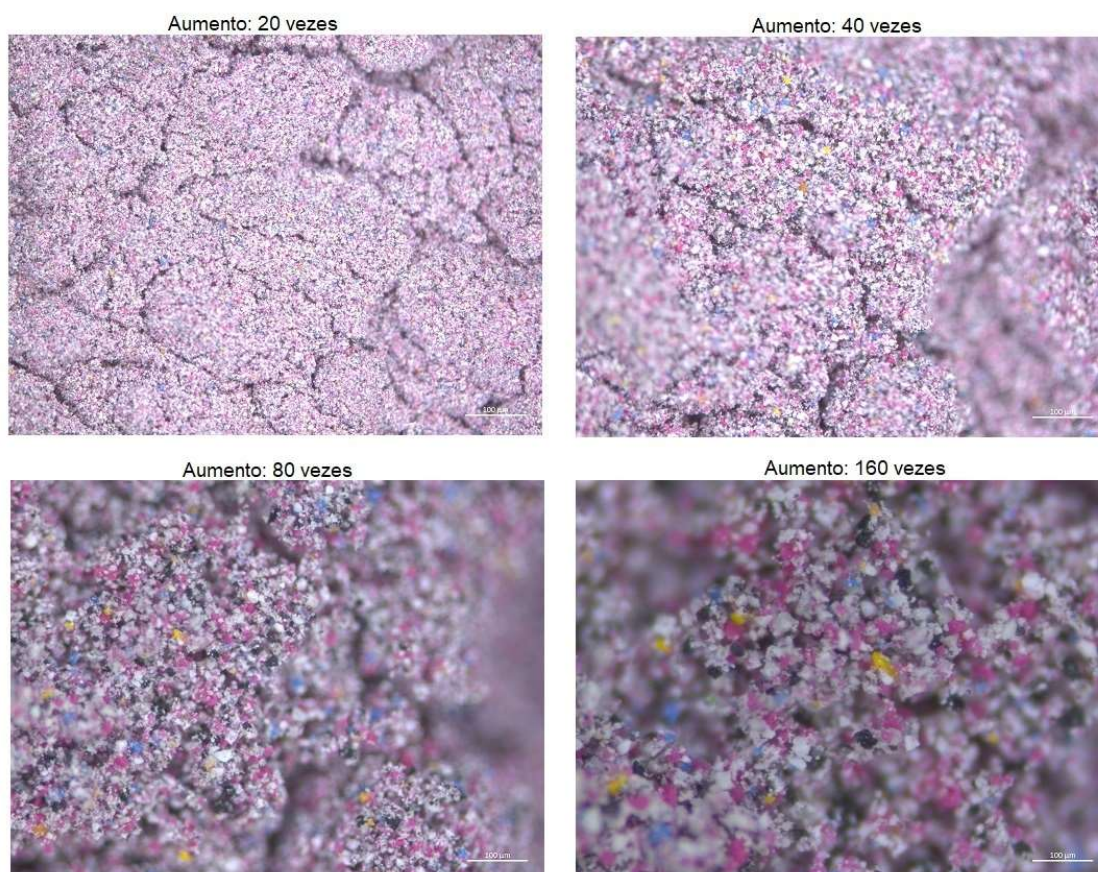


Fonte: do autor, 2020

O compósito da formulação 4, composto por 20% de CCA e 80% de resíduo de tinta em pó, tempo de secagem de 30 minutos a 250 °C, foi o único a ter um aspecto visual homogêneo. Esse foi selecionado para as demais caracterizações.

As fotomicrografias do resíduo de tinta em pó podem ser visualizadas na figura 18.

Figura 18: Fotomicrografias do resíduo de tinta em pó

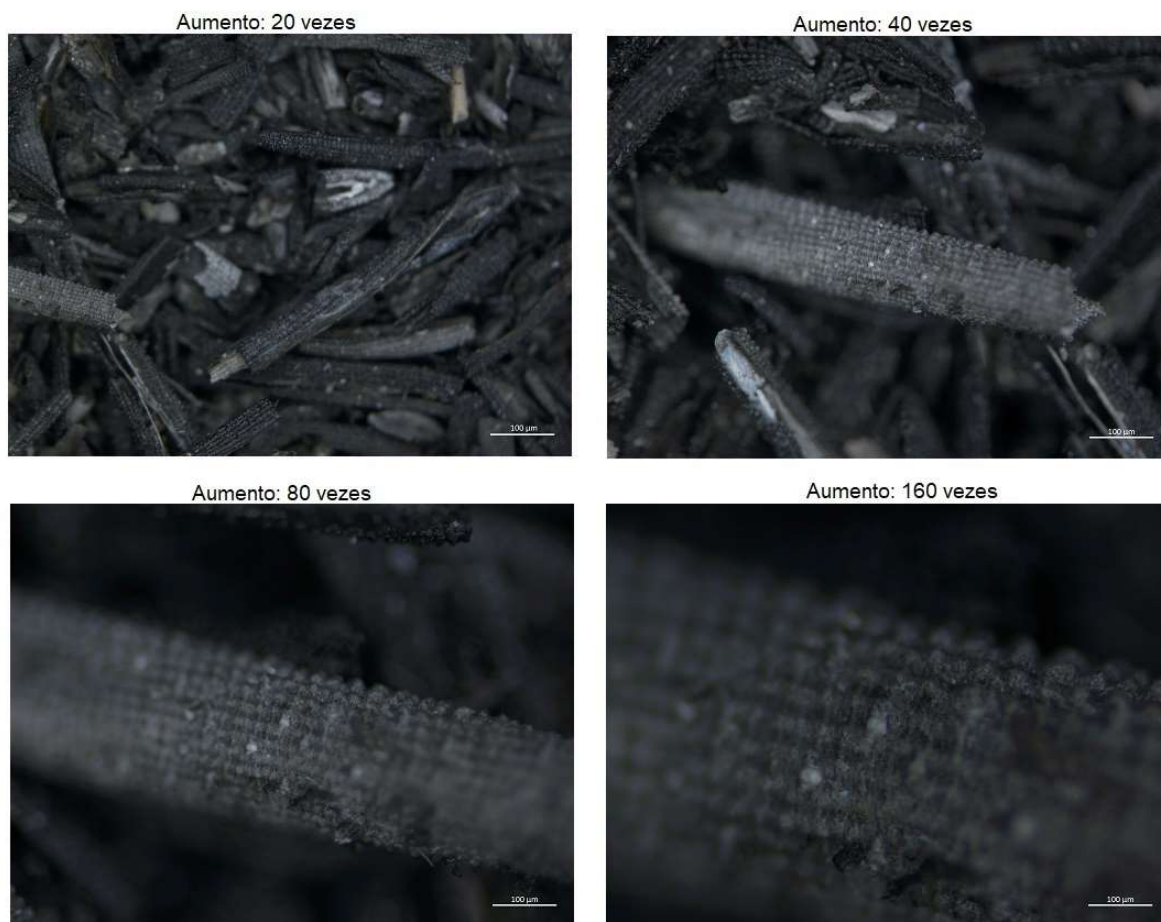


Fonte: do autor, 2020

Como é possível observar na figura 18, o resíduo de tinta em pó possui pigmentos de cores diversas em sua composição, o que indica a mistura de resíduos de tinta de cores diferentes. Como indicado pelo teste de granulometria, as partículas são pequenas, com pouca variação de tamanho.

As fotomicrografias do resíduo da cinza da casca de arroz podem ser visualizadas na figura 19.

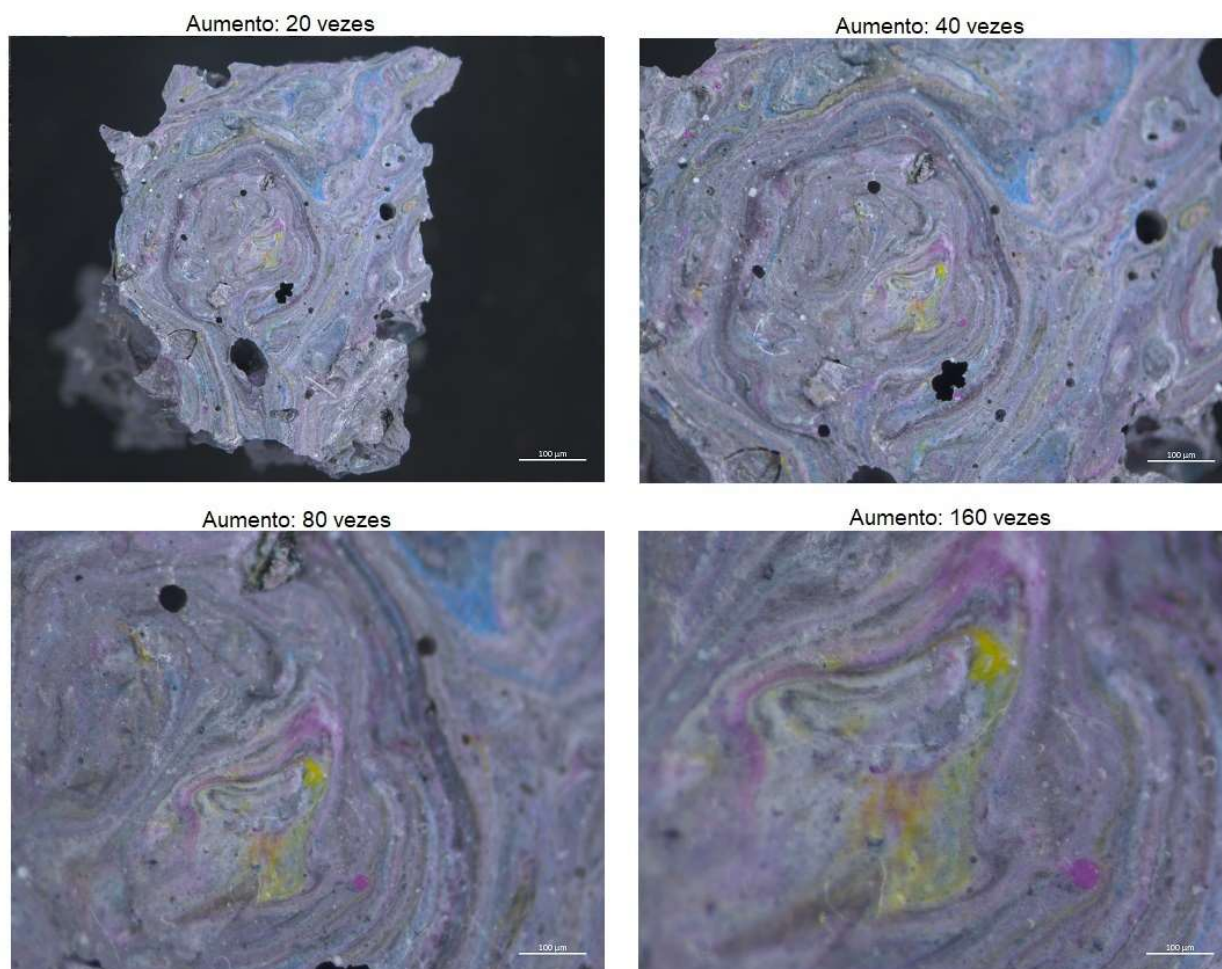
Figura 19: Fotomicrografias da cinza de casca de arroz



Fonte: do autor, 2020

A cinza de casca de arroz apresenta epiderme externa claramente irregular e visivelmente ainda ligada à sílica, indicando que o constituinte orgânico não foi totalmente decomposto, o que está de acordo com Dhaneswara *et al.* (2019).

As fotomicrografias do compósito da formulação 4 podem ser visualizadas na figura 20.

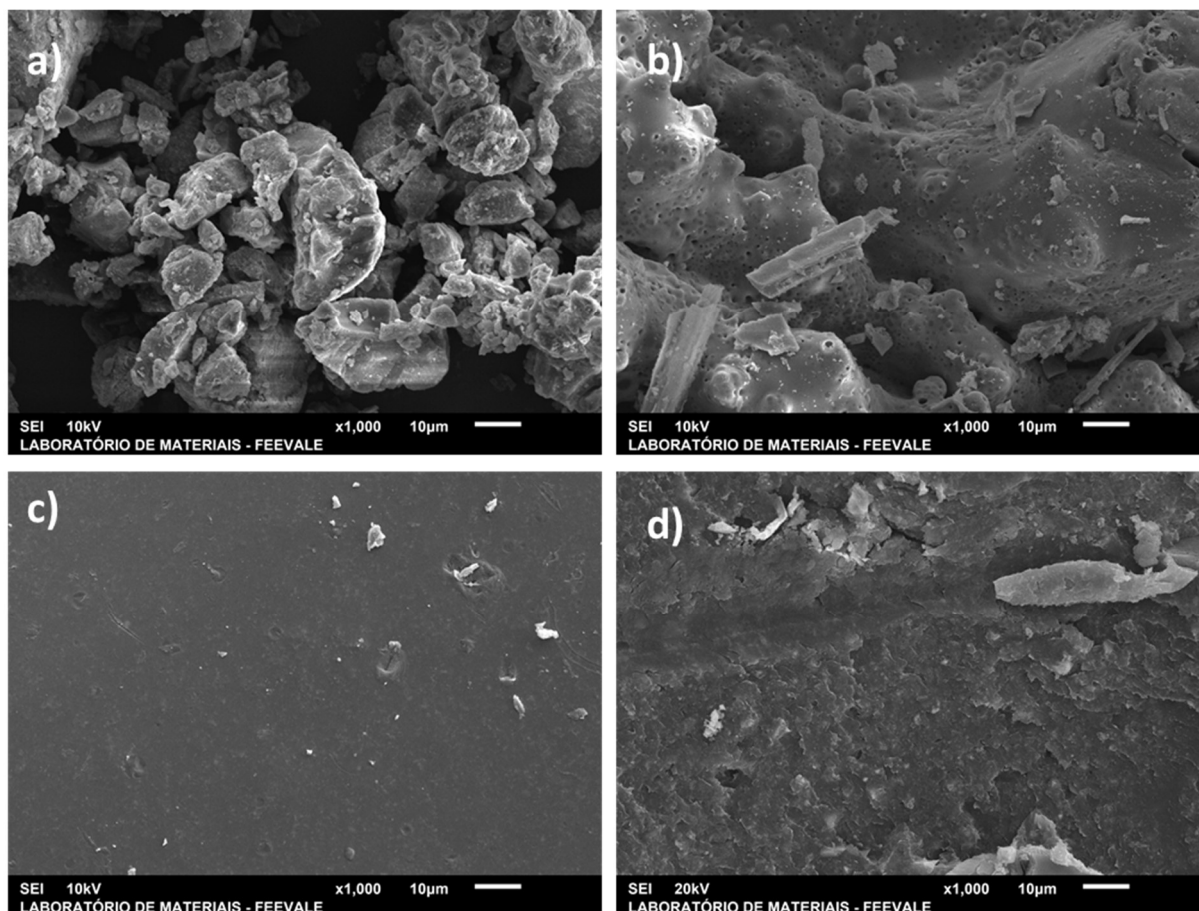
Figura 20: Fotomicrografias do compósito da Formulação 4

Fonte: do autor, 2020

Na superfície do compósito de formulação 4, é possível observar a fusão entre os diferentes pigmentos do resíduo de tinta em pó, bem como pontos pretos, os quais indicam a presença da CCA. Além disso, as fissuras maiores reforçam que o material é bastante poroso, o que impacta, diretamente, nos testes de absorção de água.

As micrografias do resíduo de tinta em pó, cinza da casca de arroz, resíduo de tinta em pó, após temperatura de secagem e do compósito da formulação 4, com aumento de 1000X, são apresentadas na figura 21.

Figura 21: Micrografias de a) Resíduo de tinta em pó, b) Cinza da casca de arroz, c) Tinta em pó após temperatura de secagem e d) Compósito da formulação 4, 1000X



Fonte: do autor, 2020

Na micrografia 21a, é possível observar grânulos do resíduo de tinta em pó. Já na micrografia 21b, na morfologia da cinza da casca do arroz, pode-se observar a estrutura aleatória dos depósitos de sílica, como destacado por Dhaneswara *et al.* (2019). A Figura 21c, onde o resíduo de tinta em pó passou pela mesma temperatura do compósito, mostra uma morfologia lisa, com alguns fragmentos que podem estar relacionados ao próprio resíduo. No compósito, Figura 21d, pode-se observar a interação entre os dois materiais, demonstrando uma superfície mais irregular comparada à micrografia da Figura 21c, além de fragmentos similares aos da CCA pura.

Nas micrografias de Dhaneswara *et al.* (2019) da CCA com combustão a 700 °C, como citado anteriormente, foi observada uma estrutura aleatória dos depósitos de sílica, indicando que a celulose, a lignina e outras substâncias orgânicas foram

decompostas, demonstrando que a sílica de CCA analisada possui uma pureza relativamente alta (DHANESWARA *et al.*, 2019).

Nas análises de EDS, a cinza de casca de arroz apresentou os elementos como carbono, oxigênio, silício, magnésio e ferro, sendo elementos típicos encontrados nesse material. Nos testes MEV-EDS realizados por Santos *et al.* (2019), a CCA apresentou componentes como silício e potássio, com porcentagens, em massa, de 91,8% e 8,2%, respectivamente.

As análises da CCA estão de acordo com a pesquisa de Lopes *et al.* (2017), que indica que as cinzas de casca de arroz, no geral, possuem em torno de 80-90% de SiO₂ (dióxido de silício), 5% de K₂O (óxido de potássio), 4% de P₂O₅ (pentóxido de difósforo) e 1-2% de CaO (óxido de cálcio), além de quantidades menores de Fe (ferro), Mg (magnésio) e Na (sódio).

Não foi possível a análise de EDS do resíduo da tinta em pó, por esse apresentar interação e não estabilizar. Então foi realizada uma análise semiquantitativa de elementos por fluorescência de raios X (XRF), conforme Tabela 3.

Tabela 3: Determinação semiquantitativa de elementos por Fluorescência de Raios X

Elemento	Resultado (%)^{1,2}
Titânio (Ti)	17,44
Cálcio (Ca)	16,48
Chumbo (Pb)	12,48
Cromo (Cr)	2,93
Silício (Si)	2,75
Magnésio (Mg)	1,70
Cloro (Cl)	0,54
Ferro (Fe)	0,21
Estrôncio (Sr)	0,19
Bromo (Br)	0,15
Zircônio (Zr)	0,06

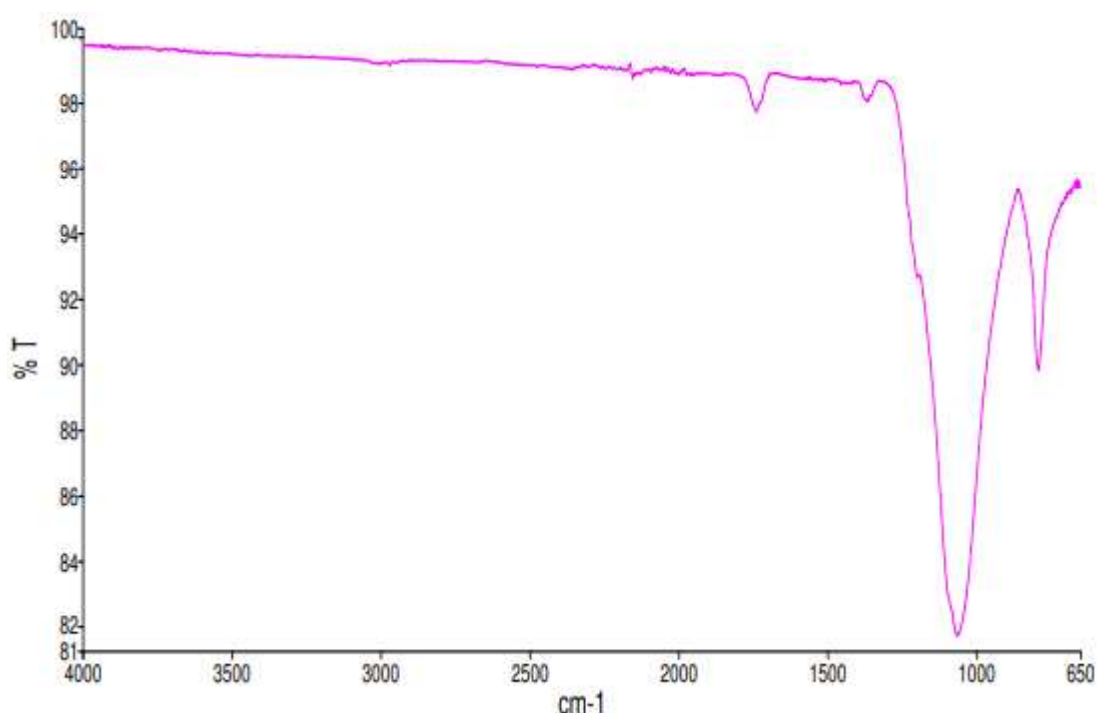
¹ Teor semiquantitativo referente ao total de elementos presentes na amostra

² Limite de Detecção do Método = 0,01%.

Observa-se, na Tabela 3, que a amostra apresenta elementos como titânio, cálcio, chumbo em maiores quantidades, além de outros elementos constituintes da tinta. Vale ressaltar que os percentuais dos elementos apresentados neste ensaio referem-se aos metais constituintes do resíduo, mas que compõem na forma de óxidos, como óxido de titânio, óxido de cálcio entre outros.

Na análise por espectroscopia no infravermelho, o espectro da Figura 22 apresenta todas as bandas características da cinza de casca de arroz.

Figura 22: Espectro de IV da cinza de casca de arroz



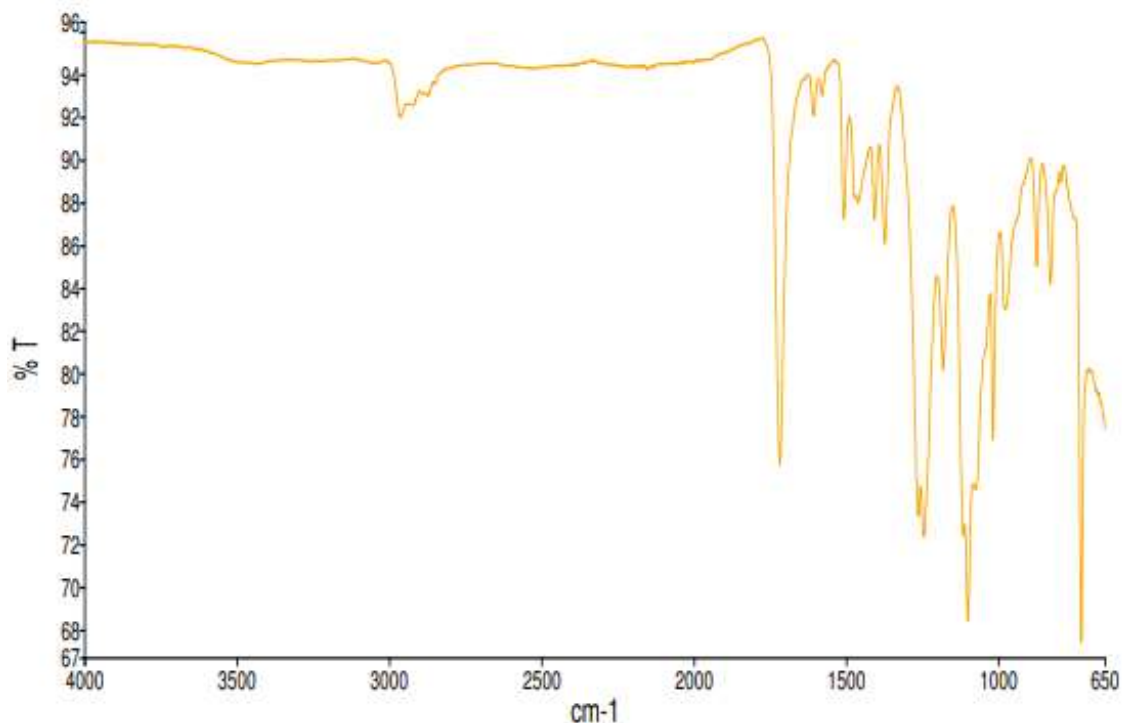
Fonte: do autor, 2020

O espectro da cinza de casca de arroz, Figura 22, apresentou bandas em torno de 1090cm^{-1} e 1057 cm^{-1} , que são características de cinzas leves e referentes ao estiramento assimétrico Si-O-Si, respectivamente. Esses grupos funcionais estão de acordo com o encontrado por Alves *et al* (2018).

Segundo Alves *et al.* (2018), as bandas em torno de 1090cm^{-1} são características de cinzas leves e uma banda em $\sim 1057\text{ cm}^{-1}$ é referente ao estiramento assimétrico Si-O-Si. Além disso, uma banda de menor intensidade em $\sim 795\text{cm}^{-1}$ provavelmente, devido ao estiramento Si-C, o que confirma a presença de sílica e de carbono restante da combustão. A ausência de uma banda de O-H em $\sim 3600\text{ cm}^{-1}$ indica a obtenção de uma cinza livre de umidade.

Na Figura 23, é apresentado o espectro de IV do resíduo de tinta em pó.

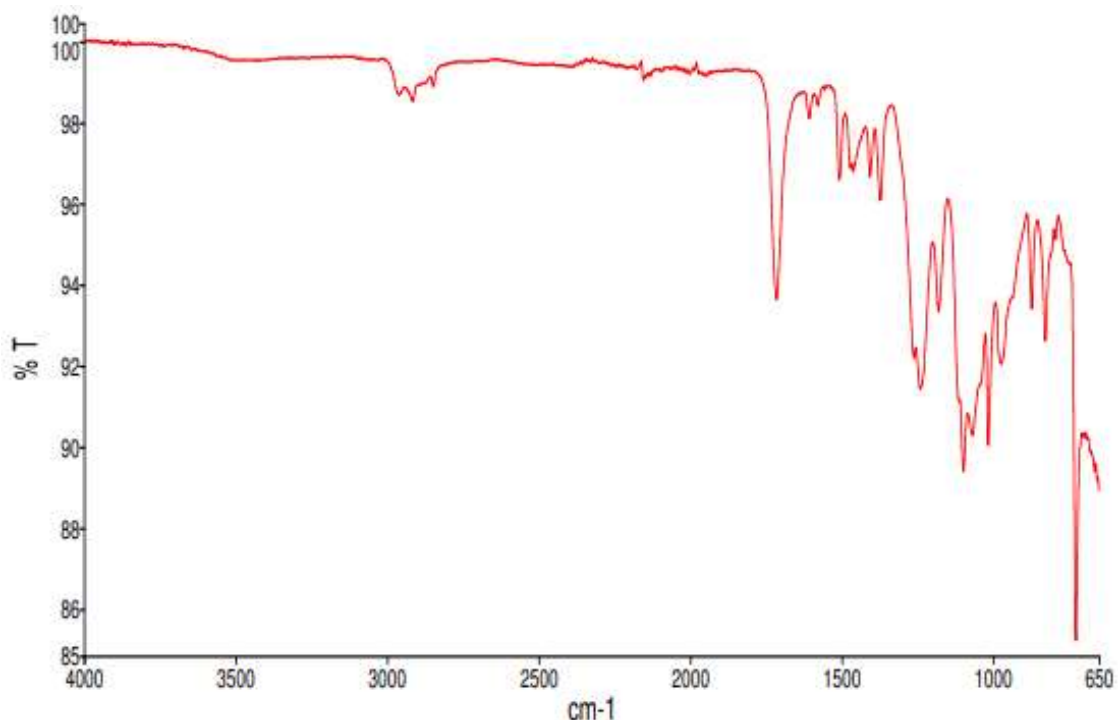
Figura 23: Espectro de IV do resíduo de tinta em pó



Fonte: do autor, 2020

Os grupos funcionais encontrados no espectro de infravermelho da tinta em pó foram compatíveis com os resultados do estudo realizado por Catarina (2015). Em 2850 e 2896 cm^{-1} as bandas são referentes à deformação axial C-H, CH_2 e CH_3 . A banda em 1780 cm^{-1} é atribuída ao C=O; já em 1461 cm^{-1} , à deformação angular de CH_3 e CH_2 . Em 1302 e 1200 cm^{-1} , correspondem à deformação axial do C-O, enquanto a banda em 983 cm^{-1} é relativa a C = C (CATARINA, 2015).

Na Figura 24 é apresentado o espectro de IV do compósito da formulação 4.

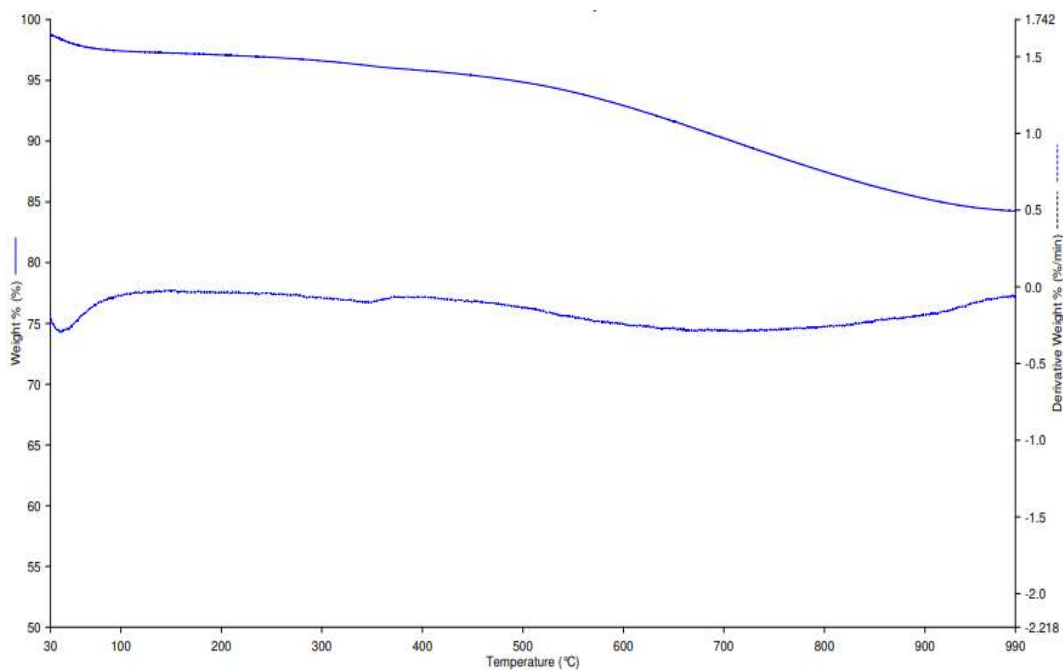
Figura 24: Espectro de IV do compósito da Formulação 4

Fonte: do autor, 2020

Da mesma maneira que no estudo conduzido por Fernandes *et al.* (2018), os resultados de infravermelho da matriz termoplástica e do compósito com 20% de CCA obtiveram resultados similares. A banda em 1100 cm^{-1} indica a ligação Si-O. Conforme observado no espectro de infravermelho do resíduo de tinta em pó, as bandas 2850 e 2896 cm^{-1} são referentes à deformação axial C-H, CH_2 e CH_3 ; 1780 cm^{-1} ao $\text{C}=\text{O}$; 1461 cm^{-1} à deformação angular de CH_3 e CH_2 ; 1302 e 1200 cm^{-1} correspondem à deformação axial do C-O e a banda em 983 cm^{-1} a $\text{C}=\text{C}$ (CATARINA, 2015).

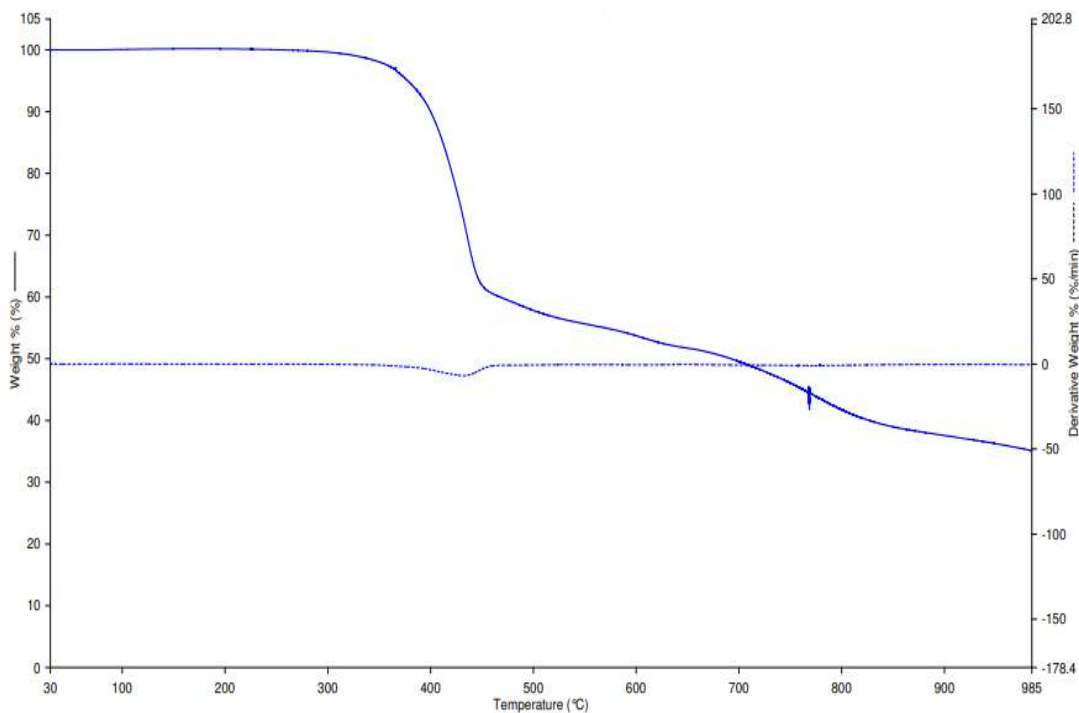
Os gráficos com a análise termogravimétrica são representados por duas linhas, sendo uma lisa, referente ao TGA, e uma pontilhada, que representa a termogravimetria derivada (DTG).

A Figura 25 apresenta a análise termogravimétrica (TGA) e a termogravimetria derivada (DTG) da cinza de casca de arroz, na qual comprovou que esse se encontra no estado de cinza.

Figura 25: Termograma da cinza de casca de arroz

Fonte: do autor, 2020

A Figura 26 apresenta o TGA/DTG do resíduo de tinta em pó.

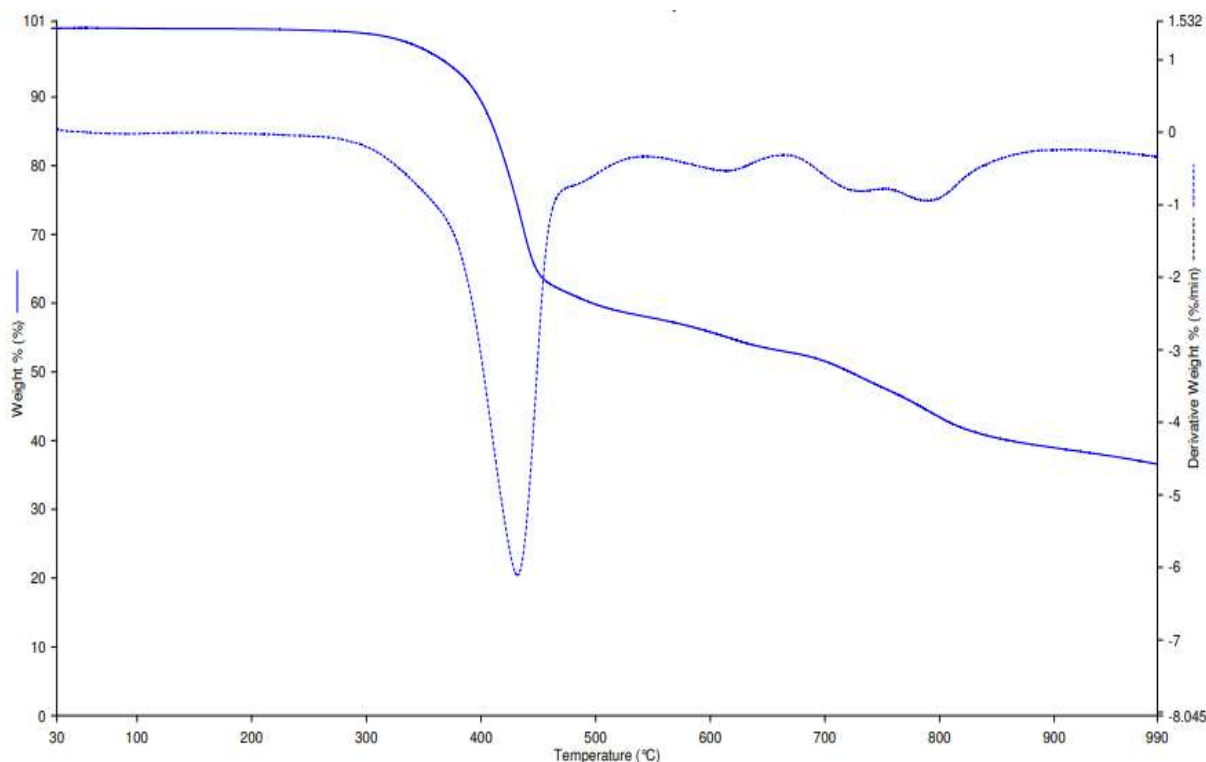
Figura 26: Termograma do resíduo de tinta em pó

Fonte: do autor, 2020

A perda da maior parte da massa, na análise termogravimétrica de tinta em pó híbrida (matriz de poliéster e epóxi combinadas), a qual inicia próximo a 350 °C, está associada à decomposição da matriz polimérica, sendo este primeiro evento encerrado próximo aos 500 °C (RELOSI, 2016).

A Figura 27 apresenta o TGA/DTG do compósito da formulação 4.

Figura 27: Termograma do compósito da Formulação 4



Fonte: do autor, 2020

A decomposição iniciou em 432 °C, referente à decomposição das resinas plásticas do resíduo de tinta em pó.

Em sua pesquisa, Marckmann *et al.* (2015) apontam que o declive próximo aos 100 °C se dá pela liberação da umidade, o que não foi encontrado nesse termograma. O segundo declive, o qual inicia próximo aos 450 °C, representa a oxidação da matriz carbonácea que não demonstrou resistência à oxidação da matriz, sendo esta oxidada homogeneamente até os 600 °C (MARCKMANN *et al.*, 2015).

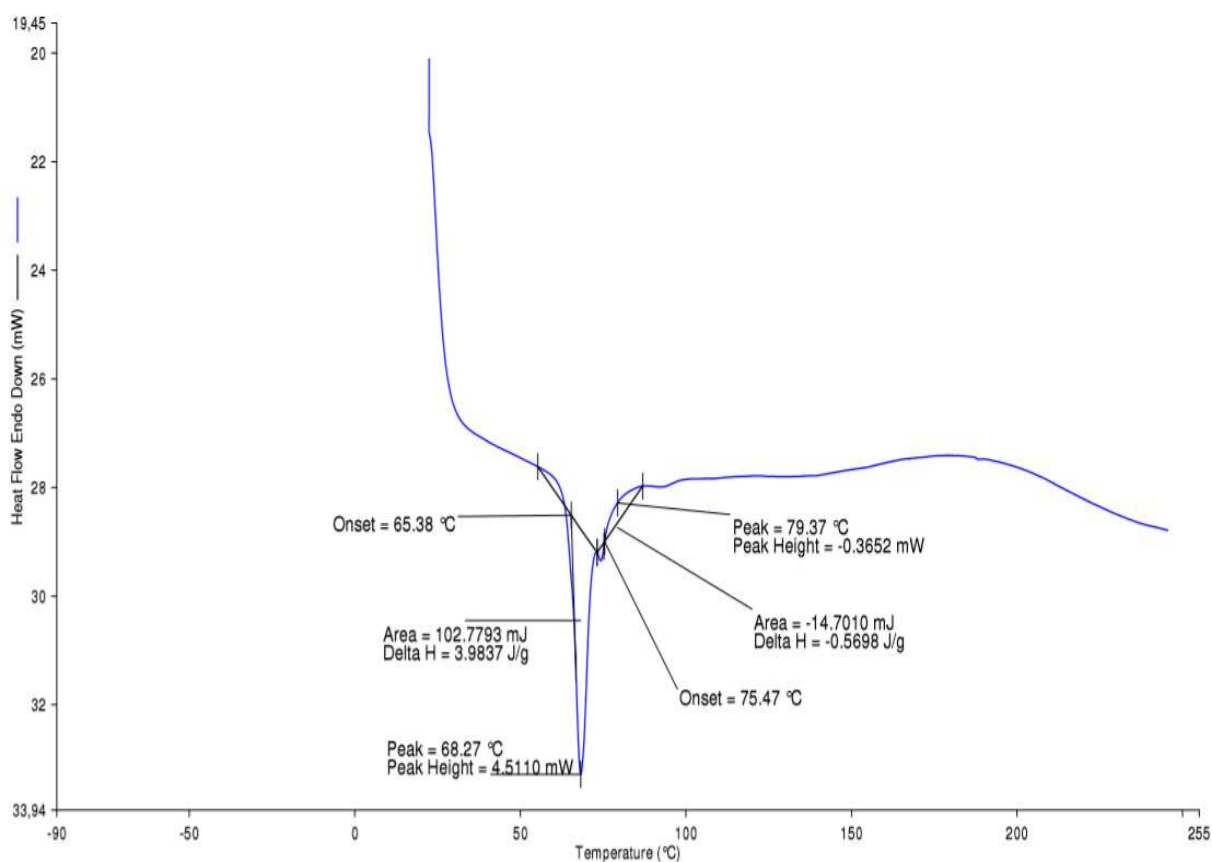
Fernandes *et al.* (2018) testaram compósitos de matriz epóxi com diferentes porcentagens de cinza de casca de arroz como carga. A comparação com o compósito desenvolvido nesse estudo é relevante, visto que, como explanado na seção sobre

tinta em pó, as mais usadas são as feitas com resinas epóxi, poliéster ou híbridas das duas.

Os resultados da termogravimetria do compósito de resina epóxi com 20% de cinza de casca de arroz realizados por Fernandes *et al.* (2018) são similares ao do presente estudo. A temperatura de degradação inicial foi em torno de 370 °C. Entre 110 °C e 280 °C foi observada uma pequena perda de massa, inferior a 1%, possivelmente relacionada à eliminação de umidade ou voláteis de baixo peso molecular. Em 400 °C iniciou a decomposição das resinas plásticas, responsável pelo maior declínio do gráfico (FERNANDES *et al.*, 2018).

Nas análises de DSC da cinza da casca do arroz e do compósito da formulação 4, não foram identificados eventos térmicos, conforme Anexo A. Na análise de DSC no resíduo de tinta em pó, é possível visualizar uma temperatura de fusão em 72 °C, Figura 28, que se refere provavelmente às resinas poliméricas presentes no resíduo.

Figura 28: Análise de DSC do resíduo de tinta em pó



Fonte: do autor, 2020

Os resultados da absorção de água do compósito estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do teste absorção de água do compósito da Formulação 4

Corpo de Prova	Pesagem seca (g)	Pesagem pós absorção (g)	Resultado (g)	Resultado (%)
1	504,3	568,0	63,7	12,63
2	505,4	697,1	191,7	37,93
3	497,7	591,3	93,6	18,81
4	525,7	632,3	106,6	20,28
5	495,4	590,7	95,3	19,24
6	504,8	590,9	86,1	17,06
Média	505,55	611,71	106,16	29,98

Fonte: do autor (2020)

Os testes de absorção de água resultaram em uma média de 29,98%, sendo todos os seis corpos de prova reprovados perante as regras da norma NBR 9781/2013. Quando comparado à NBR 10836, para tijolos de solo cimento, o compósito, testado de acordo com as regras da NBR 9781, também foi reprovado, sendo a absorção de água média máxima permitida, 20%.

Em comparação dentre cinco diferentes fabricantes de pavimentos intertravados de concreto, os resultados de Mafra (2016) apontam que o único fabricante reprovado no teste de absorção de água utiliza concreto plástico na confecção de suas peças. Isso ocorre pela maior porosidade do material, resultando em uma maior absorção de água na peça (MAFRA, 2016), o que ocorre neste caso, sendo uma possível aplicação. Não existem normas técnicas para pavimentos plásticos.

Após teste de absorção de água, foi realizado o teste de resistência a compressão do compósito da formulação 4, de acordo com a NBR 9781/2013, em triplicata. Os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados da resistência a compressão

Corpo de Prova	Resultado (kgf)	Resultado (MPa)
1	935	1,6
2	1447	2,5
3	1513	2,6

Média	1298	2,24
-------	------	------

Fonte: do autor (2020).

Com resultados médios de 2,24 MPa para o teste de resistência a compressão, o compósito não se qualificaria para a utilização como pavimentação, como apresentado também na Figura 29.

Figura 29: Pavimento pós-teste de compressão



Fonte: do autor.

De acordo com a norma NBR 9781/2013, responsável pela padronização de pavimentos intertravados de concreto no Brasil, o limite de resistência característica dos tijolos de pavimentação é de 35 Mpa, sendo estes classificados como de utilização em áreas de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Segundo o estudo de Mafra (2016), 80% dos pavimentos intertravados de concreto analisados não atingiram o requisito mínimo exigido na NBR 9781, ficando com resistência média a compressão em 24,5 Mpa, demonstrando também a carência de fiscalização no setor.

Já quando em comparação à NBR 10836, para tijolos de solo cimento, o compósito, testado de acordo com as regras da NBR 9781, demonstrou resistência adequada, sendo a mesma superior a 2 Mpa. No entanto, os testes não foram feitos de acordo com a NBR 8492, que padroniza os testes para tijolos de solo cimento, abrindo espaço para pesquisa na área.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que existe viabilidade técnica para o preparo de compósitos de resíduos de tinta em pó e cinza de casca de arroz. Dentre as formulações dos compósitos, a composição de 80% de tinta e 20% de cinza de casca de arroz apresentou aspecto visual uniforme e uma rigidez interessante, uma vez que o produto obtido manteve o seu formato mesmo após o teste de absorção de água.

Quanto às diferentes formulações para o compósito, apenas a formulação 4, que é constituída por 80% de resíduo de tinta em pó e 20% de cinza de casca de arroz, curada a 250 °C por 30 minutos, obteve os melhores resultados.

A cinza de casca de arroz apresenta epiderme externa claramente irregular e visivelmente ainda ligada à sílica, demonstrando que os constituintes orgânicos não foram totalmente decompostos. Em análise granulométrica, a CCA apresentou partículas com diâmetros entre 0,075mm e 0,500mm, enquanto sua composição foi definida como 91,8% de silício e 8,2% de potássio.

O resíduo de tinta em pó possui pigmentos de cores diversas em sua composição, o que indica a mistura de resíduos de tinta de cores diferentes. No teste de granulometria, o resíduo apresentou partículas entre 0,025mm e 0,090mm, apontando ser um produto com partículas pequenas, sendo o resultado também observado em fotomicrografias. A tinta em pó é constituída, principalmente, por titânio, cálcio, chumbo e silício, e, em análise de DSC da mesma, é possível visualizar uma temperatura de fusão em 72 °C.

Em análise da micrografia do compósito de formulação, é possível observar uma compatibilidade dos componentes. Os testes de absorção de água resultaram em uma média de 29,98%, enquanto os de resistência a compressão apresentaram média de 2,24 MPa.

O objetivo de produzir um compósito com a utilização dos resíduos propostos foi alcançado do ponto de vista da sustentabilidade e da economia circular. Sendo produzidos apenas com material considerado rejeito, sem geração de resíduos adicionais, os compósitos são uma alternativa eficiente para a destinação dos resíduos de tinta em pó, os quais, atualmente, acabam por ir para aterros industriais.

REFERÊNCIAS

ALFARO, Eduardo de Faria. **Estudos da utilização da cinza de casca de arroz como carga em matriz de polipropileno e do efeito da radiação ionizante sobre este compósito**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Curso de Tecnologia Nuclear – Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ALVES, A. C. A. *et al.* Extração de sílica residual proveniente da casca de arroz e aplicação na produção de argamassa. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 127-136, 2018. ISSN 1809-8797.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA (ABIPLAST). **Perfil: 2018: indústria brasileira de transformação e reciclagem de material plástico**. São Paulo: ABIPLAST, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2017. p. 74.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2018/2019. p. 74.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de pavimento intertravado: passeio público**. São Paulo: ABCP, 2010. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. p. 8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. p. 27

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. p. 71.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836**: avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c. p. 11.

BORGES, Luís Antônio Coimbra; REZENDE, José Luiz Pereira de; PEREIRA, José Aldo Alves. Evolução da Legislação Ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Lavras, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

CARDONA-URIBE, Natalia *et al.* Possibilities of rice husk ash to be used as reinforcing filler in polymer sector: a review. **Revista UIS Ingenierías**, v. 17, n. 1, p. 127-142, 2018.

CATARINA, Gilmar Antônio Santa. **Desenvolvimento e caracterização de tintas em pó ignífugas à base de resina acrílica com adição das argilas montmorilonita e mica moscovita aplicadas sobre aço carbono**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2015.

CETEC EQUIPAMENTOS DE PINTURA. **Dicas para calcular a quantidade de tinta na pintura eletrostática**. Barueri: 2019. Disponível em: <<http://cetecindustrial.com.br/artigos/dica-quantidade-tinta-eletrorstatica/>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Review 2015: um panorama reciclagem no Brasil**. São Paulo: CEMPRE. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo_publicacao/artigos>. Acesso em: 9 maio 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) (Org). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: CONAB. v. 6. Safra 2018/19, n. 4 - Quarto levantamento, janeiro 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. [S.l.]: 2018. p. 64.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. 1 ed. Brasília, 2002.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia sanitária e ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 685-698, 2015.

DHANESWARA, D *et al.* The study of thermal decomposition of rice husk in silica production: the effect of hydrochloric acid leaching. **Iop conference series: materials science and engineering**, [s.l.], v. 547, 2019.

DU, Zhongyan *et al.* The review of powder coatings. **Journal of materials science and chemical engineering**, Shanghai, v. 4, n. 3, p. 54-59, 2016.

ECOEICIENTES. **Telhas de Tetra Pak**. [s. l.], 2020. Disponível em: <<http://ecoeicientes.com.br/guia-de-empresas/telha-de-tetra-pak/>>. Acesso em: 3 jul. 2020.

ELASTA. **Piso de Madeira Plástica**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.elasta.com.br/piso/piso-de-madeira-plastica/>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION ANBI. **Economia circular**. [s.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (org.). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. **World economic forum**, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (org.). The new plastics economy: rethinking the future of plastics. **World economic forum**, 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (org.). Circular consumer electronics: an initial exploration. **World economic forum**, 2017.

FERNANDES, Iara J. *et al.* Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. **Fuel**, [s.l.], v. 165, p. 351-359, 2016.

FERNANDES, Iara J. *et al.* Replacement of commercial silica by rice husk ash in epoxy composites: a comparative analysis. **Materials Research**, São Carlos, v. 21, n. 3, 2018.

FERREIRA, Alice de Cassia; CCAPE (Org.). **Reutilização e reciclagem de plásticos**. Belo Horizonte: Difusora, 2019. 75p.

FERRO, Waldir P.; E SILVA, Leonardo G. A.; WIEBECK, Hélio. Uso da cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6 Polímeros. **Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 240-243, 2007.

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. D. F. A economia circular como alternativa à economia linear. *In: XI Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe – SIMPROD*. São Cristóvão, 2019. p. 8.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**. [s.l.], v.17, n. 6, 2012. ISSN 1413-8123.

GUTERRES, B. Q. A produção de telhas ecológicas no noroeste do estado do Rio Grande do Sul: um estudo de caso. **Fórum de Sustentabilidade do Corede Alto Jacuí**, Alto Jacuí, v. 7, p. 11, junho 2019.

JONGPRADIST, Pornkasem *et al.* Efficiency of rice husk ash as cementitious material in high-strength cement-admixed clay. **Advances in civil engineering**. [s.l.], v. 2018, p. 1-11, 2018.

KIELING, A. C. **Viabilidade técnica e econômica da madeira plástica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia - PPGBIOTEC, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018. p. 151.

KIELING, A. C.; SANTANA, G. P.; SANTOS, M. C. D. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais. **Scientia Amazonia**, [s.l], v. 8, p. B1-B14, 2019.

LOMASSO, Alexandre Lourenço *et al.* Benefícios e desafios na implementação da reciclagem: um estudo de caso no centro mineiro de referência em resíduos. **Revista pensar gestão e administração**, Minas Gerais, v. 3, n. 2, p.1-20, 2015.

LOPES, Emanoelli R. *et al.* Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por MIP OES após decomposição ácida com sistema de refluxo. **Química Nova**, Capão do Leão, v. 40, n. 9, 12 set. 2017.

LUZ, Beatriz. Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática. **Exchange 4 Change Brasil**, Rio de Janeiro, v. 1, 2017.

MAFRA, Leandro. Verificação da qualidade de peças de concreto para pavimento intertravado de indústrias de Brusque (SC). **Centro Universitário de Brusque**, Santa Catarina – CREA-SC, 2016.

MAIELLO, Antonella; BRITTO, Ana Lucia Nogueira de Paiva; VALLE, Tatiana Freitas. Implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p.24-51, 2018.

MANSOR, Maria Teresa Castilho; SMA-SP (Org.). **Resíduos Sólidos**. 2. ed. São Paulo: Meio Ambiente/SP, 2014. 166p.

MARCKMANN, Karina et al. Caracterização de carvão ativado proveniente da cinza da casca do arroz para uso em tratamento de água e efluentes. **Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana**, Passo Fundo-RS, v. 4, 2015.

MARTINS, Ítalo Yago Ferreira; FUKAYA, Hiroyuki; MARTINS, Aline Gabrielle Ferreira. Utilização de plástico reciclado para obtenção de um novo pavimento permeável. **Periódico Tchê Química**, Porto Alegre, v. 15, n. 29, 2018.

MIRANDA, Sandra Cristina Fraga. **Desenvolvimento e caracterização de tintas em pó com resistência à água**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) – Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Química, Feup, Porto, Portugal, 2010.

MOREIRA, Anabela Mendes. **Materiais de Construção I: materiais compósitos**. Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar - Portugal, 2008. 12p.

MOURA, Adriana da Silva. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas e térmicas entre compósitos de PHB (Polihidroxitirato) reforçados com casca de arroz ou fibra de coco**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Integridade de Materiais da Engenharia, UNB Gama, Brasília, 2014.

MURARO, Pésio; CAMELO, Caeverton de Oliveira; DENIS, Fabiula Arenhardt. Aproveitamento da casca de arroz (CA) no município de Bagé-RS. **VI Simpósio da Ciência do Agronegócio**, Porto Alegre, 2018.

NEGRÃO, Janilce dos Santos Messias *et al.* **Revisão sistemática da literatura sobre telhas sustentáveis visando o desenvolvimento do produto**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, v. 8, 7 dez. 2018.

PRECON. **Manual técnico: telha de PVC PreconVC**. DVG PRECON: Belo Horizonte, 2017. p. 36.

RAHMANIAR; SUSANTO, Tri. Impacts of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene rubber blends. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s.l.], v. 509. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/509/1/012116>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

RELOSI, Natanael. **Obtenção e caracterização de tintas em pó base epóxi/poliéster com incorporação de argilominerais: montmorilonita (mmt) e mica muscovita**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

RIBEIRO, Flavio de Miranda; KRUGLIANSKAS, Isak. A economia circular no contexto europeu: conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. **Engema: encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 87-90, 2014.

ROCHA, Evelise Riveros da. **A viabilidade econômica sustentável do bloco concreto com garrafa PET**. 2016. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (MBA em Gestão de Obras e Projetos), Unisul, Santa Catarina, 2016.

SANTO, R. C. D.; SANTOS, I. L. D.; JUNIOR, D. D. S. S. Madeiras plásticas? A novidade no mercado leva a uma gestão empresarial sustentável. **Navus**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 148-158, abril 2019.

SANTOS, Antonio Vanderlei dos *et al.* Unidade de ensino potencialmente significativa por meio de experimentos com cinza de casca de arroz. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 2, n. 2, p. 431-445, jul. 2019.

SANTOS, Rafael de Sá *et al.* Processamento e caracterização de um compósito granular obtido por reciclagem mecânica. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 27, 2017.

SANTOS, Sâmara Ferreira dos; MOREIRA, Luana de Almeida; SILVA JÚNIOR, Ladir Antônio da. Análise experimental da influência da cinza de casca de arroz sem queima controlada como adição mineral ao concreto. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 9, n. 1, 4 out. 19.

SILVA, Elaine Aparecida da; MOITA NETO, José Machado. Possibilidades de melhorias ambientais no processo de reciclagem do polietileno. **Polímeros**, São Paulo, v. 26, p. 49-54, 2016.

SILVA, Humberto Sartori Pompeo da. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Curso de Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

SILVA, Látia Michelle Sampaio da; PARAÍSO, Luka Almeida; PINTO JUNIOR, Ismar Macário. Análise crítica política nacional de resíduos sólidos: principais pontos e aplicabilidade. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 2, p. 37-48, 2017.

SILVA, Sandro Pereira; IPEA. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**. Rio de Janeiro: Livraria Ipea, 2017. 56 p.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). **Cadernos técnicos de composições para: pavimento rígido de concreto**. SINAPI, Brasil, v. 3. p. 58, 2017.

STALTER, Carline Fabiane; MORAES, Carlos Alberto Mendes; BREHM, Feliciane Andrade. Revisão das oportunidades de reciclagem do poliuretano rígido. **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, Porto Alegre, v. 7, 2016.

STRASSER, Susan. **Waste and want: a social history of trash**. Nova York: Metropolitan Books, 1999.

SUBRAHMANIAN, V.; EINSTIEN, M. Albert Noble. Fillers derived from plantation produces: role of rice husk ash in rubbers. **Indian Journal of Advances In Chemical Science S2**, v. 1, p. 28-32, 2017.

THE POWDER COATINGS MARKET. **Focus on powder coatings**. [s.l.], v. 2016. n. 3, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fopow.2016.02.027>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

WEG INDÚSTRIAS S.A. **Tintas. Treinamento: pintura industrial com tintas em pó**. [s.l.], 2019. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h8b/Apostila-DT-13-Tinta-p-2018.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

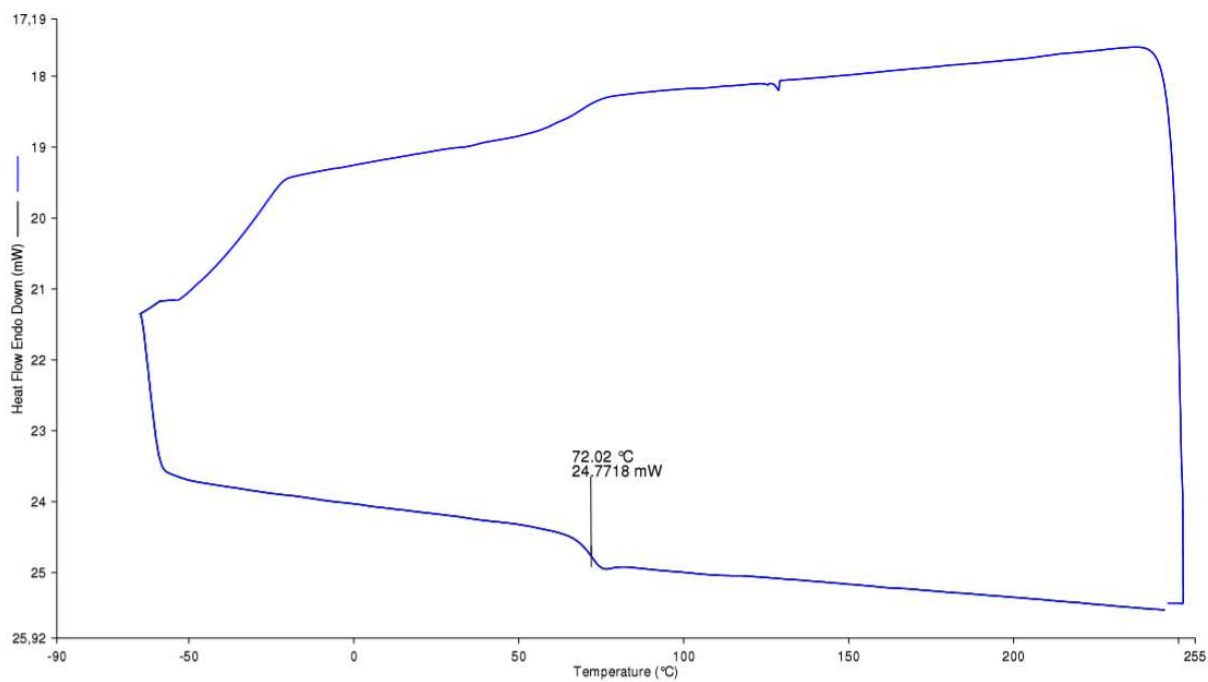
WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na Univates**. 2015. 73 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

ANEXOS

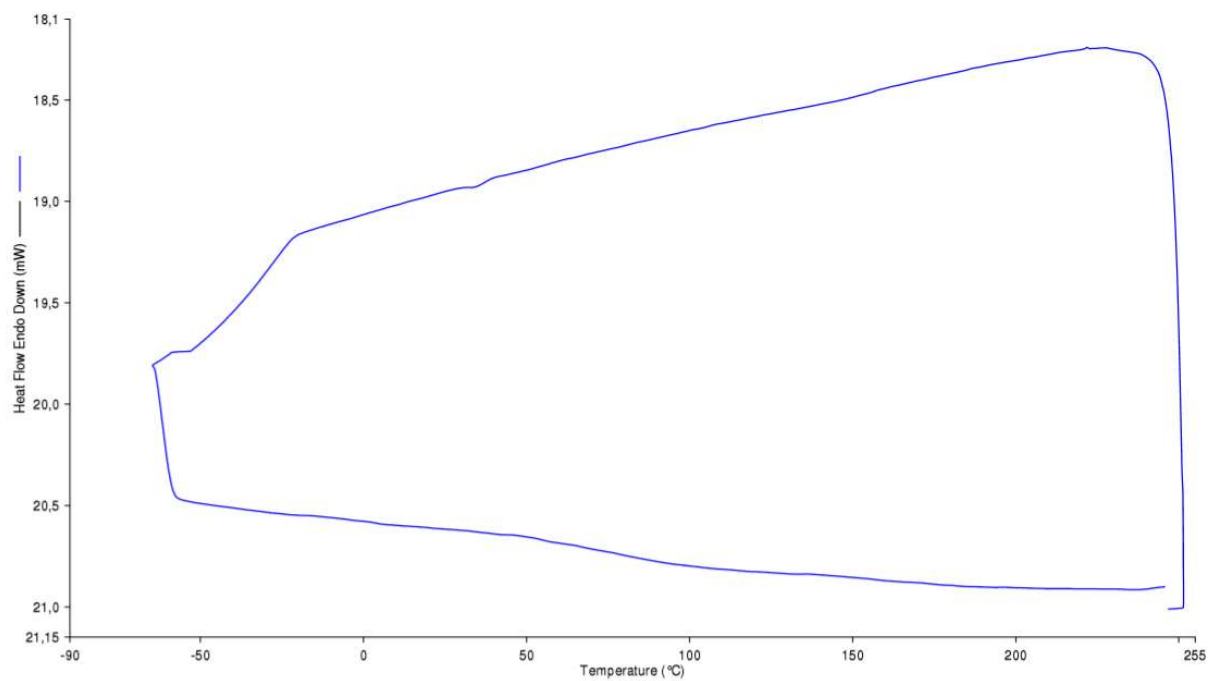
ANEXO A

DSC da tinta em pó após processo de secagem

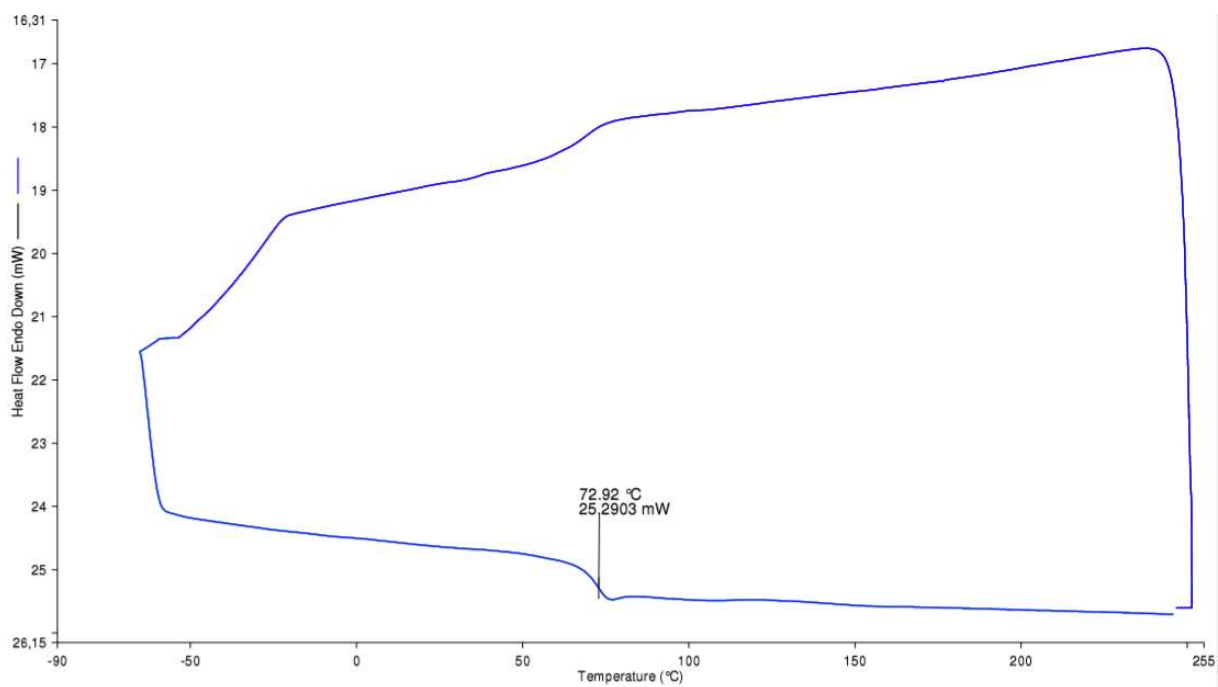


Fonte: do autor, 2020

DSC da Cinza da Casca de Arroz



Fonte: do autor, 2020

DSC do Compósito da formulação 4

Fonte: do autor, 2020