



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**MAYARA GABRIELA DA SILVA**

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE TINTA DA DECORADORA  
DIGITAL - INKJET**

Balneário Camboriú

2021

**MAYARA GABRIELA DA SILVA**

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE TINTA DA DECORADORA  
DIGITAL - INKJET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito final à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Anny Key de Souza Mendonça, Dra.

Balneário Camboriú

2021

Dedico este trabalho a Deus, que permitiu que tudo pudesse ser realizado.

À minha querida família, que tanto admiro, dedico o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso.

Dedico também, aos meus colegas de curso, que assim como eu, encerraram uma difícil etapa da vida acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, sempre presente. Que desde sempre colocou pessoas especiais em minha vida. Aquele que me concede forças, para que eu corra atrás dos meus objetivos.

A minha mãe Izabel, por ser um exemplo de determinação e garra.

Ao meu pai Jucélio, meus irmãos Bruna e Bernardo, que sempre me incentivaram a continuar.

A minha vó Zenaide, verdadeiramente a pessoa fundamental para que eu chegasse até aqui, sempre acreditou em mim e nunca me deixou perder a fé.

A minha filha Eloáh, é por ela todo esforço realizado, toda dedicação e empenho.

Ao meu namorado Bruno, por todo apoio e compreensão, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante este período.

Ao meu amigo Fernando pela iniciativa da ideia do projeto, pelo auxílio na coleta dos dados e por todo esforço dedicado e assistência para a realização do mesmo.

Aos professores pelos ensinamentos e pelas correções, que me permitiram apresentar um melhor desempenho nesta reta final.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

A todos os meus amigos que sempre estiveram torcendo por mim.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção” (PAULO FREIRE, 2003).

## RESUMO

As empresas de cerâmicas são grandes geradoras de resíduos sólidos, entre eles, os resíduos da decoradora digital Inkjet. Atualmente há uma maior preocupação com os impactos ao meio ambiente e tentar reduzir o dano ambiental e consequentemente diminuir o custo com o coprocessamento é a principal intenção desse projeto.

Assim posto, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de reutilizar o resíduo de tinta da decoradora digital Inkjet ao processo no qual a tinta está inserida, utilizando-a como corante de massa ou como outra matéria prima, podendo desenvolver um novo material utilizando os resíduos. Por meio de um levantamento de dados em uma empresa de cerâmica de TIJUCAS-SC, foram identificados os tipos de resíduos de cerâmica e da decoradora digital que foram tratados quimicamente e após misturados, foram realizadas análises físicas, para avaliar se o material influenciaria ou não nas características do produto final.

Após análise dos resultados foi criado uma peça de cerâmica, confirmando um possível novo material e um destino ecologicamente sustentável ao resíduo.

Palavras-chave: Cerâmica. Reaproveitamento de tinta. Decoradora Digital. Sustentabilidade

## **ABSTRACT**

Ceramic companies are large generators of solid waste, including waste from the digital inkjet decorator. Currently, there is a greater concern about the impacts on the environment and trying to reduce the environmental damage and consequently reduce the cost of co-processing is the main intention of this project.

Thus, the objective of this work is to verify the possibility of reusing the residue in the process in which the ink is inserted, using it as a dye or other raw material, being able to develop a new material using the residues. Through a data survey in a ceramic company in TIJUCAS -SC, the types of ceramic and digital decorator waste were identified that were chemically treated and after mixed, physical analyzes were performed to assess whether the material would influence the characteristics of the final product.

After analyzing the results, a ceramic piece was created, confirming a possible new material and an ecologically sustainable destination for the waste.

Keywords: Ceramics. Reuse of ink. Digital Decorator. Sustainability

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Prioridades na gestão de resíduos sólidos.....	18
Figura 2 - Marcos legais para a gestão de RSU.....	20
Figura 3 - Materiais aproveitados pela empresa.....	22
Figura 4 - Materiais Reciclados pela empresa.....	23
Figura 5 - Processo de Fabricação de Revestimento cerâmico .....	24
Figura 6 - Momento em que a tinta cai na correia.....	28
Figura 7 - CIEXYZ.....	31
Figura 8 - CIELAB.....	32
Figura 9 - Grupos de Absorção de água .....	33
Figura 10 - Absorção de água x Método de Fabricação .....	33
Figura 11–Fluxograma do processo .....	36
Figura 12 - Armazenagem da tinta para envio e coprocessamento .....	36
Figura 13 - Resíduo já adicionado a barbotina e seco .....	37
Figura 14- Material sendo desagregado com o auxílio do moinho de bolas .....	37
Figura 15- Material sendo conformado na prensa hidráulica .....	38
Figura 16 - Realização do teste de densidade aparente .....	38
Figura 17 - Forno a rolo.....	39
Figura 18 - Padrões de massas Coloridas .....	40
Figura 19 - Padrões de massas Coloridas .....	40
Figura 20 - Comparação visual dos testes com as cores referência.....	41

## LISTA DE QUADROS

Quadro1 - Classificação dos resíduos sólidos .....	18
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado densidade aparente á seco e queimado .....	42
Tabela 2 – Resultado Retração Linear.....	42
Tabela 3 – Resultado Absorção de Água.....	42
Tabela 4 – Resultado Análise Colorimétrica.....	43

## LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abs - Absorção

As - Arsênio

Cd - Cádmio

CIE - Comissão internacional de Iluminação

Cr - Crômio

Cu - Cobre

DAP - Densidade Aparente

DOD - drop-on-demand

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

Hg - Mercúrio

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ni - Níquel

Pb - Chumbo

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

Sb - Antimônio

Se - Selênio

Tl - Tálíio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	Objetivo Geral .....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1	RESÍDUOS .....	17
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	17
2.3	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDO .....	19
2.4	CERÂMICA DE REVESTIMENTO.....	20
<b>2.4.1</b>	<b>Materiais utilizados na cerâmica de revestimento .....</b>	<b>21</b>
2.4.1.1	Descarte .....	21
2.4.1.2	Reaproveitamento.....	22
<b>2.4.2</b>	<b>Reciclagem .....</b>	<b>23</b>
2.4.2.1	Processo de fabricação de um revestimento cerâmico .....	24
2.4.2.2	Moagem.....	24
2.4.2.3	Atomização.....	25
2.4.2.4	Prensagem.....	25
2.4.2.5	Secagem.....	26
2.4.2.6	Esmaltação.....	26
2.4.2.7	Decoração .....	26
2.4.2.8	Queima .....	27
2.5	TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO DIGITAL (INKJET).....	27
2.6	ANÁLISES E CONTROLES REALIZADOS NOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	29
2.7	CARACTERÍSTICAS DO SETOR CERÂMICO.....	32
<b>2.7.1</b>	<b>Classificação dos Revestimentos Cerâmicos .....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	35
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas verificou-se um aumento acentuado da população brasileira, com um processo rápido de urbanização das cidades. De acordo com o IBGE (2018), a população brasileira era de 119 milhões de habitantes na década de 1980, e alcançou o montante de 207 milhões de habitantes em 2017.

Com um crescimento populacional em torno de 0,7% entre 2016 e 2017 (Abrelpe, 2018), somados ao aumento nos padrões de consumo ocorridos nos últimos anos, verificou-se um aumento de consumo de bens e conseqüentemente a um aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Resíduos sólidos estão comumente relacionado à lixo, que são restos das atividades humanas considerados indesejáveis e se apresentam no estado sólido ou semi sólido (ABNT, 2004).

Apesar de surgirem divergências sobre a influência do homem no meio ambiente, cada vez mais se evidencia os problemas ambientais decorrentes de suas atividades. O efeito estufa causado pelo dióxido de carbono resultante da queima de combustíveis fósseis (FOLADORI, 2001) e as quantidades de resíduos que são gerados anualmente são exemplos disto.

A diferença entre resíduos sólidos e lixo consiste na aproveitabilidade do resíduo, que pode ser utilizado como matéria-prima para outros produtos ou processos, enquanto o lixo não possui nenhum aproveitamento (MONTEIRO, 2001). Todo resíduo produzido, precisa ser gerenciado de forma adequada para não causar poluição ambiental e danos à saúde da população.

Em 2017, o país produziu aproximadamente 214.9 mil toneladas de resíduos sólidos por dia, o equivalente a 377,77 kg por habitante ano, representando um aumento de 1% em relação a 2016. Deste total, 59% dos resíduos sólidos foram encaminhados para aterros sanitários, sendo que mais de 40% foram destinados a locais inapropriados como lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2018).

No Brasil a legislação que trata dos RSU é a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS no seu artigo 9º estabelece que na gestão e gerenciamentos de resíduos, devem ser observadas a seguintes exigências: não geração de resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e a disposição final dos rejeitos em locais ambientalmente adequados.

Na atualidade a sustentabilidade é um fator de grande importância. É necessário reconhecer que nossas ações provocam impactos ao meio ambiente. O agravamento dos problemas ambientais consequentes das atividades humanas se deu principalmente a partir da

revolução industrial, onde o homem começou a produzir em grande escala e poluir na mesma intensidade (MOREIRA, 2006).

Segundo Jacobi e Besen (2011) um dos maiores desafios que a sociedade moderna enfrenta é o equacionamento da geração excessiva e da disposição final ambientalmente segura dos resíduos.

Identificar formas que podem amenizadas estes impactos, saber onde e como atuar é um desafio e uma necessidade, porém, não é uma tarefa fácil. Tornar a sociedade e a indústria sustentável, é um desafio, pois requer transformar a sociedade e toda a cadeia de produção, desde o recebimento da matéria prima até o produto final.

Reaproveitar um material que antes era destinado ao coprocessamento externo ou aos aterros sanitários, lixões ou aterros controlados, permite amenizar os impactos ambientais e ainda reduzir os custos de produção. Neste sentido, este trabalho estuda o reaproveitamento do resíduo de tinta da decoradora digital – Inkjet.

Um dos maiores avanços do ramo cerâmico nos últimos anos foi a aplicação das decoradoras digitais (INKJET). Essas decoradoras assumiram o papel das rotocolor, responsáveis pela decoração das peças. Hoje, com o uso das INKJETS, a gama de decoração em revestimentos cerâmicos aumentou significativamente, permitindo reproduzir imagens, como uma madeira até mesmos mármore.

Segundo knight (2010) os processos de decoração tradicionais na indústria cerâmica envolvem a reprodução de uma determinada imagem repetidamente a partir da transferência de tinta através do contato de um modelo físico (tela ou rolo) com a peça. Alterações no desenho sendo impresso só podem ser obtidas com a mudança desse modelo, o que é dispensado na impressão digital visto que nesse método a tinta é projetada sobre a peça sem necessidade de contato com a mesma.

Uma das desvantagens das INKJETS é o desperdício de tinta. A cada duas peças que passam sobre a impressora, uma quantidade de tinta é depositada sobre o tapete, a fim de mantê-lo lubrificado. Nas impressoras mais modernas essa deposição ocorre no processo de purga, que é a retro lavagem dos injetores, a fim de evitar o entupimento dos capilares. Esse excesso de tinta é direcionado para um recipiente que depois de cheio é considerado resíduo, posteriormente é enviada para coprocessamento.

Visando reduzir o impacto ambiental e diminuir o custo com o coprocessamento, a problemática desse projeto seria: É possível retornar o resíduo de tinta da decoradora digital ao processo no qual o mesmo está inserido, aplicando-o como corante de massa ou como outra matéria prima?

O que se coloca às indústrias é a busca de novas tecnologias, a racionalização na utilização de recursos eliminando ou reduzindo perdas, fugas, o aperfeiçoamento do sistema produtivo (eco-eficiência) e sua integração interna e externa para efetivar as transformações necessárias ao atual ambiente de negócios (MARQUES, 1995; VALLE, 2002).

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram organizados em objetivo geral e objetivos específicos, descritos a seguir.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral verificar a possibilidade de reutilizar o resíduo de tinta da decoradora digital – Inkjet – ao processo na qual a tinta está inserida, utilizando-o como corante de massa ou como matéria prima.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Direcionar o resíduo para reaproveitamento interno que hoje é enviado para coprocessamento externo.
- Substituir os corantes cerâmicos pelo resíduo de tinta da decoradora digital, visando redução do custo do produto acabado.
- Avaliar o comportamento da composição cerâmica quanto suas propriedades físicas (densidade aparente a seco e queimado, retração linear, absorção de água e cor), a fim de confirmar a possibilidade do uso deste resíduo.
- Analisar a viabilidade financeira com a utilização do resíduo dentro da composição.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Esse projeto tem como escopo o reaproveitamento de um material de alto valor agregado, realizando uma pesquisa de natureza aplicada, onde se busca a inovação do processo produtivo, na tentativa de transformar um resíduo em um novo material.

É pago aproximadamente R\$91,00o quilo da tinta, sendo que mensalmente é consumido pela empresa 15 toneladas, totalizando R\$97.650,00/mês. Das 15 toneladas consumidas, 750 kg é perda, ou seja, é o resíduo gerado que hoje é designado para descarte. A viabilidade se dá através do ganho em custo com o reaproveitamento desse material, seja ele, utilizado como matéria prima ou como corante cerâmico.

Além do ganho financeiro, o principal ponto positivo é a diminuição do impacto ambiental, visto que atualmente a empresa em questão ressignifica seus resíduos em média 99,9%, onde 96,09% trata-se de reciclagem interna, 3,84% reciclagem externa e 0,07% é destinado para aterro.

Na unidade fabril de Tijucas (SC), 99,9% dos resíduos gerados são ressignificados ou reciclados, promovendo uma economia circular e responsável. Faz-se a gestão de todos os resíduos, tanto os industriais, quanto os de instalações administrativas, de ambulatório e de refeitório. A maior parte dos resíduos é reincorporada ao próprio processo produtivo, compondo a massa cerâmica, chamando de reciclagem interna. O que não se pode aproveitar na massa, como metais, papelão, óleo, tintas, solventes, correias, sucata de informática, entre outros, é encaminhado para reciclagem externa. Apenas 0,07% dos resíduos não é reciclado, encaminhado para aterros. A empresa caminha para o resíduo zero, com o objetivo de eliminar completamente essa porcentagem.

Não foram encontradas pesquisas semelhantes a esse tema nem realizado trabalhos similares dentro da empresa estudada e na literatura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os esforços que o país, os estados e as empresas estão fazendo em termos de sustentabilidade, as iniciativas desenvolvidas para o reaproveitamento dos seus resíduos, já que esse assunto se tornou uma preocupação para a sociedade. Portanto, os principais temas tratados neste capítulo são: Política Nacional de Resíduos Sólidos, Resíduos Sólidos, Reaproveitamento, Cerâmica, Corantes Cerâmicos, Decoradora Digital e redução de custos e sustentabilidade.

### 2.1 RESÍDUOS

A geração e descarte inadequado de resíduos por parte de muitas indústrias acarreta diversos problemas ambientais, econômicos e sociais (RODRIGUES et al., 2017). Buscando o desenvolvimento sustentável e evitar problemas ambientais causados por tais resíduos, a reciclagem se destaca como uma opção para minimizar estes problemas e evitar a utilização excessiva de recursos naturais (DA SILVA et al., 2020). A construção civil é considerada um dos setores que mais consomem recursos naturais na sua cadeia produtiva e geram grandes quantidades de resíduos (BOHNENBERGER et al., 2018), mas não é o único. Resíduos industrial, domésticos, comerciais, hospitalares, entre outros, são gerados em grande quantidade diariamente. Dessa forma, é de grande importância que a reciclagem de rejeitos ocorra nestes setores, de forma que o agregado reciclado seja reinserido na cadeia produtiva e ser reutilizado. Este processo garante a substituição de uma matéria prima natural, por uma reciclada, o que proporciona minimização dos custos de produção e ganhos ambientais (OLIVEIRA, 2009; DA SILVA et al., 2020).

### 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são definidos com material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, no estado sólido ou semi sólido (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira nº 10.004, os resíduos sólidos são definidos como aqueles nos estados sólido e semi sólido, resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de

serviços e de varrição (ABNT, 2004). De acordo com a norma NBR 10.004, os resíduos sólidos dividem-se em três grupos, descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos

Classe I (Perigosos)	São classificados como resíduos ou mistura que apresentam risco à saúde pública e ou, ao meio ambiente, possuindo características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, ou patogenicidade.
Classe II A (Não perigosos e não inertes)	Classificados com resíduos que não apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, contudo, podem apresentar propriedade de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, existindo a possibilidade de haver reação com o meio ambiente, e possíveis riscos de poluição.
Classe II B (Não perigoso e inerte)	São classificados com resíduos que não tem algum constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2004).

Na década de 1990, incorporando um conceito estabelecido pelo programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA<sup>1</sup>), que compreende a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada para processos, produtos e serviços para aumentar sua eficiência, principalmente em relação à geração de resíduos, um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos é desenvolver meios para incentivar a gestão de resíduos sólidos, observada a priorização apresentada na Figura 1 e descrito na sequência.

Figura 1 - Prioridades na gestão de resíduos sólidos



Fonte: Campos et al (2015).

<sup>1</sup>Nações Unidas voltado à proteção do meio ambiente e à promoção do desenvolvimento.

- a) Não geração: realizar a atividade produtiva sem que ocorram perdas ao longo do processo e demais atividades que o suportam.
- b) Redução: buscar a otimização e maximização da eficiência de processo quanto ao uso de maquinário, matérias primas, desenvolvimento de novas tecnologias, de forma a gerar a menor quantidade possível de resíduos.
- c) Reutilização: identificar e buscar alternativas para viabilizar técnica e economicamente o uso de refugos e perdas no próprio processo ou em outro, tanto do ponto de vista mássico quanto energético.
- d) Reciclagem: identificar, buscar alternativas para viabilizar técnica e economicamente o tratamento de refugos, perdas em processos, embalagens, transformando-os em insumos ou novos produtos.
- e) Outros tratamentos: aplicação de técnicas, tais como: compostagem, recuperação, aproveitamento energético, entre outras admitidas pelos órgãos competentes.
- f) Rejeito - Disposição final ambientalmente adequada: destinação de rejeitos em aterro, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos.

Ainda que o Brasil tenha marcos legal para estimular a disposição final de resíduos sólidos em locais adequados, de acordo com a ABRELPE (2018), 29,6% dos resíduos sólidos produzidos no Brasil não foram coletados em 2018. Os resíduos não coletados, certamente tiveram uma destinação final inadequada, como por exemplo, serem queimados, encaminhados a aterros controlados, lixões ou encaminhados a terrenos baldios. Contudo, mais de 70 % dos municípios brasileiros com ações de coleta seletiva, não se pode afirmar que os resíduos coletados tiveram uma destinação adequada, pois mais de 40% desses resíduos ainda tem uma destinação inadequada como em lixões e aterros controlados.

### 2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDO

Questões relacionadas à estrutura que reúne um conjunto significativo de normas, leis, práticas e iniciativas locais de limpeza urbana, especialmente na gestão dos resíduos sólidos no Brasil, são definidas na Política Nacional de Saneamento Básico, e na Lei nº 11.445, de 2007, onde os resíduos sólidos devem integrar os planos municipais de saneamento (PNSB), na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e na Lei nº 12.305, de 2010. Os principais marcos legais para gestão de resíduos sólidos são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Marcos legais para a gestão de RSU



Fonte: Mendonça e Bornia (2019).

A Lei nº. 12.305/2010 é uma importante lei e estabelece uma série de instrumentos voltados à obtenção dos objetivos nela determinados, outro objetivo, diz respeito à gestão integrada de resíduos sólidos (artigo 3º, inciso XI), que trata de um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Em meio ao conjunto de ações a ser considerado na gestão integrada de resíduos sólidos, o desenvolvimento sustentável é um foco de pesquisa importante.

De acordo com Brasil (2010) no seu artigo 3 inciso XIII, os padrões sustentáveis de produção e consumo, são definidos como a produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras.

## 2.4 CERÂMICA DE REVESTIMENTO

Em relação à cerâmica, a mesma possui propriedades únicas e distintas, possibilitando seu uso na construção de casas, utensílios domésticos e como superfície de escrita. Ao redor do mundo a utilização da cerâmica está associada a estilos e designer único de diversas culturas, que foram evoluindo e aprimorando as utilizações (ANFACER, 2014).

As composições de uma massa cerâmica é uma mistura de minerais como: argilas, feldspatos, caulins, granitos, entre outras matérias-primas. Esse arranjo de materiais poderá

variar de acordo com a natureza química e mineralógica de cada uma delas e as características requeridas pela tipologia do produto final. Tais composições são queimadas em altas temperaturas e utilizadas em larga escala pela arquitetura.

#### **2.4.1 Materiais utilizados na cerâmica de revestimento**

No desenvolvimento das composições cerâmicas, são utilizados dois tipos de materiais, plásticos e não plásticos. Os materiais plásticos entregam importantes características na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor. Em sua maioria são argilas, quando claras são refratárias e plásticas, quando vermelhas são fundentes.

As matérias-primas não plásticas, também operam nas fases de conformação e secagem, atenuando a retração das peças e favorecendo a secagem, e na fase do processamento térmico, quando exercem o papel mais relevante, controlando as transformações, deformações e a sinterização. Devido principalmente ao seu papel na fase de queima, os materiais não plásticos são ainda considerados de inertes, vitrificantes e fundentes. Dentre os materiais não plásticos destacam-se: Feldspatos, Filitos, Talco, Carbonatos entre outros.

##### **2.4.1.1 Descarte**

O processo de fabricação da cerâmica de revestimento gera vários tipos de descartes/resíduos. Na empresa estudada, estes descartes/resíduos são em sua maioria: Torta ETE (material que fica retido na estação de tratamento de efluentes), Chamote (peças conformadas que apresentaram algum desvio) e Caco (peças queimadas que apresentaram algum desvio).

O que não pode ser reutilizado dentro da empresa é reciclado ou enviado para o coprocessamento, sendo utilizado atualmente em empresas cimentícias.

A prática do coprocessamento de resíduos nas indústrias tem se expandido devido à necessidade crescente de uma destinação ambiental e socialmente mais adequada de resíduos perigosos originários de diversos processos industriais.

Durante a combustão dos resíduos, os materiais mais voláteis adotam rotas de emissão prejudiciais tanto às propriedades do cimento, como à saúde ocupacional e à saúde ambiental. Muitos desses resíduos, classificados como perigosos, contêm metais pesados, compostos organoclorados com cadeias vinílicas ou aromáticas, como as dioxinas e os furanos. De

acordo com Milanez (2007), durante o coprocessamento desses resíduos, os metais pesados são redistribuídos, sendo os mais voláteis (tais como Hg e Tl) emitidos juntamente com os gases pela chaminé principal do forno, os semi voláteis (Cd, Pb, Sb, e Se) e os não voláteis (As, Cr, Cu, Ni) normalmente são incorporados ao clínquer. Devido, principalmente, a essas propriedades, os fornos de clínquer são considerados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) uma das maiores fontes de poluentes atmosféricos perigosos.

#### 2.4.1.2 Reaproveitamento

Com o passar dos anos, vários estudos e testes foram realizados, visando à reutilização dos resíduos gerados no processo. As composições das massas cerâmicas evoluíram na sua formulação e novos testes foram feitos permitindo a inserção e o reuso destes resíduos novamente no processo. Resíduos como a Torta ETE e o chamote, não necessitam beneficiamento, contudo, voltam de imediato ao processo, como sendo uma matéria prima comum da formulação.

No caso dos cacos (peças já sinterizadas), faz-se necessário um beneficiamento, onde são utilizados equipamentos para a britagem do mesmo, a quebra gerada nos mais diversos formatos e dimensões, é reduzida a pó. A empresa estudada terceiriza este beneficiamento. Conforme relato até o momento, a empresa estudada reaproveita e/ou recicla em torno de 99,8% de seus resíduos, tais resíduos são os ilustrados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Materiais aproveitados pela empresa



Fonte: Da autora (2021).

Figura 4 - Materiais Reciclados pela empresa



Fonte: Da autora (2021).

### 2.4.2 Reciclagem

A reciclagem da cerâmica de revestimento é possível através da reutilização dos resíduos sólidos da fabricação.

Para Menezes (2002), a reciclagem da cerâmica de revestimento é possível através da reutilização dos resíduos sólidos da fabricação. Os resíduos provenientes do processamento de fabricação dos revestimentos. Durante o processo de conformação/esmaltação e decoração as peças que apresentaram quebras ou defeitos visuais e dimensionais, que inviabilizam sua utilização são descartadas e chamadas de Chamote. Após a queima as peças que apresentaram alguma característica fora da especificação são descartadas e passa ser consideradas como caco.

Para retornar ao processo, o caco precisa ser beneficiado, por terem características mais resistentes e maior densidade devido ao processo de queima (1.130 a 1.220 °C) as peças descartadas passam então por um britador, em seguida um moedor e são transformados em pó.

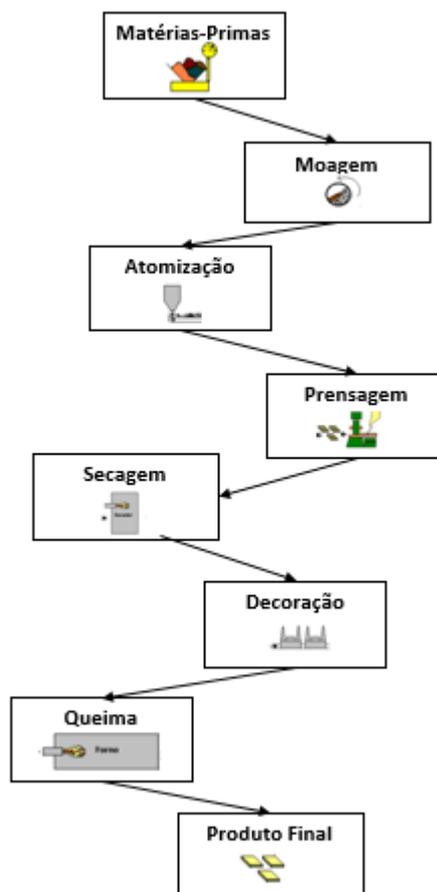
Ambos retornam ao processo de fabricação de novos revestimentos por moagem a úmido, onde são misturados a outras matérias primas para a obtenção da massa cerâmica.

A reciclagem deste tipo de material diminui o impacto ambiental e conseqüentemente os custos de produção da empresa, pois, os próprios resíduos são reutilizados como matéria-prima, retornando ao início do ciclo de produção da cerâmica de revestimento.

#### 2.4.2.1 Processo de fabricação de um revestimento cerâmico

O processo de preparação de um revestimento cerâmico consiste em algumas etapas básicas que são elas: pesagem das matérias primas, moagem, atomização, prensagem, secagem e queima, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Processo de Fabricação de Revestimento cerâmico



Fonte: Da autora, (2021).

#### 2.4.2.2 Moagem

A primeira etapa de preparação da massa é fundada normalmente por uma fase de moagem das matérias-primas, na qual se realiza em presença de água ou não, classificando esta fase em preparação por “via úmida” ou “via seca”.

A preparação de massa por via úmida consiste em diluir as matérias-primas argilosas, nas quais se adiciona posteriormente os não plásticos (materiais rochosos), previamente moídos.

A moagem consiste na redução do tamanho das partículas, a fim de aumentar a reatividade entre os materiais e diminuir a incidência das impurezas presentes nas matérias-primas. A esta operação associa-se o peneiramento posteriormente, para a separação das partículas de maior tamanho.

Devido à dificuldade de deflocuar que algumas matérias primas apresentam, faz-se necessário o uso de flocculante para contribuir na moagem, viscosidade e defloculação.

#### 2.4.2.3 Atomização

Ao final do processo de moagem, obtém-se uma suspensão aquosa das matérias primas finamente moída chamada de barbotina cerâmica - com conteúdo de água que varia em função do tipo de material, de 30 a 40%. A regulagem do conteúdo de água consiste em uma operação de desumidificação, que é efetuada através de um *spray-dryer* ou atomizador. A barbotina é injetada em alta pressão (25-30 bar) e favoravelmente nebulizada dentro de uma câmara de secagem, onde entra em contato com ar a 500 – 600°C proveniente de um gerador especial. Assim, tem lugar à evaporação quase instantânea da água, dado o elevado coeficiente de troca térmica causado pelo movimento vertiginoso, pela elevada superfície específica das gotas e pelo notável gradiente de temperatura entre ar e barbotina. Deste modo é possível obter grânulos arredondados, graças também à fricção dos mesmos contra as paredes do atomizador, com umidade e distribuição granulométrica adequadas à prensagem. Os grânulos são recolhidos na parte inferior da câmara de secagem e enviados aos silos de estocagem.

#### 2.4.2.4 Prensagem

A prensagem é o artifício de conformação mais empregado para o desenvolvimento de placas de revestimento cerâmico. Na prensagem, os pós com umidade comumente variável entre 4% e 7%, são comprimidos entre duas superfícies, uma móvel (chamada punção) e a outra fixa (chamada estampo), com pressões específicas que variam de acordo com os formatos das placas cerâmicas e da tipologia do produto. Tal pressão, provoca um rearranjo e uma parcial deformação dos grãos, permitindo uma elevada compactação do corpo cerâmico. Porém, para

que isto ocorra, é preciso fornecer aos pós um adequado conteúdo de água, o que favorece uma certa plasticidade do material. A maior parte das placas cerâmicas é obtida por prensagem de pós.

#### 2.4.2.5 Secagem

A secagem tem por objetivo, diminuir o conteúdo de água necessária à moldagem, para a queima do material.

Em geral, nos secadores para placas cerâmicas, colocados imediatamente na parte frontal das prensas, o fluido térmico é o ar quente, que faz tanto o aquecimento do material de forma a favorecer a difusão da água do centro para a superfície da peça, quanto à evaporação e o transporte da água da superfície das peças. Os secadores atualmente mais usados, sobretudo depois da grande difusão da monoqueima produzida em ciclos rápidos, são os chamados “secadores rápidos”, de desenvolvimento horizontal ou vertical.

#### 2.4.2.6 Esmaltação

A esmaltação consiste na aplicação por distintos métodos, de uma ou várias camadas de vidro com uma espessura compreendida entre 75 - 500 microns no total, que cobrirá a superfície da peça.

As aplicações de esmaltes podem ser realizadas a véu (máquinas de fieira, de campana), a spray (cabine de aplicação de copos, em tubo, cabana de discos giratórios, aerógrafo, em ordem decrescente com relação à dimensão média desejada das gotas) ou a rolo (Rotoglaze). Recentemente foram desenvolvidos sistemas de aplicação a seco de esmaltes sob forma de granulados ou arenito. Tais aplicações se referem em geral, à parte final da esmaltação e, por isso, quando são recomendadas, fala-se de sistema de esmaltação “semi-seca”.

#### 2.4.2.7 Decoração

Dentre as técnicas decorativas aplicáveis a peças cerâmicas, destacam-se a serigrafia, as calcomanias e a estamperia por tampão. A serigrafia é a técnica mais empregada na fabricação de pavimentos e revestimentos, devido à sua facilidade de aplicação nas linhas de esmaltação.

Em meados de 1980, foram desenvolvidas técnicas como a impressão digital que consiste em depositar gotas de tinta na superfície do revestimento através das centenas de bocais de diâmetros micrométricos localizados nos chamados cabeçotes de impressão. Esses cabeçotes ficam dispostos em barras de impressão integradas aos reservatórios de tinta, geralmente de 4 cores, Ciano (Azul), Magenta (Marrom), Yellow (Bege) e Preto, denominado (CMYK).

#### 2.4.2.8 Queima

Através da queima, os materiais cerâmicos adquirem características mecânicas adequadas às diferentes utilizações específicas e correspondentes as tipologias. A obtenção de tais características tem conexão com as complexas transformações físicas e químicas que ocorrem durante o processo de queima. Atualmente utilizam-se os fornos rápidos a rolos, sobre os quais as peças cerâmicas são dispostas diretamente em uma única camada (monoestrado).

### 2.5 TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO DIGITAL (INKJET)

A impressão digital é sem dúvida uma das grandes revoluções na história da cerâmica nos últimos tempos. Através dela é possível criar desenhos e relevos na superfície. Muitas empresas passaram a utilizar a tecnologia de impressão digital INKJET com o intuito de aproveitar as possibilidades de reprodução de imagens como: madeiras e pedras, trazendo a natureza para o interior dos ambientes.

As barras de impressão são ligadas a um computador onde está armazenada a imagem a ser impressa. Nesse mecanismo de ancore de tinta conhecido por DOD (“*drop-on-demand*”), cada gota de tinta é gerada sob demanda. Conforme a necessidade de se imprimir cada ponto para formar a imagem, o computador solicita um bocal para emissão dessa gota na posição determinada. A Figura 6 apresenta o momento em que a tinta cai na esteira.

Figura 6 - Momento em que a tinta cai na correia



Fonte: Da autora (2021).

A projeção das gotas é provocada pela ação de um atuador piezoelétrico contido na cavidade de tinta no cabeçote. Com a impressão digital a jato de tinta é possível a impressão de desenhos dos mais variados tipos e de alta complexidade com elevada qualidade e resolução. Isso permite a representação bastante realista de materiais naturais, como pedras e madeira, por exemplo.

Uma das principais barreiras para isso é o elevado investimento inicial necessário devido ao alto custo das impressoras digitais. No entanto, de modo geral, a diferenciação dos produtos e o aumento na qualidade da decoração permitem que o maior investimento seja incorporado no custo de venda do produto.

O custo das tintas utilizadas nas impressoras também é relativamente elevado. Apesar disso, é importante ressaltar que são eliminados os custos com meios de impressão, o número de testes industriais e existe um menor desperdício de tintas com o uso da impressora digital. Em relação às tintas utilizadas na tecnologia, existe ainda outra grande limitação.

Devido às altas temperaturas no processo de produção do revestimento, não é possível o uso de tintas orgânicas utilizadas em outros setores, na impressão digital convencional. Assim, são utilizadas as chamadas tintas pigmentadas a base dos pigmentos inorgânicos já tradicionalmente utilizados em cerâmica. A vantagem competitiva dessas impressoras reside no fato de atingirem uma qualidade de impressão relativamente elevada com baixos custos.

Estas impressoras geralmente são formadas por um conjunto de tintas sendo elas; Ciano (Azul), Magenta (Marrom), Yellow (Bege) e Preto - conhecidas como CMYK.

## 2.6 ANÁLISES E CONTROLES REALIZADOS NOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS

As análises e controles são realizados como:

**a) Absorção de água:** É a quantidade de água que uma peça cerâmica pode absorver sob condições experimentais especiais. É expressa em percentual, em relação à peça seca. Uma estrutura porosa possui alta absorção de água. Portanto, materiais compactos e sinterizados têm uma estrutura de baixa absorção de água.

A determinação da quantidade de água absorvida é feita a partir da pesagem das massas úmidas e massas secas dos corpos de provas, o resultado sendo expresso em porcentagem, como mostra a Equação 1:

$$AA\% = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Sendo AA% a porcentagem de absorção de água, Mu a massa do corpo de prova úmido e Ms a massa do corpo de prova seco.

**b) Retração Linear:** Entre as características das cerâmicas, observa-se a retração linear, consequência do processo de sinterização que se define pelo agrupamento de moléculas que compõem a cerâmica à medida que a temperatura aumenta, estando sempre abaixo do ponto de fusão do material, fazendo com que as imperfeições e poros diminuam, aumentando assim, a densidade do material e diminuindo suas dimensões (MELCHIADES et. al., 1996).

Para controlar a variação da retração linear em função da temperatura é utilizada uma ferramenta chamada curva de gresificação, que permite avaliar a sensibilidade das massas cerâmicas frente às variações de temperatura e condições de processamento, como teor de umidade, pressão de compactação e variações no processo de secagem e queima (MELCHIADES et. al., 1997).

Tradicionalmente, a retração linear é obtida através das maiores dimensões dos corpos-de-prova, geralmente, o comprimento inicial (Li) e o comprimento final (Lf). Exemplificando, para determinar a retração linear após a queima do material cerâmico é necessário o comprimento antes da queima (Li), ou seja, do corpo-de-prova seco e o comprimento depois da queima (Lf), sendo obtidos através de um paquímetro. A determinação da retração linear (Rl (%)) utiliza a Equação 2 para expressar o valor em termos percentuais (AICE/ITC, 1992):

$$R_t(\%) = \left( \frac{L_t - L_f}{L_f} \right) \times 100 \quad (2)$$

**c) Densidade Aparente á Seco e Queimado:** Avalia o volume total da amostra, até mesmo o espaço vazio entre os grãos que a compõem. Conforme Oliveira (2000), um fator que pode modificar as condições de empacotamento das partículas é a sua morfologia, ou seja, forma. Quanto mais afastada do formato esférico for a partícula, menor é a densidade de empacotamento. Isso ocorre devido à fricção interparticular, que surge pelo contato das partículas irregulares destas. Quanto menor o tamanho das partículas irregulares, maior esse efeito, em função da maior área superficial específica. Não há na literatura regras que definam quantitativamente o efeito da morfologia das partículas sobre a densidade de empacotamento com exatidão, sendo esse avaliado apenas qualitativamente. A densidade aparente é uma das propriedades mais importantes da peça cerâmica prensada, pois afeta o comportamento da peça em diferentes etapas do processo cerâmico e influenciando de maneira decisiva na contração linear, absorção de água, deformação pirolástica este é um fator crucial. A igualdade de composição, do procedimento de preparação das peças e das variáveis de queima, da contração linear e da capacidade de absorção de água diminuem à medida, que aumenta a densidade aparente da peça, sendo esta uma relação linear (DAL BO, NEVES, AMARAL, 2002).

Para calcular a densidade utiliza-se a Equação 3:

$$\rho = \frac{M_c \times \rho_{Hg}}{E} \quad (3)$$

Onde:

$M_c$  = Massa do corpo de prova em cima do mercúrio

$\rho_{Hg}$  = Densidade do mercúrio na temperatura do ensaio ( $\text{g/cm}^3$ ).

$E$  = Peso do volume do líquido deslocado (empuxo)

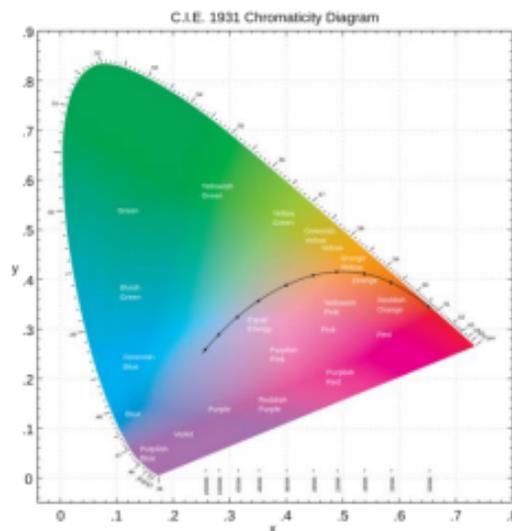
A Equação 3 é utilizada para o cálculo da densidade aparente das placas cerâmicas.

**d) Colorimetria:** De acordo com Ambrose e Harris (2009), a cor é um dos primeiros elementos registrados ao observar um objeto, e um dos principais elementos do Design

Gráfico. O revestimento cerâmico é um produto de Design, e a cor é uma importante característica desses produtos.

O sistema CIE define três fatores para existência da cor, o iluminante, o objeto e o observador. Com a determinação tri estímulo do observador padrão, que em composição com a distribuição espectral do iluminante e com a curva de refletância do objeto, permite-se transformar essa percepção do observador padrão em um valor numérico, essa representação chama-se CIE XYZ. Nesse sistema, as funções tri estímulo são representadas baseadas nas cores primárias X (vermelho), Y (verde) e Z (azul) demonstradas na Figura 7 (LOPES, 2009).

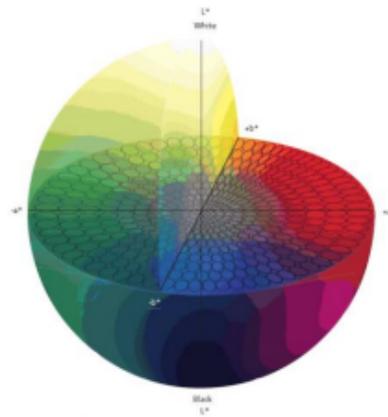
Figura 7 - CIEXYZ



Fonte: LOPES, 2009.

Esse sistema pode apresentar problemas devido à proximidade de algumas cores, o que dificulta a sua diferenciação. De acordo com Leão (2005), o modelo de espaço de cores CIELAB foi desenvolvido, nesse sistema, o valor de luminosidade  $L^*$  é o valor aproximado da luminância Y (para o CIE $Y_{xy}$ ), variando de branco (100) a preto (0), o valor de  $a^*$  pode variar de verde a vermelho, e o valor de  $b^*$  varia de azul a amarelo; de forma análoga à percepção das cores pelo cérebro, ou seja, cores-opostas, como se pode observar na Figura 7. Para Vanderlind e Faraco (2017), o sistema CIELAB é o mais utilizado entre os modelos de espaço de cor. Este sistema é amplamente utilizado, porque correlacionam de forma consistente os valores de cor, com a percepção visual, como nota-se na Figura 8.

Figura 8 - CIELAB



Fonte: LEÃO, 2005.

## 2.7 CARACTERÍSTICAS DO SETOR CERÂMICO

A indústria cerâmica tem como principal matéria prima, os minerais não metálicos. Realizando as misturas das matérias primas, conciliando com diversos processos, se obtém cinco classes principais de produtos. Oliveira (2006) indica que os diferentes segmentos que a cerâmica é composta apresentam características distintas, por isso podem ser classificadas como:

- **Cerâmica Branca:** massas de coloração branca, sinterizada usualmente de 940°C a 1250°C, conhecidas popularmente como louça de mesa, louça sanitária e isolantes térmicos.
- **Cerâmica de Revestimento:** são placas aplicadas no revestimento de paredes e chão de ambientes residenciais e comerciais, uso interno e externo, conhecidas como piso.
- **Cerâmica Vermelha:** material composto por argila vermelha e areia, os produtos característicos são os tijolos e telhas.
- **Materiais refratários:** são materiais resistentes a elevadas temperaturas, variação de temperaturas e esforços mecânicos, geralmente utilizados em equipamentos industriais.
- **Cerâmica Avançada:** é desenvolvida através de estudos recentes. Sua aplicação é desde o setor aeroespacial a utilização em procedimentos médicos.

A definição de cerâmica vem do grego “*kéramos*” que significa terra queimada, quando umidificada tem facilidade de ser moldada devido ao alto grau de plasticidade. Em

seguida, passa pelo processo de secagem para eliminar a maior parte da água, as peças mantêm o formato e então passa pela sinterização a elevadas temperaturas (aproximadamente 1000°C), atribuindo após esse processo à rigidez e resistência proveniente da fusão de alguns componentes da massa. Como vantagens das cerâmicas, estão à alta durabilidade, beleza, facilidade de limpeza, ampla aplicação e disponibilidade de insumos (ANFACER, 2014).

### 2.7.1 Classificação dos Revestimentos Cerâmicos

De acordo com a norma técnica regulamentadora de qualidade ISSO 13006-2020, as cerâmicas de revestimento são classificadas seguindo alguns critérios, ao percentual de absorção de água (Abs) e o método de fabricação que influencia decididamente seu aspecto e aplicações conforme Figura 9.

Figura 9 - Grupos de Absorção de água

<b>Grupo I</b>	-	Baixa absorção, $Abs \leq 3\%$
<b>Grupo II</b>	-	Média absorção, $3\% \leq Abs \leq 10\%$
<b>Grupo III</b>	-	Alta Absorção, $Abs \leq 10\%$
O Grupo I é subdividido em dois outros:		
<b>Ia</b>	-	$Abs \leq 0,5\%$
<b>Ib</b>	-	$0,5\% < Abs \leq 3\%$
O Grupo II também é subdividido em dois outros:		
<b>IIa</b>	-	$3\% < Abs \leq 6\%$
<b>IIb</b>	-	$6\% < Abs \leq 10\%$

Fonte: NBR ISO 13006:2020.

Os métodos de fabricação são: Método A – Extrusão, Método B – Prensagem, e Método C – Outros. Combinando os dois critérios obtêm-se a seguinte relação conforme Figura 10.

Figura 10 - Absorção de água x Método de Fabricação

Grupos	Absorção (%)	Métodos de Fabricação		
		Extrusão A	Prensagem B	Outros C
<b>I</b>	<b>Ia</b>	$Abs \leq 0,5$	BIa	CI
	<b>Ib</b>	$0,5 < Abs \leq 0,3$	BIb	CI
<b>II</b>	<b>IIa</b>	$3,0 < Abs \leq 6,0$	BIIa	CII
	<b>IIb</b>	$6,0 < Abs \leq 10,0$	BIIb	CII
<b>III</b>	$Abs > 10,0$	BIIIb	BIII	CIII

Fonte: NBR ISO 13006:2020.

Cada classificação de revestimento cerâmico possui uma aplicabilidade definida, sendo fabricado visando às características necessárias para cada aplicação, assim, cada classificação tem uma composição diferenciada, os processos são basicamente os mesmos, alterando apenas os parâmetros de processo.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo, apresentar os procedimentos metodológicos adotados para que o desenvolvimento do trabalho atinja seus objetivos. Pesquisar significa procurar respostas para indagações propostas. De acordo com Da Silva e Menezes (2005), pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos, sendo realizada quando se tem um problema e não se têm informações para solucioná-lo.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Existem várias formas de classificar as pesquisas. De acordo com Da Silva e Menezes (2005), as formas clássicas de classificação são de acordo com o ponto de vista da sua natureza, da sua forma de abordagem do problema, quanto aos seus objetivos e quanto aos seus procedimentos técnicos.

Do ponto de vista da sua natureza, este trabalho pode ser classificado como, pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas.

Quando a sua abordagem é classificada como uma pesquisa quantitativa, dedicada ao reaproveitamento do resíduo da tinta. Para Fonseca (2002, p.20) a pesquisa quantitativa está centrada na objetividade, o positivismo a influência, considerando assim que a realidade é constituinte com a análise de dados brutos, levantados com auxílio de instrumentos padronizados. A pesquisa quantitativa utiliza da linguagem matemática para descrever os fatos, as relações existentes nas variáveis. A pesquisa quantitativa tem base nos pensamentos positivos lógicos, destaca o raciocínio dedutivo, a lógica, e as propriedades mensuráveis da experiência da sociedade. Salienta aspectos dinâmicos holísticos e individuais, para compreender o contexto total de onde está sendo vivenciado o fenômeno (POLIT, BECKER E HUNGLER, 2004, p. 201).

Do ponto de vista de seus objetivos, pode ser considerada como uma pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito.

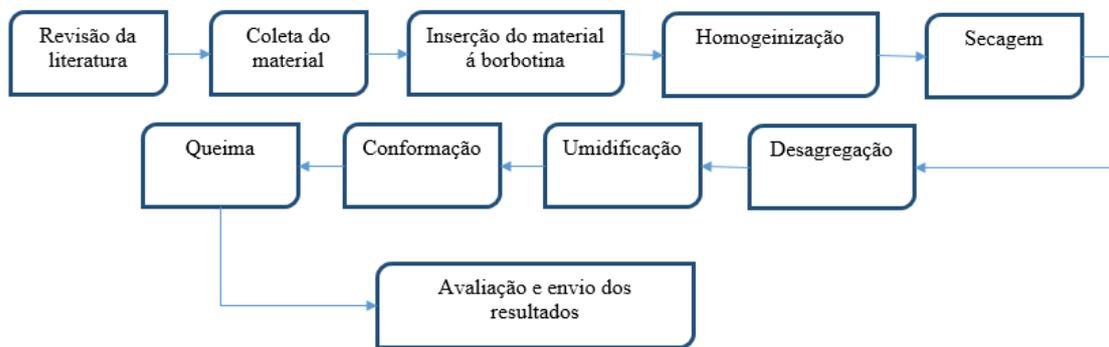
Quanto aos seus procedimentos técnicos, pode ser classificado como experimental, quando se determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de

influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (DA SILVA E MENEZES, 2005).

### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos propostos e solucionar o problema, foi seguido o fluxograma do processo de caracterização apresentado na Figura 11.

Figura 11–Fluxograma do processo



Fonte: Da autora (2021).

O estudo começou com a revisão da literatura e na seqüência com o levantamento da geração do resíduo estudado, estes resíduos foram separados em um recipiente (bombona) de 35 litros cada como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Armazenagem da tinta para envio e coprocessamento



Fonte: Da autora (2021).

Após a coleta do resíduo, foram adicionados percentuais diferentes do mesmo dentro da barbotina (massa líquida) de produção e homogeneizada com o agitador. O material homogeneizado foi despejado em uma bandeja de alumínio e posto para secar em estufa a temperatura aproximada de 100°C como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Resíduo já adicionado a barbotina e seco



Fonte: Da autora (2021).

Depois de seco, o material foi desagregado com o pistilo e o almofariz e micronizado com o moinho de bolas. Posteriormente foi adicionada umidade nesse pó já micronizado, passado o mesmo em peneira #20, a fim de desfazer os grumos e homogeneizar a umidade por toda a amostra, Figura 14.

Figura 14 - Material sendo desagregado com o auxílio do moinho de bolas



Fonte: Da autora (2021).

Logo após, o material foi prensado em prensa hidráulica, onde deixou de ser um pó micronizado e assumiu a forma de um corpo de prova, Figura15.

Figura 15 - Material sendo conformado na prensa hidráulica



Fonte: Da autora (2021).

Em seguida, estes foram secos em estufa novamente a temperatura aproximada de 100°C. Antes de realizar a sinterização (queima) dos testes, foi realizado o teste de densidade aparente, onde através deste ensaio é possível verificar se ao introduzir este resíduo na composição, a compactação foi ou não alterada, Figura 16.

Figura 16 - Realização do teste de densidade aparente



Fonte: Da autora (2021).

A sinterização foi realizada em um forno a rolo específico para laboratório, Figura 17.

Figura 17 - Forno a rolo



Fonte: Da autora (2021).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa possui uma paleta de cores das massas coloridas, e foi através dela que se fez inicialmente uma avaliação visual, para identificar quais cores se aproximavam aos testes realizados. As paletas de cores são as seguintes, conforme mostram as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Padrões de massas Coloridas



Fonte: Da autora (2021).

Figura 19 - Padrões de massas Coloridas



Fonte: Da autora (2021).

Após esta avaliação, identificou-se similaridade de cor às massas: 001, 013 e 023, conforme mostra Figura 20.

Figura 20 - Comparação visual dos testes com as cores referência



Fonte: Da autora (2021).

Foi possível perceber que a cor obtida com a introdução do material em tal composição, ficou muito semelhante a algumas das cores já produzidas.

Com a possibilidade de somente diluir um percentual pequeno deste material em uma composição, seria possível reduzir o impacto ambiental que este coprocessamento gera e ainda evitar o custo do coprocessamento.

A composição estudada havia uma preocupação maior, por se tratar de uma composição mais reativa e ser a mais consumida na empresa. O objetivo principal que era o atingimento da cor (uso como corante) foi atingido, porém algumas propriedades físicas sofreram alterações.

Para avaliação das propriedades físicas, foi realizado um gradiente de sinterização, para entender o comportamento do material em diferentes temperaturas de queima, tais temperaturas foram: 1.190, 1.200 e 1.210°C com ciclo de queima de 50 minutos.

A densidade a seco dos testes são apresentadas na Tabela 1. Foi possível observar que conforme o percentual (%) de reaproveitamento de tinta é aumentado, a densidade aparente a seco foi diminuindo. Observa-se também um aumento da densidade após a etapa de queima, o que chamamos de densidade queimada. Isto é atribuído ao processo de sinterização como difusão do estado sólido e na formação de fase líquida, que tende a preencher os poros e assim tornar a cerâmica com densidade superior a densidade a seco. Os testes de densidade foram realizados com o método de verificação com Mercúrio e obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 1 - Resultado Densidade Aparente a seco e queimado

Dados	Caracterização			
	STD	BAR013 + 1% Tinta	BAR013 + 3% Tinta	BAR013 + 5% Tinta
Das Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,847	1,835	1,835	1,832
DapQ (g/cm <sup>3</sup> ) á 1190°C 50 min	2,363	2,359	2,363	2,359
DapQ (g/cm <sup>3</sup> ) á 1200°C 50 min	2,388	2,375	2,375	2,373
DapQ (g/cm <sup>3</sup> ) á 1210°C 50 min	2,392	2,378	2,377	2,376

Fonte: Da autora (2021).

A retração linear pode ser vista na Tabela 2. Nota-se que a retração aumentou com o incremento do resíduo na composição. Para avaliar a retração linear foi utilizado um paquímetro.

Tabela 2 - Resultados Retração Linear

Dados	Caracterização			
	STD	BAR013 + 1% Tinta	BAR013 + 3% Tinta	BAR013 + 5% Tinta
% CL á 1190°C 50 min	7,58	7,66	7,80	7,70
% CL á 1200°C 50 min	7,84	7,89	7,88	7,78
% CL á 1210°C 50 min	7,87	7,93	7,90	7,86

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A Tabela 3 apresenta a absorção de água das composições, quanto maior o percentual (%) de resíduo adicionado, menor foi a absorção de água.

Tabela 3 - Resultados Absorção de Água

Dados	Caracterização			
	STD	BAR013 + 1% Tinta	BAR013 + 3% Tinta	BAR013 + 5% Tinta
% Aa á 1190°C 50 min	1,02	1,06	0,70	0,63
% Aa á 1200°C 50 min	0,22	0,22	0,13	0,11
% Aa á 1210°C 50 min	0,00	0,04	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A cor do material foi sofrendo alterações conforme mostra a Tabela 4. A coordenada L\*(preto/branco) foi diminuindo, ou seja, as composições testes foram ficando mais escuras, a coordenada a\* (vermelho/verde) também foi diminuindo mostrando que os testes ficaram menos vermelho e a coordenada b\* (amarelo/azul) também reduziu, apontando que os testes ficaram menos amarelos quando comparados a massa referência.

Tabela 4 - Resultados Análise Colorimétrica

Dados	STD	BAR013 + 1% Tinta	BAR013 + 3% Tinta	BAR013 + 5% Tinta
<b>Análise Colorimétrica</b>				
L*	48,87	47,9	46,75	46,55
a*	3,59	3,04	2,83	3,13
b*	8,86	8,27	8,23	8,54
$\Delta E$	STD	0,98	1,99	2,00
Observações		+Escuro -Vermelho -Amarelo	+Escuro -Vermelho - Amarelo	+Escuro -Vermelho -Amarelo

Fonte: Da autora (2021).

Através do estudo realizado, foi possível comprovar que é possível reutilizar o resíduo da tinta da Inkjet que hoje é descartado, ou destinado a outros fins. As composições ficam mais fundentes quando o material é inserido, nota-se pelo aumento da densidade queimado, pelo aumento da retração linear e pela diminuição da absorção de água.

Sendo diluído ao tanque de homogeneização, houve um limitante de 1%, pois acima desse percentual, as propriedades físicas do produto final sofrem alterações, gerando desta forma instabilidade ao processo onde o material (massa) é consumido.

Vale ressaltar que a atomização deste material homogeneizado á barbotina é um ponto negativo, pois pelo resíduo se tratar de uma solução oleosa, poderá contaminar o sistema, gerando defeitos principalmente nas composições de massas claras (porcelanato técnico).

Houve uma redução financeira com a inserção deste resíduo a composição, pois a empresa gasta com o envio deste resíduo para o coprocessamento cerca de R\$650,00 a tonelada. Em média a cada 3 meses é gerado 960 kg deste resíduo, totalizando uma redução de R\$ 1.950/ano.

Para a produção da composição onde foi avaliada a inserção do resíduo, tem-se um custo com corante de R\$ 7,20 Kg. Utilizando o resíduo da tinta como corante em um percentual de 1%, é possível reduzir o custo em R\$ 28.800/mês ou R\$ 345.600 por ano, tendo como média de consumo mês 400 toneladas desta composição. Havendo variação no planejamento de produção, os valores citados, podem sofrer alterações.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como finalidade analisar a possibilidade de utilizar um resíduo que hoje é enviado para coprocessamento, uma vez que este gera um impacto ambiental e financeiro. Os resultados obtidos, decorrentes dos testes descritos com o resíduo de tinta da Inkjet, se pode mencionar como resultados expressivos.

É possível retornar o resíduo de tinta da decoradora digital ao processo no qual o mesmo está inserido, aplicando-o como corante de massa ou como outra matéria prima? Sim, o resíduo de tinta de Inkjet pode ser utilizado como matéria prima que, utilizada de modo adequado, pode representar a viabilidade econômica para a coloração de massas cerâmicas.

Os custos alcançados com a formulação aprovada são muito menores que os custos das composições existentes.

Neste trabalho conseguiu-se incorporar 1% de resíduo de tinta dentro da composição de massa, com o aprimoramento deste pode-se chegar a percentuais muito maiores, reduzindo ainda mais o custo do produto final.

O ganho ambiental com o projeto é muito grande, visto que o trabalho utilizou resíduo que antigamente era descartado e enviado para coprocessamento transformando-os em um insumo de alto valor agregado, neste caso um corante.

O teste com 1% do resíduo foi o que apresentou melhores resultados conforme mostram as Tabelas 1, 2, 3 e 4. Visto que o percentual de resíduo, não alterou as características do produto final.

Ganho em custo, a empresa passa a não ter mais o custo com o envio do material para o coprocessamento e ainda é possível reduzir o custo da composição final, onde se reduz o consumo de um material que custa aproximadamente R\$ 7,20/kg e passa a ser consumido um material que possui custo zero, por se tratar de um resíduo.

É válido ressaltar o que foi observado como pontos negativos. O material é oleoso, quando introduzido ao sistema, poderia contaminar todo o processo, podendo gerar alguns defeitos no produto final tais como: matéria orgânica, tinta preta, grumo entre outros. O uso acima de 1% do resíduo afeta as características física do produto final, como cor e fusibilidade.

Todos os testes foram elaborados em escala de laboratório, nesta escala, não foi possível perceber separação de fases (tinta/barbotina), o que não fica comprovado se contaminaria o sistema de produção.

Observou-se através das análises realizadas que é possível utilizar o resíduo gerado na decoradora digital, utilizando-o como outra matéria prima. Consideramos como um projeto válido e sugestivo para aprimoramento em trabalhos futuros seja em outras composições cerâmicas ou em outros processos produtivos.

## REFERÊNCIAS

- AMBROSE, Gavin; HARRIS, Paul. **Cor.** Rio Grande do Sul: Bookman, 2009.
- ANFACER. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres.** Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?home>>. Acesso em: 08 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTNBR ISO 13006:Placas Cerâmicas para Revestimento** – Especificação e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2020.
- ASOCIACION DE INVESTIGACION DE LAS INDUSTRIA CERÁMICAS (AICE) E INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERÁMICA (ITC). **Manual para el Control de la Calidad de Materias primas Arcillosas.** Valência. Espanha, 1992.
- BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. Conceitos básicos de resíduos sólidos. [S.l: s.n.], 1999.
- BOHNENBERGER, José Carlos et al. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 299-311, 2018.
- BRASIL. **Lei nº 12.2892, de 2 de agosto de 2010.** Altera a Lei nº 9 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências; e legislação correlata. 3 ed. Brasília: câmara dos deputados, 2010.
- DAL BÓ, M.; NEVES, W.N.; AMARAL, S. **Substituição do Mercúrio por Água na Determinação da Densidade Aparente do Suporte Cerâmico Cru.** Criciúma, SC: Cerâmica Industrial, v.7, n.2, pp.42-46, 2002.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- KNIGHT, E.; LYNN, C. **Industrial inkjet for dummies: xaar special edition.** Hoboken: Wiley, 2010.
- LEÃO, Alexandre Cruz. **Gerenciamento de Cores para Imagens Digitais.** 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Artes Visuais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em:. Acesso em: 03 nov. 2021.
- LOPES, L. C. **Fundamentos da Colorimetria.** 2009. 40 f. Tese (Doutorado) - Curso de Design, Puc, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: Acesso em: 03 nov. 2021.
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002
- MELCHIADES, F.G. et. al. A curva de gresificação: Parte I. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.1, n.4/5, p. 30-31, ago./dez. 1996. MELCHIADES, F.G. et. al. A curva de gresificação: Parte II. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.2, n.1/2, p. 23-26, jan./abril. 1997.

MILANEZ, B. **Coincinação de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios**. In: 9º Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Anais... Curitiba: ENGEMA, 2007.

MOREIRA, Maria Suely. **Estratégia e implantação do sistema de gestão ambiental**. São Paulo: FALCONI, 2006.

OLIVEIRA, Maria Cecília. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimentos**. 2006. CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>

OLIVEIRA, Maria Cecília. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimentos**. 2006. CETESB. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao\\_limpa/documentos/ceramica.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf). Acesso em: 08 out. 2021.

OLIVEIRA, Carine N. **O Paradigma da Sustentabilidade na Seleção de Materiais e Componentes para Edificações**. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado). UFSC, Programa de Pós-Graduação Arquitetura e Urbanismo.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização**. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

PETRUCCI, Eládio. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Editora Globo, 1975

RODRIGUES, LuisaCaurio; MARIN, Solange Regina; ALVARENGA, Samia Mercado. Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos em Florianópolis/SC: um estudo de caso. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 470-486, 2017.

SIMONETTI, J.P.; VIOTTI, C. L. G.; **Absorção de água em materiais cerâmicos**. 2008. Disponível em: <https://engematsolucoes.com.br/absorcao-de-agua-em-materiais-ceramicos/>. Acesso em: 03/11/2021.

SILVA, João Paulo Souza. Mix analysis between soil and ceramic material resulting from brick manufacture waste. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1575-1585, 2020.

PIERRI, N.; FOLADORI, Guilherme.; **Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarollosustentable**. Montevideo: Editora: Trabajo y Capital, 2001.