

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

EMILY SAVIATTO

**APROVEITAMENTO DE ARGILAS DE ÁREAS DE LAVRA AMBICIOSA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA NO SUL DE SANTA CATARINA**

CRICIÚMA

2022

EMILY SAVIATTO

**APROVEITAMENTO DE ARGILAS DE ÁREAS DE LAVRA AMBICIOSA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA NO SUL DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. Sérgio Luciano Galatto

CRICIÚMA

2022

EMILY SAVIATTO

**APROVEITAMENTO DE ARGILAS DE ÁREAS DE LAVRA AMBICIOSA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA NO SUL DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Gerenciamento e Planejamento Ambiental

Criciúma 23 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Sérgio Luciano Galatto - MSc - (UNESC) - Orientador

Prof. Adriano Michael Bernardin - Dr. - (UNESC)

Prof. Márcio Luiz Geremias - Dr. - (UNISATC)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as minhas dificuldades.

Agradeço também a minha Família, meu pai Edson e meu namorado João Vitor, que me incentivaram a cada momento e não permitiram que eu desistisse.

Para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contei com a ajuda de diversas pessoas dentre as quais agradeço:

Ao meu orientador Sérgio Galatto, por todo empenho e dedicação me fornecendo todo auxílio necessário para concluir este trabalho.

Ao meu orientador de campo Alexandre Zaccaron, é com muita admiração e carinho que gostaria de expressar meu agradecimento por tudo que você fez por mim, obrigada por compartilhar seu conhecimento e tempo.

A todos os membros da COOPEMI e LabCer, por participarem das pesquisas, pela colaboração e disposição no processo de obtenção de dados.

As minhas amigas, particularmente Bruna e Jennifer, por estarem sempre comigo, vocês desempenharam um papel significativo no meu crescimento, estarão sempre em meu coração.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigada.

“A alegria de ver e entender é o mais perfeito dom da natureza.”

Albert Einstein

RESUMO

A indústria de cerâmica vermelha está entre as mais tradicionais do mundo, para fabricação de insumos para construção civil (tijolos, blocos, telhas etc.), os quais usam como matéria-prima base a argila. Muito embora a mineração do material argiloso não seja tão impactante ambientalmente, um problema que vem sendo verificado em jazidas de argila, é a “lavra ambiciosa”, que é uma irregularidade previsto em lei, no código brasileiro de mineração. Esta prática está associada ao não aproveitamento total do bem mineral, quando não apresenta propriedades comumente procuradas pelo minero-ceramista. O conhecimento das características das argilas, pode ser determinante para o melhor aproveitamento das frentes de lavra, por meio do uso total do material minerado, através de *blends* que trazem qualidades para o produto cerâmico, exigidas por norma técnica. O presente estudo tratou de estudar duas diferentes áreas, da região sul de Santa Catarina, onde se identificou o problema de lavra ambiciosa. Para um estudo mais adequado, uma argila plástica foi incluída para realização de formulações na produção de tijolos cerâmicos. Ambas argilas foram caracterizadas por análises químicas (fluorescência de raios-X) e mineralógicas (difração de raios-X). A distribuição granulométrica foi determinada por difração a laser e a plasticidade foi avaliada pelos métodos de *Pfefferkorn* e *Atterberg*. Ao todo, dez formulações foram desenvolvidas pelo método de delineamento de misturas, onde foram investigadas o teor de resíduo bruto, obtido por peneira #325 mesh. Em seguida, corpos-de-prova foram formados por extrusão, secos em estufa (50 a 100°C), queimados em forno mufla (900°C) e caracterizados por sua retração térmica linear (na secagem e queima), absorção de água e resistência à compressão. Uma das argilas apresentou deficiências de trabalhabilidade, ocasionando problemas na extrusão, sendo quebradiça durante a moldagem. A segunda argila se mostrou altamente arenosa, com teores de “sílica livre” >60%, o que também afetou o corpo cerâmico. Com base nos resultados tecnológicos, conclui-se que o emprego da argila com deficiência de trabalhabilidade em até 45% acarretou no aumento da absorção de água, ultrapassando os limites estabelecidos por norma. O uso da argila mais silicosa auxiliou no controle dimensional, porém seu emprego em elevados teores diminuiu a resistência mecânica. Com isso, utilizar ~80% das argilas de lavra ambiciosa (combinadas) afeta na resistência mecânica ao ponto de ficar abaixo do limite proposto por norma técnica. Porém, se usadas em teores controlados, essas argilas podem ser incorporadas na massa cerâmica e utilizadas na produção de blocos e tijolos, melhorando algumas propriedades como o controle geométrico, por exemplo. Por fim, por meio da verificação da disponibilidade das argilas, comprovou-se que há uma disponibilidade de 280.000 m³ desses materiais nas áreas de estudo, o que amplia a vida útil das jazidas em até 16 meses, porém, para que haja um aproveitamento total dessas e até mesmo de outras áreas é indispensável a criação de uma central de massa para uso cooperativo.

Palavras-chave: Lavra ambiciosa. Argila. Cerâmica vermelha. Delineamento de misturas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma processo produtivo de cerâmica vermelha.....	19
Figura 2 - Localização do município de Içara, SC.....	26
Figura 3 - Mapa geológico regional incluindo as áreas de estudo.....	27
Figura 4 - Localização espacial da Área 1, (a) área de concessão, (b) área de lavra ambiciosa, e (c) imagem da área de estudo.....	29
Figura 5 - Localização espacial da Área 2, (a) área de concessão, (b) área de lavra ambiciosa, e (c) imagem da área de estudo.....	30
Figura 6 - Localização espacial da Área 3, (a) área de concessão, (b) área de lavra, e (c) imagem da área de estudo.....	31
Figura 7 - Amostragem das argilas nas áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c) e <i>in natura</i> (d).	32
Figura 8 - Fluxograma das etapas desenvolvidas.....	33
Figura 9 - Plasticímetro de <i>Pfefferkorn</i> utilizado para determinação do índice de plasticidade.	36
Figura 10 - Diagrama triaxial das composições desenvolvidas.....	38
Figura 11 - (a) Laminador laboratorial e (b) extrusora a vácuo laboratorial.....	40
Figura 12 - Amostras após o processo de conformação.....	40
Figura 13 - (a) Estufa elétrica e (b) forno mufla.....	41
Figura 14 - Amostras após o processo de secagem.....	42
Figura 15 - Amostras após o processo de queima.....	42
Figura 16 - Difratogramas de raios X referente às argilas estudadas.....	46
Figura 17 - Distribuição cumulativa e densidade granulométrica das argilas estudadas.	48
Figura 18 - Índice plástico das argilas obtido por plasticímetro de <i>Pfefferkorn</i>	49
Figura 19 - Índice de trabalhabilidade das argilas.....	50
Figura 20 - Retração térmica linear de secagem e queima das formulações desenvolvidas.....	52
Figura 21 - Superfície de resposta da retração térmica linear total.....	54
Figura 22 - Superfície de resposta da absorção de água.....	55
Figura 23 - Superfície de resposta da resistência mecânica à compressão.....	56
Figura 24 - Sistema triaxial ilustrando o limite de trabalho para cerâmica vermelha.....	57
Figura 25 - Análise visual das peças com defeitos e rugosidades superficiais.....	58

Figura 26 - Análise visual da coloração das peças.59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições das massas cerâmicas utilizando as matérias-primas selecionadas, de acordo com o plano de misturas.....	38
Tabela 2 - Composição química (por FRX) de amostras de argila.....	46
Tabela 3 - Determinação da quantificação das fases mineralógicas.....	47
Tabela 4 - Distribuição de tamanho e diâmetro médio de partículas (μm) das argilas estudadas.....	48
Tabela 5 - Índice de plasticidade das argilas obtido por plastímetro de <i>Pfefferkorn</i>	50
Tabela 6 - Limites de Atterberg das argilas estudadas.	50
Tabela 7 - Teor de umidade <i>in natura</i> das argilas estudadas.	51
Tabela 8 - Teor de resíduo bruto das formulações desenvolvidas.	51
Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para retração térmica linear total.....	53
Tabela 10 - Análise de variância (ANOVA) para absorção de água.....	54
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) para resistência mecânica.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANICER	Associação Nacional de Cerâmica Vermelha
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANOVA	Análise de Variância
APL	Arranjo Produtivo Local
art.	Artigo
ATD	Análise térmica Diferencial
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
Cfa	Clima subtropical, com verão quente
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COOPEMI	Cooperativa de Exploração Mineral da Bacia do Rio Urussanga
COPEC	<i>Science and Education Research Organization</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DF	Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de raio X
DTP	Distribuição do tamanho de partículas
FRX	Fluorescência de raio X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDT	Instituto de Engenharia e Tecnologia
IMA	Instituto do Meio Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
iPARQUE	Parque Científico e Tecnológico
LabCer	Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha
LABGEO	Laboratório de Geotecnia

LDCM	Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MG	Minas Gerais
MQ	Média quadrática
NBR	Norma brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
P.F.	Perda ao Fogo
P+L	Produção mais Limpa
PFM	Plano de Fechamento de Mina
PIB	Produto Interno Bruto
RAD	Recuperação de Área Degradada
RB	Resíduo Bruto
RJ	Rio de Janeiro
RPM	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
RTL	Retração térmica linear
SATC	Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão
SC	Santa Catarina
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINDICER	Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha de Morro da Fumaça
SP	São Paulo
SQ	Soma total dos quadrados
TG	Termogravimétrica
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
V	Variância (Grau de Liberdade)
WDXRF	<i>Wavelength dispersive x-ray fluorescence spectroscopy</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA	14
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA.....	17
4.1.1 Cerâmica vermelha	18
4.2 MINERAÇÃO.....	20
4.2.1 Aspectos legais	21
4.2.1.1 Lavra ambiciosa	22
4.2.2 Mineração de argilas	23
4.2.3 Matéria-prima	24
5 METODOLOGIA	25
5.1 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO	25
5.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS JAZIDAS.....	28
5.2.1 Área 1	28
5.2.2 Área 2	29
5.2.3 Área 3	31
5.3 AMOSTRAGEM DAS ARGILAS.....	32
5.4 EXPERIMENTO DE BANCADA	33
5.4.1 Matérias-primas	34
5.4.2 Caracterização das matérias-primas	34
5.4.3 Formulações	38
5.4.4 Caracterização das formulações	39
5.4.5 Conformação	40
5.4.6 Tratamento térmico	41
5.4.7 Caracterização dos corpos de prova	42
5.5 ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DAS ARGILAS MENOS NOBRES	44
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	45
6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	45

6.2 FORMULAÇÕES.....	51
6.2.1 Caracterização das formulações	51
6.2.2 Caracterização dos corpos de prova.....	52
6.3 ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO DAS ARGILAS MENOS NOBRES A NIVEL INDUSTRIAL.....	59
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE(S).....	72
APÊNDICE A – RESULTADO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	73
APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	74

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e a migração de pessoas para áreas urbanas, surgem problemas como o déficit habitacional, ou seja, uma lacuna entre a demanda e oferta de moradias, com isso, surge a necessidade crescente de materiais pelo setor de construção civil. Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção cresceu 9,7%, após registrar uma queda de 6,3% em 2020 (CBIC, 2022).

Os materiais cerâmicos, como telhas, blocos, tijolos, elementos vazados, entre outros, são os mais tradicionais utilizados em casas populares no território nacional e essa indústria está presente em muitos outros países, por fabricar produtos que são considerados como a base da construção civil (NAZÁRIO *et al.*, 2018).

Para Bustamante e Bressiani, (2000) “o Brasil possui um importante parque fabril no setor cerâmico, tendo produtos de alta qualidade e preços competitivos a nível mundial”. Atribui-se ao fato de o Brasil possuir em grandes quantidades, praticamente, todos os recursos naturais necessários para a fabricação desses produtos.

Segundo dados da Associação Nacional de Cerâmica Vermelha (ANICER, 2019), o Brasil possui 6.903 fábricas distribuídas por todo território nacional, mas notadamente nas regiões sul e sudeste. O setor apresenta um faturamento anual de 18 bilhões, representando 4,8% da indústria da construção civil no país e gerando em torno de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos. A indústria ceramista possui tanta relevância para a construção civil a nível nacional que cerca de 90% das alvenarias e coberturas do país são baseadas na cerâmica vermelha.

Ainda de acordo com a ANICER, (2019), a produção média mensal entre blocos e telhas é de 5,3 bilhões de peças, ocasionando um consumo mensal de cerca de 10,3 milhões de ton./mês de argila, matéria-prima base para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha (MARCIANO MOTTA *et al.*, 2004). Um fator predominante quanto à fonte de matéria-prima e concentração de unidades cerâmicas é bastante saliente, onde as indústrias espalham-se pelo território, sempre tendo como referência locacional a proximidade de depósitos de argila (MARSIS *et al.*, 2006).

A expansão do setor de construção civil está aliada ao crescimento do setor cerâmico, e com isso a procura e exploração de novas jazidas minerais, deixando a argila como um dos minerais com mais requerimentos para pesquisa nos últimos anos

segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2020). Vale salientar, que nos últimos cinco anos, novas fontes de materiais argilosos vêm sendo amplamente estudadas por pesquisadores ao redor do mundo (BEN M'BAREK-JEMAÏ *et al.*, 2017; TSOZUÉ *et al.*, 2017; SALAH *et al.*, 2018; MONATSHEBE; MULABA-BAFUBIANDI; KASONGO NYEMBWE, 2019; ALMEIDA; SOARES; MATOS, 2020; SEMIZ; ÇELIK, 2020; ZACCARON *et al.*, 2020b), mostrando que a necessidade de abastecimento para a indústria cerâmica é preponderante.

O setor minero-cerâmico passou por estágios evolutivos no Brasil, e foi de forma lenta muito devido ao tamanho das próprias indústrias, na sua grande maioria de pequeno porte e de cunho familiar (PRADO; BRESSIANI, 2013). A mineração de argila não está entre as mais impactantes (FARJANA *et al.*, 2019), porém, se não realizada de forma adequada pode trazer alguns passivos ambientais, baseando-se especialmente na execução de medidas restritas de revegetação, visando, em especial, atenuar o impacto visual gerado e outros associados à poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pela exposição das mesmas (MECHI; SANCHES, 2010).

Atualmente no Brasil, alguns programas governamentais e ferramentas de planejamento e gestão, como os Arranjos Produtivos Locais - APLs (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2006a; MONTEIRO *et al.*, 2008), Produção mais Limpa - P+L (MACIEL; FREITAS, 2013; SILVA; SILVA, 2017) e as Avaliações do Ciclo de Vida - ACV dos materiais (BOVEA *et al.*, 2007; GOMES; SALGADO; HOTZA, 2012; LOZANO-MIRALLES *et al.*, 2018), estão sendo determinantes para minimização dos impactos ambientais associados à mineração. Muito embora isso seja verdadeiro, outro fator determinante para um melhor aproveitamento deste bem mineral por parte dos ceramistas é o conhecimento de suas matérias-primas que contribui diretamente para a melhora das propriedades do produto final, possibilitando ao fabricante flexibilidade, redução de custos de produção e aumento no valor agregado (MACEDO *et al.*, 2008).

A falta ainda desse conhecimento técnico relacionado às matérias-primas, faz com que os ceramistas explorem as porções minerais com características das quais são avaliadas empiricamente por meio de sua textura (DE AGUIAR *et al.*, 2022), fazendo que bolsões de minerais menos nobres, ou seja, materiais argilosos com propriedades pouco atrativas, dentro de uma mesma área, acabem sendo abandonados. O uso desse método para a exploração do bem mineral ocasiona um

outro problema ambiental denominado de “lavra ambiciosa” (REBELO; ZACCARON, 2020).

Por definição, a lavra ambiciosa é considerada aquela feita sem observar o plano preestabelecido ou a que possa impossibilitar o aproveitamento posterior da jazida, conforme o art. 48, do Código de Mineração - Decreto nº 227/67 (BRASIL, 1967). A recente associação de responsabilidade social empresarial ou corporativa aos preceitos do desenvolvimento sustentável ampliou o conceito para responsabilidade socioambiental, considerando a atuação das empresas e o impacto de suas atividades produtivas que afetam a qualidade de vida e comprometem o futuro do planeta pelo uso de recursos naturais escassos (FARIAS *et al.*, 2012).

Na mineração de argila, a lavra ambiciosa pode acarretar no descarte de grandes volumes de material argiloso, ocasionando o abandono da área minerada e estagnação do avanço da recuperação ambiental. Posteriormente, para que haja o abastecimento do setor cerâmico, novas áreas deverão ser prospectadas. Portanto, o melhor aproveitamento das diferentes matérias-primas faz com que haja um aumento da vida útil da jazida, e postergue a necessidade de obtenção de novas fontes minerais.

O polo cerâmico de Morro da Fumaça no sul de Santa Catarina é conhecido nacionalmente pelas melhores práticas minerais, obtidas por anos de evolução focados no gerenciamento ambiental das áreas de mineração, onde atingiu-se uma ampliação significativa nas frentes de lavra outrora abandonadas (PAGNAN *et al.*, 2013). O fator determinante para o reconhecimento atingido está associado ao trabalho da Cooperativa de Exploração Mineral da Bacia do Rio Urussanga (COOPEMI), que abastece a maior parte das indústrias cerâmicas, realizando trabalho para o maior aproveitamento das áreas.

Muito embora o método de mineração por meio do cooperativismo se mostrou amplamente eficaz, ainda se observam frentes de lavras e/ou bolsões com argilas menos nobres e características iniciais pouco atrativas ao industrial ceramista, fazendo com que o avanço da mineração nessas áreas seja interrompido. Com base nisso, o presente estudo focou em estudar duas áreas de mineração de argila na região sul de Santa Catarina, onde constatou-se o problema de lavra ambiciosa, e por meio do método de delineamento de misturas, desenvolveu-se a possibilidade de emprego dessas matérias-primas na produção de cerâmica vermelha.

2 JUSTIFICATIVA

Em 1971 foi realizada a conclusão da pavimentação da BR-101, e este fator significou um ponto positivo para que ocorresse uma nova fase de crescimento para o estado de Santa Catarina, devido à integração entre suas regiões, anteriormente isoladas, dadas a precariedade das estradas existentes, além de alguns trechos inexistentes. Após a conclusão da rodovia a região sul do estado se tornou mais atrativa, principalmente para atividades como turismo, e abrindo também oportunidade para o desenvolvimento das indústrias na região, como as do setor cerâmico.

Entre as décadas de 1970 a 1980 ocorreu grande ampliação na capacidade de produção das indústrias cerâmicas principalmente no sul no estado. A partir desse crescimento econômico foram surgindo os principais problemas ambientais desta parte do país, e se tornaram mais intensos devido à criação de grandes projetos como a finalização da BR-101.

Devido ao fácil acesso à matéria-prima encontrada na região, e falta de conhecimento dos ceramistas, a extração de argila era praticada de forma desordenada e irregular, com relação à condução técnica, gerencial, ambiental e operacional. Faltava profissionais gabaritados para a condução das atividades extrativas, desde a identificação, caracterização e controle das matérias-primas, além de utilização de equipamentos de lavra muito precários.

Com crescimento do setor, e a modernização que ampliou a capacidade produtiva, ocasionou o agravamento de problemas ambientais ocasionados pela mineração realizada de forma irregular, gerando passivos ambientais, isto fez com que o Ministério Público Federal (MPF) cobrasse alternativas do setor. Afim de sanar os problemas dos empresários nos assuntos derivados da mineração e meio ambiente, fundou-se em 22 de setembro de 1998 a Cooperativa de Exploração Mineral da Bacia do Rio Urussanga (COOPEMI), na qual hoje 150 empresas compõem o quadro de cooperados. Estas empresas cerâmicas estão distribuídas pelos municípios de Morro da Fumaça, Içara, Sangão, Treze de Maio, Jaguaruna e Criciúma, no sul do estado de Santa Catarina. A COOPEMI possui atualmente 37 processos minerário ativos, sendo 11 destes, regularizadas (por meio de Guia de utilização ou Portaria de Lavra), e distribui para os cooperados 35.000 m³/mês de material argiloso, em áreas nos municípios de Içara, Morro da Fumaça e Treze de Maio, para aproximadamente 90 cooperados, que são diretamente abastecidos.

A prospecção de novas áreas de mineração de material argiloso é um fator determinante no desenvolvimento econômico da região sul de Santa Catarina. Existem jazidas licenciadas para extração de argilas que não são potencialmente exploradas, uma vez que os ceramistas dão prioridade às argilas nobres que são consolidadas ao processo de produção de blocos cerâmicos e telhas. Essa condição de exploração de argilas nobres resultou na ineficiência do aproveitamento deste bem mineral, deixando argilas menos nobre nas jazidas.

Portanto, o modelo de mineração adotado pelo setor de cerâmica vermelha, que perdura por muitos anos, é considerado como “lavra ambiciosa”, onde carece melhorar o aproveitamento das argilas menos nobres no setor ceramista. Além desse problema histórico do setor, é necessário quebrar paradigmas, para explorar todo o bem mineral disponível na jazida, aplicando ao processo produtivo.

Por serem bens naturais não-renováveis, é crescente a preocupação com a exploração consciente dos recursos minerais, através de técnicas que aperfeiçoem o processo de extração e beneficiamento desses recursos, otimizando a fabricação de produtos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o aproveitamento de material argiloso de qualidade técnica inferior em áreas de lavra ambiciosa utilizadas no setor de cerâmica vermelha.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as argilas em minas identificadas como de lavra ambiciosa, quanto às propriedades física, química e mineralógica;
- Desenvolver formulações por delineamento de misturas utilizando as argilas provenientes de minas identificadas como de lavra ambiciosa;
- Avaliar as propriedades tecnológicas das diferentes formulações de argilas;
- Analisar o potencial de aproveitamento das argilas de minas com lavra ambiciosa em estudo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA

A cerâmica é um dos materiais artificiais mais antigos da indústria, praticamente tão antiga quanto a descoberta do fogo, e foi produzida pelo homem há cerca de dez a quinze mil anos. Do grego "*kéramos*", "terra queimada" ou "argila queimada" é um material de grande resistência (COOPER, 1993).

A cerâmica esteve presente desde os tempos antigos em diversas culturas ao redor do mundo, e com o passar do tempo foi sendo desenvolvido seu estilo próprio, evoluindo o aprimoramento artístico e ratificando tendências, a ponto de estabelecer o estado cultural de uma civilização por meio dos artefatos cerâmicos que produziam.

As primeiras cerâmicas que se têm relato são da Pré-História como vasos de barro, sem asa, que tinham cor de argila natural ou eram escurecidas por óxidos de ferro (PETERSON *et al.*, 2015).

No Brasil, antes mesmo da chegada dos europeus por volta do ano de 1500, já havia a produção de cerâmica, representada pela arte indígena, encontrada frequentemente em escavações arqueológicas de civilizações antigas que habitavam no território nacional (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Ao longo da história, o homem foi adquirindo cada vez mais habilidades, e para se adaptar às suas necessidades precisaram desenvolver técnicas e tecnologias para a produção de artefatos cerâmicos. Assim, com o passar do tempo, a argila deixou de ser moldada manualmente para produção de artefatos cerâmicos, e começou a ser processada com equipamento, como prensa e extrusora (ZACCARON, 2018).

O setor cerâmico brasileiro vem se desenvolvendo com o passar dos anos, sendo caracterizado como um segmento de grande importância na economia do país. Dificilmente depara-se com um município ou uma microrregião que não tenha uma cerâmica ou um centro de pequenas olarias. Especializado na produção de materiais para a construção civil, o setor reúne desde empreendimento artesanal e microempresas de estrutura familiar a empresas de médio e grande porte que utilizam tecnologias modernas e eficiência produtiva (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2006b).

A indústria de revestimentos cerâmicos constitui um segmento da indústria

de transformação, inserido no ramo de minerais não-metálicos, e tem como atividade a produção de pisos e azulejos, representando, juntamente com a cerâmica estrutural vermelha (tijolos, telhas e outros refratários), as louças e o vidro, uma cadeia produtiva que fazem parte do complexo industrial de materiais de construção (DA SILVA *et al.*, 2015).

A vinda dos imigrantes para o Brasil foi determinante para a introdução de tecnologias de produção dos artefatos cerâmicos, como tijolos, telhas, e outros artigos de barro cozido, o que contribuiu para o surgimento das pequenas olarias em diversas regiões do país. No estado de Santa Catarina a cerâmica vermelha é uma atividade antiga que foi introduzida no estado pelos imigrantes açorianos que foram para a região litorânea, e posteriormente levada a outras regiões por imigrantes italianos e alemães (VEDVOTTO JUNIOR; FERREIRA; POSSAMAI, 2013).

Os polos cerâmicos estão pulverizados em todo território nacional, variando de acordo com o tipo de cerâmica. Os revestimentos cerâmicos por exemplo, apresentam as regiões de Tijucas e Criciúma, em Santa Catarina, e de Santa Gertrudes, localizada no estado de São Paulo, as que concentram a maior parte do setor produtivo (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015). Para fabricação de cerâmica vermelha, destacam-se as regiões de Campinas-SP e sul de Santa Catarina, como as maiores em número de indústrias (CAMARA *et al.*, 2015).

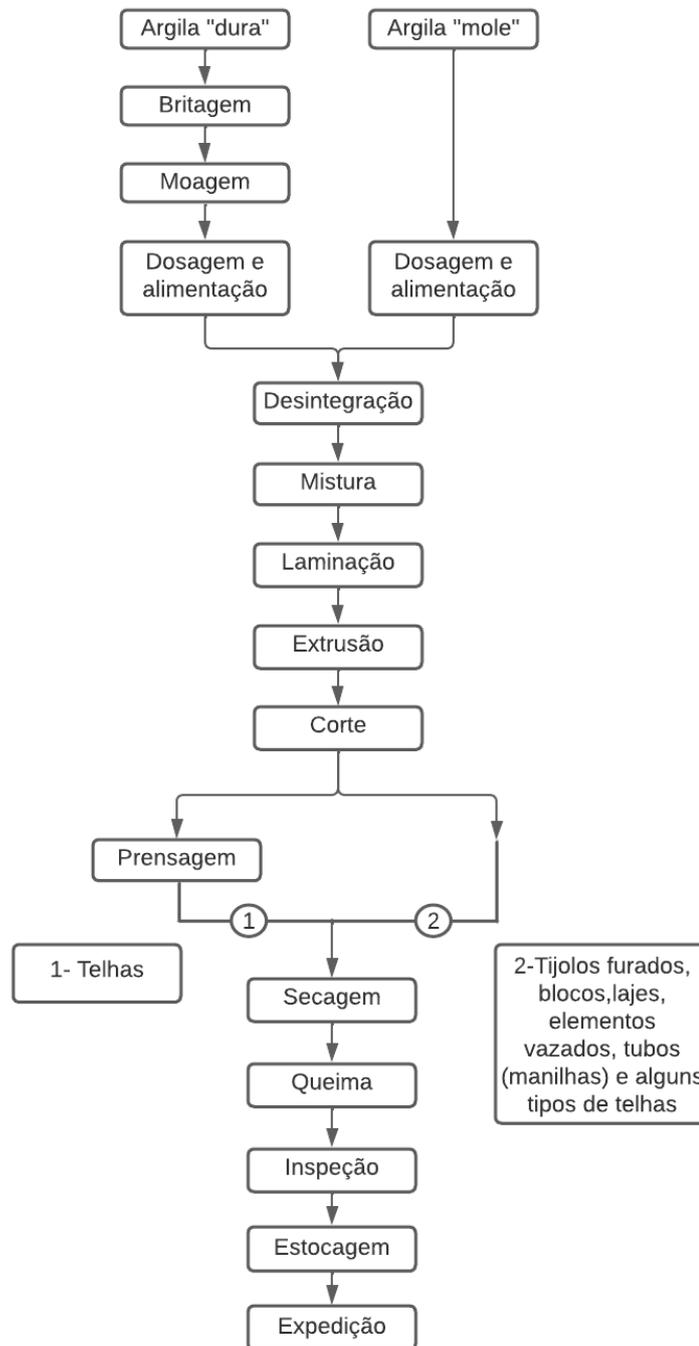
4.1.1 Cerâmica vermelha

Dentro do setor cerâmico, está inserida a cerâmica vermelha que é responsável pela produção de artigos de barro cozido que são considerados como a base da construção civil, como: tijolos furados, tijolos maciços, tabelas ou lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000).

A cerâmica vermelha é caracterizada por produtos oriundos da argila ou misturas contendo diferentes argilas, que devido sua característica química ocasiona a cor avermelhada, da qual originou seu nome (ZACCARON *et al.*, 2020b).

O processo produtivo da cerâmica vermelha, ilustrado no fluxograma da Figura 1, é praticamente similar a todos os tipos de materiais, e consiste basicamente na exploração da matéria-prima, preparação da massa, conformação da peça, tratamento térmico e a expedição (ZACCARON, 2013).

Figura 1 - Fluxograma processo produtivo de cerâmica vermelha.



Fonte: ABCERAM, (2022).

A fabricação das peças cerâmicas se inicia na lavra da argila que muitas vezes é composta por mais de uma tipologia, sendo transportada ao pátio de estocagem para ser blendada utilizando água. Na maioria das cerâmicas vermelhas é utilizado o produto natural ou pouco beneficiado. As argilas são retiradas das áreas mineradas e transportadas até as indústrias onde passam por uma redução granulométrica, mistura e homogeneização (KORONEOS; DOMPROS, 2007; ARSENOVIĆ *et al.*, 2013).

Após a mistura das argilas que se transformam em uma massa cerâmica, seguem ao processo de conformação, sendo majoritariamente realizada por extrusão, a partir de extrusora (equipamento que força o material plástico argiloso através de um molde, mediante a aplicação de uma pressão) (FONSECA, 2000). Logo após a etapa de extrusão, entra no processo de corte, tendo produtos variados em termos de tamanho e dimensões desejadas (MÁS, 2001). Em outros casos, como a produção de telha, é adicionado o processo de prensagem em moldes para conformação total da peça (OLIVEIRA, 2011). O conhecimento das características das matérias-primas que compõem a massa cerâmica é importante para um melhor controle das propriedades dimensionais do produto cerâmico (BRAGA; SANTOS; SALES, 2016).

Depois da extrusão, a peça cerâmica segue para tratamento térmico, iniciando pela secagem, sendo esta uma etapa do processo onde ocorre a eliminação da umidade residual da extrusão. Ela pode ser realizada por meio da secagem natural ou forçada, sendo o primeiro o mais utilizado pelas cerâmicas por não necessitar de grandes procedimentos tecnológicos (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Por fim, as peças secas entram no processo de queima em fornos cerâmicos, podendo ser os de chama direta, chama reversível, contínuos ou fornos do tipo intermitentes, que passam pela fase de aquecimento até temperaturas entre 800 e 900 °C, mantendo-a por certo tempo, e posterior resfriamento a temperaturas inferiores de 200 °C. Após a queima, as peças são inspecionadas e estocadas para comercialização (BARGA; DAL FABRO; DOS REIS, 2016).

4.2 MINERAÇÃO

De acordo com a classificação internacional da Organização das Nações Unidas (ONU), define-se mineração como sendo a extração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso, como o gás natural (ANM, 2020).

Desde o século XVI, no início da colonização dos portugueses no Brasil, surgiu interesse na busca e aproveitamento de recursos minerais, tendo contribuído para a economia nacional determinando em parte a ocupação do território. O subsolo brasileiro possui importantes depósitos minerais e produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 do grupo de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos. O setor mineral é composto por 95% de pequenas e médias minerações,

onde cerca de 4% das minas ficam na região Norte, 8% no Centro-Oeste, 13% no Nordeste, 21% no Sul e 54% no Sudeste (FERNANDES *et al.*, 2007).

A mineração corresponde à uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração e beneficiamento de minérios presentes no subsolo, sendo uma das bases da economia nacional representando aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (SANTOS, 2021). Essa atividade gera diversos impactos ao meio ambiente sendo uma das grandes responsáveis da configuração atual da sociedade, uma vez que diversos produtos e recursos utilizados pela sociedade são originados dessa atividade, como exemplo, eletrônicos, cosméticos, rodovias, estruturas metálicas, entre outros (ANM, 2020).

A mineração contribui de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento da sociedade, desde que seja operada com responsabilidade social e voltada ao desenvolvimento sustentável (FARIAS; COELHO, 2002).

O Brasil possui grandes reservas minerais no sul de Santa Catarina, além do carvão mineral, destaca-se a mineração de argila, matéria-prima comumente utilizada na indústria produtora de cerâmica estrutural e de revestimento cerâmico, tendo em vista a proximidade das jazidas às indústrias do ramo (CORRÊA *et al.*, 2019).

4.2.1 Aspectos legais

O setor mineral brasileiro é regido pelo Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (BRASIL, 1967), que instituiu o código de mineração. No decorrer da vigência desse normativo, o papel do estado no setor mineral foi sendo alterado, e a indústria desse segmento passou por diversas transformações sendo a última alteração significativa a realizada em Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018 (BRASIL, 2018).

Este novo regulamento do Código de Mineração permitiu reformulações importantes, onde pode-se destacar: a oneração de áreas que pela regulação anterior poderiam sofrer especulação minerária; alteração dos conceitos jurídicos de recursos e reservas para a compatibilização com normas internacionais; procedimento simplificado para aproveitamento de rejeitos; regras mais claras para o fechamento da mina; dentre outras alterações não tão menos importantes (BRASIL, 2018).

Em 2021, a Agência Nacional de Mineração (ANM) dispôs a resolução nº 68 (ANM, 2021), que trata de regras do Plano de Fechamento de Mina (PFM), revogando as Normas Reguladoras da Mineração (NRM) nº 20.4 e nº 20.5, aprovadas pela Portaria DNPM nº 237, de 18 de outubro de 2001 (DNPM, 2001). Essa resolução estabelece as novas diretrizes para pedido de encerramento mineiro das jazidas de minério em todo o território brasileiro.

Neste aspecto, as áreas de passivo ambiental de exploração mineira devem ser regularizadas considerando o atendimento a essa resolução (ANM, 2021).

4.2.1.1 Lavra ambiciosa

Segundo a Lei nº 227 de fevereiro de 1967 do Código de Minas, Art. 48, denomina “ambiciosa” como, a lavra conduzida sem observância do plano preestabelecido, ou efetuada de modo a impossibilitar o aproveitamento econômico da jazida (BRASIL, 1967).

Na prática, a lavra ambiciosa é aquela que tem o objetivo de maior ganho financeiro, onde o minerador opta por lavrar apenas parte da área onde está localizado o minério de maior interesse econômico, deixando o restante do corpo do minério sem aproveitamento, gerando problemas econômicos, sociais e ambientais.

No sul de Santa Catarina, a atividade de extração de argilas por muitos anos atuou de forma irregular, causando o que se denomina de lavra ambiciosa. As operações mineiras conduzidas pelas empresas cerâmicas estruturais além de não utilizarem equipamentos adequados, não atendiam às legislações ambientais e eram praticadas sem o documento de plano de lavra (REBELO; ZACCARON, 2020).

Dessa forma, quando ocorre a lavra ambiciosa, não ocorre o devido aproveitamento do bem mineral, acarretando em uma sobra de material argiloso nas jazidas, que se estudado poderia ser utilizado no processo produtivo da cerâmica vermelha. Isto resulta na demanda de novas áreas para extração de material. O estudo realizado por Rebelo e Zaccaron (2020) mostrou que os métodos de lavra ambiciosa realizados durante longo período por empresas cerâmicas da região sul, resultaram em uma série de passivos minerais e ambientais.

4.2.2 Mineração de argilas

A mineração de argila é uma atividade que ocorre a céu aberto, resultando em alterações da paisagem e impactos ambientais, como a supressão de vegetação, a remoção da camada fértil do solo, a exposição de solos aos processos erosivos que acabam acarretando em efeitos prejudiciais no equilíbrio dos ecossistemas (CORRÊA *et al.*, 2019).

Durante muitos anos a extração de argila na região sul no estado de Santa Catarina foi realizada de forma irregular, sem qualquer tipo de gerenciamento ambiental e operacional, sem profissionais habilitados para realizar o acompanhamento adequado na área minerada. Atualmente a ação dos órgãos vigentes e a rigidez das legislações têm obrigado os ceramistas a realizar as regularizações, obtendo assim as autorizações ambientais para exercer as atividades de mineração nas jazidas. Essa ação tem diminuído o número de irregularidades conhecidas como áreas de extração clandestinas (REBELO; ZACCARON, 2020).

A mineração é geralmente identificada como a primeira etapa do processo produtivo da cerâmica vermelha. A extração de argila ocorre a céu aberto, realizada por meio de escavação mecânica e transportada via caminhões, que operam em extensas valas. Quando a matéria-prima se esgota na jazida, se parte para outra área, deixando-se grandes depressões abertas sem nenhum tipo de controle ambiental e de segurança, que acabam tornando-se em áreas alagadas devido ao acúmulo das chuvas e/ou afloramento do lençol freático (ZACCARON, 2013).

Corrêa *et al.*, (2019) colocam que um dos impactos da mineração a céu aberto é a supressão da cobertura vegetal, seguida da remoção da camada fértil do solo e das camadas de rocha/minério sem interesse econômico. Os mesmos autores descrevem que a degradação ambiental ocorre quando há perda das características física, química e biológica do ambiente, que se encontra com vegetação destruída ou removida, em consequência disto, a fauna é expulsa do seu habitat, resultando na perda e desequilíbrio ambiental, podendo inviabilizar o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental de uma região.

A mineração a céu aberto resulta em profundas modificações em diferentes escalas que podem persistir por períodos de tempo muito longo, ou mesmo indefinidamente. A recuperação de área degradada (RAD) se mostra como uma das

atividades consideradas no processo de avaliação de impacto ambiental (AIA) de projetos de mineração (TURRIÓN *et al.*, 2021).

Nas áreas de passivo das jazidas de material argiloso, situadas no sul de Santa Catarina, é comum a ocorrência de grandes cavas com acúmulo de água. Nestes locais, os riscos associados resultam principalmente à exposição da população, tanto humana como de animais, a afogamentos, ocorrendo também a proliferação de vetores, bem como na impossibilidade de um uso futuro. Para a extração de argila o método frequentemente utilizado é o de lavra a céu aberto, onde muitas vezes esse método é praticado sem um plano de extração, que a ANM (antigo DNPM) define esta prática como “lavra ambiciosa”, sujeita à paralisação (PADOIN, 2011).

4.2.3 Matéria-prima

As argilas são rochas de origem sedimentar e provenientes da alteração de rochas silicatadas. Os minerais que as constituem são fundamentalmente pertencentes aos grupos das caulinitas, montmorilonitas e ilitas. Do ponto de vista químico, as argilas são aluminossilicatos hidratados apresentando espécies muito variadas e de fórmula genérica (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

As argilas são definidas como aluminossilicatos hidratados, arranjados estruturalmente em camadas, quando incorporada uma quantidade de água, tornam-se plásticas, podendo dessa forma ser trabalhadas, moldadas ou deformadas quando submetidas a um esforço (ZACCARON; DE SOUZA NANDI; BERNARDIN, 2021)

Para terem emprego na fabricação de artefatos de cerâmica e barro cozido, as argilas devem ser moldadas facilmente, ter valor médio ou elevado para a tensão ou módulo de ruptura à flexão, antes e após queima. Costumam apresentar cor vermelha após a queima em baixas temperaturas, com um mínimo de trincas e empenamentos (SANTOS, 1992).

Para a utilização das argilas no processo industrial é importante que se caracterize o tipo de argila e suas propriedades (química, física e mineralógica). As propriedades do produto final estão estreitamente relacionadas às características iniciais da matéria-prima, como textura, plasticidade, entre outras (MACEDO *et al.*, 2008).

5 METODOLOGIA

Este trabalho tem como natureza uma pesquisa aplicada, onde foram desenvolvidos ensaios de caracterização de argilas de três áreas, sendo duas denominadas como lavra ambiciosa. Foram realizadas diferentes formulações e corpos de prova para avaliar o potencial de aproveitamento de argilas menos nobres no setor de cerâmica estrutural. Para tanto, foram aplicados os testes para avaliar se os corpos de prova atendem as normas técnicas, portanto, trata-se de uma pesquisa qualitativa.

A estruturação do trabalho considerou a utilização de artigos científicos, normas técnicas, legislações e livros correlatos.

5.1 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO

As áreas de estudo das jazidas de argilas estão localizadas no município de Içara (Figura 2), posicionado a 200 km de Florianópolis, fazendo limite com Criciúma, Morro da Fumaça, Araranguá, Sangão e Jaguaruna. Içara possui 58.055 habitantes, distribuídos em 230.393 km² de extensão territorial (IBGE, 2021).

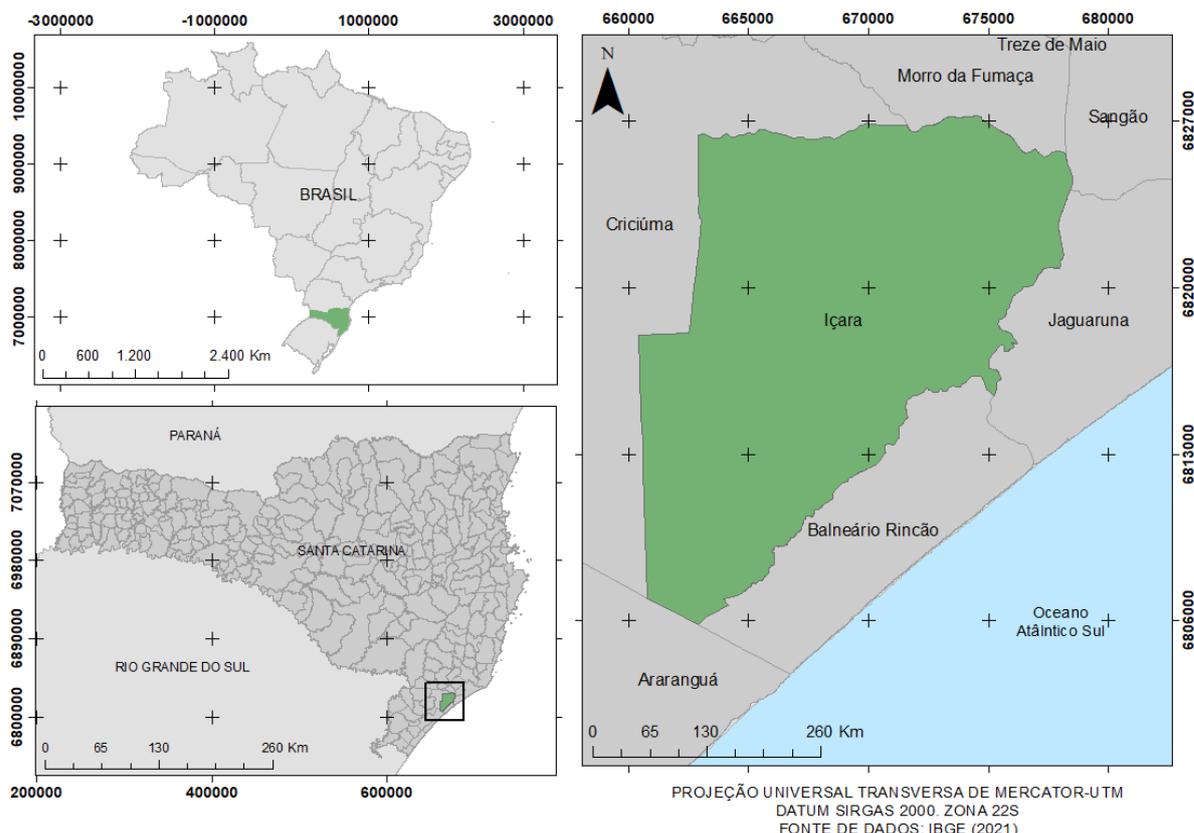
O município pertencente à microrregião da Associação dos Municípios da Região Carbonífera - AMREC está dentro do polo de cerâmica vermelha sul catarinense e as principais atividades econômicas são a apicultura, confecção, metalúrgica, indústria de descartáveis (maior produtora da América Latina), e é forte na produção agrícola e no turismo (SC.GOV.BR, 2022).

A região sul do Brasil é a que se apresenta climaticamente regular, com pluviosidade distribuída ao longo do ano, tendo as estações climáticas bem definidas. Está localizada entre as regiões tropical e extratropical, tendo o Oceano Atlântico a leste. O calor do verão se contrasta com as geadas do inverno, passando pelas temperaturas mais amenas no outono e primavera (VIANELLO; ALVES, 1991). Devido à localização, as correntes de ar sopram de todos os quadrantes, com predominância dos ventos nordeste e sul.

No geral, a pluviosidade está bem distribuída no território catarinense. No litoral Sul, os menores valores refletem as modificações locais de circulação atmosférica, determinada pela passagem livre de ventos vindos do oceano, que na sua rota do mar até as escarpas da Serra Geral perdem umidade, também como da

atuação da Corrente Fria das Malvinas. A precipitação média anual de Içara é cerca de 1.589 mm, sendo a maior incidência no mês de janeiro (INMET, 2021).

Figura 2 - Localização do município de Içara, SC.



Fonte: Autora (2022).

O litoral sul de Santa Catarina apresenta clima quente no verão e ameno no inverno, com chuvas bem distribuídas durante o ano. Segundo Koeppen (1948), o clima da região sul de Santa Catarina é classificado como Cfa, ou seja, clima subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente.

Os fatores climáticos são determinantes ao pequeno fabricante de cerâmica vermelha, principalmente àqueles que não utilizam métodos de secagem forçada, e que ficam dependendo do clima para secagem das peças (OLIVEIRA, 2011).

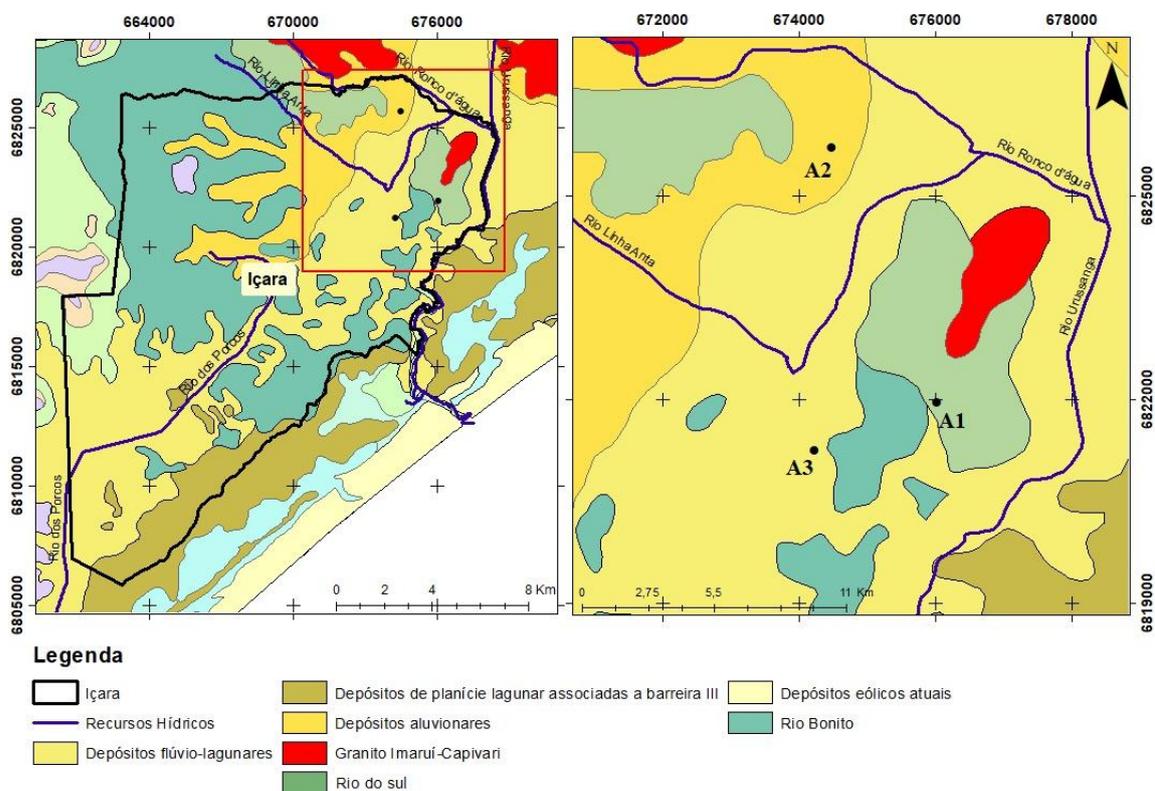
Segundo a divisão atualmente adotada pela Agência Nacional de Águas - ANA, os rios que drenam o território estadual de Santa Catarina integram três grandes Regiões Hidrográficas - a Região Hidrográfica do Paraná, a Região Hidrográfica do Uruguai e a Região Hidrográfica Atlântico Sul. Já o território do município de Içara

distribui-se em duas sub-bacias: a) sub-bacia do rio Urussanga Velha; b) sub-bacia do rio dos Porcos (ROCHA, 2016).

A vegetação da região Sul de Santa Catarina, incluindo as áreas de estudo é a Mata Atlântica. Outras designações mais comuns são: Floresta Atlântica (REIS *et al.*, 2000), Floresta Tropical Atlântica ou Mata Pluvial da Encosta Atlântica (KLEIN, 1983). A designação Floresta Ombrófila Densa foi incluída no novo sistema de classificação fisionômico-ecológico da vegetação mundial proposto pela UNESCO e adotado posteriormente com algumas alterações (LEITE; KLEIN, 1990).

A descrição litológica da região de estudo é ilustrada na Figura 3, que se refere à porção sudeste do estado de Santa Catarina, onde afloram rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a sequência da borda leste da Bacia do Paraná e sedimentos não consolidados da Planície Costeira ou formam depósitos aluviais atuais. O embasamento cristalino regional é composto de rochas granitoides tardias pós-tectônicas (ZACCARON, 2018).

Figura 3 - Mapa geológico regional incluindo as áreas de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM, (2014).

Nesta porção do estado observa-se uma tendência de alteração geológica

da Serra Geral até a região costeira. No interior, situa-se a Serra do Rio do Rastro, onde, em 1908, White definiu a consagrada Coluna White (WHITE, 1908). Já na região costeira ocorre uma diversidade enorme de depósitos de areia, silte e argila, relacionados a processos marinhos e continentais.

Na região costeira há representações geológicas do período quaternário, ou seja, são mais atuais. Indo ao interior do estado, em direção à Serra do Rio do Rastro, encontram-se as formações da Bacia do Paraná, que é uma bacia intracratônica preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, com desenvolvimento entre o Ordoviciano e o Cretáceo. Na Folha Criciúma suas sequências aflorantes apresentam idades variando desde o Permiano até o Cretáceo (SILVA; LEITES, 2000).

Com relação à distribuição litoestratigráfica da região, observa-se a presença da formação Rio Bonito e da Formação Taciba, com pontos de afloramento do Granito Imaruí-Capivari, cercados dos depósitos aluvionares, flúvio-lagunares, de planície-lagunar e mais ao litoral, por depósitos eólicos.

5.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS JAZIDAS

A coleta de informações das três áreas das jazidas foi feita com a Cooperativa de Exploração Mineral da Bacia do Rio Urussanga (COOPEMI), e efetuado o georreferenciamento espacial com uso do *software* ArcMap 10.9, e a base de dados do Basemap ArcMap.

5.2.1 Área 1

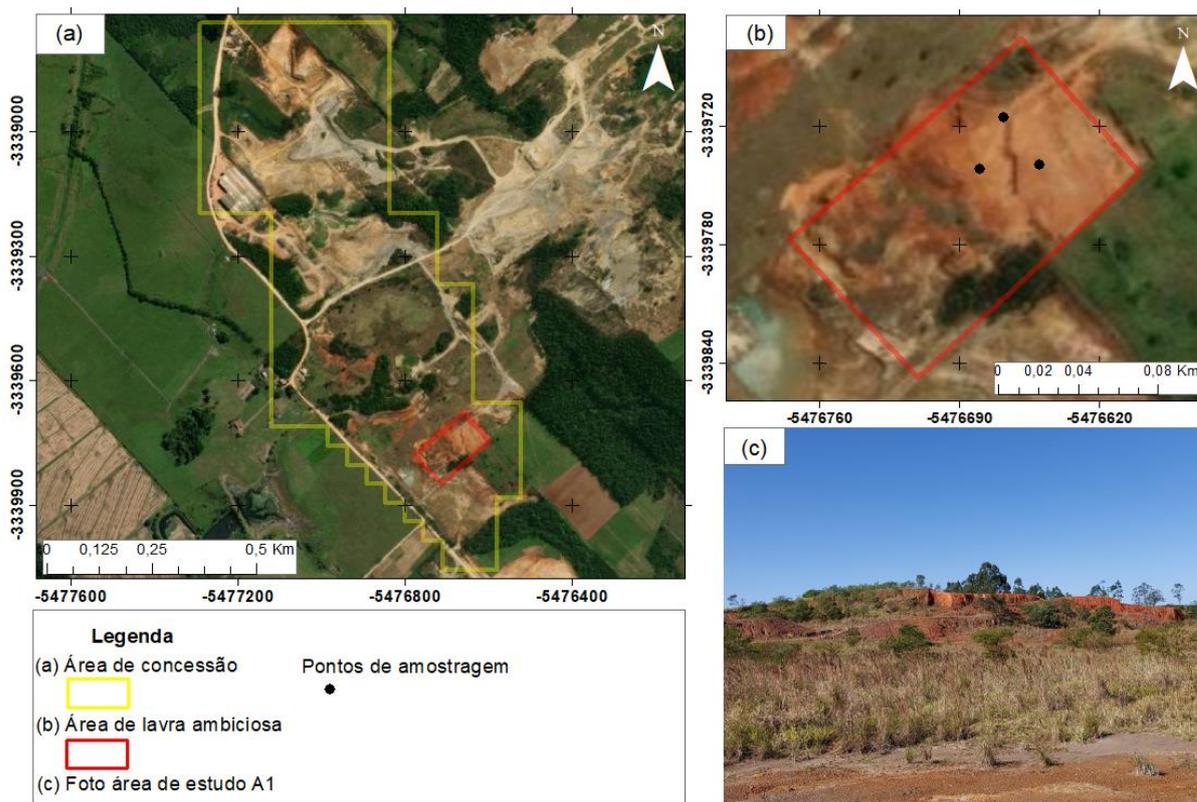
A Área 1 (A1, Figura 4) condiz a uma lavra de argila concedida pela COOPEMI, tendo o processo minerário na ANM nº 815.679/2007 compreendendo 42,06 hectares de área de concessão, licenciada pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMASC) por meio da licença de operação nº 6862/2019, com total de 30,5 hectares de área licenciada.

No momento atual, essa jazida encontra-se parcialmente exaurida, porém, permaneceu na área licenciada cerca de 1,28 ha de mineral menos nobre (“lavra ambiciosa” ou de baixo valor agregado).

A Área 1 (A1) está localizada geograficamente no Membro Rio do Sul, que constitui o terceiro grande ciclo de granodecrescência ascendente do Grupo Itararé, onde ocorrem folhelhos e siltitos cinza escuros a pretos, diamictitos e conglomerados com acamadamento gradacional, ritmitos, varvitos com seixos pingados e arenitos muito finos a médios, com laminações plano-paralelas e cruzadas, onduladas, convolutas, *climbing*, *flaser* e *hummocky*.

A argila (A1) é extraída em taludes e por isso é comumente denominada de “argila de morro”, sendo aplicada no processo fabril como argila arenosa, ou seja, *siliceous clay*, a cor avermelhada da argila pode ter influência da presença de óxido de ferro (Fe_2O_3), o que caracteriza a coloração avermelhada após queima, usada para fabricação de cerâmica vermelha (*brick clay*) (SANTOS, 1989; ZACCARON, 2018).

Figura 4 - Localização espacial da Área 1, (a) área de concessão, (b) área de lavra ambiciosa, e (c) imagem da área de estudo.



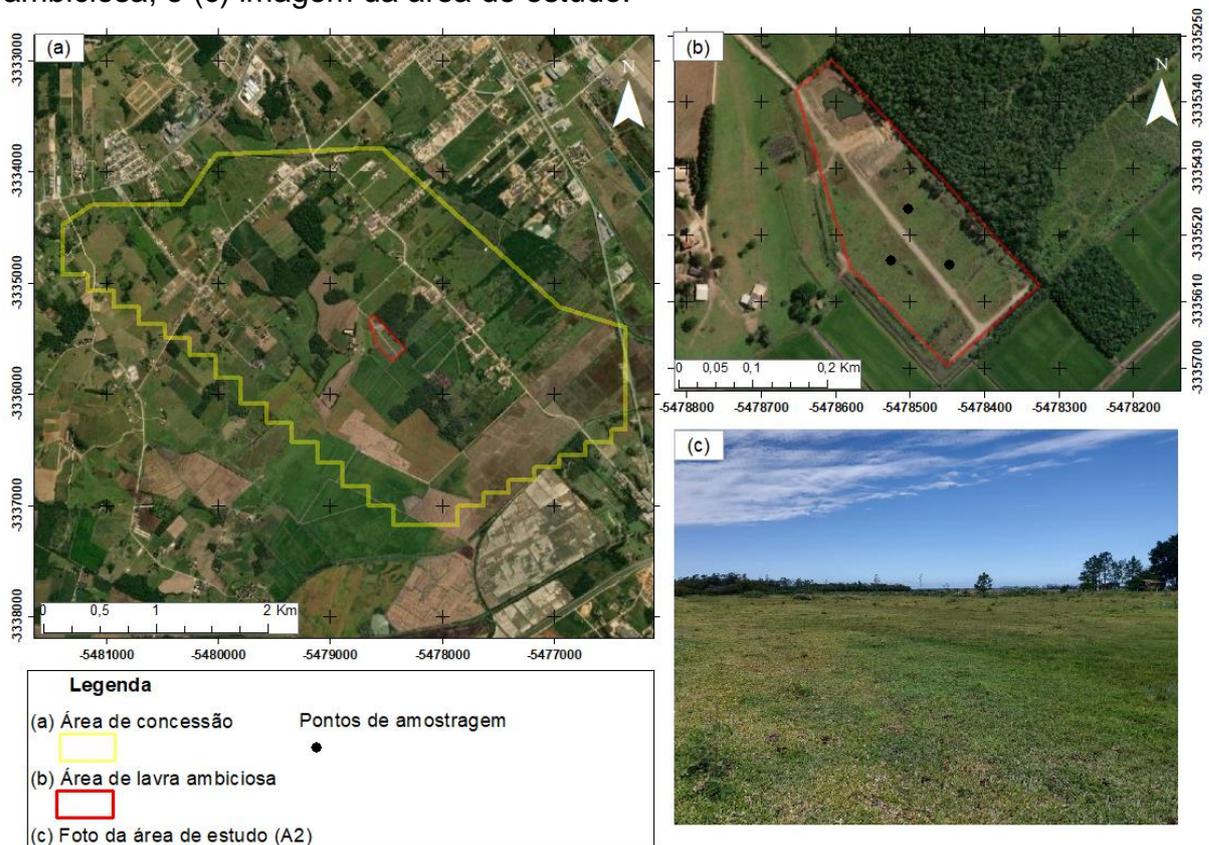
Fonte: Autora (2022).

5.2.2 Área 2

A Área 2 (A2, Figura 5) corresponde a uma lavra de argila pelo método a céu aberto, de operacionalidade da COOPEMI. Essa área tem processo mineralógico nº

815.676/2007 na ANM, compreendendo 752,95 hectares. A área licenciada da mina no IMASC é de 55,54 ha, sob a licença de operação nº 8230/2019.

Figura 5 - Localização espacial da Área 2, (a) área de concessão, (b) área de lavra ambiciosa, e (c) imagem da área de estudo.



Fonte: Autora (2022).

Essa jazida encontra-se paralisada, porém, permaneceram na área licenciada cerca de 4,56 ha de mineral menos nobre.

O material oriundo da Área 2 (A2) é originário de extração de cava alagada (ambiente de várzea), apresenta textura bastante característica. Com base nisso, e com a posição geográfica, a área da jazida tem características de depósitos aluvionares, que em teoria são sedimentos silteco-argilosos.

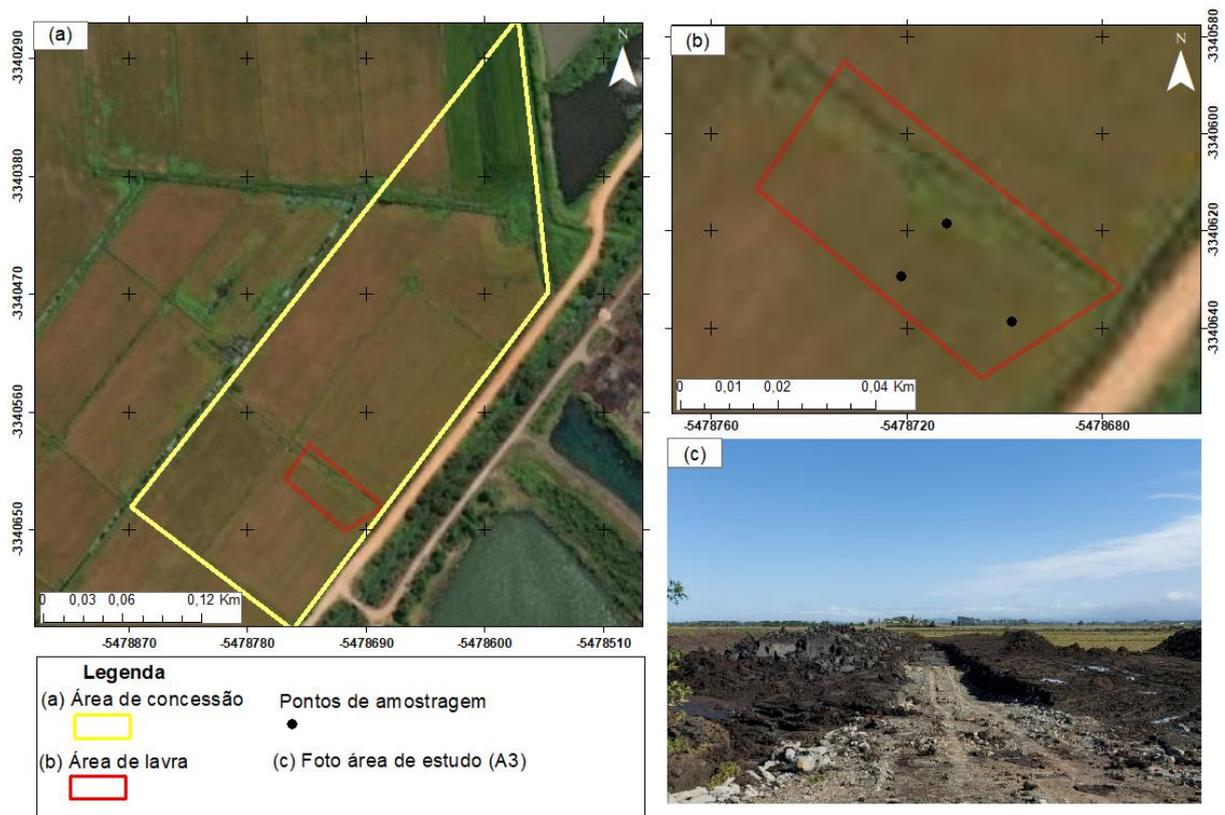
Classifica-se tal mineral como sendo *aluvial clay*, caracterizando-se com um local de depósito de camadas superficiais (alteração) de morros do entorno, que por meio de processos gravitacionais e ação das chuvas, depositaram ao longo de muitos anos os sedimentos naquela área. Essa alta quantidade de quartzo também podem defini-la como *siliceous clay*. A coloração de tonalidade escura do material

pode ser explicada pelo baixo percentual de óxido de ferro (Fe_2O_3), e possível teor de matéria orgânica (SANTOS, 1989; ZACCARON, 2018).

5.2.3 Área 3

A Área 3 (A3, Figura 6) corresponde à lavra de material argiloso explorada pelo método a céu aberto, assim como as duas anteriores, pertencente à COOPEMI. Essa área tem processo minerário na ANM nº 815.304/2020, com área de concessão de 50 hectares. Está licenciada no IMASC sob processo nº 1716/2022, com área licenciada de 11,40 ha.

Figura 6 - Localização espacial da Área 3, (a) área de concessão, (b) área de lavra, e (c) imagem da área de estudo.



Fonte: Autora (2022).

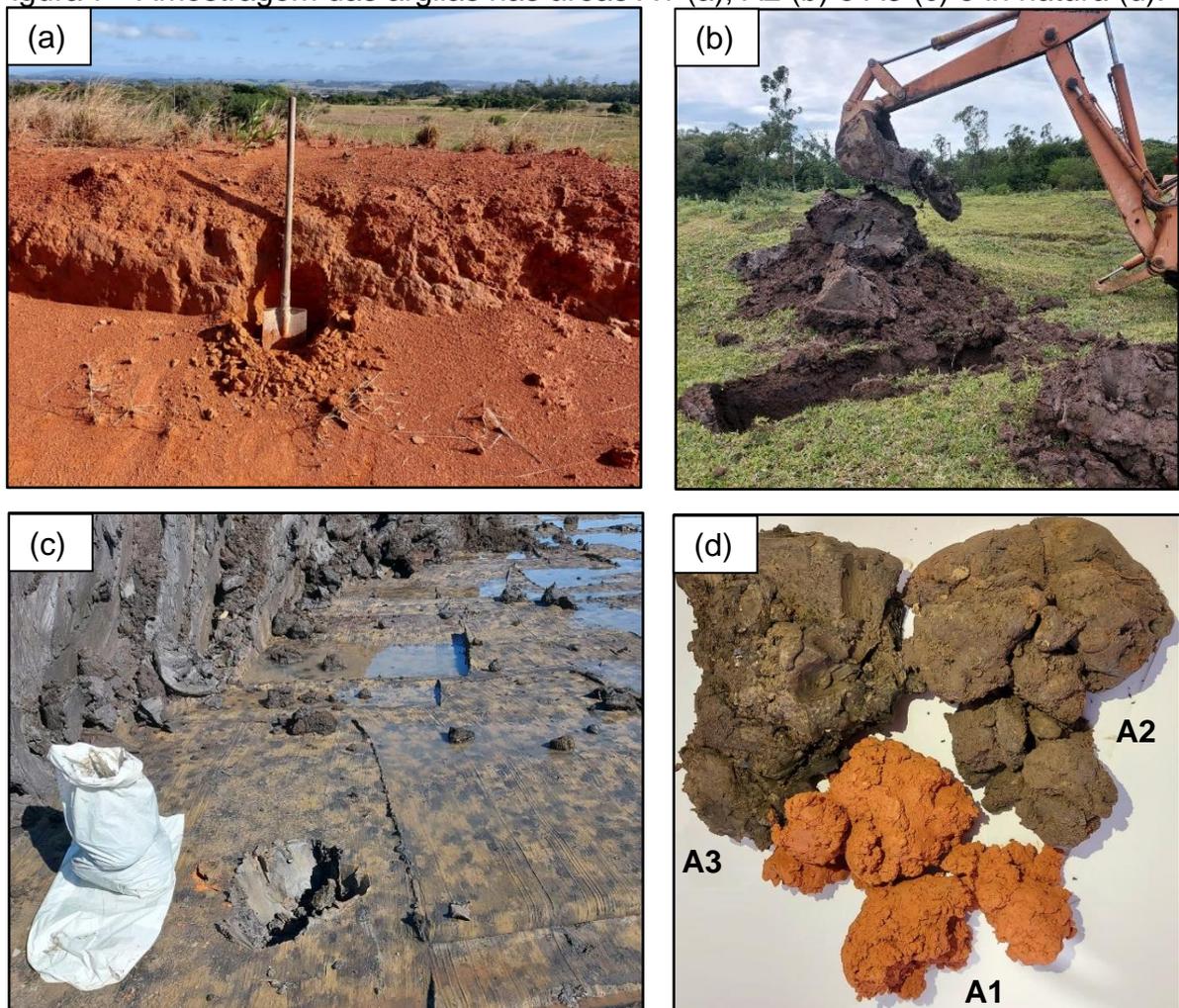
O material argiloso da A3 é extraído em área de cava alagada (várzea) sendo da Era Cenozoica (Quaternário), oriunda de depósitos sedimentares relacionados a oscilações glacio-eustáticas, e por ser extraída em área inundada (várzea), é classificada como *flood-plain clay*. É uma argila de alto teor plástico, e foi utilizada nesse estudo como plastificante, uma vez que nas cerâmicas vermelhas da

região é utilizada para essa finalidade, sendo, portanto, caracterizada como *brick clay*. Como está em um ambiente de várzea, é caracterizada como argila transportada, estando nos Depósitos Flúvio Lagunares (Quaternário) (SANTOS, 1989; ZACCARON, 2018).

5.3 AMOSTRAGEM DAS ARGILAS

A coleta do material argiloso nas três áreas foi conduzida igualmente, passando pela retirada da amostra de três pontos distintos (conforme indicado nas Figuras 4(b), 5(b) e 6(b)). Para cada ponto de amostragem, foram extraídos aproximadamente 30 kg, num total de 90 kg para cada argila, e acondicionados em sacos plásticos separadamente. A Figura 7 ilustra o processo de coleta das amostras.

Figura 7 - Amostragem das argilas nas áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c) e *in natura* (d).



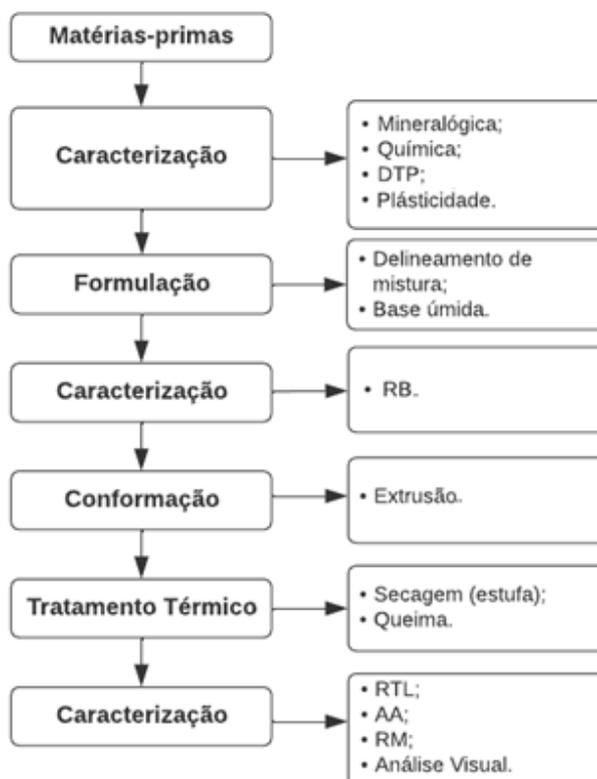
Fonte: Autora (2022).

Na Área 1, a amostragem foi nos taludes, com auxílio de uma pá reta, como observado na Figura 7(a). Na Área 2, a amostragem foi realizada utilizando retroescavadeira hidráulica (Figura 7(b)). Foi retirada a camada superficial para remover a cobertura vegetal, e posteriormente, a amostragem foi efetuada entre 2 e 3 metros de cada ponto de amostragem. Por fim, a amostragem na Área 3 foi realizada com uma pá reta (Figura 7(c)), a cerca de 1,5 m de profundidade. As argilas estudadas podem ser observadas *in natura* na Figura 7(d).

5.4 EXPERIMENTO DE BANCADA

Foram desenvolvidas diferentes formulações e corpos de prova para avaliar o potencial de aproveitamento do material argiloso menos nobre no setor de cerâmica estrutural. A Figura 8 ilustra o fluxograma com as etapas desenvolvidas no trabalho.

Figura 8 - Fluxograma das etapas desenvolvidas.



Fonte: Autora (2022).

O estudo de investigação foi desenvolvido em escala de bancada junto ao Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha (LabCer) do Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha (SINDICER), em Morro da Fumaça. Os testes analíticos e

morfológicos foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM do SENAI, enquanto que o ensaio mecânico, foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos do IDT/iParque, da Unesc.

5.4.1 Matérias-primas

As argilas comuns para cerâmica vermelha têm como principal característica a cor de queima avermelhada, essa propriedade deve-se ao alto conteúdo de óxido de ferro total (MARCIANO MOTTA *et al.*, 2004).

As matérias-primas que podem ser classificadas de plásticas e não-plásticas ambas exercem suas funções ao longo de todo o processo cerâmico. As plásticas são essenciais na fase de conformação, enquanto que as não-plásticas atuam mais na fase do processamento térmico (TOMI *et al.*, 2000).

Neste trabalho foram utilizadas duas argilas provenientes de jazidas de empréstimo (A1 e A2), com baixo teor de plasticidade, que não vêm sendo aproveitadas pelo setor de cerâmica vermelha. Este fato ocorre, pois, a cultura do setor é de introduzir argilas com maior plasticidade. Para complementar a trabalhabilidade das formulações foi utilizada a argila (A3) com alto teor de plasticidade, com maior valor agregado para as cerâmicas da região.

As argilas após amostradas foram encaminhadas ao laboratório, para passarem por processo de laminação, visando diminuir os torrões maiores. Vencida esta etapa, estas foram acondicionadas em sacos para não alterar o teor de umidade.

5.4.2 Caracterização das matérias-primas

A caracterização do material argiloso se faz de grande importância para verificar as propriedades de cada uma dessas. Inicialmente, a avaliação química e mineralógica pode dar substanciais informações referentes aos óxidos e como esses estão agrupados, que se fazem presentes nas argilas e assim, saber o teor de argilominerais e outros minerais que constituem as matérias-primas.

A verificação morfológica por meio da distribuição do tamanho de partículas pode dar subsídios referentes ao empacotamento durante o processo de conformação, e dar informações alusivos a outras propriedades das matérias, como a plasticidade, por exemplo. Essa por fim é um fator determinante na fabricação de

materiais cerâmicos, pois está associada à trabalhabilidade da argila, e permite a conformação por extrusão, método mais tradicional para produção de cerâmica vermelha.

a) Análise química

A verificação das características químicas das argilas foi realizada por espectrometria de fluorescência de raio-X (Axios Max Panalytical) por dispersão de comprimento de onda (WDXRF), no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais – LDCM do SENAI. O ensaio de fluorescência de raios X (FRX) é método mais usual para obtenção dos óxidos presentes nas amostras cerâmicas (COMIN *et al.*, 2021a).

b) Análise mineralógica

A técnica de difração de raios X tem sido amplamente utilizada para a determinação de fases cristalinas em materiais cerâmicos (ALBERS *et al.*, 2002), a partir desta análise foi possível fazer a rápida identificação de partículas das argilas (VARELA *et al.*, 2005).

Para determinar as fases cristalinas presentes nas amostras argilosas utilizou-se o difratômetro de raios-X, DRX -D8 Advance Bruker, com tubo de cintilação e radiação incidente $\text{CuK}\alpha$ nas condições de 40 kV e 40 mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são de 4 s para $0,02^\circ$ do goniômetro e 4° a 72° 2 teta, respectivamente e a quantificação das fases cristalinas identificadas na amostra foram realizadas pelo Método de Rietveld (RIETVELD, 1969), sendo esse ensaio realizado no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM do SENAI.

c) Distribuição do tamanho de partículas

A distribuição do tamanho de partículas (DTP) apresenta o tamanho médio dos grãos das argilas (ZACCARON *et al.*, 2022), sendo determinada por difratometria a laser em equipamento CILAS 1064 variando de $0,04\ \mu\text{m}$ a $500\ \mu\text{m}$ por 60 s utilizando poliacrilato de sódio (Disperlan LP/G, Lamberti Brasil) como dispersante, realizado no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM do SENAI.

d) Plasticidade

A plasticidade é uma propriedade básica da argila que permite que forme um corpo plástico, e que quando submetido à ação de uma força, este se deforme e conserve perfeitamente essa forma após a interrupção da força aplicada (MODESTO; BERNARDIN, 2008). No processo de fabricação de cerâmica vermelha, principalmente em elementos vazados, o método de extrusão é o mais indicado. Para uma melhor eficiência no processo, o teor de plasticidade se torna uma propriedade importante (GÖHLERT; UEBEL, 2009; VERÁSTEGUI-FLORES; DI EMIDIO, 2014).

A plasticidade dos materiais argilosos depende de sua composição mineralógica, dispersão, forma das partículas e do estado da superfície das partículas e da presença de sais solúveis (ROMANENKO, 2002).

O teste de *Pfefferkorn* é amplamente utilizado na obtenção do índice de plasticidade de argilas, devido ao baixo custo do equipamento empregado, cuja medição é baseada no teor de umidade no qual o material tem alguma consistência definida arbitrariamente. Nesse teste, altos teores de umidade estão associados à alta plasticidade e vice-versa (RIBEIRO; FERREIRA; LABRINCHA, 2003; ANDRADE; AL-QURESHI; HOTZA, 2011).

As argilas foram analisadas quanto a sua plasticidade por meio de um plasticímetro de *Pfefferkorn* (NATREB, Figura 9).

Figura 9 - Plasticímetro de *Pfefferkorn* utilizado para determinação do índice de plasticidade.



Fonte: Casagrande, (2017).

O coeficiente de plasticidade determinado por *Pfefferkorn* corresponde à porcentagem de água presente, para a qual o corpo de prova foi calculado tendo em vista a sua deformação em relação à dimensão inicial, de acordo com a Equação 1.

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_f}{h_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

ε = deformação plástica (%).

h_0 = altura inicial (mm).

h_f = altura final (mm).

Foram realizados ensaios para cada uma das argilas, a fim de medir a plasticidade de Atterberg (ATTERBERG, 1911), por meio do limite líquido (LL) conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016a), e o limite plástico (PL), conforme a NBR 7180 (ABNT, 2016b). A preparação das amostras de pó para ambos os ensaios seguiu a NBR 6457 (ABNT, 2016c). Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Solos da SATC. Com base nos limites obtidos, encontra-se o Índice de Plasticidade, de acordo com a Equação 2, e são classificadas com base no Quadro 1.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Onde:

IP = Índice de Plasticidade.

LL = Limite Líquido.

LP = Limite Plástico.

Quadro 1 - Classificação das argilas conforme Índice de Plasticidade (IP).

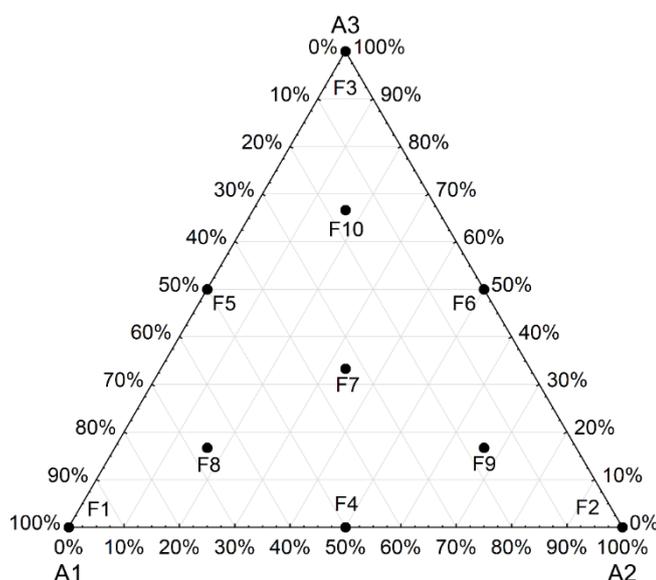
IP	Classificação
0	Não plástico
1-5	Pouco plástico
5-10	Baixa plasticidade
10-20	Média plasticidade
20-40	Alta plasticidade
>40	Muito plástico

Fonte: Burmister, (1949).

5.4.3 Formulações

O desenvolvimento das formulações foi determinado pelo método de delineamento de misturas (simplex centroide), que consiste em investigar diferentes formulações com teores das argilas distintos. Resulta na investigação completa de um diagrama (Figura 10). Para este estudo, foram definidas 10 formulações (Tabela 1), partindo das argilas puras (100%), de acordo com os vértices do diagrama, e interações de duas vias (lados) e três vias (centroides), a fim de otimizar a pesquisa. O delineamento de misturas proporcionou escolher um modelo matemático eficaz para previsão das propriedades de cada componente original, bem como das composições em determinadas proporções.

Figura 10 - Diagrama triaxial das composições desenvolvidas.



Fonte: Autora (2022).

Tabela 1 - Composições das massas cerâmicas utilizando as matérias-primas selecionadas, de acordo com o plano de misturas.

Formulação	Matéria-prima (%)		
	Argila 1 (A1)	Argila 2 (A2)	Argila (A3)
F1	100	0	0
F2	0	100	0
F3	0	0	100
F4	50	50	0
F5	50	0	50
F6	0	50	50
F7	33,3	33,3	33,3
F8	66,6	16,7	16,7
F9	16,7	66,6	16,7
F10	16,7	16,7	66,6

Fonte: Autora (2022).

Após determinadas as umidades *in natura* foram realizadas as misturas desconsiderando o teor de umidade. Ao todo, aproximadamente 10 kg (massa seca) foram utilizados para cada formulação. Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha (LabCer), em Morro da Fumaça.

Para validar os resultados obtidos, foi realizado um tratamento estatístico, onde os testes tecnológicos foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e plotados como superfícies de resposta para auxiliar em sua interpretação. A confiabilidade (ou probabilidade) foi fixada em 95%. Para a análise foram considerados o maior valor de F (que implica maior significância) e o menor valor de p (que implica maior confiabilidade); $p = 100 \times (1 - \text{p-valor})$. Os resultados obtidos para a determinação do modelo ou coeficiente de ajuste (R^2) serviram como ferramentas determinantes na escolha do modelo adotado. Para a realização dessa etapa, foi utilizado o *software* Statistica 10.0 (StatSoft©).

Após a análise do tratamento estatístico, os limites com melhores resultados obtidos foram indicados para validação do estudo. Foram desconsideradas as formulações que apresentaram absorção de água fora do limite estabelecido por norma (entre 8 e 25 %) e resistência mecânica <1,5 MPa.

5.4.4 Caracterização das formulações

a) Resíduo bruto (RB)

Uma pequena amostra de cada formulação foi retirada para obtenção do resíduo bruto, que é a porção de material que não pode ser desagregado sem o auxílio de alguma ferramenta ou método de cominuição (ZACCARON *et al.*, 2014). O ensaio consistiu em analisar o percentual do material retido em peneira 325 mesh através da Equação 4.

$$Rb = \frac{m_r}{m_{am}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

Rb = resíduo bruto (%).

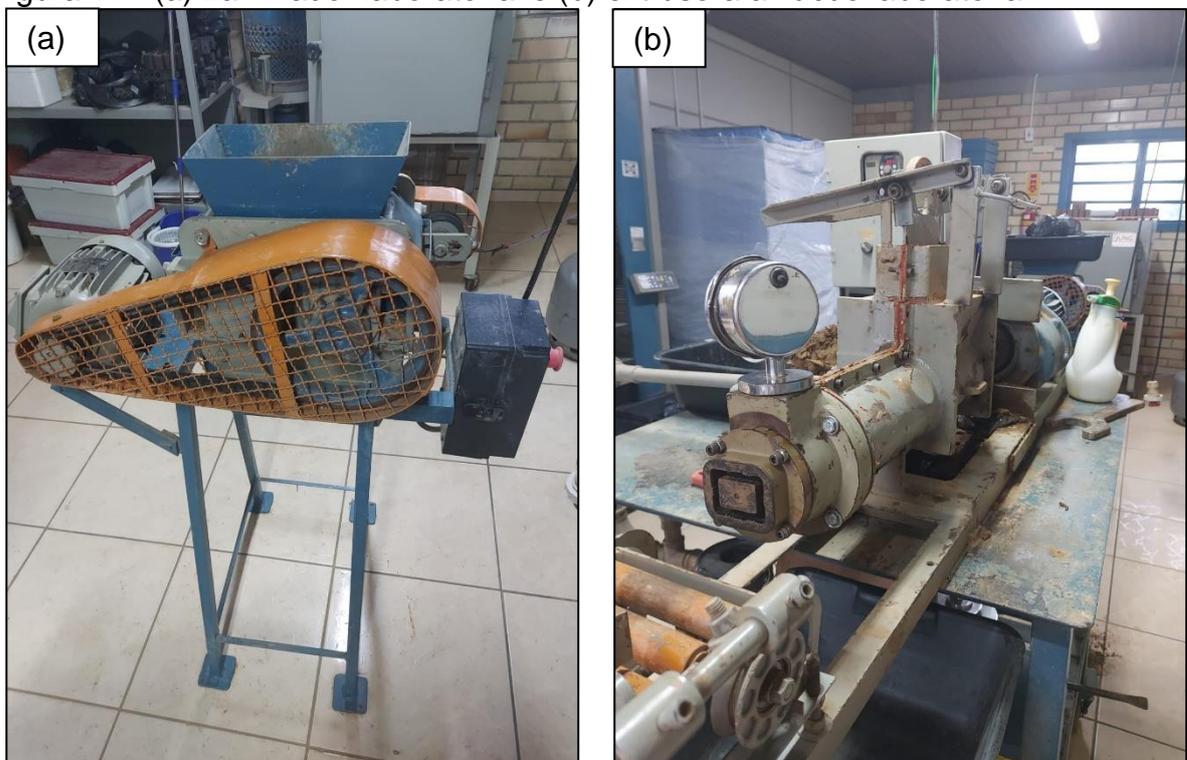
m_r = massa retida (g).

m_{am} = massa amostra inicial (g).

5.4.5 Conformação

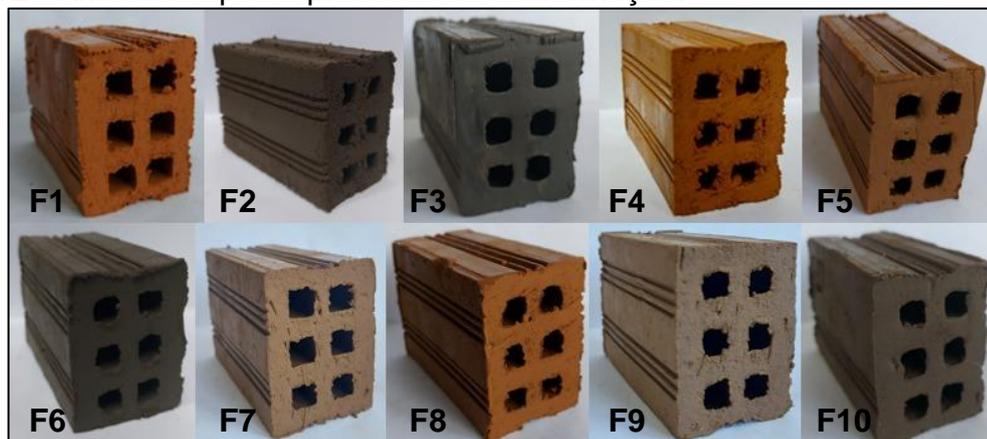
Inicialmente, cada formulação foi laminada (Laminador Bertan, LB140, Figura 11a) e guardada em sacos plásticos para melhor homogeneização da umidade. A conformação das amostras se deu pelo método de extrusão (extrusora a vácuo Natreb, modelo NTB 140, Figura 11b), com pressão de vácuo 760 mm Hg, velocidade de RPM do caracol de 20 giros/min, sendo conformados 30 corpos de prova por formulação, com medidas de 36,5 x 51 x 70 mm³ (Figura 12).

Figura 11 - (a) Laminador laboratorial e (b) extrusora a vácuo laboratorial.



Fonte: Autora (2022).

Figura 12 - Amostras após o processo de conformação.



Fonte: Autora (2022).

5.4.6 Tratamento térmico

Uma vez conformadas, as amostras passaram por tratamento térmico, iniciando pela secagem (estufa DeLeo nº 2211, Figura 13a) a uma temperatura de $50^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ em um período de 24h e $100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por mais 24h para eliminação da umidade de conformação. A Figura 14 ilustra os corpos de prova após o processo de secagem.

Na sequência, os corpos de prova seguiram para queima em forno mufla (Jung, modelo J200, Figura 13b), com taxa de aquecimento de $1,7^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temperatura de 900°C e patamar de queima de 120 min. Devido à capacidade do forno mufla, foi necessário realizar três processos de queima (triplicata) com 100 corpos de prova por vez. Para cada queima utilizou-se 10 corpos de prova de cada formulação.

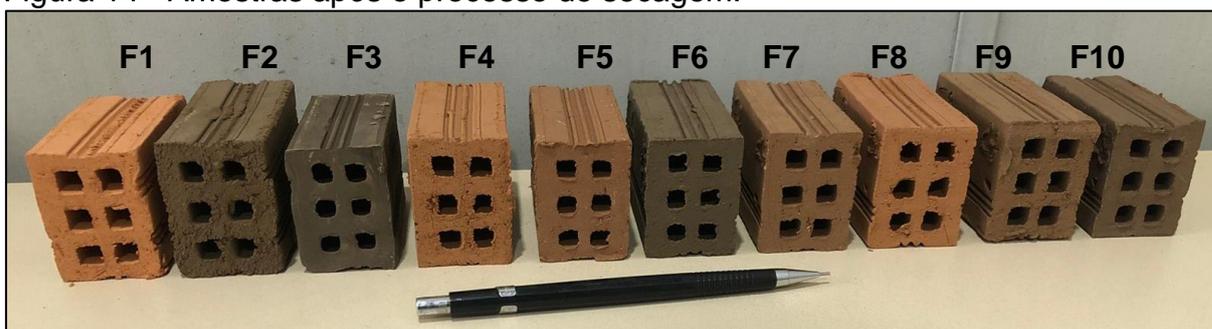
O ciclo de queima utilizado é tradicional nas indústrias cerâmicas. O resfriamento do forno foi lento para minimizar a possibilidade de choque térmico. A Figura 15 ilustra os corpos de prova após o processo de queima.

Figura 13 - (a) Estufa elétrica e (b) forno mufla.



Fonte: Autora (2022).

Figura 14 - Amostras após o processo de secagem.



Fonte: Autora (2022).

Figura 15 - Amostras após o processo de queima.



Fonte: Autora (2022).

5.4.7 Caracterização dos corpos de prova

Esta etapa contou com os ensaios de retração térmica, absorção de água, resistência mecânica e análise visual.

a) Retração térmica linear

As amostras conformadas foram medidas (com paquímetro manual UNIVERSAL, precisão de 0,02 mm) para aferição das medidas a verde (corpo de prova), e após secas, novamente medidas para obtenção da retração térmica linear de secagem, de acordo com a Equação 5.

$$RTL_s = \frac{(L_0 - L_s)}{L_0} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

RTL_s = retração térmica linear de secagem (%).

L_0 = comprimento inicial das peças cruas (mm).

L_s = comprimento das peças pós secas (mm).

Após processo de queima, todas os corpos de prova foram novamente medidos (com paquímetro manual UNIVERSAL, precisão de 0,02 mm) para obtenção da retração térmica linear de queima, de acordo com a Equação 6.

$$RTL_q = \frac{(L_s - L_f)}{L_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

RTL_q = retração térmica linear de queima (%).

L_s = comprimento das peças pós secas (mm).

L_f = comprimento final das peças pós queima (mm).

b) Absorção de água

Os corpos de prova uma vez queimados foram pesados (balança Marte, AC 10K, precisão de 0,1 g) e colocados em submersão em água para obtenção da absorção de água. O ensaio foi realizado por meio da Equação 7 em conformidade com a norma técnica 15270 -2/2017 (ABNT, 2017a).

$$AA = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

AA = absorção de água (%).

m_u = massa úmida (g).

m_s = massa seca (g).

c) Resistência mecânica

O ensaio de resistência mecânica à compressão dos corpos de prova queimados foi realizado baseado na norma técnica NBR 15270-2 (ABNT, 2017a) sendo avaliadas 15 peças (selecionadas cinco de cada ciclo de queima). O ensaio foi realizado em máquina universal de ensaios (EMIC DL 10000) com taxa de aplicação de força de 100 N/s no Laboratório de Ensaio Mecânicos do IDT/iParque.

d) Análise visual

Ao final foi realizada a análise visual, que consiste em verificar se os corpos de prova apresentam defeitos sistemáticos, tais como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam o seu emprego na função especificada, e também para averiguar a coloração final.

5.5 ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DAS ARGILAS MENOS NOBRES

Foram consultados e analisados os planos de aproveitamento econômico das duas jazidas (A1 e A2) com intuito de verificar o volume de material extraído e o disponível de argilas menos nobres, para identificar a vida útil das jazidas.

Para tanto, foram levantados em escritório e junto ao pessoal da área técnica da COOPEMI os volumes disponíveis destas duas jazidas. A partir dos volumes determinou-se a vida útil das jazidas.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

a) Análise química

A caracterização química das argilas estudadas (Tabela 2) ilustram majoritariamente a presença de sílica (SiO_2) seguida de alumina (Al_2O_3). É possível observar que para a sílica o teor é mais acentuado em A2 (85,33%), que pode estar associado à elevada quantia de “sílica livre”, não sendo usuais na fabricação de cerâmica vermelha, e a alumina com 7,98% que pode estar relacionada ao elevado teor de sedimentos, que proporcionalmente minimiza o teor dos demais óxidos. Argilas com proporções >80% de SiO_2 foram estudadas por Zaccaron *et al.* (2020b). Já as argilas A1 e A3 apresentam teores de SiO_2 (57,57% e 69,08% respectivamente) e alumina (22,51% e 18,20% respectivamente), em um range mais usual em argilas utilizadas na fabricação de materiais cerâmicos (DONDI, 1999; NYAKAIRU; KURZWEIL; KOEBERL, 2002; BACCOUR *et al.*, 2008; MOHSEN; EL-MAGHRABY, 2010; MANOHARAN *et al.*, 2011).

Os óxidos alcalinos e alcalino-terrosos (CaO , MgO , K_2O e Na_2O) facilitam a sinterização dos materiais cerâmicos (TSOZUÉ *et al.*, 2017), pois são mineralizadores. Esses óxidos somam <1% para todas as argilas estudadas.

Também verificou-se a presença de óxidos cromóforos (Fe_2O_3 e TiO_2), que conferem coloração nas peças após a queima (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2014; IMEN *et al.*, 2021). Destaca-se a presença de 8,95% de Fe_2O_3 em A1. Portanto, os óxidos colorantes são mais evidenciados em A1 com ~10%, já A2 e A3 apresentam 2,56% e 4,45% respectivamente desses óxidos.

A perda ao fogo (P.F.) é associada à quantidade de H_2O quimicamente combinada (e às vezes conteúdo de matéria orgânica) em materiais inorgânicos (MAESTRELLI *et al.*, 2013; ABUBAKAR *et al.*, 2014). É possível observar que A2 apresentou menor P.F. (3,67%), possivelmente devido ao elevado teor de “sílica livre”. Já as amostras A1 e A3 apresentam 9,09% e 7,20% de P.F. respectivamente, podendo estar associado à desidroxilação dos minerais argilosos e eliminação da matéria orgânica (LOUTOU *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2022).

Tabela 2 - Composição química (por FRX) de amostras de argila.

Óxidos (%)	Argilas		
	A1	A2	A3
SiO ₂	57,57	85,33	69,08
Al ₂ O ₃	22,51	7,98	18,20
CaO	<0,05	<0,05	0,13
Fe ₂ O ₃	8,95	1,84	2,95
K ₂ O	0,31	0,34	0,55
MgO	0,15	ND	0,26
MnO	0,05	<0,05	<0,05
Na ₂ O	<0,05	<0,05	0,07
P ₂ O ₅	0,10	<0,05	<0,05
TiO ₂	1,12	0,72	1,50
P.F.	9,09	3,67	7,20

ND: não detectado.

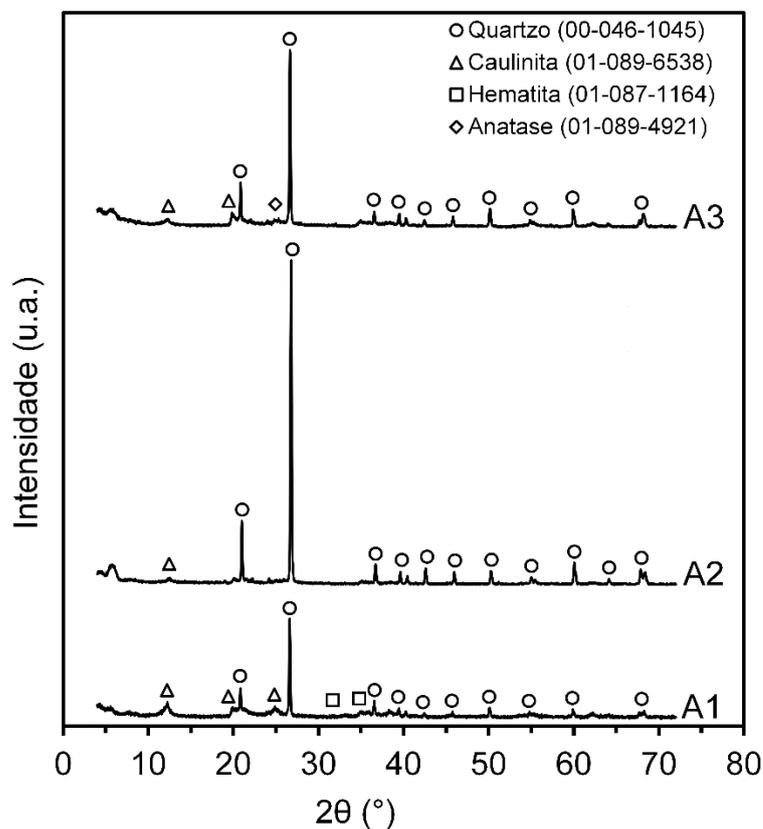
P.F.: Perda ao Fogo.

Fonte: Autora (2022).

b) Análise mineralógica

Os óxidos dos elementos químicos presentes na Tabela 2 em sua forma mais estável são apresentados no difratograma da Figura 16.

Figura 16 - Difratogramas de raios X referente às argilas estudadas.



Fonte: Autora (2022).

Para todas as amostras foi possível observar a presença majoritária de quartzo (SiO_2 - JCPDS 00-046-1045) e o argilomineral caulinita ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - JCPDS 01-089-6538). Também se observa a existência dos minerais acessórios como hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ - JCPDS 01-087-1164) e anatase (TiO_2 - JCPDS 01-089-4921).

Com base nas fases identificadas, verifica-se que as argilas são caulínicas, comumente empregadas na fabricação de cerâmicas (GARCIA-VALLES et al., 2020). O alto teor de hematita implica uma coloração vermelha característica da argila *in natura* e até mesmo após a queima (JORDAN et al., 2020). A presença de Fe pode contribuir para a formação de eutéticos de baixo ponto de fusão e na redução da refratariedade (SILVA; PEREIRA, 2021). Ainda conforme os autores, a anatase pode ser um agente de variação de tonalidade. Esse mineral é considerado um modificador de vidro, e pode interagir em alta temperatura para formar uma camada cristalina tendo potencial de aumentar a resistência das amostras (ITUMA et al., 2018).

De acordo com a análise quantitativa usando o refinamento de Rietveld, as porcentagens em peso de minerais estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Determinação da quantificação das fases mineralógicas.

Argilas	Fase identificada / Quantificação (%)			
	Quartzo	Caulinita	Hematita	Anatase
A1	32,63	62,26	3,43	1,68
A2	84,32	15,68	-	-
A3	55,01	40,81	-	4,18

Fonte: Autora (2022).

c) Distribuição do tamanho de partículas (DTP)

O conhecimento do tamanho de partículas é importante para se otimizar o processamento e se evitar certos defeitos. É um aspecto fundamental no estudo de argilas, pois a forma e o tipo de composição mineral podem influenciar nos parâmetros físicos da matéria-prima; em alguns casos pode afetar a resistência mecânica, a permeabilidade e a densidade do material. Partículas mais finas tanto podem ajudar no empacotamento (aumentando a densidade da peça), favorecendo o aumento da resistência mecânica; por outro lado, em se tratando de argilominerais, podem dificultar o escoamento da água do interior da peça para a superfície, prejudicando a secagem. Deste modo, a distribuição dos tamanhos das partículas é uma propriedade

de grande relevância para aplicação em cerâmica vermelha (MONTEIRO; VIEIRA, 2004).

As amostras mostram uma distribuição multimodal de tamanhos de partículas (Figura 17). O comportamento multimodal das partículas não esféricas, em relação à densidade de empacotamento, é o mesmo das partículas esféricas, mas com valores de densidade mais baixos (MÜTZE, 2016; WANG *et al.*, 2017). A distribuição granulométrica das matérias-primas nas frações acumuladas de 10%, 50% e 90% e seu tamanho médio de partícula ($D_{\text{médio}}$) são mostrados na Tabela 4.

As argilas A1 e A3 apresentam distribuições com características mais finas, com $D_{\text{médio}}$ de 8 μm . A A2 por sua vez, apresenta um tamanho maior, com tamanho médio de partícula $>85 \mu\text{m}$ e com algumas partículas $>200 \mu\text{m}$.

Figura 17 - Distribuição cumulativa e densidade granulométrica das argilas estudadas.

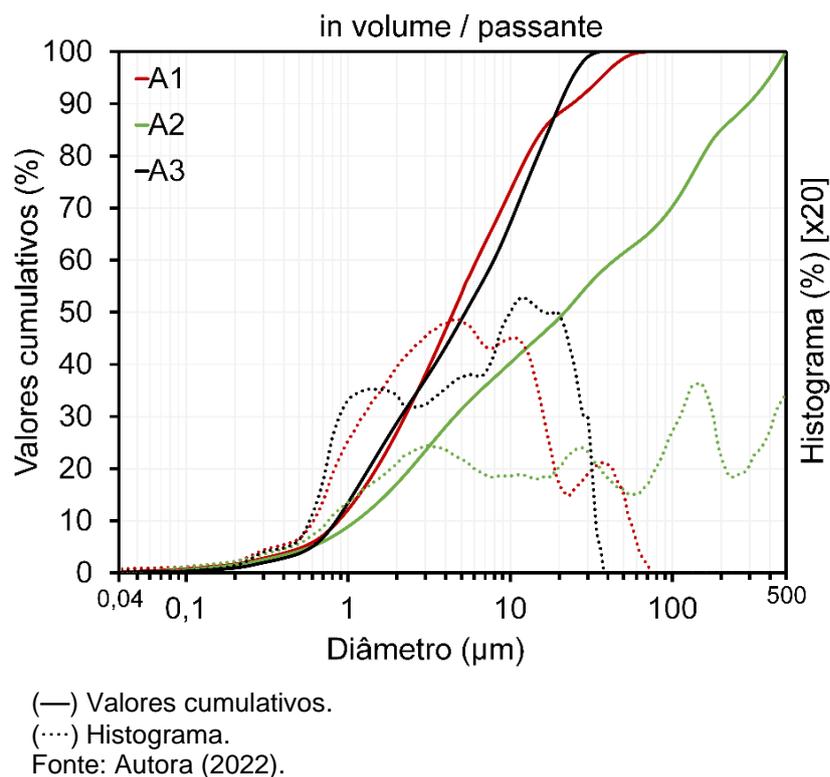


Tabela 4 - Distribuição de tamanho e diâmetro médio de partículas (μm) das argilas estudadas.

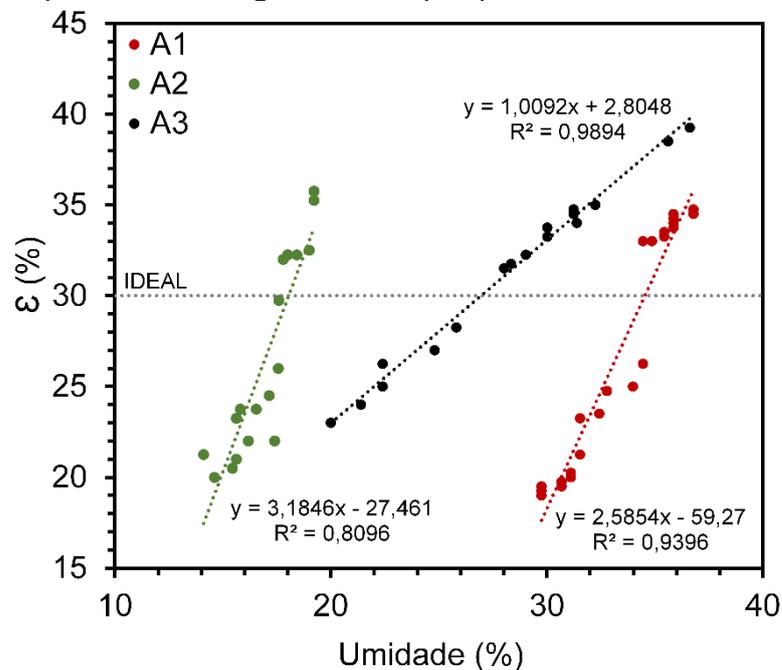
Argilas	Diâmetro (μm)			$D_{\text{médio}}$ (μm)
	10%	50%	90%	
A1	0,87	4,45	24,03	8,81
A2	1,12	21,63	293,60	85,92
A3	0,84	5,29	20,23	8,13

Fonte: Autora (2022).

d) Plasticidade

O índice de plasticidade obtido por *Pfefferkorn*, ilustrado no gráfico da Figura 18, e seus valores expressos na Tabela 5, determina a quantidade de água necessária para atingir uma contração de 30% em relação à altura inicial de um corpo de prova sob a ação de um peso padrão (AMORÓS et al., 1998). O índice de plasticidade por *Pfefferkorn* determina o comportamento sistema argila-água, para conhecer o teor de umidade mais aceitável para trabalhabilidade (DE ANDRADE; AL-QURESHI; HOTZA, 2010; INOCENTE et al., 2017). A A2 apresentou menor teor de umidade para se tornar moldável (18,35%), muito possivelmente associado ao excesso de quartzo livre na matéria-prima. Um maior conteúdo de umidade foi observado em A1 (34,53%), o que mostra que necessita de um alto valor de água para poder ser usada no processo de extrusão. Nesse caso, pode estar associado ao grão do material, que potencializa a necessidade de água para atingir uma umidade ideal para conformação. Por fim, A3 apresentou um teor intermediário de umidade ideal para trabalho (26,94%).

Figura 18 - Índice plástico das argilas obtido por plastímetro de *Pfefferkorn*.



Fonte: Autora (2022).

Tabela 5 - Índice de plasticidade das argilas obtido por plastícimetro de *Pfefferkorn*.

Argilas	A1	A2	A3
Índice de plasticidade (%)	34,53	18,35	26,94

Fonte: Autora (2022).

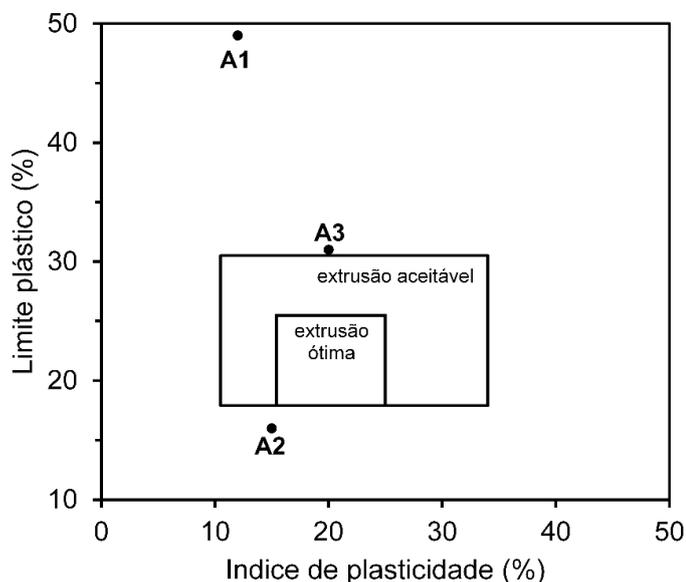
Por sua vez, o Índice de Plasticidade de Atterberg (Tabela 6) apresenta a característica plástica das argilas estudadas, e segundo classificação de Burmister (1949) A1 e A2 apresentam plasticidade moderada (12% e 15%), já A3 se enquadra em argila de alta plasticidade (20%). Com base nos resultados obtidos, desenvolveu-se o índice de trabalhabilidade de argilas (Figura 19) conforme estabelecido por Marsigli e Dondi, (1997). Para a A1, apesar de seu reduzido tamanho médio de partículas (muito próximo de A3, que apresentou alto teor de plasticidade), a baixa plasticidade desenvolvida pode ser em consequência do teor de minerais não plásticos como a hematita (ALVES; BALDO, 1997). Esse fator também pode ter ocasionado um baixo índice de trabalhabilidade. As amostras A2 e A3 ficaram às margens das zonas de extrusão aceitável e ótima, onde *blends* podem ajustar esses índices.

Tabela 6 - Limites de Atterberg das argilas estudadas.

Argilas	LL	LP	IP
A1	61	49	12
A2	31	16	15
A3	51	31	20

Fonte: Autora (2022).

Figura 19 - Índice de trabalhabilidade das argilas.



Fonte: Autora (2022).

e) Umidade *In Natura*

Para realizar as misturas das formulações baseadas na massa seca das argilas, realizou-se a análise do teor de umidade *in natura* das mesmas (Tabela 7). Saber a quantidade de água natural se fez necessário para desconsiderá-la e realizar as misturas equivalente a 10 kg.

Tabela 7 - Teor de umidade *in natura* das argilas estudadas.

Argilas	A1	A2	A3
Umidade <i>in natura</i> (%)	28,0	18,0	28,0

Fonte: Autora (2022).

6.2 FORMULAÇÕES

6.2.1 Caracterização das formulações

a) Resíduo bruto

O ensaio de resíduo bruto se faz de grande importância, pois no processo fabril determina a qualidade do produto, dimensões, resistência mecânica, absorção de água, velocidade de extrusão, secagem e queima (ZACCARON *et al.*, 2020a).

O teor de resíduo bruto ensaiado (Tabela 8) ilustra que a argila A3 (F3) possui a menor presença de sílica livre, e a argila A2 (F2) o maior percentual de sílica livre. Já a argila A1 (F1) por sua vez, apresentou um teor intermediário (18%). Baixo resíduo bruto em um determinado material está associado a um aumento de partículas finas, o que tende a aumentar o fator de empacotamento, o que está ligado a uma maior densificação no processo de secagem. Em contra partida, os maiores teores de resíduo bruto criam uma estrutura que contribui à estabilidade dimensional, porém, o excesso pode prejudicar outras propriedades, como a plasticidade (NANDI *et al.*, 2014).

Tabela 8 - Teor de resíduo bruto das formulações desenvolvidas.

Form.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
RB (%)	18,0	58,0	5,0	39,0	11,0	32,0	26,0	21,0	43,0	16,0

Form.: Formulações.

RB: Resíduo Bruto.

Fonte: Autora (2022).

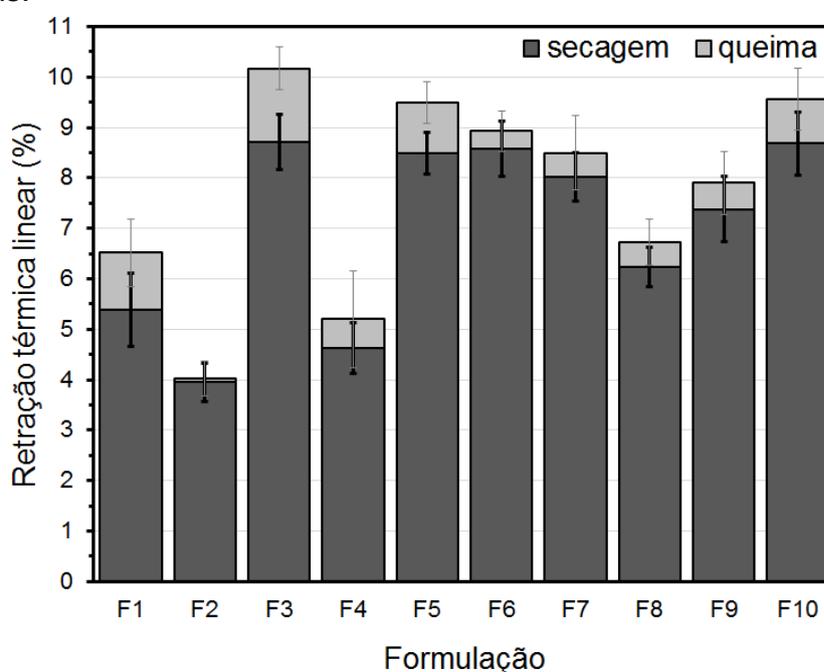
6.2.2 Caracterização dos corpos de prova

a) Retração térmica linear

A retração térmica linear é um parâmetro técnico essencial à produção de cerâmica estrutural, tendo em vista que a geometria é uma das propriedades estabelecidas por norma (ABNT, 2017b).

Pode-se observar na Figura 20 o comportamento de retração das formulações desenvolvidas (resultados expressos no Apêndice A). A argila A3, composta por material com maior plasticidade e menor granulometria, apresenta a maior retração de secagem, associada ao empacotamento durante o processo de eliminação de água de conformação. Já as formulações da argila A2, com maior teor de resíduo bruto, têm menor retração de secagem, uma vez que a presença de material não argiloso auxilia o fenômeno de eliminação de água e de estabilidade dimensional (GÖMZE; GÖMZE, 2008; NASCIMENTO; BELO; DE LIMA, 2015).

Figura 20 - Retração térmica linear de secagem e queima das formulações desenvolvidas.



Fonte: Autora (2022).

Também é possível observar o comportamento da retração térmica de queima, onde A2, que apresenta um alto teor de sílica livre, quase não variou

dimensionalmente pós-queima. Já as argilas A1 e A3 tiveram maior retração de queima. Para essa etapa, um fator determinante é a presença de óxidos fundentes, que potencializam a formação de fase líquida no corpo cerâmico e ajudam a densificar a peça, ocasionando o aumento da retração (COMIN *et al.*, 2021b).

Segundo a literatura (DONDI, 2006), a retração de secagem apresenta uma variação aceitável de 3 a 10 cm/m, e uma variação ótima de 5 a 8 cm/m. Já a retração de queima apresenta uma variação aceitável de 1,5 a 3 cm/m, e uma variação ótima <1,5 cm/m.

A análise de variância (ANOVA) para o ensaio de retração térmica linear total é apresentado na Tabela 9 (Apêndice B). Em destaque na cor vermelha ilustra-se os modelos com confiabilidade estatística >95% (valor-p<0,05). Sendo o modelo linear escolhido pois apresentou maior F-valor, implicando maior significância.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para retração térmica linear total.

Modelo	F	p	R²
Linear	394,58	<0,001	0,73
Quadrático	71,69	<0,001	0,84
Cúbico especial	3,48	0,0629	0,84
Cúbico	77,439	<0,001	0,90

F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste).

Fonte: Autora (2022).

A superfície de resposta para a retração térmica linear total (Figura 21) mostra que A3 apresentou maior retração total (>11%), em contrapartida A2 apresenta a menor retração (<5,25%). A Equação 8 serve como fórmula de ajuste para o modelo linear desenvolvido para esse ensaio.

$$RTL_t = 6,60 \times A1 + 5,20 \times A2 + 11,16 \times A3 \quad (8)$$

Onde:

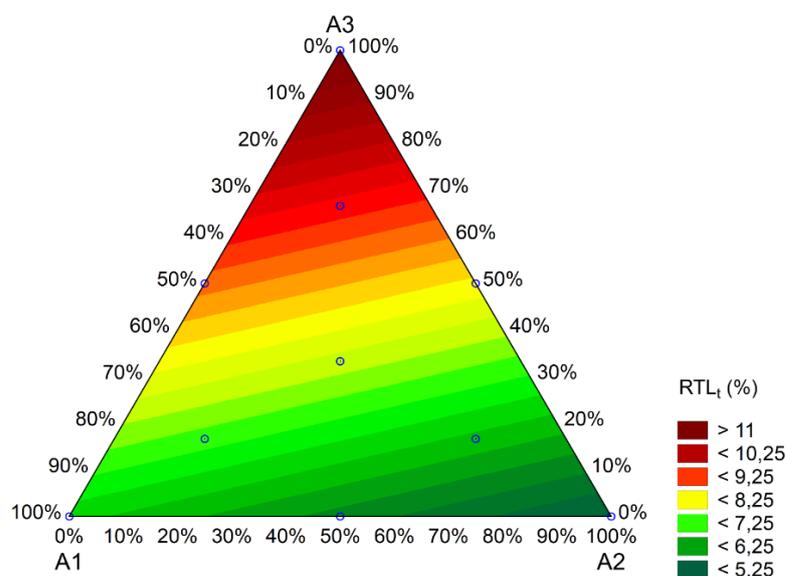
RTL_t = Retração térmica linear total (%).

A1 = argila 1.

A2 = argila 2.

A3 = argila 3.

Figura 21 - Superfície de resposta da retração térmica linear total.



Fonte: Autora (2022)

b) Absorção de água

Os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água, expressos no Apêndice A, foram avaliados por análise de variância (ANOVA), cujo resultado é apresentado na Tabela 10 (Apêndice B). São destacados na cor vermelha todos os modelos que apresentaram confiabilidade estatística >95% (valor-p<0,05), porém, foi escolhido o modelo linear pois o mesmo apresentou maior F-valor, implicando maior significância, e o $R^2 > 0,90$, tendo um bom coeficiente de determinação.

Tabela 10 - Análise de variância (ANOVA) para absorção de água.

Modelo	F	p	R ²
Linear	1068,30	<0,001	0,94
Quadrático	128,82	<0,001	0,98
Cúbico especial	14,88	<0,001	0,98
Cúbico	22,35	<0,001	0,99

F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste).

Fonte: Autora (2022).

A superfície de resposta para o ensaio de absorção de água (AA, Figura 22) mostra que A1 é determinante para o aumento da AA no sistema, e que teores até aproximadamente 50% dessa argila ultrapassam os limites de 25%, que são estabelecidos por norma técnica (ABNT, 2017b). Em contrapartida, as argilas A2 e A3 apresentaram baixo teor de AA, mesmo A2 tendo um alto teor de resíduo, o que

mostra que essa argila pode ser um bom material para implementação em blends, que precisam de estabilidade dimensional. A Equação 9 mostra a fórmula de ajuste para o modelo linear desenvolvido para esse ensaio.

$$AA = 37,08 \times A1 + 14,58 \times A2 + 14,39 \times A3 \quad (9)$$

Onde:

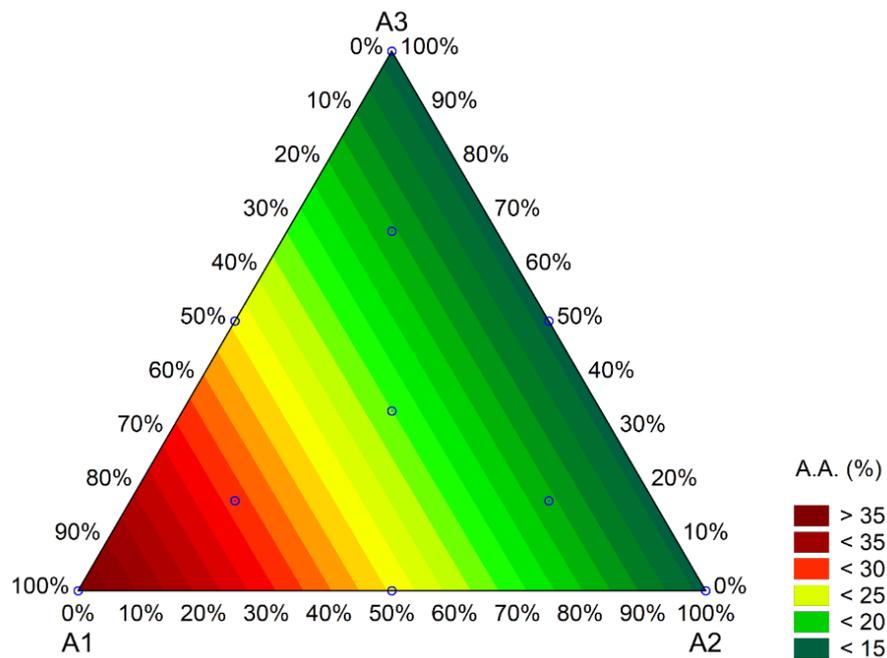
AA = Absorção de água (%).

A1 = argila 1.

A2 = argila 2.

A3 = argila 3.

Figura 22 - Superfície de resposta da absorção de água.



c) Resistência mecânica

Os resultados de resistência mecânica, que também estão expressos no Apêndice A, foram submetidas à análise de variância (ANOVA), e o resultado obtido é apresentado na Tabela 11 (Apêndice B). Na cor vermelha é possível ver que todos os modelos apresentaram confiabilidade estatística >95% (valor-p<0,05), sendo que o modelo utilizado foi o linear pois apresentou o maior F-valor, implicando maior

significância. O R^2 é uma medida estatística que representa a proporção da variância de uma variável dependente que é explicada por uma variável ou variáveis independentes em um modelo de regressão.

Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) para resistência mecânica.

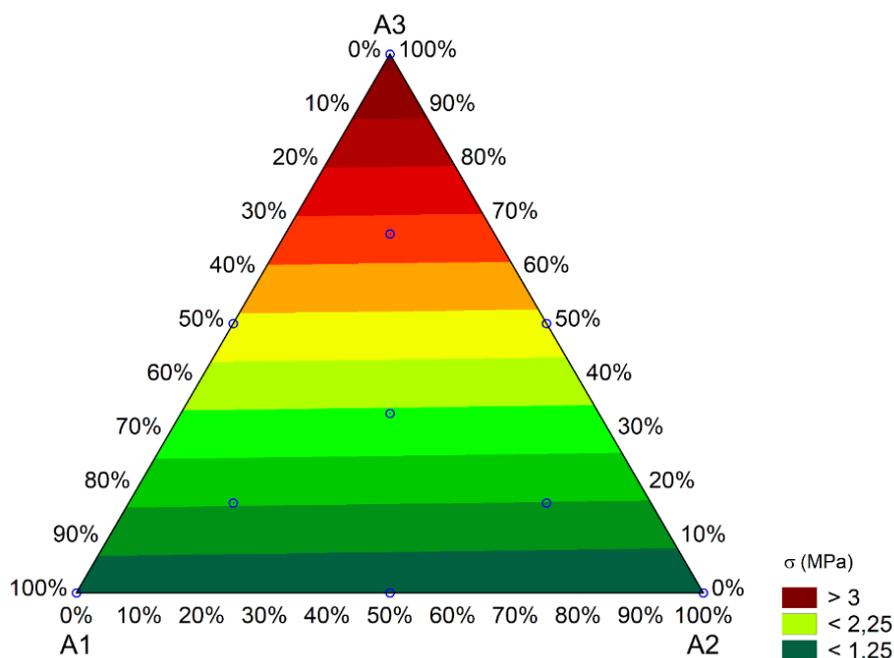
Modelo	F	p	R ²
Linear	66,10	<0,001	0,47
Quadrático	7,76	<0,001	0,55
Cúbico especial	7,21	0,0081	0,57
Cúbico	7,51	<0,001	0,61

F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste).

Fonte: Autora (2022).

A superfície de resposta para o ensaio de resistência mecânica à compressão (Figura 23) mostra que as argilas A1 e A2 quando incorporadas tendem a diminuir a resistência da peça. Por sua vez, a presença da argila A3, devido ao alto teor de densificação, melhora a resistência do corpo cerâmico, e o mínimo de ~15 % de A3, se faz necessário para obtenção da resistência mecânica mínima de 1,5 MPa, conforme a norma técnica (ABNT, 2017b). A Equação 10 mostra a fórmula de ajuste para o modelo linear desenvolvido para esse ensaio.

Figura 23 - Superfície de resposta da resistência mecânica à compressão.



Fonte: Autora (2022)

$$\sigma = 1,06 \times A1 + 1,02 \times A2 + 3,84 \times A3 \quad (10)$$

Onde:

σ = Resistência mecânica à compressão (MPa).

A1 = argila 1.

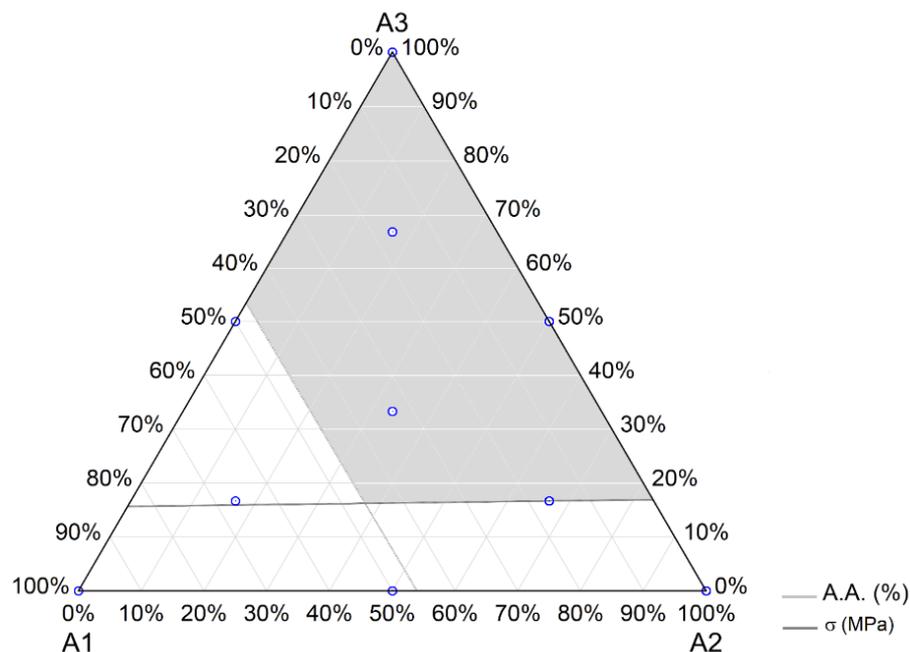
A2 = argila 2.

A3 = argila 3.

d) Delimitação estatística

Fazendo o corte da área que excede o 25% de absorção de água e abaixo do 1,5 MPa, faz-se uma delimitação de trabalho das matérias-primas estudadas, que pode ser visto em cinza na Figura 24. Conforme já explanado, pode-se verificar que a aplicação acima de ~45% de A1 aumenta consideravelmente a absorção de água, excedendo os limites tecnológicos (8-25%), e aplicação de >80% das argilas A1 e A2 somadas, excede o limite <1,5 MPa da resistência mecânica à compressão. Com isso, é possível observar em cinza a área de aplicabilidade das diferentes argilas, e que atendam as especificações normativas.

Figura 24 - Sistema triaxial ilustrando o limite de trabalho para cerâmica vermelha.



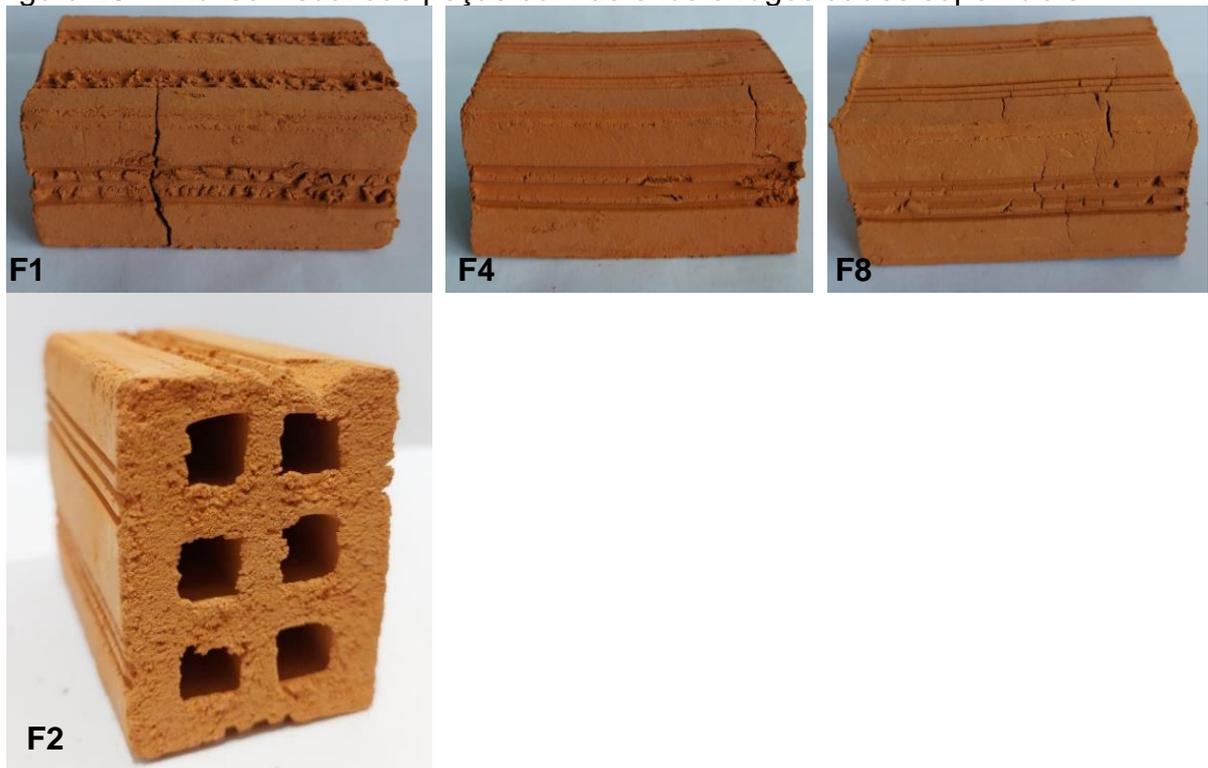
Fonte: Autora (2022).

e) Análise visual

A análise das características visuais das amostras consistiu em verificar se os blocos cerâmicos apresentam defeitos sistemáticos, tais como trincas, superfícies irregulares ou deformações que impeçam o seu emprego na função especificada.

Portanto, a partir da análise visual foi possível verificar como as amostras com conteúdo das argilas A1 e A2 se comportaram. A Figura 25 mostra que as formulações F1, F4 e F8, que apresentam até 50% de A1, apresentaram trincas ocasionadas ainda durante a extrusão, muito possivelmente pela falta de plasticidade da argila A1. Também mostra a rugosidade da peça F2, mostrando que o excesso de quartzo, que deixa a massa mais grosseira.

Figura 25 - Análise visual das peças com defeitos e rugosidades superficiais.



Fonte: Autora (2022).

Também foi analisada de forma visual a coloração das amostras desenvolvidas, como pode ser observado na Figura 26. A tonalidade avermelhada foi a que predominou em todas as formulações, sendo as com A1 com as tonalidades mais evidenciadas, muito associadas aos elevados teores de ferro contidos na amostra.

Figura 26 - Análise visual da coloração das peças.



Fonte: Autora (2022).

6.3 ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO DAS ARGILAS MENOS NOBRES A NÍVEL INDUSTRIAL

Para realização da análise do potencial das argilas estudadas (A1 e A2), levantou-se o volume *in situ* das áreas com base em informações dos técnicos da COOPEMI. A área A1 tem a disponibilidade de 80.000 m³ e a área A2, por sua vez, de 120.000 m³. Para uma avaliação mais concisa, é necessário ter conhecimento do grau de empolamento. Conforme Prado (2015), após a extração da argila na lavra, acontece a desagregação de seus grãos, aumentando a quantidade de vazios, conseqüentemente, aumentando seu volume e reduzindo sua massa específica, sendo este fenômeno denominado de empolamento e é expresso em porcentagem. Os materiais mais finos apresentam expansão volumétrica maior, gerando fatores de empolamento diferentes para cada tipo de matéria (RICARDO; CATALANI, 2008).

Segundo Mattos (2006), o empolamento do solo argiloso é de 40%, e será usado como base para conversão. Considerando isso, tem-se um volume real de 112.000 m³ para a área A1 e 168.000 para a área A2. Atualmente a COOPEMI possui em seu quadro social 150 cooperados, porém destes, 90 têm suas empresas abastecidas por matéria-prima argilosa. Segundo dados da cooperativa, nos últimos 24 meses foram disponibilizados 35.000 m³/mês, dos quais considera-se 50% de argila plástica, e outros 50% de argila arenosa.

As argilas estudadas (A1 e A2), de acordo com os resultados tecnológicos, apresentam comportamento de argilas arenosas, portanto, se enquadrariam no abastecimento em substituição das matérias-primas com essas características. Com isso, o volume total a adicionar no portfólio da COOPEMI seria de 280.000 m³. Levando em consideração a média mensal consumida de argila arenosa, e o total disponível nas áreas de lavra ambiciosa, conclui-se que existe um aumento de aproximadamente 16 meses de vida útil das jazidas, ampliando assim a disponibilidade de material argiloso aos cooperados, apenas com essas duas diferentes argilas.

Outro fator preponderante é a possibilidade da criação de uma central de massas por parte da COOPEMI que ficaria responsável pela formatação dos *blends*, a serem disponibilizados aos cooperados. Vale ressaltar, que uma vez criada uma central de massas, aumentam as possibilidades de utilização das diferentes argilas que a cooperativa possui, podendo usar as diferentes matérias-primas para se chegar em produtos com as características desejadas.

7 CONCLUSÃO

Em âmbito regional, pode-se ver a negligência com o meio ambiente, uma vez que as áreas de lavra ambiciosa não resultam no devido aproveitamento total do bem mineral, acarretando em sobra de material argiloso; que se aproveitadas ou misturadas com outras argilas, poderiam ser melhor utilizadas no setor de cerâmica vermelha.

O aproveitamento ineficiente das jazidas tem gerado a diminuição da vida útil, além de ocasionar a predação da riqueza natural, danos ao meio ambiente e exigir o avanço para novas jazidas. Existem áreas licenciadas para extração de argilas que não são totalmente aproveitadas, isso se dá muito pela cultura do setor em utilizar argilas que já são mais consolidadas ao processo. As argilas estudadas não são utilizadas no processo cerâmico, pois a A1 está associada à deficiência de trabalhabilidade, e isso ocasiona problemas de extrusão. Enquanto que a A2 está associada ao excesso de areia que tende a deixar as peças menos resistentes.

O método de delineamento de misturas (simplex centroide) permitiu analisar formulações com teores variados das argilas, delimitando assim uma área de corte para as formulações que não atendem as normas técnicas. Além disso, é possível verificar como irão se comportar quaisquer novas formulações possíveis dessas argilas em trabalhos futuros.

Os resultados obtidos indicam a viabilidade da utilização das argilas A1 e A2, que mesmo associadas não podem exceder ao total de 80% incorporado à massa cerâmica, exigindo assim, no mínimo 20% de blende da argila A3. Das dez diferentes formulações realizadas, cinco se comportaram fora das especificações da norma técnica, o que permitiu definir uma área de corte das formulações que ficaram dentro das normas.

Neste aspecto, os resultados tecnológicos das argilas A1 e A2 apresentam comportamento de argilas arenosas, portanto, se enquadrariam no abastecimento em substituição das matérias-primas com essas características. Com isso, foi estimado o volume total de material argiloso em cerca de 280.000 m³, considerando 40% de empolamento. Portanto, levando em consideração a média mensal consumida de argila arenosa no setor ceramista atendido pela COOPEMI, e o total disponível nas duas áreas de lavra ambiciosa, permite inferir em aumento em cerca de 16 meses de

vida útil, desde que adotadas as recomendações estudadas, o que pode ampliar a disponibilidade de material argiloso aos cooperados.

Em função da necessidade de garantir a qualidade da mistura das argilas, exige-se uma central de massa por parte da COOPEMI, que ficaria responsável pela formatação dos *blends* e mistura a serem disponibilizados aos cooperados. Após a criação desta central de massa aumentam as possibilidades de utilização das argilas de outras áreas de lavras ambiciosas, podendo ser incluídas nos *blends* diferentes tipos de argilas, e assim aumentando a vida útil das jazidas.

Sugestões de trabalhos futuros

- Estudo técnico de dimensionamento de estrutura, equipamentos e custos de referência de uma central de massa.
- Análise de viabilidade técnica, econômica e financeira da implantação de uma central de massa.

REFERÊNCIAS

- ABCERAM. **Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/fluxograma/>>. Acesso em: 19 ago. 2022.
- ABNT. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**Rio de Janeiro, RJAssociação Brasileira de Normas Técnicas, , 2016a. .
- ABNT. **NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade**Rio de Janeiro, RJAssociação Brasileira de Normas Técnicas, , 2016b. .
- ABNT. **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**Rio de Janeiro, RJAssociação Brasileira de Normas Técnicas, , 2016c. .
- ABNT. **NBR 15270-2 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios**Rio de Janeiro, RJABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, , 2017a. .
- ABNT. **NBR 15270-1 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos**Rio de Janeiro, RJABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, , 2017b. .
- ABUBAKAR, I. et al. Characterization of Dabagi clay deposit for its ceramics potential. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 8, n. 8, p. 455–459, 31 ago. 2014.
- ALBERS, A. P. F. et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica**, v. 48, n. 305, p. 34–37, mar. 2002.
- ALMEIDA, K. S. de; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. de. Characterization of clay deposit in the central region of Piauí for use in the ceramic industry. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, 2020.
- ALVES, W. A.; BALDO, J. B. O Potencial de Utilização de um Resíduo Argiloso na Fabricação de Revestimento Cerâmico Parte I - Caracterização. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 5/6, p. 38–40, 1997.
- AMORÓS, J. L. et al. **Manual para el control de calidad de materias primas arcillosas**. Castellón - España: Instituto de Tecnología Cerámica - ITC, 1998.
- ANDRADE, F. A.; AL-QURESHI, H. A.; HOTZA, D. Measuring the plasticity of clays: A review. **Applied Clay Science**, v. 51, n. 1–2, p. 1–7, 2011.
- ANICER. **Dados Oficiais**. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/dados-oficiais/>>. Acesso em: 29 out. 2022.
- ANM. **Índice de Geologia e Mineração: Mineração**. Disponível em: <<https://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>>. Acesso em: 20 out. 2022.
- ANM. **Resolução Nº 68**. Disponível em: <<https://portal.in.gov.br/web/dou/>>

/resolucao-anm-n-68-de-30-de-abril-de-2021-317640591>. Acesso em: 28 set. 2022.

ARSENOVIĆ, M. et al. Optimization of the production process through response surface method: Bricks made of loess. **Ceramics International**, v. 39, n. 3, p. 3065–3075, abr. 2013.

ATTERBERG, A. Über die physikalische Bodenuntersuchung und über die Plastizität der Tone. **Internationale Mitteilungen für Bodenkunde**, v. 1, n. 1, p. 10–43, 1911.

BACCOUR, H. et al. Mineralogical evaluation and industrial applications of the Triassic clay deposits, Southern Tunisia. **Materials Characterization**, v. 59, n. 11, p. 1613–1622, nov. 2008.

BARGA, C.; DAL FABBRO, T.; DOS REIS, E. A. P. Cerâmica Vermelha: definição e aplicação. **Anais do Encontro Toledo de Iniciação Científica**, v. 12, n. 12, p. 15, 2016.

BEN M'BAREK-JEMAÏ, M. et al. Geological and technological characterization of the Late Jurassic-Early Cretaceous clay deposits (Jebel Ammar, northeastern Tunisia) for ceramic industry. **Journal of African Earth Sciences**, v. 129, p. 282–290, 2017.

BOVEA, M.-D. et al. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 439–447, 17 set. 2007.

BRAGA, W. A.; SANTOS, M. W. L. C.; SALES, J. C. Qualidade na Indústria de Cerâmica Vermelha: Medidas e Alternativas para o Controle Dimensional. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 5–6, p. 40–43, 2016.

BRASIL. **Decreto-lei nº 227**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 9.406**. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9406-12-junho-2018-786851-publicacaooriginal-155831-pe.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BURMISTER, D. M. Principles and techniques of soil identifications. **Proceedings of Highway Research Board**, p. 402–433, 1949.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 3, p. 31–36, 2000.

CABRAL JUNIOR, M. et al. Arranjos Produtivos Mínero-Cerâmicos e o Desenvolvimento Econômico: Caso do APL de Socorro - SP. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 2, p. 24–29, 2006a.

CABRAL JUNIOR, M. et al. Arranjos Produtivos Mínero-Cerâmicos e o Desenvolvimento Econômico: Caso do APL de Socorro - SP. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 2, p. 24–29, 2006b.

CAMARA, V. F. et al. Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da

cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina, Brasil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 213–218, jun. 2015.

CASAGRANDE, G. S. **Estudo da incorporação de resíduos provenientes de termoeétrica e beneficiamento do carvão mineral em massa para produção de adoquín cerâmico**. 2017. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, SC, 2017.

CBIC. **PIB da construção fecha o ano com crescimento de 9,7%, a maior alta em 11 anos**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/pib-da-construcao-fecha-o-ano-com-crescimento-de-97-a-maior-alta-em-11-anos/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

COMIN, A. B. et al. Characterization and use of clays from the Rio Bonito Formation/Paraná Basin for ceramic industry application. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 18, n. 5, p. 1814–1824, 14 set. 2021a.

COMIN, A. B. et al. Measurement of apparent sintering activation energy for densification of clays. **Clay Minerals**, v. 56, n. 4, p. 299–305, 16 dez. 2021b.

COOPER, E. **Historia de La Ceramica**. 2ª ed. Barcelona, España: Ediciones CEAC, 1993.

CORRÊA, P. F. et al. Análise dos planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila no sul de Santa Catarina, Brasil. **Tecnologia e Ambiente**, v. 25, p. 273, 7 out. 2019.

CPRM. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17996>>. Acesso em: 10 out. 2022.

DA SILVA, M. N. P. et al. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Cadernos de Garduação: Ciências exatas e tecnológicas**, v. 2, n. 3, p. 87–97, 2015.

DE AGUIAR, M. C. et al. **Processos de fabricação de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro - RJ: CETEM/MCTI, 2022.

DE ANDRADE, F. A.; AL-QURESHI, H. A.; HOTZA, D. Measuring and modeling the plasticity of clays. **Materials Research**, v. 13, n. 3, p. 395–399, 2010.

DE OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. **Tecnologia de Fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2ª ed. Florianópolis, SC: Editora UFSC, 2015.

DNPM. **Portaria 237**. Disponível em: <[DONDI, M. Clay materials for ceramic tiles from the Sassuolo District \(Northern Apennines, Italy\). Geology, composition and technological properties. **Applied Clay Science**, v. 15, n. 3–4, p. 337–366, out. 1999.](https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/UriPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000237&sgl_tipo=POR&sgl_orgao=DNPM/MME&vlr_ano=2001&seq_ato=000&cod_tipo=&des_item=&des_item_fim=&num_linha=>https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/UriPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000237&sgl_tipo=POR&sgl_orgao=DNPM/MME&vlr_ano=2001&seq_ato=000&cod_tipo=&des_item=&des_item_fim=&num_linha=>. Acesso em: 20 out. 2022.</p></div><div data-bbox=)

DONDI, M. Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 3, p. 36–40, 2006.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. **Applied Clay Science**, v. 96, p. 91–109, 2014.

FARIAS, A. S. et al. Utilização de eco-inovação no processo de manufatura de cerâmica vermelha. **Review of Administration and Innovation - RAI**, v. 9, n. 3, 10 out. 2012.

FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. **Relatório Preparado para o CGEE**, 2002.

FARJANA, S. H. et al. A review on the impact of mining and mineral processing industries through life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 1200–1217, set. 2019.

FERNANDES, F. R. C. et al. **Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral**. Rio de Janeiro - RJ: CETEM/MCT, 2007.

FONSECA, A. T. da. **Tecnologia do processamento cerâmico**. Lisboa - Portugal: Universidade Aberta, 2000.

GARCIA-VALLES, M. et al. Mineralogical and Thermal Characterization of Kaolinitic Clays from Terra Alta (Catalonia, Spain). **Minerals**, v. 10, n. 2, p. 142, 7 fev. 2020.

GÖHLERT, K.; UEBEL, M. Test Methods for Plasticity and Extrusion Behaviour. In: HÄNDLE, F. (Ed.). **Extrusion in Ceramics**. Muhlacker, Germany: Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 347–362.

GOMES, J. M.; SALGADO, A. L. F.; HOTZA, D. Life Cycle Assessment of Ceramic Bricks. **Materials Science Forum**, v. 727–728, p. 815–820, ago. 2012.

GÖMZE, L. A.; GÖMZE, L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles. **Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials**, v. 60, n. 4, p. 102–107, 2008.

IBGE. **Cidades e Estados: Içara**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/icara.html>>. Acesso em: 21 out. 2022.

IMEN, M. et al. Incorporation of siliceous sand and lignite tailings from Miocene deposits (Zeramdine, Eastern Tunisia) in clay bricks and ceramic tiles: technological feasibility. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 4, p. 282, 10 fev. 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 out. 2022.

INOCENTE, J. M. et al. Study for Vitreous Waste Recovery in the Formulation of Heavy Clay Ceramics. **Material Science & Engineering International Journal**, v. 1, n. 2, p. 56–60, 24 ago. 2017. Disponível em:

<<https://medcraveonline.com/MSEIJ/study-for-vitreous-waste-recovery-in-the-formulation-of-heavy-clay-ceramics.html>>.

ITUMA, C. G. et al. Utilization of Nkpuma-Akpatakpa clay in ceramics: characterization and microstructural studies. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 1, p. 47, 7 fev. 2018.

JORDAN, M. M. et al. Firing behaviour of Tertiary, Cretaceous and Permo-Triassic clays from Castellon ceramic cluster (Spain). **Applied Clay Science**, v. 198, p. 105804, nov. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131720303690>>.

KLEIN, R. . Aspectos fitofisionômicos da floresta estacional na fralda da Serra Geral (RS). In: Anais do XXXIV Congresso Nacional de Botânica, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: 1983.

KOEPPEL, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948.

KORONEOS, C.; DOMPROS, A. Environmental assessment of brick production in Greece. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2114–2123, maio 2007.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, RJ: SEBRAE, 1990. p. 113–150.

LOUTOU, M. et al. Valorization of clay by-product from moroccan phosphate mines for the production of fired bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 169–179, ago. 2019.

LOZANO-MIRALLES, J. et al. Comparative Study on the Environmental Impact of Traditional Clay Bricks Mixed with Organic Waste Using Life Cycle Analysis. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2917, 18 ago. 2018.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 411–417, dez. 2008.

MACIEL, D. dos S. C.; FREITAS, L. S. de. Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1355–1380, 19 nov. 2013.

MAESTRELLI, S. C. et al. Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. **Cerâmica**, v. 59, n. 350, p. 242–248, jun. 2013.

MANOHARAN, C. et al. Analysis of temperature effect on ceramic brick production from alluvial deposits, Tamilnadu, India. **Applied Clay Science**, v. 54, n. 1, p. 20–25, nov. 2011.

MARCIANO MOTTA, F. J. et al. As Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional : Argilas e Caulins. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 2, 2004.

MARSIGLI, M.; DONDI, M. Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del

loro comportamento in foggatura. **L'Industria dei Laterizi**, v. 46, p. 214–222, 1997.

MÁS, E. **Qualidade & tecnologia em cerâmica vermelha**. 2ª ed. São Paulo - SP: Polo Produções, 2001.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 1. ed. São Paulo, SP: Editora PINI, 2006.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209–220, 2010.

MODESTO, C. de O.; BERNARDIN, A. M. Determination of clay plasticity: indentation method versus Pfefferkorn method. **Applied Clay Science**, v. 40, n. 1–4, p. 15–19, 2008.

MOHSEN, Q.; EL-MAGHRABY, A. Characterization and assessment of Saudi clays raw material at different area. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 3, n. 4, p. 271–277, out. 2010.

MONATSHEBE, T.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F.; KASONGO NYEMBWE, D. Mechanical properties and mineralogy of artisanal clay bricks manufactured in Dididi, Limpopo, South Africa. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 972–982, 2019.

MONTEIRO, E. M. et al. Cuidados do Arranjo Produtivo Cerâmico com os Impactos Ambientais na Extração de Argila no Município de Rio Verde de Mato Grosso em Mato Grosso do Sul. **Cerâmica Industrial**, v. 3, n. 4, p. 36–41, 2008.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil. **Applied Clay Science**, v. 27, n. 3–4, p. 229–234, dez. 2004.

MÜTZE, T. International Journal of Mineral Processing Modelling the stress behaviour in particle bed comminution. **International Journal of Mineral Processing**, v. 156, p. 14–23, 2016.

NANDI, V. de S. et al. Adição de Vidro Reciclado de Lâmpadas na Fabricação de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 5, p. 29–32, 2014.

NASCIMENTO, J. J. S.; BELO, F. A.; DE LIMA, A. G. B. Experimental Drying of Ceramics Bricks Including Shrinkage. **Defect and Diffusion Forum**, v. 365, p. 106–111, jul. 2015.

NAZÁRIO, L. et al. Panorama da indústria de cerâmica vermelha e os impactos ambientais na região do Seridó. **Ecogestão Brasil**, v. 6, p. 1–8, 2018.

NYAKAIRU, G. W. .; KURZWEIL, H.; KOEBERL, C. Mineralogical, geochemical, and sedimentological characteristics of clay deposits from central Uganda and their applications. **Journal of African Earth Sciences**, v. 35, n. 1, p. 123–134, jul. 2002.

OLIVEIRA, A. A. de. **Tecnologia em Cerâmica**. Criciúma, SC: Editora Lara, 2011.

PADOIN, E. B. **Estudo da utilização do resíduo gerado por ete do processo de anodização do alumínio em cerâmica vermelha**. 2011. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2011.

PAGNAN, S. et al. Fornecimento sustentável de argilas para APL de cerâmica vermelha. In: Prêmio Melhores Práticas na Mineração, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Rede APL Mineral, 2013.

PETERSON, M. et al. Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma industria cerâmica estrutural do sul-catarinense. **Revista Unifebe**, v. 1, n. 15, p. 9–18, 2015.

PRADO, U. S. do; BRESSIANI, J. C. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 1, p. 7–11, 2013.

PRADO, F. L. de S. **Análise da otimização dos custos do projeto de terraplenagem**. 2015. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

REBELO, W. B.; ZACCARON, A. Evolução da mineração de argila para cerâmica vermelha na região da AMREC**, sob a ótica da lavra ambiciosa: Um estudo de caso. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 17, n. 3, 2020.

REIS, M. S. et al. Management and Conservation of Natural Populations in Atlantic Rain Forest: The Case Study of Palm Heart (*Euterpe edulis* Martius)1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 894–902, dez. 2000.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 1, p. 37–42, 2003.

RICARDO, H. de S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação. Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3ª ed. São Paulo, SP: PINI, 2008.

RIETVELD, H. M. A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures. **J. Appl. Crystallogr.**, v. 2, n. 65, p. 65–71, 1969.

ROCHA, I. de O. **Atlas Geográfico de Santa Catarina: estado e território: fascículo 1**. 2a. ed. Florianópolis, SC: UDESC, 2016.

ROMANENKO, E. N. Specifics of Clays from the Andreevskoe Deposit. **Glass and Ceramics**, v. 59, p. 137–138, 2002.

SALAH, I. Ben et al. Potential use of the lower cretaceous clay (Kef area, Northwestern Tunisia) as raw material to supply ceramic industry. **Applied Clay Science**, v. 161, p. 151–162, 2018.

SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. São Paulo - SP: Edgard Blücher, 1992. v. 3

SANTOS, P. de S. **Ciências e tecnologia de argilas**. 2ª ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher Ltda, 1989. v. 1

SANTOS, R. C. de V. dos S. Contribuição do setor mineral no produto interno bruto brasileiro. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, n. 65, p. 33–36, 30 abr. 2021.

SC.GOV.BR. **Içara**. Disponível em: <<https://www.sc.gov.br/conhecasc/municipios-de-sc/icara>>. Acesso em: 21 out. 2022.

SEMIZ, B.; ÇELIK, S. B. Mineralogical and geochemical characteristics of Belevi clay deposits at Denizli, SW Turkey: industrial raw material potential. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 8, p. 313, 11 abr. 2020.

SILVA, M. A. S. da; LEITES, S. R. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2000.

SILVA, R. G. da; SILVA, V. P. da. Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 63, n. 368, p. 494–507, dez. 2017.

SILVA, M. de L.; PEREIRA, F. M. M. Caracterização de argilas provenientes de indústria de cerâmica vermelha do Município do Crato – Ceará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e448101018392, 15 ago. 2021.

TOMI, G. De et al. Diagnóstico e Ações para Aprimorar as Atividades de Mineração de Matérias-Primas para Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, 2000.

TSOZUÉ, D. et al. Mineralogical, physico-chemical and technological characterization of clays from Maroua (Far-North, Cameroon) for use in ceramic bricks production. **Journal of Building Engineering**, v. 11, p. 17–24, 2017.

TURRIÓN, D. et al. Innovative techniques for landscape recovery after clay mining under mediterranean conditions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, 2021.

VARELA, M. L. et al. Otimização de uma metodologia para análise mineralógica racional de argilominerais. **Cerâmica**, v. 51, n. 320, p. 388–392, 2005.

VEDVOTTO JUNIOR, G.; FERREIRA, G. L. B.; POSSAMAI, O. Proposta de um modelo de planta industrial sustentável para o processo industrial de cerâmica vermelha na região do Vale do Rio Tijucas em Santa Catarina, Brasil. In: I World Congress on Systems Engineering and Information Technology, Porto, Portugal. **Anais...** Porto, Portugal: COPEC, 2013.

VERÁSTEGUI-FLORES, R. D.; DI EMIDIO, G. Assessment of clay consistency through conventional methods and indirect extrusion tests. **Applied Clay Science**, v. 101, p. 632–636, nov. 2014.

VIANELLO, R. L.; ALVES, R. **Meteorologia básica e aplicações**. 1^o ed. Viçosa, MG: UFV, 1991.

WANG, Q. et al. Processing Research Influence of raw material grain composition on the properties of fused silica ceramics. **Journal of Ceramic Processing Research**, v. 18, n. 8, p. 594–598, 2017.

WANG, S. et al. Influence of palygorskite on in-situ thermal behaviours of clay mixtures and properties of fired bricks. **Applied Clay Science**, v. 216, p. 106384, jan. 2022.

WHITE, I. C. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. p. 301–617, 1908.

ZACCARON, A. **Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduos**. 2013. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, SC, 2013.

ZACCARON, A. et al. Incorporação de Chamote na Massa de Cerâmica Vermelha como Valorização do Resíduo. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 3, p. 33–39, 2014.

ZACCARON, A. **Estudo do processo de secagem rápida em argilas utilizadas para a fabricação de cerâmica vermelha**. 2018. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, SC, 2018.

ZACCARON, A. et al. Incorporação de escória de alto forno a carvão vegetal em massa de cerâmica vermelha. **Cerâmica industrial**, v. 25, n. 1, p. 34–42, 2020a.

ZACCARON, A. et al. Characterization and use of clays and argillites from the south of Santa Catarina State, Brazil, for the manufacture of clay ceramics. **Clay Minerals**, v. 55, n. 2, p. 172–183, 3 jun. 2020b.

ZACCARON, A. et al. The behavior of different clays subjected to a fast-drying cycle for traditional ceramic manufacturing. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, p. In Press, maio 2022.

ZACCARON, A.; DE SOUZA NANDI, V.; BERNARDIN, A. M. Fast drying for the manufacturing of clay ceramics using natural clays. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p. 101877, jan. 2021.

APÊNDICE(S)

APÊNDICE A – RESULTADO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Retração térmica linear de secagem (%)

Amostra	RTLs	D.P.
F1	5,383333333	0,727339665
F2	3,95	0,385066049
F3	8,708333333	0,549621082
F4	4,616666667	0,503150991
F5	8,483333333	0,409653624
F6	8,575	0,541987085
F7	8,016666667	0,47766193
F8	6,233333333	0,388039576
F9	7,383333333	0,642373472
F10	8,683333333	0,629495328

RTLs: Retração térmica linear de secagem
D.P.: Desvio padrão

Retração térmica linear de queima (%)

Amostra	RTLq	D.P.
F1	1,135008	0,66761
F2	0,077518	0,341755
F3	1,460105	0,419997
F4	0,585917	0,961479
F5	1,010749	0,406903
F6	0,354707	0,400781
F7	0,478016	0,732181
F8	0,496691	0,451442
F9	0,519245	0,63145
F10	0,874693	0,616139

RTLq: Retração térmica linear de queima
D.P.: Desvio padrão

Absorção de água (%)

Amostra	A.A.	D.P.
F1	40,66032	0,962278
F2	15,59341	0,510473
F3	15,46193	0,635686
F4	23,80919	0,388325
F5	23,73203	1,75056
F6	15,45567	0,542341
F7	21,29997	0,577549
F8	27,52476	0,9745
F9	18,44149	0,410895
F10	18,20324	0,610666

A.A.: Absorção de água
D.P.: Desvio padrão

Resistencia Mecânica à Compressão (MPa)

Amostra	σ	D.P.
F1	1,20	0,429631
F2	1,10	0,451519
F3	4,69	1,872766
F4	1,50	0,742734
F5	2,31	0,844448
F6	2,54	0,744297
F7	1,43	0,357668
F8	1,61	0,647179
F9	1,44	0,589473
F10	1,91	0,500626

σ : Resistencia Mecânica à Compressão
D.P.: Desvio padrão

APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

<i>RTL_T</i>	Efeito			Erro			F	p	R ²	R ² ajustado
	SQ	V	MQ	SQ	V	SQ				
Modelo										
Linear	874,216	2	437,1078	329,0087	297	1,107773	394,5823	0,000000	0,726561	0,724719
Quadrático	139,001	3	46,3336	190,0077	294	0,646285	71,6923	0,000000	0,842085	0,839399
Cúbico especial	2,233	1	2,2333	187,7745	293	0,640869	3,4847	0,062936	0,843941	0,840745
Cúbico	65,218	2	32,6092	122,5562	291	0,421155	77,4279	0,000000	0,898144	0,895343
Total ajustado	1203,224	299	4,0242							

SQ = Soma total dos quadrados; V = Variância (Grau de Liberdade); MQ = Média quadrática; F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste); RTL_T = Retração térmica linear total.

<i>AA</i>	Efeito			Erro			F	p	R ²	R ² ajustado
	SQ	V	MQ	SQ	V	SQ				
Modelo										
Linear	7657,894	2	3828,947	526,8716	147	3,584161	1068,297	0,000000	0,935628	0,934752
Quadrático	383,843	3	127,948	143,0290	144	0,993257	128,816	0,000000	0,982525	0,981918
Cúbico especial	13,477	1	13,477	129,5525	143	0,905962	14,875	0,000173	0,984172	0,983507
Cúbico	31,184	2	15,592	98,3686	141	0,697649	22,349	0,000000	0,987982	0,987300
Total ajustado	8184,766	149	54,931							

SQ = Soma total dos quadrados; V = Variância (Grau de Liberdade); MQ = Média quadrática; F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste); AA = Absorção de água.

<i>σ</i>	Efeito			Erro			F	p	R ²	R ² ajustado
	SQ	V	MQ	SQ	V	SQ				
Modelo										
Linear	117,3311	2	58,66556	130,4559	147	0,887455	66,10539	0,000000	0,473516	0,466353
Quadrático	18,1617	3	6,05389	112,2942	144	0,779821	7,76317	0,000077	0,546811	0,531076
Cúbico especial	5,3930	1	5,39301	106,9012	143	0,747561	7,21414	0,008089	0,568576	0,550474
Cúbico	10,2901	2	5,14506	96,6111	141	0,685185	7,50900	0,000796	0,610104	0,587982
Total ajustado	247,7870	149	1,66300							

SQ = Soma total dos quadrados; V = Variância (Grau de Liberdade); MQ = Média quadrática; F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste); σ = Resistência Mecânica à compressão.